

Porsche Engineering

Magazin
AUSGABE
1/2018

www.porsche-engineering.de

TESTING

Mobilität von morgen im Test





**Wie erkennt man eine Rennikone?
Meistens gar nicht.**

Der neue 911 GT3 RS.

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) innerorts 19,2 · außerorts 9,0 · kombiniert 12,8; CO₂-Emissionen kombiniert 291 g/km



Liebe Leserinnen und Leser,



Malte Radmann und Dirk Lappe,
Geschäftsführer von Porsche Engineering

nichts verdeutlicht den Spagat, den Autohersteller derzeit wagen müssen, besser als der Blick auf die großen Automessen der Welt. Porsche präsentiert zwei Modelle, die unterschiedlicher nicht sein könnten: den neuen Porsche 911 GT3 RS und die Konzeptstudie Mission E Cross Turismo. Hochleistungssportwagen neben elektrisch angetriebenem Cross Utility Vehicle. Hochdrehzahl-Sechszylinder-Saugmotor neben zwei permanent-erregten Synchronmotoren. Traditionelles, über Jahrzehnte optimiertes Verbrennungsmotoren-Know-how neben neuer, zukunftsweisender E-Performance. Beides hat seinen Reiz. Beides hat seine Daseinsberechtigung.

Dies begreift man sofort, wenn man sich vor Augen führt, dass aktuell etwa sieben Milliarden Menschen auf der Welt leben, die rund 1,25 Milliarden Fahrzeuge nutzen – Fahrräder, Eisenbahnen, Flugzeuge noch gar nicht mitgerechnet. Nur ein Bruchteil davon fährt bereits elektrisch. Das ist die Realität des derzeitigen Straßenverkehrs, und in einigen Regionen wohl auch der nächsten Jahrzehnte. In weiten Teilen der Welt ist das Thema der Elektromobilität also gar nicht aktuell. Es stehen dort vielmehr robuste, verbrauchsgünstige und leistungsfähige Fahrzeuge im Fokus.

Doch ganz gleich, ob klassischer Verbrennungsmotor oder moderner Elektroantrieb, jede Komponente, jedes System muss absolut zuverlässig funktionieren. Um das zu garantieren, müssen all diese Teile ausgiebig getestet werden. Dabei erlebt das Testing derzeit genau denselben dynamischen Wandel wie die Automobilbranche selbst: die Gewichtungen zwischen Simulation, Tests am Prüfstand und Realtests verschieben sich. Aus diesem Grund entwickeln wir neue Testverfahren und optimieren diese immer wieder aufs Neue – eine spannende Aufgabe und somit Thema des Dossiers.

Neu präsentiert sich Ihnen auch unser sowohl optisch als auch inhaltlich überarbeitetes Porsche Engineering Magazin. Auch hier haben wir es uns zur Aufgabe gemacht, den zuvor beschriebenen Spagat zwischen „das Bewährte erhalten“ und „offen sein für Neues“ zu schaffen: Wir bleiben uns treu mit einem Magazin von Ingenieuren für Ingenieure. Das heißt, dass wir Ihnen weiterhin Einblicke in unsere hochtechnologische Arbeit und unsere Projekte bieten – nun jedoch noch verständlicher und optisch ansprechender aufbereitet.

Wir heben aber auch den Blick, schauen, was die Zukunft bringt, und sind offen für Neues und Unbekanntes. Wir überlassen Gast-Autoren aus den unterschiedlichsten Branchen das Wort, um uns von ihren Herausforderungen zu berichten und uns zu zeigen, was die Welt außerhalb der Automobilbranche bewegt.

Wir hoffen, Ihnen gefällt, dass wir den Spagat beim Relaunch des Porsche Engineering Magazins gewagt haben, und wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen.

Ihr Malte Radmann und Ihr Dirk Lappe

Porsche 911 GT3 RS

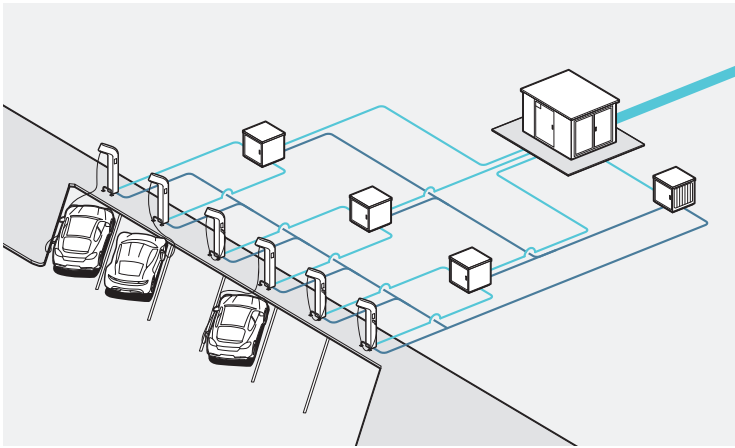
CO₂-Emission (kombiniert): 291 g/km
Verbrauch innerorts: 19,2 l/100 km
außerorts: 9,0 l/100 km
kombiniert: 12,8 l/100 km
Effizienzklasse: Deutschland: G
Schweiz: G



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.



10



46 44



70

58

66



Porsche Engineering

Magazin
AUSGABE
1/2018

	03	Editorial
	08	News
TRENDS UND TECHNOLOGIEN	10	Tiefer vernetzt Künstliche Intelligenz: Wie Mobilität vom Deep-Learning-Verfahren profitiert
DOSSIER: TESTING	16	Einführung Themen und Prozessabläufe des Testings im Überblick
	20	Der Schlüssel zu effektivem Testing Testing von Steuergeräten am HiL-Prüfstand
	26	Vom Rennsport in die Serie BMS Mini-HiL: Prüfstand für Batteriemanagementsysteme im Miniformat
	30	An einem Strang ziehen Triebstrang im Härtestest: von Simulation über Prüfstand zum Straßeneinsatz
	36	Mobilität von morgen auf dem Prüfstand Das Nardò Technical Center baut seine Infrastruktur weiter aus
	44	Die Stoppuhr als ultimative Instanz Mark Webber im Interview
PERFORMANCE UND EXPERTISE	46	E-Boxenstopp Modulare Ladeinfrastruktur als Schlüssel zu schnellem Laden
	52	Elektromobilität als Chance Michael Kiefer und Otmar Bitsche im Interview
	58	Kreativer Ingenieur Nachwuchs überzeugt Die Porsche Engineering Student Competition 2017 in Cluj-Napoca
PORSCHE UND PRODUKT	66	Leicht gemacht Dünnschichtglas im Porsche 911 GT3 RS: Leichtbau trifft auf Funktionalität
	70	Vereinte Kräfte Die Boost-Strategie des Porsche Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo
	75	Impressum



ZUKUNFT

06

Den Wandel gestalten

Prof. Dr. Andreas Knie fordert zu Mut und Optimismus auf, denn dazu gibt es allen Grund.



AUSKUNFT

62

Die Zukunft der Produktion

Christian Thönes, CEO der DMG MORI AG, über Potenziale von Additive Manufacturing.



HERKUNFT

74

Hauptbuch

Die ersten Einträge belegen das Porsche-Erbe, das fortbesteht in Porsche Engineering.



Den Wandel gestalten

Gastautor: Prof. Dr. Andreas Knie
Fotos: Westend61, David Ausserhofer

Wer den aktuellen Stand der Technik, das zertifizierte, kanonisierte Wissen, hinter sich lässt, wird leichter Innovationen generieren und die Zukunft mitgestalten können – dies meint zumindest der Mobilitätsforscher Prof. Dr. Andreas Knie, Leiter der Forschungsgruppe Wissenschaftspolitik am Wissenschaftszentrum für Sozialforschung Berlin sowie Geschäftsführer des Innovationszentrums für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel. Ein Zwischenruf.

Die Erkenntnis, dass sich die Welt im Wandel befindet, ist mindestens so alt wie die Welt selbst. Und doch überrascht uns diese Einsicht immer wieder aufs Neue. Etwa im September 2015, als der Börsenwert der erst 2009 gegründeten Firma Uber Technologies Inc. mit etwas mehr als 54 Mrd. US-Dollar höher lag als der von Volkswagen, der zu diesem Zeitpunkt immerhin der zweitgrößte Autobauer der Welt war. Nach nur wenigen Tagen pendelten sich

die Kurse wieder etwas ein. Doch es zeigte sich: Börsen schätzen Potenziale für die Zukunft höher ein als erreichte Wirtschaftskraft. Sie belohnen etwas, das ich als „kalifornischen Weg“ bezeichnen würde. Denn mit Apple, Google, Amazon und Facebook befassen sich vier der sechs teuersten Unternehmen der Welt direkt oder indirekt mit digitalen Plattformen und deren Ökonomie. Und sie alle sind in Kalifornien beheimatet.

Der kometenhafte Aufstieg vom Start-up hin zum Global Player scheint mir in der Art zu denken begründet zu sein. Der aktuelle Stand der Technik ist beim Beschreiten des kalifornischen Weges weniger ausschlaggebend. Eine neue Idee wird allein daran bemessen, ob sie den Menschen, die dafür Geld ausgeben sollen, tatsächlich auch gefällt. Trifft dies zu, dann wird ohne Rücksicht auf die Expertenmeinung ganz pragmatisch entwickelt und erprobt. Die entscheidende Instanz, die in diesem Modell gilt, ist die Attraktivität eines Angebotes für den unmittelbaren Adressaten. Dass dieser nur allzu oft mit den Unzulänglichkeiten einer nicht ausgereiften Technologie zu tun hat, interessiert weniger. Das ist in der Professionskultur von über Jahrzehnten gewachsenen Unternehmen aus guten Gründen anders. In Deutschland hat sich ein herrschender Stand der Technik entwickelt, der gemeinsam von Fachkollegen in einem diskursiven Prozess evolutiv vorangebracht wird. Die Peers – also die Fachkollegen – entscheiden, ob eine neue Idee weiterverfolgt oder fallengelassen wird. Daraus resultiert ein System, das eine hohe Qualität und eine erstaunliche Innovationsdichte in allen Details bietet, allerdings zeichnet sich ein solches System auch durch eine hohe Pfadabhängigkeit aus.

Es ist an der Zeit, die vorherrschende Professionskultur zu relativieren. Es gilt, sich ganz neu zu erfinden, um einen umfassenden und nachhaltigen Weg zu beschreiten – keinen europäischen oder kalifornischen, sondern einen weltweit angemessenen.

Ist dieses System in Zeiten einer digitalen Revolution noch die richtige Antwort? Das ist die alles entscheidende Frage angesichts radikaler Veränderungen. Das Paradebeispiel hierfür ist das Smartphone. Die Idee stammte zwar von Nokia, und auch IBM, Ericsson und BlackBerry versuchten sich zwischen 1996 und 2002 in diesem Entwicklungsfeld, doch erst Steve Jobs erkannte das wahre Potenzial. Das iPhone trat seinen Siegeszug 2007 an, und heute – nur gut zehn Jahre später – benutzen wir fast alle im gewerblichen wie privaten Alltag ein Smartphone. Für die junge Generation hat es sich mittlerweile zum zentralen Wahrnehmungsfilter entwickelt. Alles, was nicht digital nutzbar ist, scheint einfach nicht mehr stattzufinden.

Die Wahl eines Verkehrsmittels erfolgte beispielsweise bislang im Hinblick auf physikalische Eigenschaften und natürlich auch aufgrund von Markenbindungen. Der Kontakt war ein direkter, das Erlebnis ein haptisches, ein unmittelbares. Diese Erlebnisswelten strukturierten auch die Hierarchie des Verkehrsmarktes. Doch die Generationen Y und Z scheinen andere Prioritäten zu setzen. Entscheidend sind nicht

mehr die technische Konfiguration eines Gerätes und seine exklusive Qualität, sondern allein: Ist diese Option hier und jetzt verfügbar? Digitale Plattformen transformieren die Welt der Dinge und Dienstleistungen zu jederzeit orts- und zeitunabhängig verfügbaren Gütern. Wer diese Plattformen organisiert, der beherrscht auch die Welt der Geräte. Genau das ist der Grund, aus dem die Börse den Entwicklern und Betreibern dieser Plattformen so viel Aufmerksamkeit entgegenbringt. Es wird klar: Die Welt ist im Wandel. Wieder einmal.

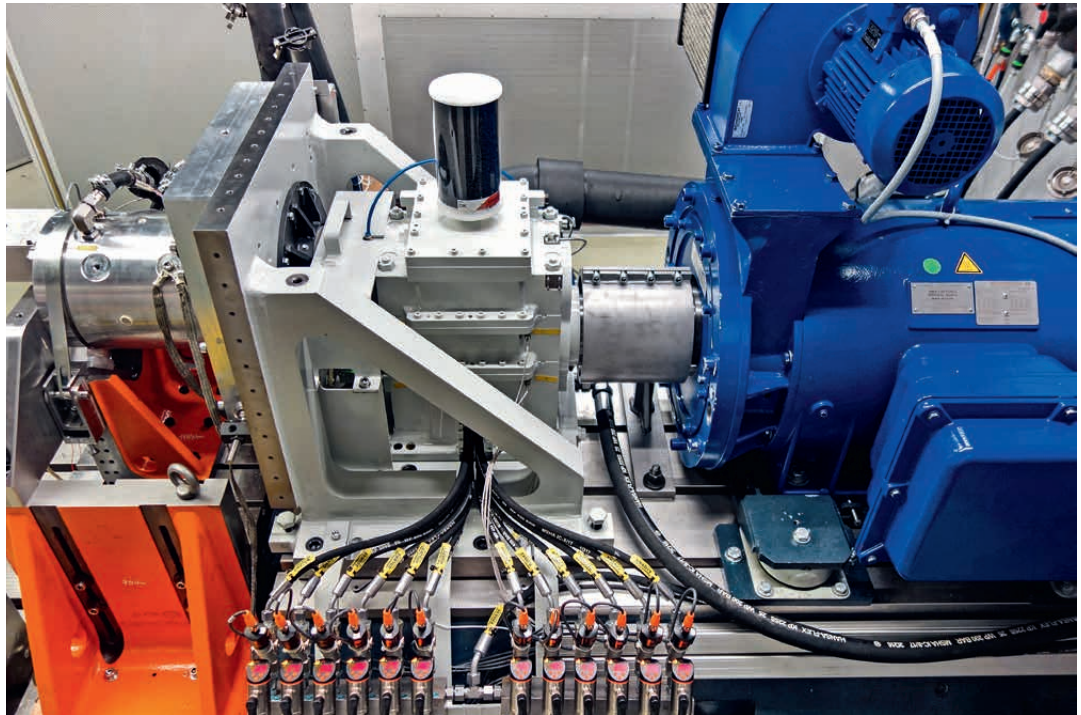
Davor muss sich niemand fürchten, denn was uns am kalifornischen Weg so neu erscheint, das kennen wir schon längst. „Out of the box“ denken, Fachgemeinschaften und tradierte Wege beiseitelassen, leidenschaftlichen Außenseitern Freiraum geben, aus Talenten Unternehmer machen – das kennen wir auch aus Europa. Ein Beispiel ist ein junger Mann aus Böhmen, der mit gerade mal 17 Jahren gegen den erklärten Willen seines Vaters das Elternhaus elektrifizierte oder als gerade Erwachsener den Hybridantrieb voranbrachte. Sein Name: Ferdinand Porsche. Wäre es nach der Gesellschaft gegangen, hätte er den elterlichen Klempnerbetrieb übernommen. Doch er setzte alles daran, seinen Traum zu leben, und besuchte nach seinem Arbeitstag noch Abendkurse für Elektrotechnik an der „Kaiserlich und Königlich Staatsgewerbeschule“ in Reichenberg.

Das Europa, in das der begabte Techniker und Erfinder geboren wurde, ist heute zwar ein anderes, und Reichenberg heißt inzwischen Liberec, doch die Herausforderungen sind ähnlich. Wir haben ein unvergleichbar hohes ökonomisches Wohlstandsniveau und einen Grad an Stabilität erreicht, der uns träge und genügsam macht. Deshalb ist es an der Zeit, die derzeit vorherrschende Professionskultur wieder zu relativieren und die Ressourcen, die uns unsere Gesellschaft bietet, produktiver zu nutzen, um gemeinsam an Projekten der Zukunft zu arbeiten. Um diesen Wandel aktiv zu gestalten, hilft der unverstellte Blick nach Kalifornien. Denn im Grunde ist das, was dort geschieht, die Wiederholung einer Geschichte, die wir bereits kennen. In diesem Bewusstsein können wir uns tatsächlich ganz neu erfinden und beschreiten einen umfassenden und nachhaltigen Weg – keinen europäischen oder kalifornischen, sondern einen weltweit angemessenen Weg. ☛



Prof. Dr. Andreas Knie ist Politikwissenschaftler am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung und Hochschullehrer an der TU Berlin. Seine Forschungsfelder sind die Wissenschaftsforschung, Technikforschung und die Mobilitätsforschung. Von 2001 bis 2016 war Andreas Knie Bereichsleiter für Intermodale Angebote und Geschäftsentwicklung der Deutschen Bahn AG und ist seit 2006 in der Geschäftsführung des Innovationszentrums für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel GmbH (InnoZ) tätig. Gesellschafter sind die DB AG, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie das WZB. Am 1. Januar 2017 hat er die Leitung der Forschungsgruppe Wissenschaftspolitik am WZB übernommen.

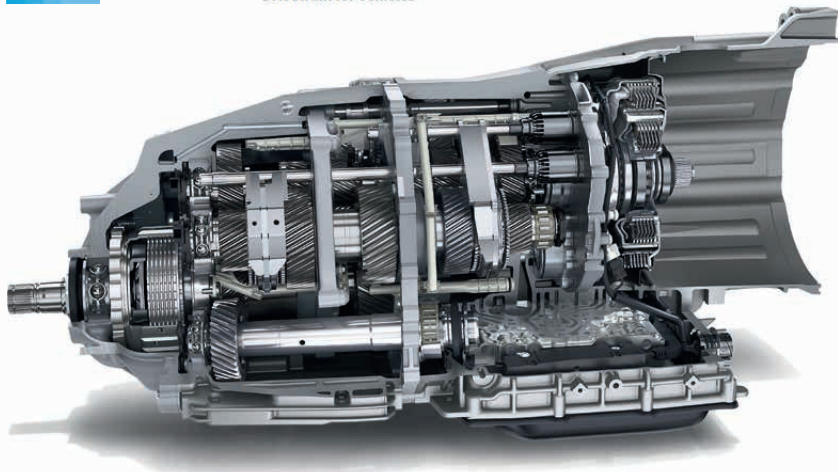
News



ENTWICKLUNG

E-Maschinen-Testing

Porsche Engineering erweitert die Prüfmöglichkeiten im Bereich der Erprobung elektrischer Antriebe. Nun können E-Maschinen mit einer maximalen Drehzahl von bis zu 25.000 1/min getestet werden. Hiermit wird dem gegenwärtigen Trend zu E-Maschinen mit höheren Leistungsdichten und Drehzahlen im Automobilbereich Rechnung getragen. Für den Kunden bedeutet dies eine zukunftsweisende Erweiterung der angebotenen Erprobungs- und Applikationsmöglichkeiten für E-Maschinen und Umrichter.



EVENT

VDI-Messe Dritev

Dritev – das steht für „Drivetrain, Transmission and Electrification in Vehicles“. Dieser zukunftsweisende Kongress ist eine der weltweit größten Networking-Plattformen für Forscher, Entwickler und Hersteller von Antrieben und Fahrzeugen. Begleitet wird der Kongress von einer Fachausstellung mit über 100 internationalen Ausstellern. Auch Porsche Engineering wird bei dieser noch jungen Veranstaltung mit einem Messestand und Experten vor Ort präsent sein.

27.–28. Juni 2018,
World Conference Center,
Bonn/Deutschland



JUBILÄUM

70 Jahre Porsche Sportwagen

Am 8. Juni 1948 erhielt der Porsche „Nr. 1“ Roadster mit der internen Entwicklungsnummer „356“ die Einzelgenehmigung zur Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr und das Nummernschild K45-286 – der Startschuss für einen Sportwagenproduzenten von Weltruf. Porsche feiert dieses Jubiläum weltweit mit dem „Sportscar Together Day“ vom 9.–10. Juni 2018 und einer Sonderschau im Porsche Museum in Zuffenhausen ab dem 9. Juni 2018.



NACHWUCHSFÖRDERUNG

Masterstudiengang in Cluj

Mit einem Get Together haben die Technische Universität von Cluj-Napoca (TUCN) und Porsche Engineering Romania den Start des neuen Masterstudiengangs „Advanced Techniques in Automotive Engineering“ (ATAE) gefeiert. 25 junge Studierende haben nun die Chance, sich im Rahmen des zweijährigen Studiengangs auf die Praxis vorzubereiten. Marius Mihailovici, Geschäftsführer von Porsche Engineering Romania, formuliert es so: „Dieses neue Master-of-Science-Programm soll die Studierenden möglichst praxisnah auf die Herausforderungen der Automobilentwicklung vorbereiten, indem wir ihnen das Know-how und die Expertise unserer Ingenieure mit auf den Weg geben.“



Tiefer vernetzt

Text: Johannes Winterhagen
Fotos: Sven Cichowicz, Illustration: d3

Seit Jahrzehnten fasziniert Wissenschaftler das Thema Künstliche Intelligenz. Viele bisher erschaffene Systeme waren lange Zeit zwar durchaus künstlich, aber alles andere als intelligent. Seit gut sieben Jahren ändert sich das rasant: Mit tiefen neuronalen Netzwerken haben Entwickler mächtige Werkzeuge zur Hand. Doch wie funktioniert das tiefe maschinelle Lernen? Wie lässt es sich für künftige Fahrzeuggenerationen nutzen? Was hat Porsche Engineering damit zu tun? Ein Überblick.

Im Juli 1956 schien die Schöpfung des künstlichen Menschen unmittelbar bevorzustehen. Am renommierten Dartmouth College im US-Bundesstaat New Hampshire hatte eine Gruppe von Informatikern und Mathematikern zu einem kühnen Forschungsprojekt geladen – dem Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. Sprechende Maschinen, menschlichen Gehirnen nachempfundene Netzwerke, sich selbst optimierende Computer und sogar maschinelle Kreativität schienen den Gründern in ihrer Euphorie ganz greifbar. Nach einem arbeitsamen Sommermonat hatten die zehn geladenen Utopisten zwar wenig vorzuweisen außer eng beschriebenem Papier und großen Ideen, doch die Wissenschaftler prägten damals den Begriff „Künstliche Intelligenz“ (KI), und schufen auch ein neues Fachgebiet, das fortan die Welt in Atem halten sollte.

Künstliche Intelligenz: knifflige Definition

Gut 60 Jahre später ist klar: Die sogenannte starke oder generelle, also die allumfassend den Menschen imitierende oder gar ersetzende Künstliche Intelligenz bleibt vorerst Utopie. Kein technisches System wird in absehbarer Zeit den sogenannten Turing-Test bestehen (siehe Box).

Bei den „schwachen“ KI-Systemen, an denen derzeit vorwiegend geforscht wird, ist der Turing-Test gar nicht der Maßstab. Solche Systeme sollen in gewissem Rahmen eigenständig Probleme

bearbeiten oder Fragen beantworten. Die Algorithmen der schwachen KI schaffen es immer besser, konkrete Anwendungsprobleme zu meistern, den Beweis komplexer logischer und mathematischer Sätze etwa. Oder sie fungieren als Gegner bei Schach, Dame oder Go. Sie brillieren bei der Analyse großer Text- oder Datenmengen und stellen das Herzstück von Internetsuchmaschinen dar. Eingebettet in unzählige Smartphone-Apps begleitet uns Künstliche Intelligenz bereits auf Schritt und Tritt in unseren Hosentaschen – meist sind wir Nutzer uns dessen kaum bewusst. Wer mit „Alexa“ oder „Siri“ spricht, dessen Sätze werden von KI-Algorithmen analysiert. Schon John McCarthy, Gründervater der Dartmouth Conference, bemerkte trocken über dieses Schicksal von KI-Anwendungen: „Sobald es funktioniert, nennt es niemand mehr Künstliche Intelligenz.“



Der Turing-Test: Erdacht von dem Matheniegenie Alan Turing (1912–1954), soll dieser Test ein Urteil darüber ermöglichen, ob eine Maschine eine dem Menschen vergleichbare Intelligenz aufweist. Dazu werden ein Mensch und die zu prüfende Maschine in getrennten Räumen eingeschlossen. Von dort aus kommunizieren beide mit einer Testperson, die sich in einem dritten Raum ohne Blickkontakt befindet. Wenn die Testperson nicht unterscheiden kann, ob sie mit dem anderen Menschen oder mit der Maschine kommuniziert, dann gilt der Turing-Test als bestanden.



Künstliche Intelligenz als Chauffeur: In Versuchsfahrzeugen von Porsche können Hochleistungsrechner das Steuer übernehmen. Die Fahrten der geschulten Fahrer und Programmierer beweisen, dass hochautomatisiertes Fahren auf Level 4 schon jetzt machbar ist.

USA

Das Massachusetts Institute of Technology (MIT), das California Institute of Technology (CalTech) und die Stanford University gelten als traditionelle Hotspots in der KI-Forschung.

DFKI

Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz ist die weltweit größte Forschungseinrichtung für Künstliche Intelligenz.

Cyber Valley

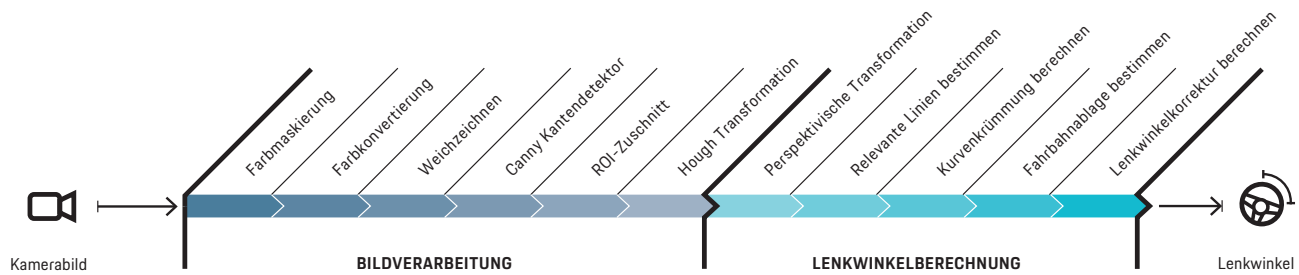
Das 2016 gegründete Cyber Valley in Süddeutschland fördert ein innovatives Klima für KI-Forschung.

Vernetzt wie ein Gehirn

Schon in den frühen Fünfzigerjahren kamen die ersten künstlichen neuronalen Netze auf. Sie sind zentral für den Erfolg der Künstlichen Intelligenz. Einzelne Rechenoperationen sind in einem solchen Netz nicht als ein starres, binäres Computersystem angelegt, in dem es nur zwei Möglichkeiten gibt: 1 oder 0, An oder Aus. Vielmehr sind sie biologischen Nervensystemen nachempfunden. Diese basieren auf dem Prinzip der Schwellenwerte und kennen etliche Größen zwischen 1 und 0; scheinbar endlos viele Nervenzellen sind dort dynamisch verwoben durch wachsende, veränderliche Verknüpfungen. Das menschliche Gehirn lernt, indem diese Verknüpfungen laufend neu gewichtet werden. Häufig genutzte Pfade werden stärker ausgeprägt, seltene Verbindungen verkümmern. Künstliche neuronale Netze laufen zwar auf herkömmlichen Rechnern – sie funktionieren letzten Endes ebenfalls auf Grundlage der Einsen und Nullen –, doch innerhalb dieses Systems erinnern die Funktionsweise und die Schwellenlogik dieser komplexen Algorithmen an ihre biologischen Pendanten.

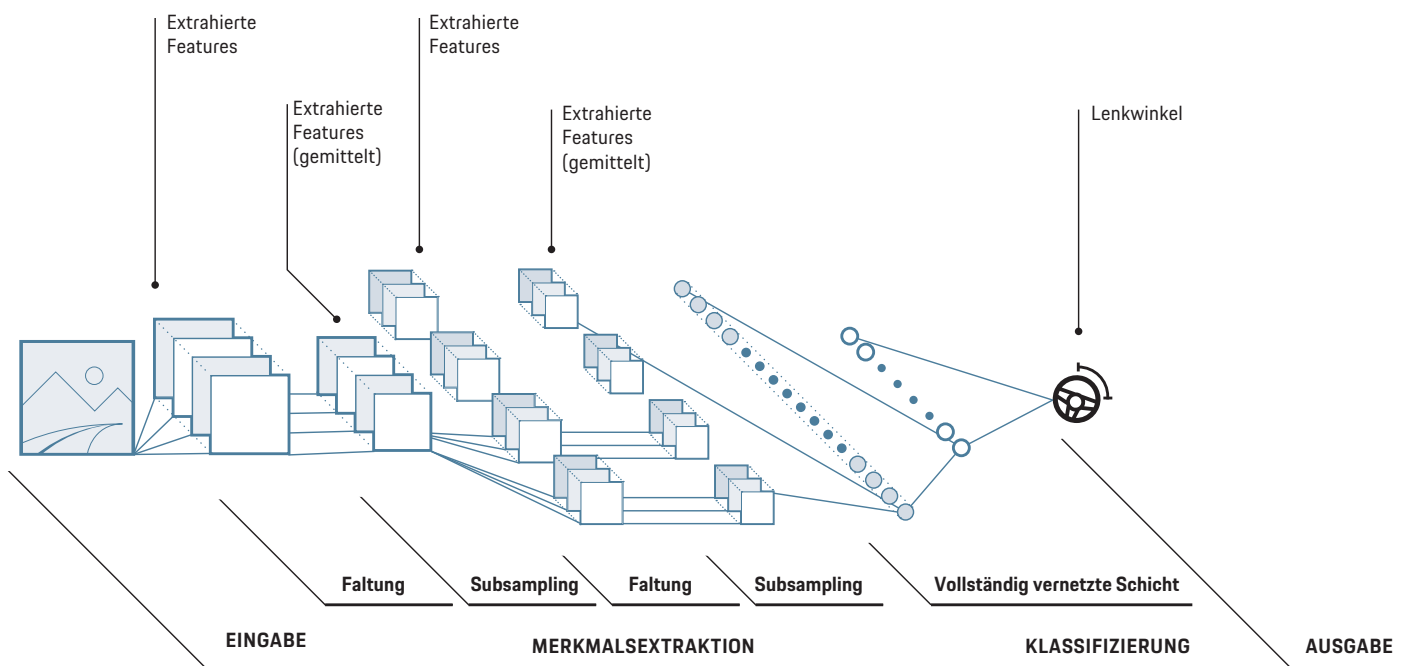
Untereinander vernetzte künstliche Neuronen nehmen Eingabewerte auf und füttern in nachgeschalteten Ebenen angelegte Neuronen mit diesen Informationen. Am Ende dieser Kette liefert eine Ebene von Output-Neuronen einen Ergebniswert. Die variable Gewichtung der einzelnen Verbindungen verleiht dem Netzwerk eine bemerkenswerte Eigenschaft: die Lernfähigkeit. Heute weisen die Netze immer mehr dieser Ebenen auf; sie sind komplexer, weiter verschachtelt – sie sind tiefer. Tiefe neuronale Netzwerke bestehen teilweise aus mehr als hundert dieser hintereinander geschalteten Programmebenen. Als lernende Netzwerke reagieren sie meist so lange auf korrigierendes Feedback von außen, bis sie eine Aufgabe optimal lösen können – beispielsweise in der Bilderkennung. Abertausende bekannter Fotos verschlingen sie dafür während des Trainings, das auch Deep Learning genannt wird, bis sie in der Lage sind, Aussagen über neue Bilder zu treffen, also eine Transferleistung zu erbringen: Eine Katze wird als Katze gesehen; ein Apfel als ein Apfel benannt, selbst wenn dieser halb von Blättern verdeckt ist, und es werden Straßenschilder, Rehe oder Personen erkannt. Eine hohe Treffsicherheit ermöglicht nicht nur, dass sich Roboter-Taxis an die Straßenverkehrsordnung halten, sondern sie unterstützt Ärzte mittlerweile auch bei der Tumorerkennung. Die Aufnahmen aus dem Computertomografen werden immer häufiger vollautomatisch mit medizinischen Bilddatenbanken abgeglichen.

Lange fristeten tiefe neuronale Netze ein Schattendasein in der KI-Forschung. Die chaotisch wachsenden Netzwerke konnten mit der Geschwindigkeit klassisch-deterministischer Algorithmen nicht mithalten.



1

Bisheriger Ansatz: Die Prozesse laufen von Input bis Output in einer linearen Kette ab.



2

Deep Learning im Convolutional Neural Network: Hintereinandergeschaltete Filteroperationen verändern das Eingangsbild so, dass gesuchte Merkmale von Stufe zu Stufe deutlicher sichtbar werden.

Faltung:

Verbindet jeden kleinen Bildbereich mit einem einzigen Neuron. Ergebnis sind mehrere Schichten von „feature maps“, die den gleichen Input erhalten haben. Jede dieser Schichten extrahiert allerdings durch unterschiedliche Gewichtung unterschiedliche Features (Bildinhalte).

Subsampling:

Subsampling (auch Pooling genannt) verwirft überflüssige Informationen, indem es nur die Aktivität des aktivsten Neurons für die nächsten Berechnungsschritte beibehält. Die Abfolge von Convolutions und Subsampling kann beliebig oft wiederholt werden.

Vollständig vernetzte Schicht:

Schließt das Netzwerk ab, verbindet die Ergebnisse der letzten „feature map“ und gibt deren Daten auf interpretierbare Weise aus.

„Tiefe neuronale Netze erzielen heutzutage sehr hohe Trefferquoten.“

Dr. Christian Koelen,
Porsche Engineering

Doch in den Nullerjahren unseres Jahrtausends reichte die Rechenpower von Computern langsam aus, um das Potenzial der tiefen Netze voll auszuschöpfen. Lange war Geoffrey Hinton von der kanadischen University of Toronto für seinen selbstlernenden Ansatz belächelt worden, bis er im Jahr 2012 die ImageNet Challenge gewann, einen Wettbewerb, in dem KI-Systeme gegeneinander antreten, Hunderttausende von Bildern richtig zu interpretieren.

Vielfältige Anwendungen

Tiefe neuronale Netzwerke brillieren überall dort, wo es komplexe Muster zu erfassen gilt: Sie erkennen, interpretieren und übersetzen Sprache, sie analysieren Videosequenzen oder prognostizieren Aktienkursentwicklungen. Sie sind das Herzstück von Sprachassistenten, wie sie Amazon oder Apple einsetzen. Mit einem ausführlichen, aber doch gezielten Training lernen sie, Computerspiele zu spielen oder gar menschliche Großmeister im hochkomplexen

Go-Spiel zu schlagen. In Kombination mit anderen Arten von Netzwerken oder mit der Robotik lassen sich die Fähigkeiten der tiefen Netze weit ausbauen: Schon lange treten bei der alljährlich ausgetragenen Roboterweltmeisterschaft RoboCup künstliche Fußballspieler gegeneinander an. Sie reagieren auf Gegenspieler völlig autonom, interagieren mit Teamkollegen und schießen manchmal sogar ein Tor. Beim letztjährigen RoboCup im japanischen Nagoya konnten sich die intelligentesten Roboter nun auch in anderen Disziplinen ganz autonom miteinander messen: in der Logistik-Liga etwa oder in der Industrieroboter-Kategorie „RoboCup@Work“, in der „Rescue Robot League“ zur Rettung Verunglückter in Katastrophenszenarien oder als verdrahtete Diener im Wettbewerb „RoboCup@Home“.

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz ermöglichen es, in den nächsten Jahren tiefgreifende Veränderungen im Mobilitätssektor voranzutreiben. Denn der Straßenverkehr, erst recht

Testfahrt: Assistenzsysteme – etwa der Spurhalteassistent – profitieren schon heute vom Deep-Learning-Verfahren.





1997

schlug der Supercomputer „Deep Blue“ den Schachweltmeister Garry Kasparov.



2011

gewann der IBM-Rechner „Watson“ in einem US-amerikanischen TV-Quiz gegen zwei menschliche Kandidaten.



2016

besiegte Googles Machine Learning System „AlphaGo“ den Weltmeister im Spiel Go.



2060

wird nach Ansicht einiger ernstzunehmender Wissenschaftler KI menschliche Intelligenz übertreffen.

in urbanen Ballungszentren, ist so komplex, dass klassische Algorithmen an ihre Grenzen stoßen, wenn hochautomatisierte oder gar autonome Fahrzeuge entwickelt werden sollen. Die Ursache erläutert Dr. Christian Koelen, Fachprojektleiter bei Porsche Engineering, so: „Wenn wir alle denkbaren Parametervariationen mit klassischen Algorithmen abdecken wollen, dann bräuchten wir sehr lange und es entstünden hohe Kosten für Programmierung und Tests.“ Um andere Verkehrsteilnehmer, Fußgänger zum Beispiel, im Rahmen der Objektklassifikation sicher zu erkennen, setzt Porsche Engineering daher auf die Methode des Deep Learning. „Tiefe neuronale Netze erzielen heutzutage sehr hohe Trefferquoten“, bestätigt Koelen.

Vielversprechende Praxistests

Künstliche Intelligenz hilft aber nicht nur bei der Umgebungserkennung während des automatisierten Fahrens. Auch Assistenzsysteme, etwa der Spurhalteassistent, können von Deep-Learning-Verfahren profitieren. Dass das funktioniert, hat Johann Haselberger von Porsche Engineering anhand einer Machbarkeitsstudie nachgewiesen. Keine triviale Aufgabe, schließlich greift ein solches Assistenzsystem während der Fahrt in die Lenkung ein.

Damit das neuronale Netz in Sekundenbruchteilen die richtige Entscheidung trifft, muss es zunächst trainiert werden. In einem Versuchsfahrzeug, das mit einem Hochleistungsrechner und zwei neuen Videosensoren ausgestattet war, unternahmen Profifahrer lange Fahrten im Stuttgarter Raum. Die Lenkbewegungen des menschlichen Fahrers wurden dabei laufend mit den Videoaufnahmen der vorausliegenden Straße korreliert. Etwa die Hälfte der Strecken führte über Autobahnen, die andere Hälfte mit dynamischer Fahrweise über Landstraßen.

Nach einigen Wochen folgte die Nagelprobe: Das neuronale Netz durfte erstmals selbst ans Steuer. „Sowohl in der Computersimulation, als auch bei der realen Erprobung auf der Straße funktionierte das auf Anhieb ziemlich gut“, so Haselberger. Doch es zeigte sich auch, dass es auf dem aktuellen Entwicklungsstand noch hier und da ein paar Schwachstellen gibt. Denn die Robustheit des auf dem neuronalen Netz basierenden Reglers hängt von der Menge der eingefahrenen Trainingsdaten ab und die Regelgüte wiederum stark von dem verwendeten Trainingsmaterial. So können spezielle Situationen, die der

„Wir verbinden eine klassische Porsche-Tugend – die Querdynamik – mit der Künstlichen Intelligenz, die für uns eine neue Kernkompetenz darstellt.“

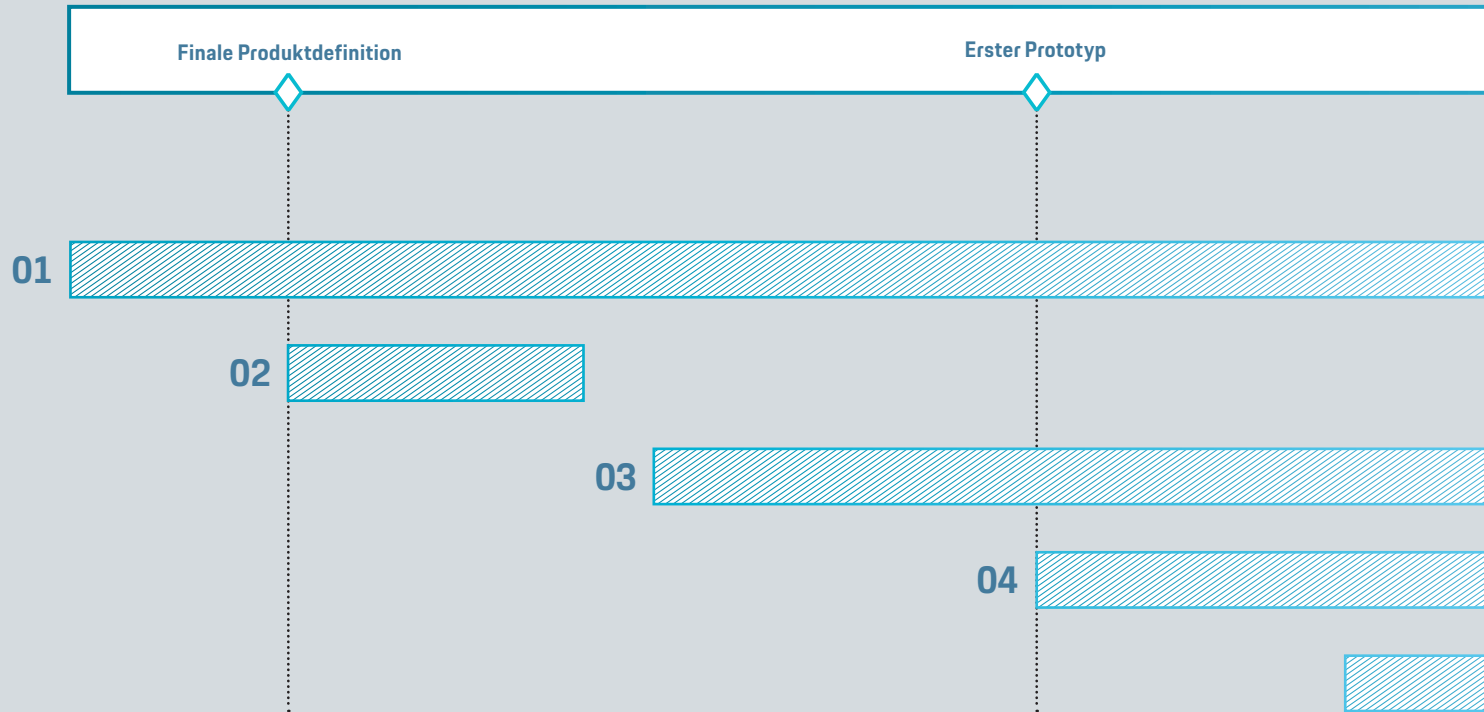
Johann Haselberger,
Porsche Engineering

Regler während des Trainings noch nicht „gesehen“ hat – wie zum Beispiel eine Baustelle mit Sondermarkierungen – in der Realität meist nur sehr schlecht bewältigt werden. Zu gefährlichen Situationen kann das allerdings nicht führen: der klassische Regler läuft im Hintergrund immer mit. Würden die neuronalen Netze unsinnige Werte berechnen, wären sie sofort überstimmt. Eine solche Kombination aus maschinellem Lernen und klassisch-deterministisch funktionierenden Algorithmen heißt „Hybridsystem“. Nach Ansicht vieler Experten gehört solchen Hybridsystemen die nähere Zukunft in der Automobilindustrie.

Die sich anschließenden Straßentests waren bei Redaktionsschluss noch nicht vollständig abgeschlossen, doch für Koelen ist bereits jetzt klar: „Die Technik hat großes Potenzial, den Fahrer noch besser zu unterstützen. Ein Serieneinsatz ist für uns Anfang des kommenden Jahrzehnts denkbar.“ Bis dahin ist noch einige Arbeit zu leisten, denn in einem Serienauto muss der Fahrer zum Beispiel darüber entscheiden können, ob er Kurven lieber sportlich-dynamisch oder zurückhaltend angehen will. Und das Assistenzsystem muss auch dann richtig reagieren, wenn der Fahrer mitten in der Kurve zwischen beiden Modi hin- und herschaltet. Haselberger freut sich auf die vor ihm liegende Arbeit: „Wir verbinden eine klassische Porsche-Tugend – die Querdynamik – mit der Künstlichen Intelligenz, die für uns eine neue Kernkompetenz darstellt. Das ist sehr spannend.“ Wer wollte ihm da widersprechen? ☛

Weiterführende Literatur zu diesem Thema

- **Ulrich Eberl:** *Smarte Maschinen, Wie Künstliche Intelligenz unser Leben verändert*, Carl Hanser Verlag, Juni 2016
- **Christoph Dröser:** *Total berechenbar?: Wenn Algorithmen für uns entscheiden*, Carl Hanser Verlag, März 2016
- **Yoshua Bengio, Aaron Courville, Ian Goodfellow:** *Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning)*, The MIT Press, Januar 2017
- **Tariq Rashid:** *Make Your Own Neural Network*, CreateSpace Independent Publishing Platform, März 2016



Die Zukunft im Test

Testing in jeder Phase des Entwicklungsprozesses – das ist das A und O erfolgreichen und zielorientierten Engineerings. In fünf Dossier-Themen stellen wir unsere Arbeitsweise, unsere Philosophie und unsere Innovationen in diesem elementaren Bereich vor. Die Balken oben zeigen, wann im Produktentstehungsprozess welcher der unten stehenden Aspekte eine Rolle spielt: von der ersten Prüfung einer Software bis zur finalen Testfahrt.



01 Software-Testing

Die Elektronik im Auto wird immer komplexer. Intensives Testen von Steuergeräten am HiL-Prüfstand sorgt für ihre sichere Funktion.

→ S. 20

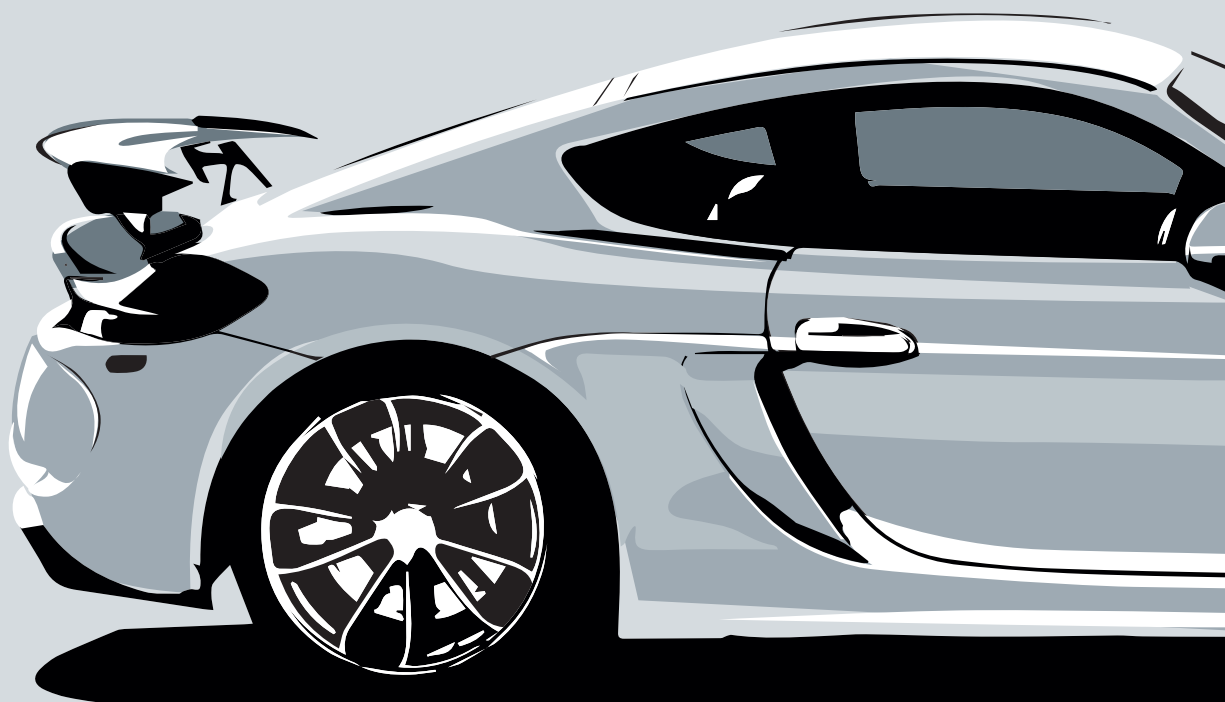
02 BMS Mini-HiL

Der von Porsche Engineering entwickelte Prüfstand im Miniformat testet Batteriemanagementsysteme (BMS) von Elektroantrieben.

→ S. 26

Produktionsstart (SOP)

05



03 Antriebsstrang

Bei Porsche muss der Antriebsstrang die Kraft leistungsstarker Sportmotoren auf die Räder übertragen. Das bedeutet höchste Anforderungen an das Testing.

→ S. 30

04 Nardò Technical Center

Das legendäre Nardò Technical Center baut seine Infrastruktur weiter aus – für das Testen der Mobilität von morgen.

→ S. 36

05 Interview: Mark Webber

Der ehemalige Formel-1- und WEC-Pilot Mark Webber über die Unterschiede des Testings von Renn- und Straßenfahrzeugen.

→ S. 44

TESTING

Drei Stufen zur Perfektion



Text: Hans Schilder

Dem Testing fällt bei der Entwicklung von Fahrzeugen eine wichtige Rolle zu. Dabei erlebt das Testing genau dieselben dynamischen Veränderungen wie die Automobilindustrie selbst. Immer komplexere Systeme müssen in immer kürzerer Zeit absolut zuverlässig abgeprüft werden. Dabei wird deutlich: Simulation, Prüfstand und Realtest werden auch weiterhin ein Dreiklang bleiben. Doch die Gewichtungen verschieben sich. Porsche Engineering entwickelt deshalb neue Testverfahren und optimiert diese kontinuierlich aufs Neue. Denn die Mobilität von morgen schon heute zu testen, ist eine spannende Herausforderung – und damit Thema dieses Dossiers.

Testing ist ein Feld, das bei Porsche Engineering eine zunehmend bedeutende Rolle spielt. Denn nach der Konzeption eines Projekts, nach der Konstruktion und allen Berechnungen folgen drei Stufen der Erprobung, damit eine Idee zum optimalen Ergebnis reift. Jede Porsche Engineering-Entwicklung durchläuft umfassende Tests, jede noch so kleine Komponente, jedes komplette Fahrzeug unterzieht sich einem formal immer gleichen, aber inhaltlich ständig neuem Prozedere:

- Simulation mit Computermodellen,
- intensive Erprobung der Komponenten auf dem Prüfstand,
- Prüffahrten mit realen Fahrzeugen auf Testgeländen und der Straße.

Simulation – schnell, kostengünstig, reproduzierbar

Fahrzeugentwicklung und das zugehörige Testing sind heute ohne den Einsatz digitaler Werkzeuge nicht mehr vorstellbar. Denn mit fortschreitender Komplexität und Variantenvielfalt kommt es zu einem exponentiell steigenden Testaufkommen, das erst durch intelligente Prüfmethode beherrschbar wird.

Simuliert am Rechner lässt sich jedes Bauteil im Hinblick auf die verschiedensten Belastungsaspekte untersuchen. Dadurch können die Ingenieure Fahrzeugkomponenten sowohl in ihrer Modellierung als auch in ihrer Funktion für die vorgesehene Anwendung optimieren – lange, bevor sie tatsächlich real gebaut werden. Bedingung: Die Simulationsmodelle müssen die Realität richtig wiedergeben. Nach dem Ende der Simulationsphase erwarten die Entwickler, dass die Funktionen eines Produkts bereits zu mindestens 85 Prozent korrekt ablaufen.

Prüfstand – Komponenten im Intensivtest

Ganz am Anfang der Prüfstandphase spielt eine Entwicklung von Porsche Engineering eine entscheidende Rolle: das Mini-HiL (siehe Seite 26). Dieses Hardware-in-the-Loop-Tool im Kleinstformat eröffnet den Ingenieuren völlig neue Möglichkeiten. Insbesondere Steu-

ergeräte und Batteriemanagementsysteme können bereits in einer sehr frühen Phase in einer Simulations- und Emulationsumgebung auf Haltbarkeit und Fehleranfälligkeit getestet werden. Somit ist an dieser Stelle das Mini-HiL als Brücke zu betrachten, die Simulation und reale Komponenten miteinander verbindet.

Dieses Testing im Kleinen wäre ohne ein umfassenderes Funktions- und Softwaretesting allerdings nicht zielführend. Wie genau Hardware-in-the-Loop-Tests ablaufen und welche Kenngrößen hier eine Rolle spielen, ist Gegenstand eines weiteren Dossier-Artikels (siehe Seite 20). Hardware und Software treffen in dieser Phase auf immer mehr reale Komponenten. Auf der Basis von Simulationsergebnissen stellen Spezialisten von Porsche Engineering Prüfmuster solcher Komponenten für Prüfstandtests her. Dafür greifen sie auf eine Kombination aus handwerklichem Können und Hightech zurück. Neben der Präzision zählen dabei Zeit- und Kostenersparnis für den Kunden. Diesen unterschiedlichen Zielen trägt Porsche Engineering auch mit Fertigungsmethoden wie etwa dem Additive Manufacturing, Rapid Prototyping und Rapid Tooling Rechnung. Nach den einzelnen Komponenten werden dann erstmals auch Systeme im Verbund getestet.

Ein gutes Beispiel für das Komponententesting stellen Antriebsstränge und ihre Komponenten dar, die bis an ihre Grenzen und darüber hinaus belastet werden, um die Dauerhaltbarkeit unter reproduzierbaren Bedingungen in Extremsituationen zu prüfen (siehe Seite 30). Für intensive Probeläufe greifen die Experten auf eine Vielzahl modernster Prüfstände zurück. Hierzu zählen Systemprüfstände für Motoren, Achsen, Fahrwerke, Antriebsstrang und Bremsen sowie Schwingungsprüfstände für statische und dynamische Bauteilprüfungen.

Realtest – Können am Steuer von Aggregateträgern und Erbkönigen

Die Praxis zeigt, dass Simulation und Prüfstandversuche Grenzen haben. Schwingungen und Resonanzen im Fahrzeugkörper, unerwartete Effekte durch das Zusammenspiel aerodynamischer Einzelkomponenten – all dies sind mögliche Szenarien, die sich erst im fertigen Auto zeigen. Für die Erprobung von Fahrzeugen unter realen Bedingungen müssen Prototypen eine Dauerlauf-Erprobung unter Extrembedingungen zur Absicherung der Betriebsfestigkeit bestehen. Als Prüfstrecke zur sicheren und ganzjährigen Erprobung nutzt Porsche Engineering die hervorragenden Bedingungen des Nardò Technical Center, das Porsche Engineering selbst betreibt (siehe Seite 36). Der Ausbau der legendären Strecke, weiter verbesserte Werkstätten sowie neue Datennetze und Sicherheitseinrichtungen garantieren auch künftig, dass Nardò die hohen Anforderungen an das reale Testing mehr als nur erfüllt. Mitunter fahren in Apulien aber auch prominente Tester wie Mark Webber. Im Interview (siehe Seite 44) verrät der ehemalige Formel-1- und WEC-Fahrer, welche Qualitäten ein Testfahrer mitbringen muss.

Simulation, Prüfstand, Realtest – auch wenn sich Gewichtungen verschieben oder sich Anforderungen ändern: Es wird keine Porsche Engineering-Entwicklung geben, die nicht diese drei Stufen erklimmen muss. Der Anspruch von Porsche Engineering ist, in kürzestmöglicher Zeit höchste Qualität zu schaffen. Dafür arbeitet ein stetig wachsendes Team in allen Stufen des modernen Testings, wie dieses Dossier zeigt. 🚗

TESTING

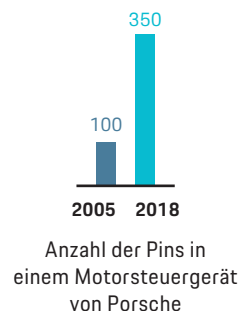
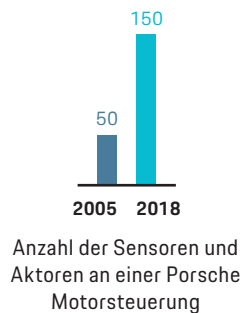
Der Schlüssel zu effektivem Testing

Text: Dr. Muhammed Türker und Heiko Junker
Fotos: Markus Bolsinger

Mit dem intensiven Einsatz von Hardware-in-the-Loop-Prüfständen zum Testen von Steuergeräten hat Porsche Engineering ein ehrgeiziges Ziel im Blick: Die Entwicklungszeit von neuen Autos zu verkürzen bei gleichzeitig höchsten Ansprüchen an Qualität und Leistung aller Komponenten.

Die Elektronik im Auto wird immer komplexer. Das belegt die steigende Zahl von Sensoren und Aktoren. 2005 waren es in einem Porsche 997 etwa 50. In aktuellen Porsche-Modellen summieren sie sich auf rund 150. Gleichzeitig stieg die Zahl der Pins an den Motorsteuergeräten um mehr als das Dreifache von rund 100 auf etwa 350. Eine ähnliche Entwicklung verzeichnen auch Steuergeräte für Getriebe oder Fahrwerk.

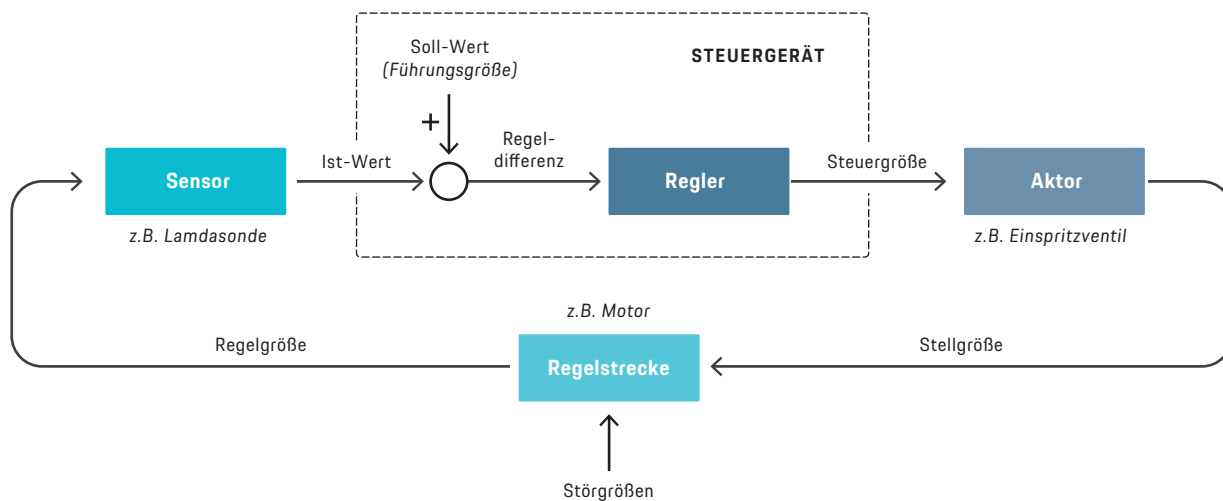
Diese elektronischen Steuergeräte interpretieren fortwährend Sensormessungen und veranlassen Aktoren bei Abweichungen von den hinterlegten Soll-Werten zu entsprechenden Korrekturmaßnahmen (siehe Abb. 1). Damit sind sie essentiell für den korrekten Ablauf von vielen Fahrzeugfunktionen, und ihre Hard- und Software muss unter allen Umständen perfekt funktionieren. Dieser hohe Anspruch findet seinen Niederschlag in einem intensiven Testing.



Virtuelle Umgebung

Man kann es auf eine einfache Formel reduzieren: Je komplexer die Fahrzeug-Elektronik, desto umfangreicher müssen auch die Tests sein, mit denen Ingenieure die Steuergeräte an sogenannten HiL-Prüfständen (Hardware-in-the-Loop) absichern, die bei Porsche Engineering für die unterschiedlichsten Fahrzeugkomponenten, wie zum Beispiel Steuergeräte für Batteriemanagementsysteme (siehe Seite 26), zur Verfügung stehen. Für Testzwecke simulieren HiL-Prüfstände die vorgesehene Fahrzeugumgebung. Die realen elektronischen Steuergeräte werden über ihre Ein- und Ausgänge angeschlossen. Dank der virtuellen Umgebung können an einem HiL-Prüfstand Veränderungen und Anpassungen an Fahrer und Umwelteinflüssen zügig umgesetzt werden. Außerdem sind die Tests reproduzierbar und lassen sich für verschiedene Software-Stände wiederholen.





1

Messung und Regelung: Sensoren liefern den Input für das elektronische Steuergerät, das diese gemessenen Ist-Werte mit Soll-Werten vergleicht. Weichen die Ist-Werte von den Soll-Werten ab, veranlasst das Steuergerät über Aktoren entsprechende Korrekturen.



Dr. Muhammed Türker
Fachprojektingenieur
im Bereich funktionale
Absicherung am Hardware-
in-the-Loop-Prüfstand für
Getriebe-Steuergeräte

Darüber hinaus ist die Ressource „HiL-Prüfstand“ nicht so knapp wie die Ressource „reales Entwicklungsfahrzeug“.

Die Prüfumgebung im HiL erlaubt zahlreiche Tests des Steuergeräts:

- **Schnittstellentests:** Sie überprüfen die Skalierung zwischen Eingangsgrößen zum Steuergerät und internen Größen im Steuergerät.
- **Diagnosetests:** Sie beinhalten Signalmanipulationen auf BUS-Ebene oder Manipulationen auf elektrischer Ebene sowie Kommunikationstests.
- **Funktionstests:** Sie dienen dazu, die Reaktion der Funktions-Software auf Manipulationen von verschiedenen Eingangsgrößen zu prüfen.
- **Stresstests:** Sie wiederholen einen Vorgang innerhalb eines definierten Zeitfensters häufig oder gehen in den Langzeitbetrieb ein.
- **Extremtests:** Extremsituationen, wie beispielsweise das Einstellen eines Antriebsmomentes bei aktiver Parksperre, können mit Testabläufen simuliert werden, ohne das Risiko einzugehen, irreversible Schäden an der Hardware zu verursachen.

Erst einzeln, dann im Verbund

In der Regel testen Prüfspezialisten Steuergeräte zunächst einzeln an einem Komponenten-HiL-Prüf-

stand. Hierzu schließen sie das Steuergerät als einzige reale Komponente an einen Prüfstand an. Ist dabei die Absicherung erfolgreich, prüfen sie die Funktionssoftware in einem Verbund. Dazu schließen sie mehrere in Wechselwirkung stehende Steuergeräte real an einen HiL-Prüfstand an.

Die nicht real vorhandenen, aber erforderlichen Steuergeräte im Prüf-Netzwerk bilden sowohl beim Komponenten-HiL-Prüfstand als auch beim Verbund-HiL-Prüfstand eine sogenannte Restbussimulation nach. Basis für die Restbussimulation ist eine Kommunikations-Matrix (K-Matrix). Sie umfasst Informationen über Signale, die einzelne Steuergeräte senden oder empfangen wie Zykluszeit, Default-, Fehler- oder Initial-Werte.

Modell für Simulationen erstellen

Neben der Restbussimulation umfasst die Abbildung der realen Welt eine Simulation der Fahrzeug-Umgebung wie Fahrer, Umwelt und Fahrzeug. Die Schnittstelle vom Simulationsmodell zum Steuergerät, die sogenannte IO-Anbindung, umfasst elektrische Messtechnik und Signalgeneratoren. Eine mögliche Entwicklungsumgebung für Simulationen ist „Matlab Simulink“ (Mathworks), das Porsche Engineering am Fahrwerks-, Motor- und Getriebe-HiL einsetzt. Das mit „Matlab Simulink“ erstellte Modell wird kompiliert und als ausführbare Datei auf den Echtzeitrechner im HiL-Simulator geladen. Übermittelt werden die Signale zum Steuergerät (routing) über IO-Karten, Signal-Konditionierung und Failure-

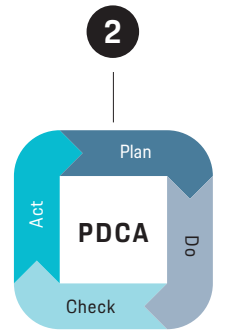
Insertion-Unit (FIU). Die IO-Karten können digitale und analoge Signale verarbeiten. Die FIU ermöglicht, elektrische Fehler wie Kurzschluss nach Masse, Kurzschluss nach Plus oder Leitungsunterbrechung zu simulieren. Zum Manipulieren und Auslesen der Signale kommen Tools wie CANape, INCA, DiagRA und ControlDeskNG zum Einsatz.

Testprozesse schaffen Vertrauen in die Software

Eine über Jahre immer weiter verfeinerte Teststrategie erlaubt es inzwischen, ein Maximum von Fehlern mit einer endlichen Anzahl von Tests herauszufiltern. Erst wenn vollständiges Vertrauen in einen neuen Software-Stand erreicht ist, gehen die Entwickler den nächsten Schritt. Grundlage jedes Entwicklungsschrittes ist das Lastenheft. Die dort geforderten Funktionsumfänge definieren die Testspezifikationen. Diese werden zum Beispiel in der Software DOORS (Dynamic Object Oriented Requirements System) verfasst und strukturiert verwaltet. DOORS erlaubt es, einzelne Testfälle über Attribute verschiedenen Projekten zuzuordnen. So kann zum Beispiel ein bestimmter Testfall an mehreren Testumgebungen, für verschiedene Baureihen und Steuergeräte ausgeführt werden. Diese zentrale Verwaltung verhindert unnötig identische Testfälle und minimiert den Pflegeaufwand. Der Testprozess ist in einen pdca-Zyklus (plan do check act) eingebunden (siehe Abb. 2).

Damit die Tests jederzeit nachvollziehbar sind, werden die Testergebnisse in einem Report im Konzern-Tool EXAM (Extended Automation Method) zusammengefasst. In diesem Report sind die Vorbedingungen, die einzelnen Testschritte und die beobachteten Ereignisse klar und deutlich dargestellt. Dabei wird ein Testfall mit „in Ordnung“ bewertet, wenn das erwartete Ergebnis mit dem beobachteten übereinstimmt. Bei einer Nichtübereinstimmung kann ein Testfall als „offen“ gesetzt werden. Ursachen für offene Testfälle können zum Beispiel mit Verzögerung eintretende Ereignisse sein, die mit den Verantwortlichen geklärt werden.

Die Schnittstelle vom Simulationsmodell zum Steuergerät: Die sogenannte IO-Anbindung umfasst elektrische Messtechnik und Signalgeneratoren.



P

Plan:

Das Lastenheft beschreibt die Anforderungen.

D

Do:

Die Anforderungen (später auch Änderungen) werden in Software umgesetzt.

C

Check:

Tests werden am HiL-Prüfstand durchgeführt.

A

Act:

Die Testergebnisse werden ausgewertet und notwendige Änderungen festgelegt.

Wiederholung in regelmäßigen Zeitabständen

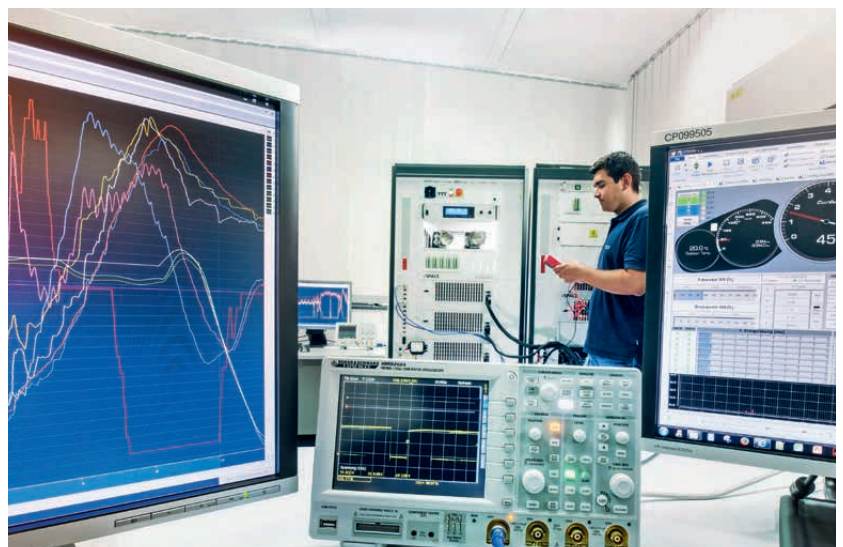
Nach jedem Testdurchlauf führen Funktionserweiterungen und/oder Fehlerbehebungen zu einem neuen Programm- oder Datenstand. Dieser neue Stand unterliegt wiederum einem Testdurchlauf. Funktionserweiterungen bzw. Fehlerbehebungen finden in regelmäßigen Zeitabständen statt. Zum Software-Release soll die Differenz zwischen dem erwarteten Verhalten und dem beobachteten Verhalten gegen Null tendieren.

Zu den periodischen Software-/Daten-Anpassungen wiederholen sich diese Schritte:

- Update der Testspezifikation in den Testfällen in DOORS,
- Synchronisieren der Testfälle in EXAM,
- Flashen des neuen SW-Stands auf das Steuergerät,
- bei Bedarf: Anpassung der Restbus-Simulation,
- bei Bedarf: Anpassung des Simulationsmodells,
- Testdurchführung,
- Kommunizieren der Testergebnisse an die Systemverantwortlichen,
- Durchsprache der Testergebnisse.

Automatische Tests sparen Zeit und Geld

Durch immer komplexer werdende Systeme ist der Testaufwand in den letzten Jahren erheblich gewachsen. Insbesondere muss eine Vielzahl von Tests immer wieder neuen Anforderungen angepasst werden. Dadurch werden kürzere Entwicklungsschleifen notwendig. Werden Tests dazu manuell implementiert, steigt die Fehleranfälligkeit. Logische Konsequenz ist deshalb, Tests immer mehr automatisiert durchzuführen.





Heiko Junker
Leiter Elektrik/Elektronik
im Bereich Antriebsstrang

Ein automatischer Testablauf bietet zudem den Vorteil, dass Testergebnisse schnell vorliegen. Damit werden Fehler schnell und rechtzeitig gefunden und unnötige Kosten vermieden.

Weitere Zeiteinsparungen ergeben sich durch die gängige Praxis, dass die Test-Vorbereitungen tagsüber durchgeführt werden und die Tests über Nacht oder über das Wochenende laufen. Am folgenden Tag finden die Nachbereitungen statt – etwa vereinzelt manuelle Tests oder erratisches Überprüfen der Ergebnisse. Damit steigert automatisiertes Testen die Effizienz und bietet aufgrund der schnellen Umsetzung von vielen Testfällen pro Zeiteinheit eine hohe Testtiefe.

Automatisierte Tests werden mit Hilfe von EXAM durchgeführt. Die in DOORS spezifizierten Testfälle werden mit EXAM synchronisiert und stehen dem Tester in Form von Testfällen mit zugehöriger Testbeschreibung zur Verfügung.

Damit sind verschiedene Wege mit automatisiertem Testablauf möglich:

- Ein Tester implementiert die Testfälle anhand der Testbeschreibung manuell; der Test läuft anschließend automatisiert,
- automatisierte Testimplementierung aus Excel-Tabellen und automatisierte Testdurchführung – geeignet für einfache Teststrukturen wie z.B. Botschaftsaussetzer,
- generische Testimplementierung und automatisierte Testdurchführung – eine erweiterte Möglichkeit bei eindeutigen und gut strukturierten Testfällen.

Automatisiertes Testen steigert die Effizienz und bietet gleichzeitig eine hohe Testtiefe.

HiL im Produktentstehungsprozess

Porsche Engineering bezieht HiL-Prüfstände bei der Entwicklung eines Produkts schon frühzeitig mit ein und begleitet im Produktentstehungsprozess die vier Bauteile-Musterphasen (siehe Abb. 3) kontinuierlich mit umfangreichen Tests bis zum Start-of-Production (SOP).

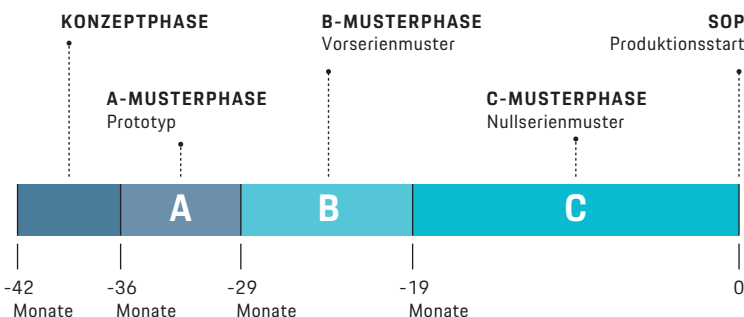
Etwa im 42. Monat vor SOP beginnen die Vorbereitungen zu den HiL-Prüfstandsaufbauten. Etwa sechs Monate später startet die A-Musterphase. In dieser Phase überprüfen die Ingenieure Grundfunktionen und entscheiden auf der Basis dieser ersten Testergebnisse, welche Schritte für den weiteren Entwicklungsverlauf nötig sind. Zu den Arbeiten in dieser Phase gehören unter anderem die Inbetriebnahme des ersten Programm-/Datenstands, sämtlicher Aktoren und Sensoren, der Bus-Systeme sowie der Schnittstellen zwischen Software und Hardware.

Die B-Musterphase dient der Überprüfung der neuen Funktionsumfänge und umfasst letzte Optimierungen hinsichtlich der Serienentwicklung. Zu den Arbeiten in dieser Phase gehören unter anderem Fehlersimulationen und Schnittstellentests.

In der C-Musterphase werden erweiterte Funktionsumfänge in ihren Varianten überprüft und eine technische Freigabe für einen Serienstand erteilt. In dieser Phase stehen Funktionstests, Fehlerersatzmaßnahmen, virtuelle Probefahrten, die Analyse

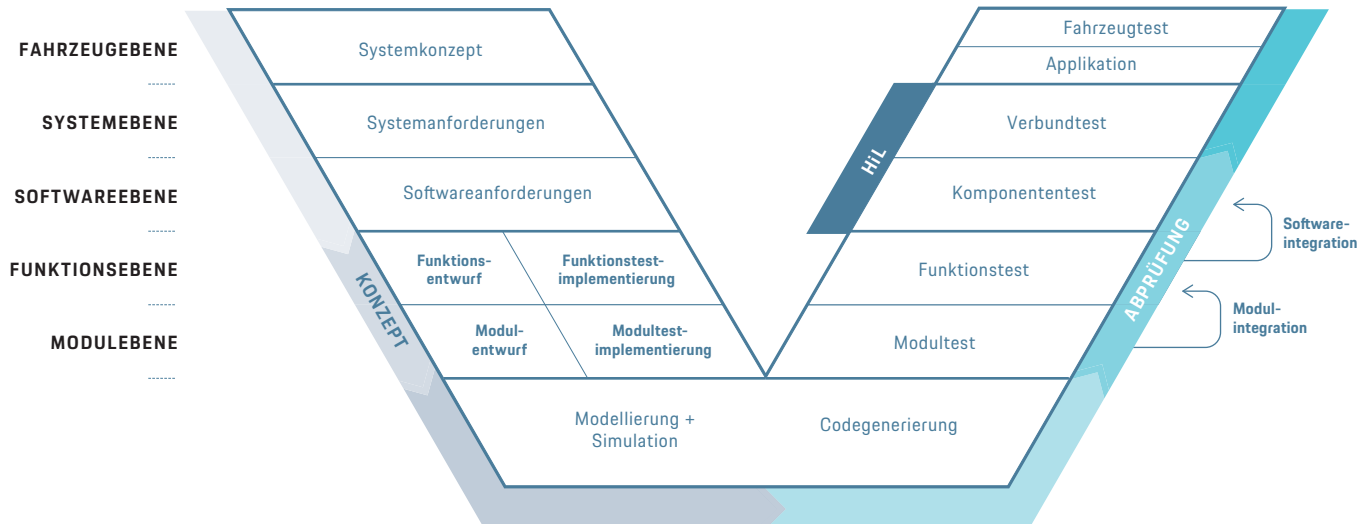
3

Dreieinhalb Jahre: Ein Produkt in der Entwicklung durchläuft bis zum Produktionsbeginn eine Konzeptphase sowie drei Musterphasen.



4

Konzept- und Prüfphasen im V-Modell: Die einzelnen Schritte durchlaufen die gleichen Ebenen – die Prüfschritte erfolgen allerdings in umgekehrter Reihenfolge. Die Tests am HiL umfassen Komponenten- und Verbundtest.



schwer reproduzierbarer Fehler sowie Dauertests neben anderen Tests auf dem umfangreichen Prüfprogramm.

Die Testaktivitäten im Bereich Motor-, Fahrwerk- und Getriebe-HiL sind im V-Modell primär in der Software- und Systemebene einzuordnen, Aktivitäten im Bereich der Applikation in der Fahrzeugebene (siehe Abb. 4). Somit begleitet die HiL-Technologie den Produktentstehungsprozess optimal und ermöglicht es, den Prozess effizient zu gestalten.

Ausblick

Aktuell kann eine Testbeschreibung automatisiert interpretiert und der Test automatisiert durchgeführt werden. Außerdem lassen sich bereits vereinzelt Tests automatisiert aus der Vernetzungsmatrix erstellen, sodass eine explizite Testbeschreibung nicht vorhanden sein muss.

Künftig sollen Testspezifikationen anhand von gegebenen Daten, wie Vernetzungsmatrix und Lastenheft, automatisiert erstellt und automatisiert in Code-Zeilen umgeschrieben werden. Dies setzt jedoch teilweise eine weitere notwendige Vereinheitlichung bzw. Standardisierung von digital lesbaren Lastenheften voraus. Daran arbeitet Porsche Engineering intensiv.

Im Fokus für die Zukunft steht auch eine automatisierte HiL-Prüfstands-Konfiguration aus Steuer-

gerät-, Sensor- und Aktorspezifikationen inklusive Kabelbaumdefinition, I/O-Konfiguration und Restbus-simulation. Parallel forschen und arbeiten die Ingenieure von Porsche Engineering an Künstlicher Intelligenz (KI), die den Tester in seinen Aufgaben künftig stark unterstützen und entlasten kann. Damit wird sich der Tester in Zukunft noch intensiver mit den eigentlichen Herausforderungen in der Entwicklung der Funktionssoftware befassen können. ◀



Zusammengefasst: Testen spart effektiv Kosten und Zeit

Unter dem Vorwand, Zeit oder Kosten zu sparen, wird Testen oft vernachlässigt. Die Praxis zeigt allerdings, dass Testen tatsächlich eines der effektivsten Mittel zur Kosten- und Zeiteinsparung ist. Vor allem minimieren Tests das Risiko, spät im Entwicklungsprozess – vielleicht sogar erst im Betrieb beim Endkunden – Fehler aufzudecken und kostenintensiv korrigieren zu müssen.

Porsche Engineering setzt für die immer komplexer werdenden Steuergeräte in Fahrzeugen auf intensive Tests auf HiL-Prüfständen. Dies ermöglicht:

- Qualitätssteigerung des Endproduktes trotz Kosten- und Zeiteinsparung – zudem führt das Absichern der Funktionsweise der Hardware und Software parallel zur Produktentwicklung zu einer höheren Effizienz;
- Kosteneinsparung oder Nutzungsreduzierung von Fahrzeugen, denn HiL-Prüfstände sind leichter verfügbar und lassen sich schneller an Rahmenbedingungen anpassen;
- den ersten Prototyp schneller fahrbereit zu machen – und zwar mit höherer SW-/HW-Qualität;
- Komponenten, wie Aktoren und Sensoren, schneller in Betrieb zu nehmen. Eine frühzeitige Absicherung von Funktionen und Diagnosen minimiert das Risiko eines System(total)ausfalls, z. B. eines zerstörten Getriebes, eines defekten Motors etc.

TESTING

Vom Rennsport in die Serie

Text: Emmanuel Dhollande
Fotos: Markus Bolsinger

Mit einem eigenentwickelten Testsystem für Batteriemanagementsysteme macht Porsche Engineering die Hochvolt-Technik für Hybrid- und Elektroautos fit für Rennsieg und inspirierende Serienmodelle – und erweitert dabei Testmöglichkeiten, verkürzt Entwicklungszyklen und minimiert das Entwicklungsrisiko.

Ohne elektronische Steuergeräte sind moderne Automobile nicht mehr denkbar. Sie erfüllen immer komplexere Aufgaben, wie beispielsweise die Steuerung von Motor, Getriebe oder Bremsfunktionen, und ihre Zahl nimmt stetig zu. Dies erfordert umfangreiche Entwicklungsarbeiten sowohl für die Hardware als auch für die Software, deren Funktion während der Entwicklung überprüft werden muss. Aus Zeit- und Kostengründen kommen reale Fahrzeuge für diese Tests nicht in Betracht. Stattdessen setzen die Automobilentwickler schon seit Beginn der 1990er-Jahre auf sogenannte „Hardware-in-the-Loop-Prüfstände“,

abgekürzt HiL (siehe Seite 20). Diese Prüfstände simulieren über einen Rechner die reale Umgebung, beispielsweise ein Auto, und betten die zu prüfende Komponente in diese Simulation ein. Prinzip: Das vom Rechner simulierte Umfeld (etwa das Auto) stimuliert beim Test die Eingänge des Steuergeräts mit realen Sensorsignalen. Das Steuergerät reagiert, indem es über seine Ausgänge entsprechende Steuersignale für die Aktoren an den Rechner ausgibt. Dieser Vorgang schließt eine Reglerschleife (Loop).

Derartige HiL-Prüfstände sind aus der Autoentwicklung nicht mehr wegzudenken. Denn dieses Tool erlaubt es, wiederkehrende Abläufe unter gleichbleibenden Bedingungen zu testen, ermöglicht deutlich verkürzte Entwicklungszeiten und spart Kosten.

Tests am realen Steuergerät

Für einige Komponenten von Elektroautos kann es allerdings von Vorteil sein, spezielle Varianten dieser HiL-Testeinrichtungen zu entwickeln, die den spezifischen Anforderungen von E-Fahrzeugen gerecht werden und aufgrund ihrer Flexibilität und Portabilität weitere Effizienzen ermöglichen. Denn konventionelle HiL-Prüfstände arbeiten zwar unter anderem mit realen Sensoren und Aktoren – benötigen dafür jedoch eine für Elektroantriebe unerlässliche Hochvolteinrichtung.

Für solche Fälle hat Porsche Engineering eine portable HiL-Testeinrichtung für Batteriemanagementsysteme (BMS) entwickelt – das sogenannte BMS Mini-HiL. Hier ist lediglich das zu prüfende Steuergerät real verbaut, während die gesamte Peripherie emuliert wird. Dies bedeutet, dass das Steuergerät dem BMS vorspiegelt, dass es an eine echte Batterie und an echte Aktoren und Sensoren angeschlossen ist. Tatsächlich aber ahmt es diese Komponenten nur nach.

Mithilfe dieses Prüfstands in Miniformat, der erstmals für das BMS des Porsche-Le Mans-Prototyps 919 Hybrid eingesetzt wurde, wird es grundsätzlich möglich, Zustände wie eine Zellüberspannung oder eine Störung in der Kommunikation mit den Zell-Controllern zu testen – und zwar am realen BMS-Steuergerät und nicht nur im MiL (Model in the Loop) oder in der SiL (Software in the Loop). Die Testeinrichtung kann vom Software-Entwickler oder Tester am Schreibtisch eingesetzt werden und ersetzt die Batterieumgebung – bei verkürztem Entwicklungszyklus.

Das Konzept des BMS Mini-HiL

Der Aufbau des BMS Mini-HiL gestaltet sich wie folgt: Als reale Komponente ist das zu prüfende BMS integriert. Ein- und Ausgänge sind mit internen Steckkarten verbunden, die alle Sensoren und Aktoren emulieren. Über eine externe Einrichtung, auf der zum Beispiel eine Batteriesimulation läuft, kann das BMS



Vergleich von verschiedenen Testeinrichtungen aus Sicht des BMS	HiL	Fahrzeug	Mini-HiL
Einsatz	Qualifizierung von Hardware und Software	Qualifizierung vom gesamten System	Fokus auf Software-Qualifizierung: Sicherheitsfunktionen, die im HiL nicht abzutesten sind
Randbedingungen	Hochvolt Einrichtung	Prototypen	Arbeitsplatz
Prinzip	Prüfling inkl. Sensoren und Aktoren werden eingesetzt. Batterie und Zellen werden durch Netzteile emuliert.	Reelle Batterie mit realen Komponenten	Sensoren und Aktoren des Prüflings werden emuliert.
Kosten	Hoch	Sehr hoch	Niedrig
Skalierbarkeit	Niedrig	Hoch	Hoch
Zugriff durch Entwickler	Niedrig	Hoch	Hoch
Simulation von internen Sensoren- bzw. Aktoren-Fehlern	Sehr aufwendig, bis unmöglich, da reelle Komponenten eingesetzt werden	Sehr aufwendig, bis unmöglich, da reelle Komponenten eingesetzt werden	Durch die Emulation von Komponenten können interne Fehler simuliert werden.

1

Für den Test von Batteriemanagementsystemen ist das Mini-HiL von Porsche Engineering ideal: Es benötigt weder eine Hochvolt-Umgebung noch reale Sensoren oder Aktoren. Tests lassen sich damit schnell realisieren, sind kostengünstig, äußerst aussagekräftig und verkürzen die Entwicklungszeit.

Mini-HiL gesteuert werden. Diese Simulation liefert den Input für die Komponenten, die emuliert werden.

Dieser Aufbau benötigt nur wenig Raum. Dadurch kann das Format dieser Testeinrichtung gegenüber anderen HiL-Prüfständen beträchtlich schrumpfen. Tatsächlich beansprucht das BMS Mini-HiL nur etwa so viel Platz wie dieses aufgeschlagene Heft. Damit findet es problemlos auf einem Schreibtisch Platz, sodass die Entwickler diese Testeinrichtung immer in Griffweite zur Verfügung haben.

Umfassende Testmöglichkeiten

Da das BMS „glaubt“, in eine Batterie eingebettet zu sein, kann der Tester damit sämtliche Werte wie bei einer realen Batterieumgebung messen. Zusätzlich kann er allerdings auch Systemzustände erproben und deren Auswirkungen messen, die in einer realen Batterie nicht oder nur umständlich zu erzeugen sind, die Batterie beschädigen oder sogar zerstören könnten. Dazu zählen beispielsweise Überspannungen.

Auch defekte Zell-Controller oder andere defekte Bauteile lassen sich ohne Beschädigung der integrierten Schaltungen (ASIC – application-specific integrated circuit) simulieren. So kann der Entwickler schnell und kostengünstig testen, ob ein simulierter Defekt

zu einer genau definierten Reaktion führt, die das System schützt. Grundsätzlich lässt sich jede Art von Verhaltensfehler, etwa ein Kommunikationsfehler, im BMS Mini-HiL gezielt und genau berechnet einspeisen und die Reaktion darauf messen.

Für seine Funktion muss das Mini-HiL die elektrischen Schnittstellen (Ein- und Ausgänge) des Prüflings (BMS) auswerten (evaluieren). Zum typischen Umfang gehören:

Eingänge

- Klemme zur Versorgung der Logik und Schütze (elektromagnetischer Schalter wie ein Relais, jedoch für höhere Schaltleistung und mehr Sicherheit ausgelegt)
- Pilotlinie, die innerhalb einer Hochvolt-Batterie der Absicherung aller Hochvoltsteckverbindungen dient
- Crashlinie, die bei einem Crash dafür sorgt, dass das Hochvoltsystem von sich aus in den sicheren Zustand übergeht
- Temperatursensoren innerhalb der Batterie
- Stränge von Zell-Controllern der neuesten Generation
- Stromsensorik
- Hochspannungssensorik
- Pumpe des Kühlkreislafs
- Steuerleitung der Schütze
- ggf. Diagnosekontakte

Ausgänge

- Monitoring der Schütz-Status
- Monitoring aller sonstigen elektrischen Ausgänge

Die Eingänge müssen entweder durch den Benutzer oder automatisiert über ein CAN-Netzwerk voll steuerbar sein. Ein typisches Szenario ist zum Beispiel die Simulation einer geöffneten Pilotlinie oder die Simulation eines Zell-Controller-Fehlers. Darüber hinaus müssen die Ausgänge überwacht und deren Status über CAN ausgegeben werden. So lässt sich prüfen, wann ein Schütz physikalisch angesteuert wird.

Variable Hardware

Das Design der Hardware wurde als weitgehend variables System ausgelegt und dazu in verschiedenen Hardware-Komponenten partitioniert. In einem 19-Zoll-Gehäuse können auf mehreren Steckplätzen je nach Aufgabe unterschiedliche Steckkarten mit Hardwarekomponenten für konkrete Aufgaben untergebracht werden. Eine Backplane (Busplatine) mit mehreren Steckplätzen als Gehäuserückwand trägt die Steckverbindungen für diese Steckkarten der Baugruppen und verbindet sie elektrisch, sodass sie miteinander kommunizieren können.

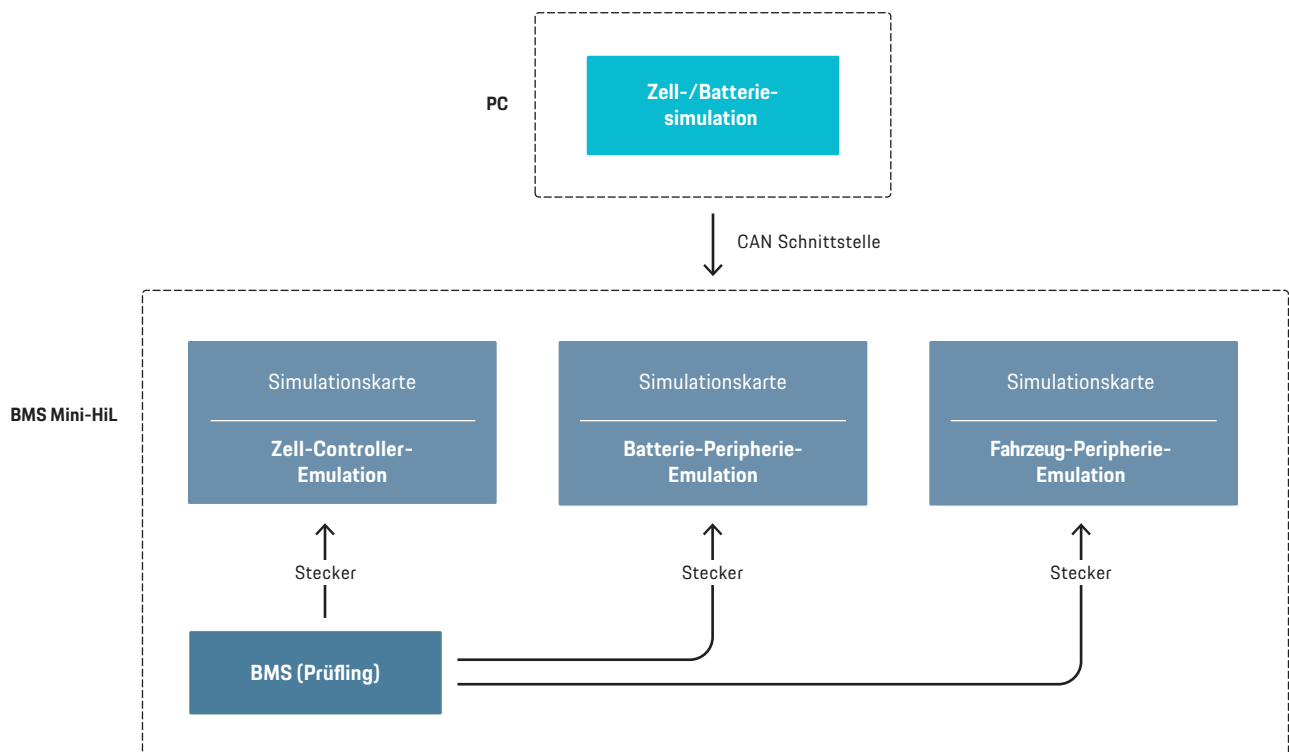
Im BMS Mini-HiL sorgt beispielsweise eine Car-Simulations-Steckkarte für die Anbindung der typischen Fahrzeugschnittstellen wie Crashlinie, Pilotlinie und mehr. Eine Batteriesimulations-Steckkarte übernimmt die Anbindung der typischen batterieinternen Schnittstellen (Schütze, Hochspannungssensorik usw.). Eine Connection-Steckkarte verbindet die Backplane mit dem Prüflingsstecker.



Volle Variabilität: Ein Entwicklerteam passt das Mini-HiL an eine neue Hardware an. Dazu müssen lediglich die Steckkarten ausgetauscht werden.

2

Emulation versus Simulation: Möchte man das gesamte Verhalten eines Sensors auf Hardware-Ebene nachbilden, spricht man von einer Emulation. Der emulierte Sensor verhält sich gleich wie der reale Sensor (gleiches Protokoll, gleiche Reaktionszeit). Möchte man das physikalische oder thermische Verhalten eines Systems nachbilden, spricht man hingegen von einer Simulation. Das Mini-HiL emuliert z. B. Zell-Controller durch das Zusammenspiel von Hardware und Embedded Software. Die Spannungen und Temperaturen, die der emulierte Zell-Controller messen soll, werden allerdings durch ein physikalisches Zellmodell simuliert.



Der Vorteil dieses modularen Aufbaus: Ändert sich die Hardware des Prüflings (BMS) im Laufe der Entwicklung, ist kein neues Hardware-Design des Mini-HiL notwendig, da es bei veränderten Aufgaben durch den Austausch von Steckkarten rasch angepasst werden kann.

Aufwendige Emulation der Zell-Controller

Die kritischste Herausforderung des Projektes lag in der Emulation der Zell-Controller. Diese gehören der neuesten Generation an und verfügen über zahlreiche komplexe Sicherheitsfunktionen. Die Batterie des zukünftigen Elektrosporthagens Mission E basiert beispielsweise auf Zell-Controllern, die Zellspannungen und Temperaturen extrem schnell abtasten. Deshalb muss die Zell-Controller-Emulation eine Reaktionszeit von weniger als fünf Mikrosekunden aufweisen.

Diese hohe Anforderung hat Einfluss sowohl auf die Hardware- als auch auf die Software-Architektur. Um die verschiedenen Zell-Controller-Stränge der Batterie nachzubilden, haben sich die Ingenieure für eine Mehrprozessorslösung in der dafür zuständigen Hardware entschieden.

Die Software-Entwicklung für die Emulation der Zell-Controller stellte eine große Herausforderung dar, da die Zell-Controller der neuesten Generation viele interne Register und eingebaute Selbsttestfunktionen haben, deren Kommunikation verschiedene Mechanismen absichert. Das Spektrum reicht von der Überprüfung der Messwerte durch redundante Messung bis zur Eigendiagnose von eingebauten Multiplexer- oder Messkomponenten.

Leistungsfähige Software-Architektur

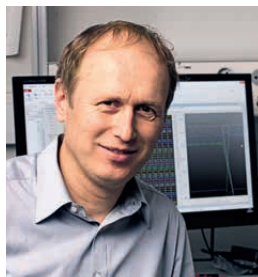
Die Software-Architektur wurde mittels UML (Unified Modeling Language) modelliert. Dabei lag der Fokus auf der statischen (Klassenmodell) und der dynamischen Analyse (Sequenzdiagramm, Zustandsautomat). Anschließend wurde die Architektur mithilfe der dafür besonders geeigneten objektorientierten Programmiersprache C++ umgesetzt.

Software für das Batteriemodell

Das Batteriemodell haben die Entwickler zunächst in der technisch-wissenschaftlichen Software für numerische Berechnungen „Matlab Simulink“ (MathWorks) geschrieben. Es bildet dynamisches, elektrisches und thermisches Verhalten der Zellen und der Batterie bei einer dynamischen Strombelastung in Abhängigkeit vom Ladzustand (State of Charge) und Gesundheitszustand (State of Health) ab. Dieses Tool simuliert damit auf einem PC eine Zelle und deren Verhalten, wenn sie belastet wird und die Spannung sinkt und wenn sie geladen wird und die Spannung steigt.

„Die Emulation von Zell-Controllern der neuesten Generation war die größte Herausforderung.“

Emmanuel Dhollande,
Porsche Engineering



Nach dem Umwandeln dieses Modells in eine ausführbare Datei (Kompilieren) wurde es in einer Software eingebettet, die sich besonders für die Entwicklung, Analyse, Simulation, Test, Diagnose und Inbetriebnahme von Steuergerätenetzwerken bewährt hat (CANoe von Vector Informatik). Als Folge werden alle Soll-Zellspannungen und Soll-Zelltemperaturen über ein HighSpeed-CAN-Netzwerk gesendet. Diese Werte können dann vom BMS über das Protokoll der emulierten Zell-Controller in Echtzeit abgelesen werden.

Der Endbenutzer hat weiterhin die Möglichkeit, gezielt Fehler einzuspeisen. Auf Tastendruck können Schutzkleber (Schütz löst nicht aus), Isolationsfehler und vieles Weitere simuliert werden.

Automatische Tests mit EXAM

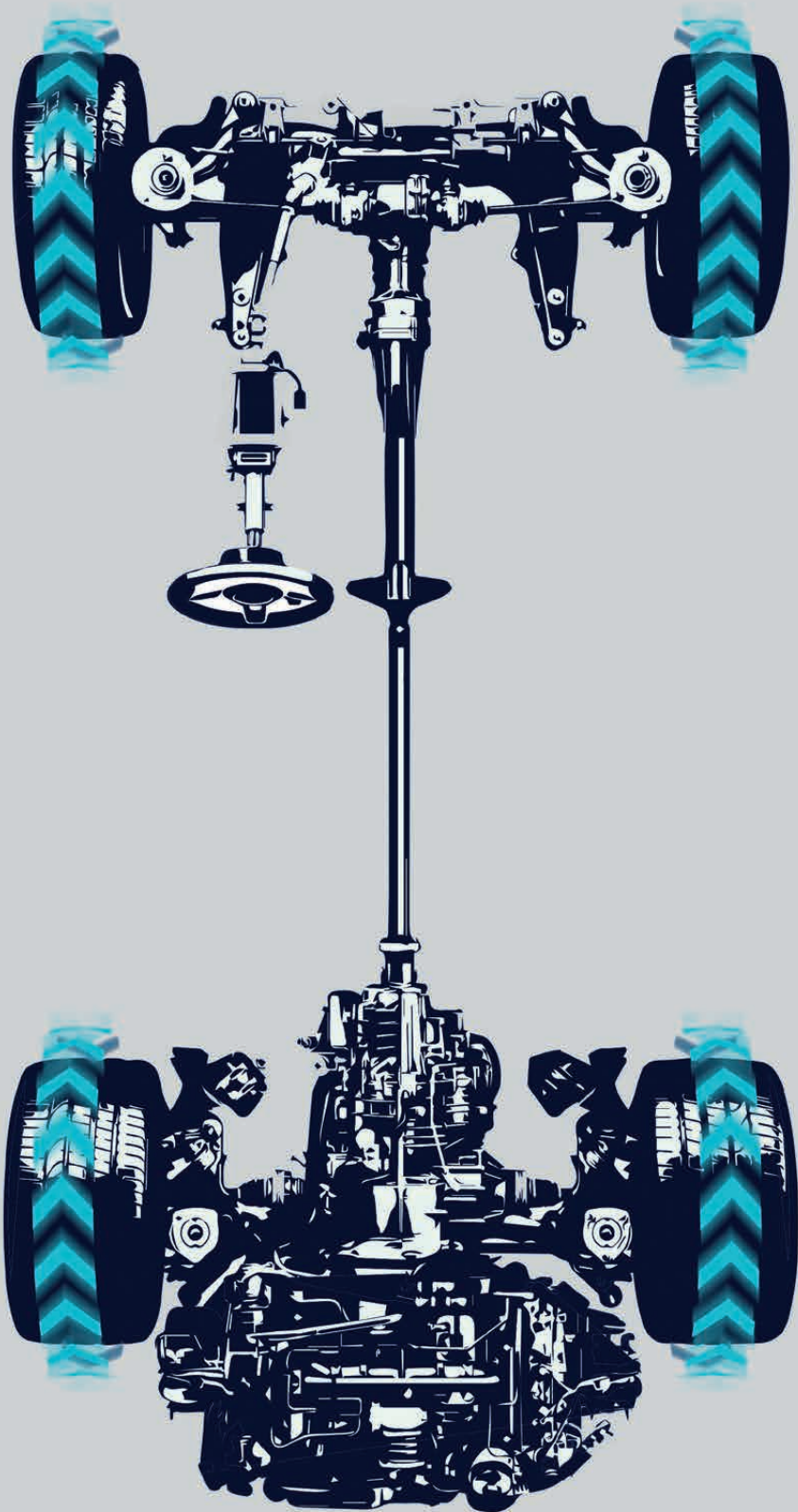
Ein weiteres Ziel bestand darin, zeitaufwendige Testreihen mit dem Mini-HiL automatisiert ablaufen zu lassen, beispielsweise übers Wochenende. Für die Testautomatisierung wird das Tool EXAM (Extended Automation Method) der Firma MicroNova verwendet. Durch den konsequenten Einsatz eines Abstraction Layer können die EXAM-Testfälle, die für die vorhandenen HiLs geschrieben worden sind, auch auf anderen Prozessorarchitekturen laufen und damit auch auf dem Mini-HiL. Zusätzlich lassen sich mit dem BMS Mini-HiL diverse interne Defekte der Zell-Controller emulieren, die nicht im Fahrzeug oder im HiL ausgeführt werden, wo reale Controller eingesetzt werden. Durch die Software-Emulation der Controller bietet das Mini-HiL hier einen entscheidenden Vorteil.

BMS Mini-HiL als Bestandteil anderer HiL

Das BMS Mini-HiL kann auch in eine andere Testeinrichtung, wie etwa in ein Fahrzeug-HiL, eingebunden werden. So lässt sich das BMS auch in der vollständigen Fahrzeugumgebung testen. Dies ermöglicht dank der Simulation einer definierten Umgebung für das BMS auch Vernetzungstests (CAN, FlexRay usw.) in sämtlichen Betriebsmodi des Steuergeräts (Standby, Hochvolt, Laden usw.).



Zusammengefasst: Um die wachsenden Softwareumfänge für Steuergeräte zu testen, erweist es sich häufig als sinnvoll, das Verhalten der Sensoren und Aktoren zu emulieren. Eine portable HiL-Testeinrichtung mit realem Steuergerät (Hardware, Software), das die gesamte Peripherie emuliert, verkürzt die Entwicklungszyklen, erweitert die Testmöglichkeiten und minimiert das Entwicklungsrisiko.





An einem Strang ziehen

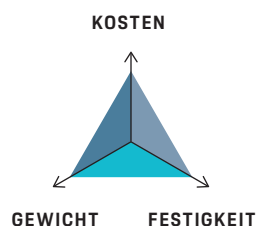
Text: Uwe Brenndörfer, Marco Glink
Foto: Porsche AG, Illustration: d3

Der Antriebsstrang muss insbesondere bei sportlich ausgelegten Fahrzeugen sehr hohe Anforderungen erfüllen. Und die Ansprüche steigen noch: Bei modernen Plug-In-Hybriden müssen immer mehr Antriebskomponenten in den knappen Bauraum passen, die zudem immer mehr Leistung zuverlässig zu übertragen haben. Neue Materialien und Fertigungsmethoden tragen dazu bei, diese gesteigerte Leistungsdichte zu erreichen. Dem Testing fällt damit eine wichtige Rolle als Freigabeinstrument zu. Denn nur was hier besteht, hat eine Chance, künftige Fahrzeuggenerationen zu bewegen.

Es sind solche Herausforderungen, die die Ingenieure bei Porsche Engineering zur Höchstform auflaufen lassen. Im Testing geht es darum, repräsentative Alltagsbelastungen zu definieren und in Testszenarien für einzelne Teile und Baugruppen umzusetzen. Das Ziel besteht darin, in einer starken zeitlichen Raffung alle relevanten Belastungen und Funktionsanforderungen abzu prüfen. Die Werkzeuge hierfür reichen von der Simulation über Prüfstandsversuche bis hin zu Fahrversuchen.

Simulation als Ausgangspunkt

Simulationen beruhen auf physikalischen und verhaltensbasierten Modellen der Fahrumgebung, des Fahrers und des Fahrzeugs selbst. Heutige Computermodelle, wie sie Porsche Engineering nutzt, verfügen über eine Datentiefe, die im Verlauf der Jahrzehnte gewachsen ist. Damit können komplexere Anforderungen seitens des Kunden – etwa die Verwendbarkeit eines Triebstranges in verschiedenen Fahrzeug-



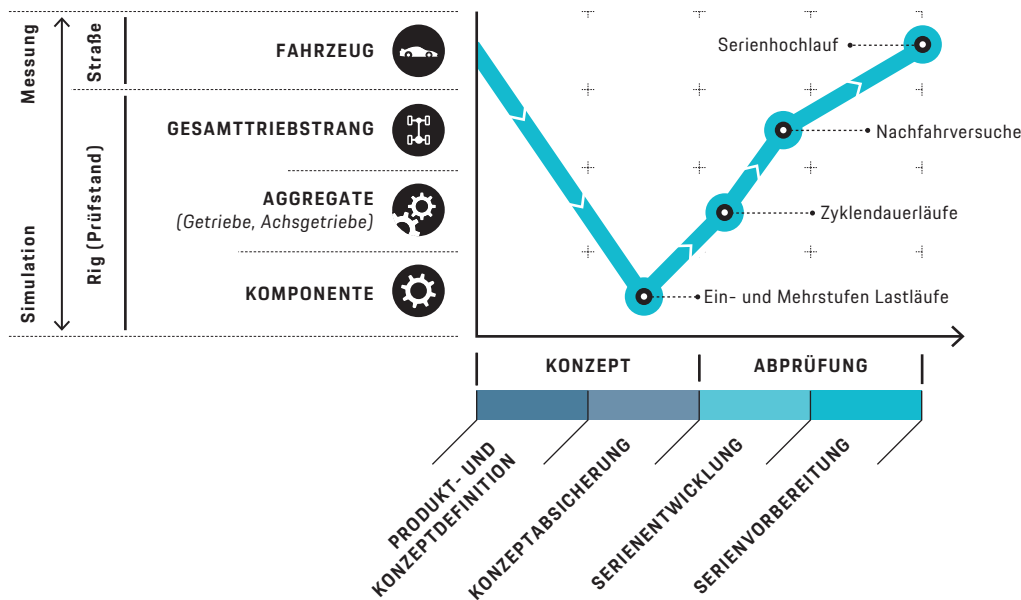
Die Balance finden:

Bei der Dimensionierung der Bauteile gilt es, einen Zielkonflikt zwischen Gewicht, Festigkeit und Kosten zu lösen.



modellen – zuverlässig abgebildet werden. Um für unterschiedliche Produkteinsatzgebiete die Belastungsprofile der Komponenten des Antriebsstrangs hinreichend genau bestimmen zu können, sind Simulationen für sogenannte Lastkollektive unerlässlich. Hierbei entsteht zwangsläufig ein Zielkonflikt zwischen Festigkeit, Gewicht und Kosten, den es zu lösen gilt. In einem zweiten Schritt werden aus den verschiedenen Belastungsprofilen die Auslegungskollektive extrahiert, auf deren Grundlage die Aggregate für den sogenannten Baukasten dimensioniert werden.

Dies ist ein sehr dynamischer Prozess, insofern als Applikationen die Fahr- und Komforteigenschaften des Fahrzeugs im Laufe der Entwicklung ändern und verfeinern. Diese Änderung der Fahrzeugcharakteristik kann dazu führen, dass die Beanspruchung der Bauteile gravierend zunimmt und dadurch Auslegungsgrenzen überschritten werden. Auch dafür lassen sich ausschließlich über Simulationen



Simulation und Prüfläufe im Produktentstehungsprozess: Die Absicherung beginnt bei den einzelnen Komponenten und endet beim fertigen Fahrzeug.



Uwe Brenndörfer
Versuchingenieur im
Bereich Erprobungsstrategie
von Antriebssträngen



Marco Glink
Versuchingenieur im
Bereich Lastkollektivmes-
sungen im Antriebsstrang

der Bauteilbelastungen mit neuen Applikationsdaten Lastkollektive ermitteln, die in einem iterativen Prozess immer wieder mit den Auslegungskollektiven abgeglichen und an diese angenähert werden müssen.

Prüfstandserprobung mit höchster Belastung

Bereits mit den ersten Prototypen der Komponenten kann die Prüfstandserprobung auf Bauteilebene beginnen. Dabei werden die Bauteile in der Regel im Rahmen von Kurzzeittests mit sehr starker Raffung in definierten Stufen und nach den definierten Auslegungsgrenzen hinsichtlich Ölversorgung, Lager-, Zahnflanken- und Zahnfußbelastung bis zur Bauteiler-müdung (schädigungsäquivalent) geprüft. Diese Art der Prüfung ist hochgradig bauteilbezogen und nur bedingt aussagefähig. Allerdings gibt sie bereits in einer frühen Entwicklungsphase Aufschluss über die Funktionsfähigkeit des betreffenden Konzepts.

Sobald im weiteren Verlauf der Entwicklung Gesamtaggregate zur Verfügung stehen, können auch diese erprobt werden. Besonders geeignet sind sogenannte Zyklendauerläufe, die einen verhältnismäßig hohen Raffungsfaktor bei gleichzeitig hoher Aussagekraft in Bezug auf die Subkomponenten liefern. Die Aggregate befinden sich dabei in einem Gesamtverbund aus Ver-

brennungsmotor, Traktionsmotor, Getriebe, Steuergeräten, Kardan- und Achswellen. Den Reifenkontakt zur Fahrbahn stellen Abtriebsmaschinen in einer Reifenschlupfsimulation her.

Der Einsatz von realen Steuergeräten ermöglicht es, Applikationsdatensätze gemeinsam mit dem Triebstrang abzuprüfen. Das Erprobungsziel ist ebenfalls eine Schadensäquivalenz zur simulierten Triebstrangbelastung. Eine intelligente Online-Regelung der Verteilerkupplung sorgt während des Prüflaufs für die richtige Verteilung des Antriebsmoments auf Vorder- und Hinterachse. Mit voranschreitendem Prüflauf lassen sich Einflussgrößen, wie beispielsweise tribologische Schwankungen oder Verschleiß von Bauteilen und Schmierstoffen, die eine Änderung von Antriebsleistung oder Verlustleistung bewirken, durch eine Online-Regelung der Steigungswiderstände kompensieren. Dies hat zur Folge, dass der Triebstrang noch vor dem Einsatz in einem ersten Prototyp einen hohen Reifegrad erreicht.

Realitätsnaher Nachfahrversuch

Am genauesten – allerdings auch am zeitintensivsten – lassen sich die Belastungen aller Triebstrangkomponenten auf dem Prüfstand im Nachfahrversuch abbilden. Dieser zeichnet sich durch eine sehr hohe

↓
15.000
 Kilometer Testfahrt in
 drei Wochen
 ↓
 Bis zu
600
 Signale pro Sekunde

Aussagefähigkeit für alle Bauteile aus. Der Nachfahrversuch kann auf der Basis von Fahrermodellen unter Berücksichtigung der Fahrzeugparameter oder auf der Grundlage real gemessener Fahrdaten eines Erprobungsfahrzeugs erfolgen.

Nachfahrversuche haben keine zeitliche Raffung, sie beziehen jedoch sämtliche Fahrer- und Umwelteinflüsse der Abnahmestrecke als Eingangsgrößen mit ein. Als Regelgröße dienen Fahrzeuggeschwindigkeit und Abtriebsdrehzahlen. Diese lassen sich entweder direkt als Geschwindigkeit oder synthetisch als Fahrprofil vorgeben. Ziel ist die Minimierung der Fehleranfälligkeit bei geringsten Abweichungen von den Sollvorgaben. Eine Kompensation durch die Online-Regelung des Fahrwiderstands ist nicht möglich, kann jedoch über ein intelligentes Fahrermodell erfolgen, das zu einem dynamischen Nachfahrversuch führt. Dabei entscheidet die Fahrerlogik autonom, ob das Geschwindigkeitsprofil nachgefahren oder freies Fahren im Rahmen eines Grenzprofils gewählt wird.

Aufwendige Messung in der Straßen-erprobung

Parallel zur Entwicklung des Triebstranges schreitet die Gesamtfahrzeugentwicklung voran, sodass die Nachfahrversuche auf Prüfständen um Messungen in den Erprobungsfahrzeugen ergänzt werden. Dies erfolgt im realen Straßenverkehr sowie auf abgesperrtem Prüfgelände, wie zum Beispiel in Nardò. Ziel der Fahrzeugmessungen von Porsche Engineering ist es, die im täglichen Einsatz des Fahrzeugs zu erwartenden charakteristischen Betriebslasten des Triebstrangs über Fahrdistanzen von bis zu 15.000 Kilometern im Zeitbereich mit ausreichender statistischer Aussagekraft zu messen. Die Versuchsfahrer nutzen dazu ausschließlich trockene Straßen, da hier der Ermüdungseintrag am höchsten ist. Die Messbedingungen berücksichtigen alle wesentlichen Einflussparameter wie Streckenzusammensetzung, Fahrweise und Fahrzeugbeladung. Aus den Messungen leiten die Ingenieure im Rahmen der nachfolgenden Datenaufbereitung Lastkollektive für genau definierte Kundennutzungsprofile ab.

Messtechnik: robust, aber sensibel

Die Messtechnik für die Fahrversuche ist so ausgelegt, dass sie neben dem üblichen Alltagsbetrieb auch Extremlasten aus Missbrauchsmanövern, wie sogenannte „Performance-Starts“, ohne Schäden übersteht. Um im Fahrzeugbetrieb in einem Zeitraum von drei Wochen Messdaten aus einer zurückgelegten Strecke von mehr als 15.000 Kilometern erfassen zu können, wird ein Messsystem eingesetzt, das sich durch eine besonders hohe Zuverlässigkeit bezüglich sicherem Systemstart, Ausfallsicherheit und Speicherkapazität auszeichnet. Das Hauptaugenmerk bei

Für den Nachfahrversuch muss ein gewisser Reifegrad des Fahrzeugs gegeben sein. Um dies zu prüfen, muss das Fahrzeug genau vermessen werden.

den Lastkollektivmessungen liegt auf den Raddrehmomenten. Anhand der Raddrehmomente und der Getriebeübersetzung lässt sich exakt ermitteln, welche Belastungen am Antriebsstrang wirken und welche Schädigungen daraus für die einzelnen Komponenten im Antriebsstrang resultieren. Erschwert werden die Messungen der Drehmomente durch drehende Teile (Messung nur über Schleifkontakte oder Telemetrie möglich), Bewegung des Triebstrangs in alle Richtungen, Temperatureinflüsse (Strahlungswärme von Abgasanlage, Getriebe, Motor), elektromagnetische Störungen (EMV-Robustheit) sowie Witterungseinflüsse.

Als Messinstrument dienen hier sogenannte Messflansche. Sie sind aufgrund ihrer hohen Bauteilsteifigkeit besonders unempfindlich gegen Missbrauchsbelastungen (Performance-Start, μ -Sprung).

Weitere Messinstrumente für die Straßen-erprobung sind:

- Beschleunigungssensoren, die Fahrzeugbeschleunigungen in der x-, y- und z-Achse aufnehmen,
- GPS-Empfänger, die die Position anhand von Längen- und Breitengraden sowie die Höhe, Steigung, Kurvenkrümmung und -radien bestimmen,
- Temperaturfühler, die die Umgebungstemperatur, Bauteiltemperaturen sowie Temperaturen in Betriebsflüssigkeiten erfassen.

Großes Datenvolumen

Digitale Messgrößen beschreiben in erster Linie die Signale, die zur Kommunikation der Steuergeräte über das Fahrzeug-Bussystem ausgetauscht werden. War bis vor wenigen Jahren noch eine geringe Anzahl an CAN-Systemen ausreichend, um den Datenaustausch zu gewährleisten, wird bei Fahrzeugen neuerer Generationen zusätzlich auf das FlexRay-System zurück-

gegriffen. FlexRay kann aufgrund seiner Architektur viel größere Datenmengen übertragen. Der Signumfang der Messreihen beträgt in der Regel zwischen 100 und 600 Signale, die im Zeitbereich zwischen 500 Hertz (Drehmoment) und einem Hertz (Temperatur) gemessen werden. Zur Erfassung der Daten setzt Porsche Engineering leistungsfähige Datenlogger ein, die für große Datenvolumen und hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten ausgelegt sind. Für die Getriebeentwicklung sind zusätzliche Übertragungsprotokolle (XCP, CCP etc.) erforderlich. Das System wird über einen Zentralschalter gestartet, der alle Verstärker und Messblöcke von einer zentralen Spannungsversorgung aus bedient. Dies ist erforderlich, um Fehlmessungen aufgrund versehentlich nicht angeschalteter Systemkomponenten zu vermeiden. Gleiches gilt nach Abschluss der Messung: Werden einzelne Komponenten versehentlich nicht ausgeschaltet, ist die Fahrzeugbatterie vor dem nächsten Messeinsatz entladen.

Präzise Erfassung der Strecke

Um Datenverluste während der Messungen zu reduzieren, gibt es auf jeder Strecke feste Speicherpunkte, die von den Fahrern einzuhalten sind. Sollte die Messtechnik zwischen zwei Speicherpunkten ein Problem aufweisen, muss nicht die gesamte Strecke, sondern nur das fehlerhafte Teilstück nachgefahren werden. Daraus ergeben sich aber für jede Messung mehrere Dateien, die im Nachgang wieder zusammengefügt werden müssen. Zur eindeutigen Zuordnung der Messdaten zu einem Streckentyp dient ein Streckensignal, das sich zum Beispiel mit GPS-Koordinaten auf bekannten Strecken erstellen lässt. Eine weitere Methode generiert ein Streckensignal anhand von zusätzlichen Messgrößen (Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Beschleunigung usw.), die aufwendig miteinander verrechnet werden. Daraus ergibt sich ein sehr dynamisches Signal, das auch Standzeiten in einem Stau oder Stadtfahrten gezielt verarbeitet. Wenn durch Streckensperrungen vom geplanten Streckenverlauf abgewichen werden muss, kommt es zu Abweichungen zwischen verschiedenen Messungen. In diesem Fall ermöglicht das Verfahren eine automatisierte Zuordnung eines Streckentyps (zum Beispiel Stadt, Landstraße, Autobahn).

Aufbereitung der Messdaten

Im Verlauf der Messungen können systembedingt unterschiedliche Messfehler in den Daten auftreten, die im Nachgang und insbesondere vor der Übergabe der Messdaten an den Kunden behoben werden. Bei den Messfehlern handelt es sich vor allem um Fehlstellen innerhalb des Drehmomentsignals der Messflansche/-wellen. Mögliche Fehlerarten sind unter anderem Drehmoment-Offsets, Kalibriersprünge, Spikes, Drifts oder „No Values“. Eine manuelle



Bis an die Grenzen des physikalisch Möglichen: Erst wenn auch die Tests auf Straße und Testgelände positiv verlaufen sind, gilt ein Triebstrang als serienreif.



Sensoren

sind in der Sitzschiene verbaut und messen die Beschleunigung.



GPS

bestimmt die Position zur Streckenbeschreibung.



Temperaturfühler

erfassen Umgebungstemperaturen, Bauteiltemperaturen sowie Temperaturen in Betriebsflüssigkeiten.



Behebung dieser Messabweichungen würde je nach Umfang der Rohdatenmasse Monate beanspruchen. Deshalb hat Porsche Engineering die Erkennung derartiger Fehler automatisiert. Nicht verwertbare Daten werden von Suchprogrammen herausgefiltert, sodass eine manuelle Prüfung der Datensätze entfällt. All das mit einem Ziel: dem Kunden möglichst schnell und effizient verlässliche Daten liefern zu können, die am Ende über die Dimensionierung und das Setting einer wesentlichen Baugruppe eines Fahrzeugs entscheiden. Eine große Verantwortung, der sich Porsche Engineering in jedem Projekt stellt.

Ausblick

Porsche Engineering arbeitet intensiv daran, mit seinen Testszenarien der Zukunft der Automobiltechnik immer mindestens einen Schritt voraus zu sein. Ganz konkret errechnet Porsche Engineering beispielsweise Simulationen, welche die Belastungen des Fahrtriebs noch facettenreicher abbilden. Automatisiertes Fahren wird in Zukunft erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung und Härte der Triebstrangbelastungen haben, sodass etwa potenzielle Belastungsreduzierungen zielgerichtet für den Leichtbau genutzt werden könnten. Diesen Herausforderungen trägt das künftige Testing des Triebstrangs ebenso Rechnung wie dem Faktor Mensch, der in seinem zu erwartenden geänderten Nutzungsverhalten die Testparameter verschieben wird. ◀

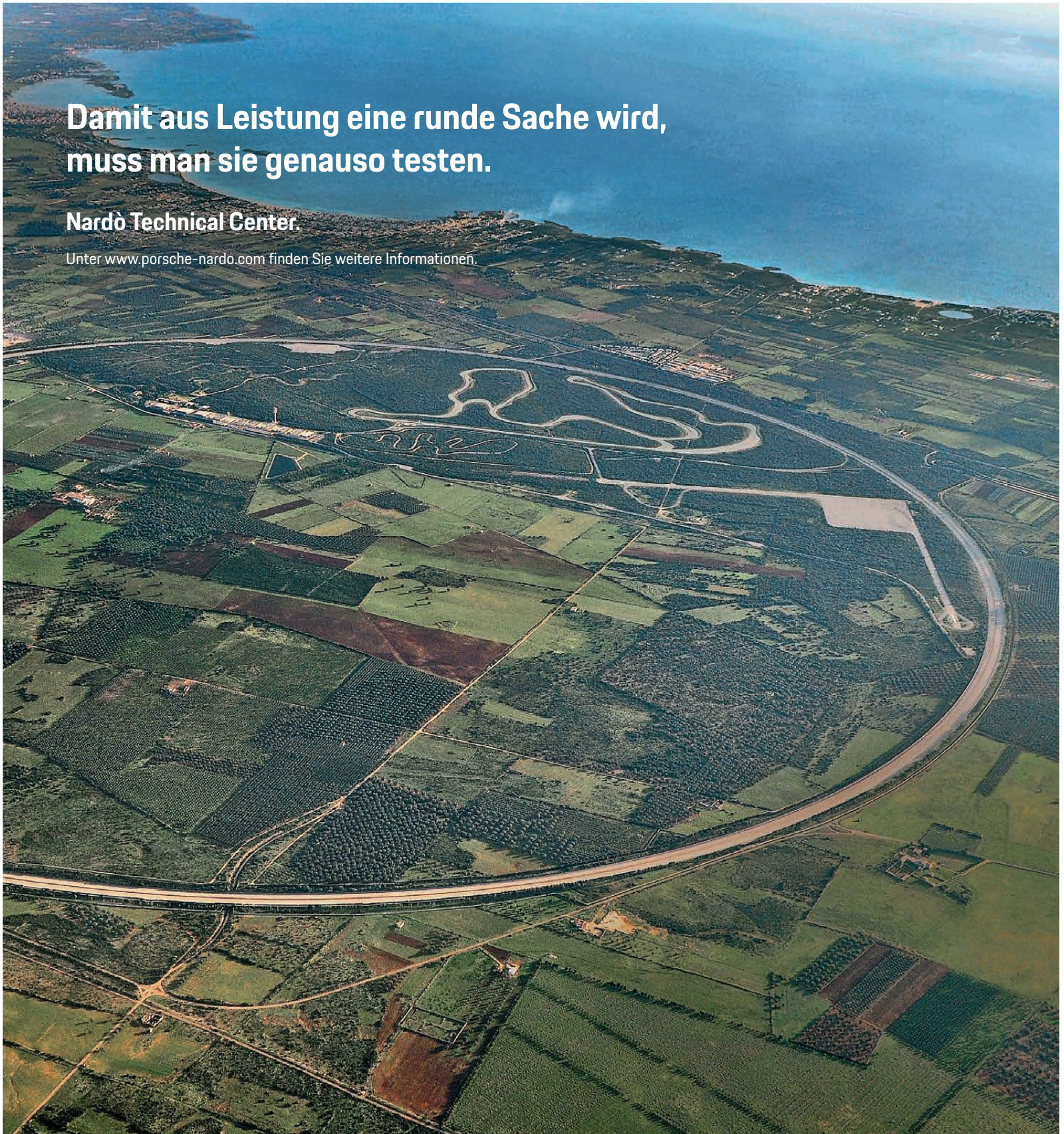
Porsche 911 Turbo S Cabriolet

CO₂-Emission (kombiniert): 216 g/km
Verbrauch innerorts: 12,1 l/100 km
außerorts: 7,6 l/100 km
kombiniert: 9,3 l/100 km
Effizienzklasse: F

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

Nardò Technical Center.

Unter www.porsche-nardo.com finden Sie weitere Informationen.



TESTING

Mobilität von morgen auf dem Prüfstand

Text: Peter Lincoln
Fotos: Heiko Simayer

Wo einst Italiens Atomphysiker einen Teilchenbeschleuniger bauen wollten, drehen seit Jahrzehnten Erbkönige und Prototypen ihre Runden. Das Nardò Technical Center rüstet sich für das Testen der Mobilität von morgen.

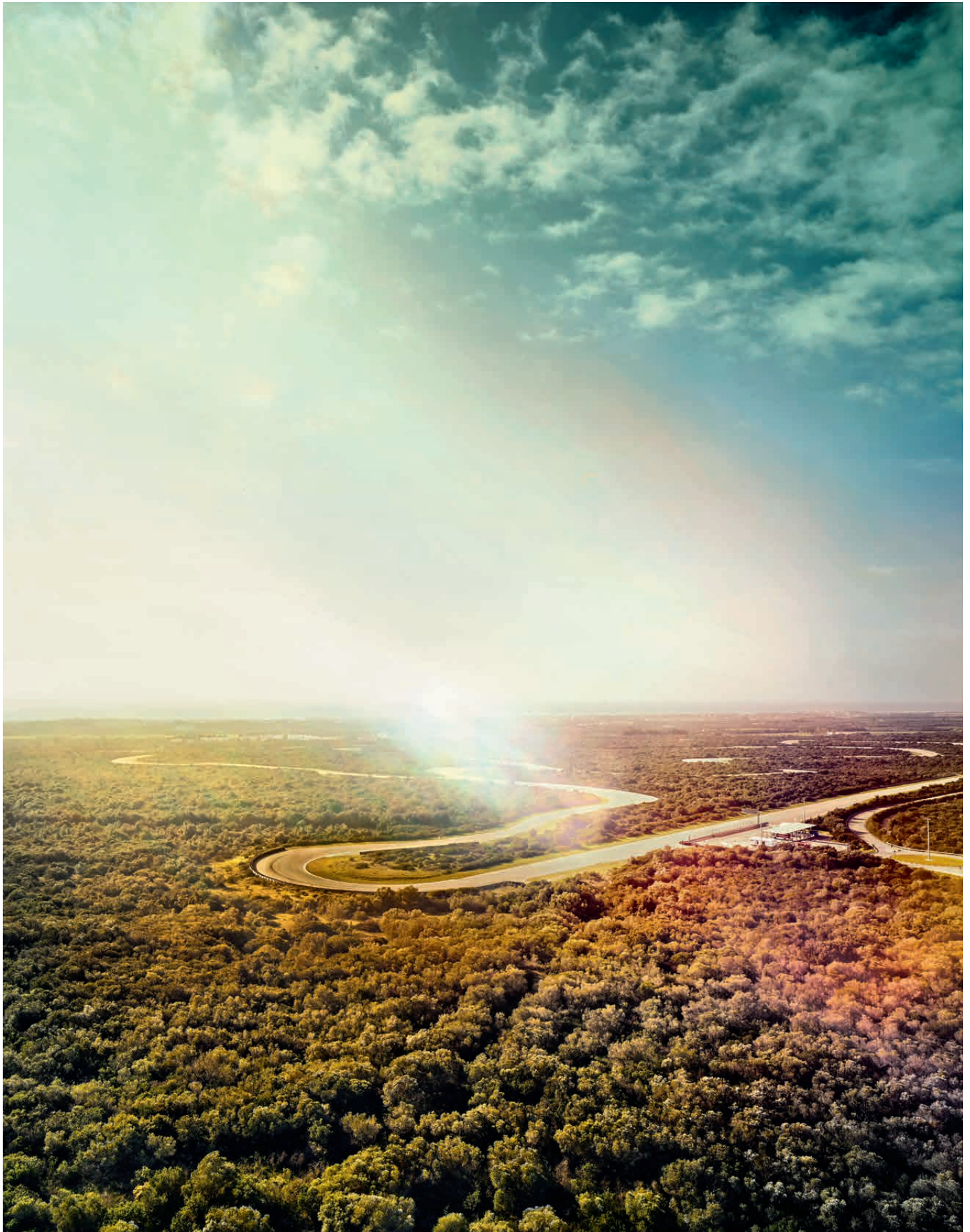


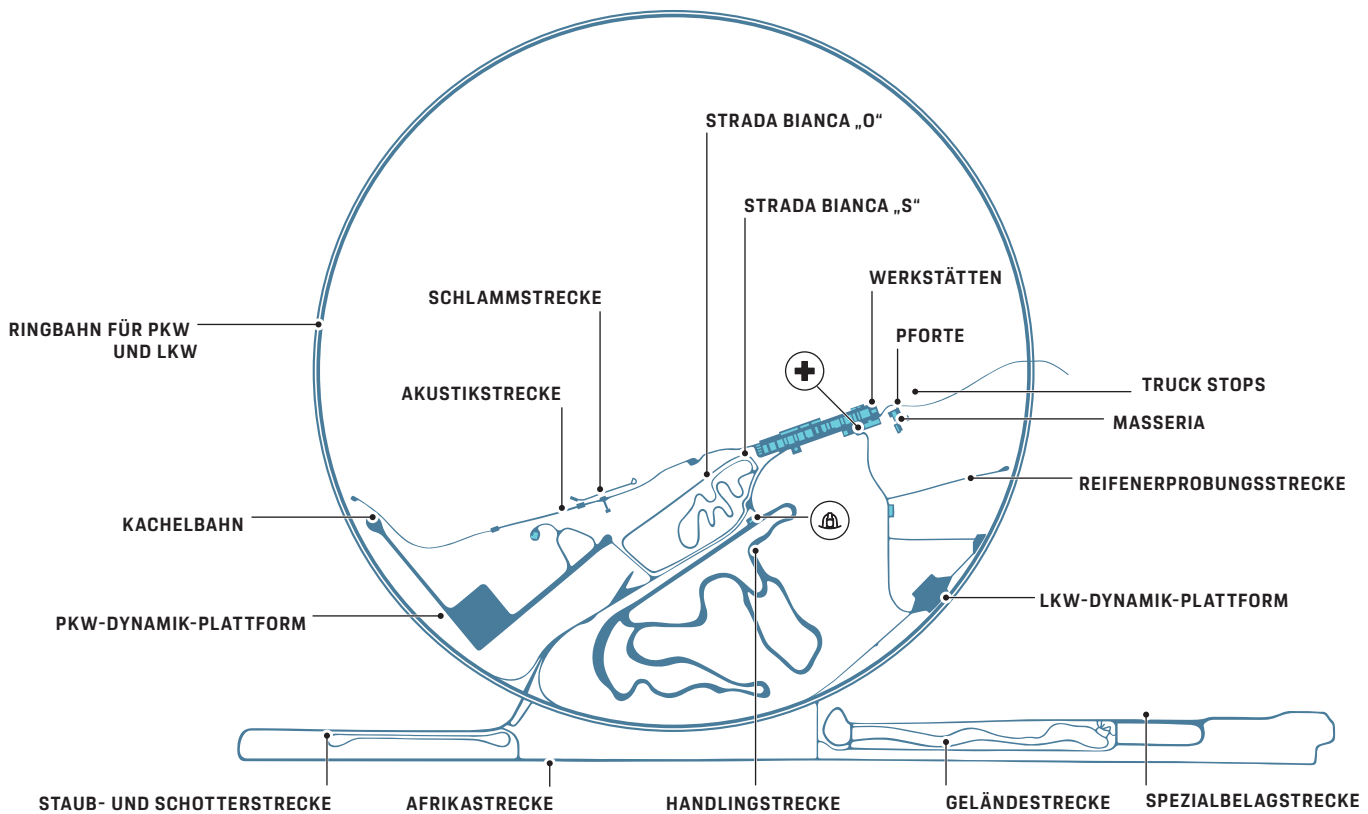
Die aufgehende Sonne wirft erste lange Schatten. Bereits in den frühen Morgenstunden wird der über zwölf Kilometer lange kreisförmige Rundkurs, für den das Nardò Technical Center (NTC) im Süden Italiens weltbekannt ist, für Testfahrten genutzt. Bei einer Geschwindigkeit von über 200 km/h nimmt der Fahrer zur Demonstration die Hände vom Steuer. Die langsam nach außen ansteigende Fahrbahn kompensiert die Zentrifugalkräfte, sodass man bis 240 km/h ein neutrales Fahrgefühl hat, das keinen Steuereingriff erfordert. Seit 2012 gehört das Testgelände zu Porsche Engineering und soll konsequent weiter ausgebaut werden, um seine herausragende Stellung auch künftig behaupten zu können. Denn die Mobilität von morgen mit automatisiertem Fahren und Elektromobilität bedeutet auch für das Testgelände und seine über 150 Mitarbeiter zusätzliche technische Herausforderungen. Porsche Engineering ist

deshalb längst intensiv dabei, im NTC mit neuen Ideen die Weichen für die Zukunft zu stellen und es für die künftigen Anforderungen kontinuierlich weiterzuentwickeln. Eine Weiterentwicklung, die sich lohnt, denn das NTC ist weltweit einzigartig – und das liegt schon in seiner Geschichte begründet.

Weltweit einzigartig – damals, heute und in Zukunft

An Automobilen hatte in den 1960er-Jahren nämlich niemand gedacht, als Landvermesser im süditalienischen Apulien einen kreisrunden Bezirk mit vier Kilometern Durchmesser und 12,6 Kilometer Umfang absteckten. Sie markierten diesen großzügigen Grundriss für einen Teilchenbeschleuniger, der Italiens Atomphysik auf modernstes Niveau heben sollte.





Doch die Atompläne des italienischen Staates änderten sich. Statt über Kernphysiker freut sich das gut 31.000 Einwohner zählende Städtchen Nardò weit unten am Absatz des italienischen Stiefels deshalb seit 1975 über intensiven Besuch der Autoindustrie und einen kräftigen Aufschwung im Hinblick auf Handel, Tourismus und Arbeitsplätze. Denn wo ursprünglich Atome im Kreis rasen sollten, entstand die legendäre Highspeed-Strecke. Diesen schnellsten Rundkurs der Welt flankieren auf über 700 Hektar Fläche mehr als 20 Prüf- und Teststrecken für alle denkbaren Entwicklungsstände, Werkstätten sowie Versuchseinrichtungen für Pkw-, Lkw- und Motorrad-Hersteller.

Damit bietet das Nardò Technical Center nicht nur dem Unternehmen Porsche, sondern auch zahlreichen Kunden aus aller Welt einzigartige Test- und Erprobungsmöglichkeiten. Diese erfreuen sich größter Beliebtheit. In Hochzeiten gehen hier täglich bis zu 600 Gäste ihrer Arbeit nach. Auf ihrem Programm stehen anstrengende Testläufe und Versuchsfahrten, die höchste Konzentration erfordern.

Einzigartig:
Kreisrund ist die Hochgeschwindigkeitsstrecke, weil hier ursprünglich ein Teilchenbeschleuniger für Atomforscher entstehen sollte.

12,6 km
Umfang

4 km
Durchmesser

Der Mensch im Mittelpunkt

Die Bereitstellung moderner Arbeitsumgebungen genießt eine hohe Priorität. Viele der in die Jahre gekommenen Werkstätten wurden deshalb bereits renoviert und neu ausgerüstet. Das Verwaltungsgebäude, die sogenannte Masseria, haben Spezialisten ebenfalls komplett saniert, dabei aber den Charme des alten Gebäudes in die neue Zeit gerettet. Dies gilt auch für den zentralen Turm, von dem aus die Strecke jahrzehntelang überwacht wurde. Er dient als Wasserturm und blieb als Wahrzeichen erhalten. Es gilt, die Anforderungen der Zukunft zu erkennen und diese mit Respekt für die Tradition umzusetzen. Das zeigt sich mitunter in kleinen Details: Bei der Modernisierung des Aufenthaltsgebäudes für Lkw-Fahrer blieb ganz bewusst ein uralter Pizzaofen erhalten, anstatt ihn zu ersetzen.

Alle Sicherheitsfragen beantwortet

Ein weiterer Faktor, den die Kunden sehr schätzen, ist die Diskretion des Nardò Technical Center. Denn





Mit der aufgehenden Sonne am Start:

Bereits frühmorgens beginnt der Testbetrieb auf den zahlreichen verfügbaren Teststrecken.

hier herrscht – wie in jedem Bereich von Porsche Engineering – die höchste Geheimhaltungsstufe. Was in Nardò passiert, bleibt in Nardò. Das ist die einfache Formel, auf die man es bringen kann. Die Daten, Fahrten und Fahrzeuge der Kunden sind bestmöglich geschützt.

Doch das Thema Sicherheit hat noch eine weitere elementare Dimension: Dies betrifft den Schutz jedes Besuchers auf dem Gelände des NTC. Denn was immer man testet – es kann auch versagen. Umso besser muss jede Strecke präpariert sein. Deshalb übernimmt die Streckensäuberung beispielsweise eine Flughafenreinigungsmaschine, deren Einsaug-Aerodynamik Porsche Engineering so optimiert hat, dass sie mit 40 km/h statt wie zuvor mit nur 20 km/h über die Strecke fährt. Damit kann sie beispielsweise den Asphalt in kurzer Zeit absolut zuverlässig von Reifenabrieb reinigen, der sonst den Grip, insbesondere in den Kurven, verringern könnte.

Ein Faktor, der Messergebnisse verfälscht oder gar für Gefahr sorgt, ist so beseitigt.

Auch das Feuerwehrfahrzeug hat Porsche Engineering mit modernster Rettungstechnik für den Einsatz im NTC optimiert. Gemeinsam mit dem Safety Car, dem der Panamera Turbo zugrunde liegt, steht es rund um die Uhr bereit, immer bemannt mit speziell geschultem Notfall-Personal. Als drittes wichtiges Glied der Schutz- und Rettungskette dient ein zum Notarztwagen umgebauter Porsche Cayenne. Er kann vom neuen Medical Center aus jeden Punkt des NTC in nur drei Minuten erreichen. Rund um die Uhr sind zwei im Hinblick auf das schnelle Rettungsfahrzeug intensiv geschulte Rettungsassistenten einsatzbereit. Sie haben im Wechsel in Stuttgart und Nardò Dienst und müssen sich dabei nicht umstellen: Die Rettungswagen sind hier wie dort exakt gleich ausgestattet. Alle medizinischen Einrichtungen entsprechen zudem dem neuesten Stand der Technik.

Einige Umbauten wurden aufgrund von Kundenwünschen in die Planung aufgenommen.

Auch um noch bessere Prävention macht sich das Team vor Ort ständig viele Gedanken. Wer auf dem NTC unterwegs ist, kann sich auf eine perfekt überwachte Strecke verlassen. Es wurde bereits ein Track-Management implementiert, das derzeit getestet wird. Es ist in der Lage, die Fahrzeugtests zentral zu steuern und zu überwachen. Hierfür kommen unter anderem Videotracking, GPS-Tracking und Funkkommunikation mit dem Sicherheitsleiter mit sieben Kommunikationskanälen zum Einsatz. Denn nur ein sicheres Testumfeld ermöglicht volle Konzentration auf die Arbeit.

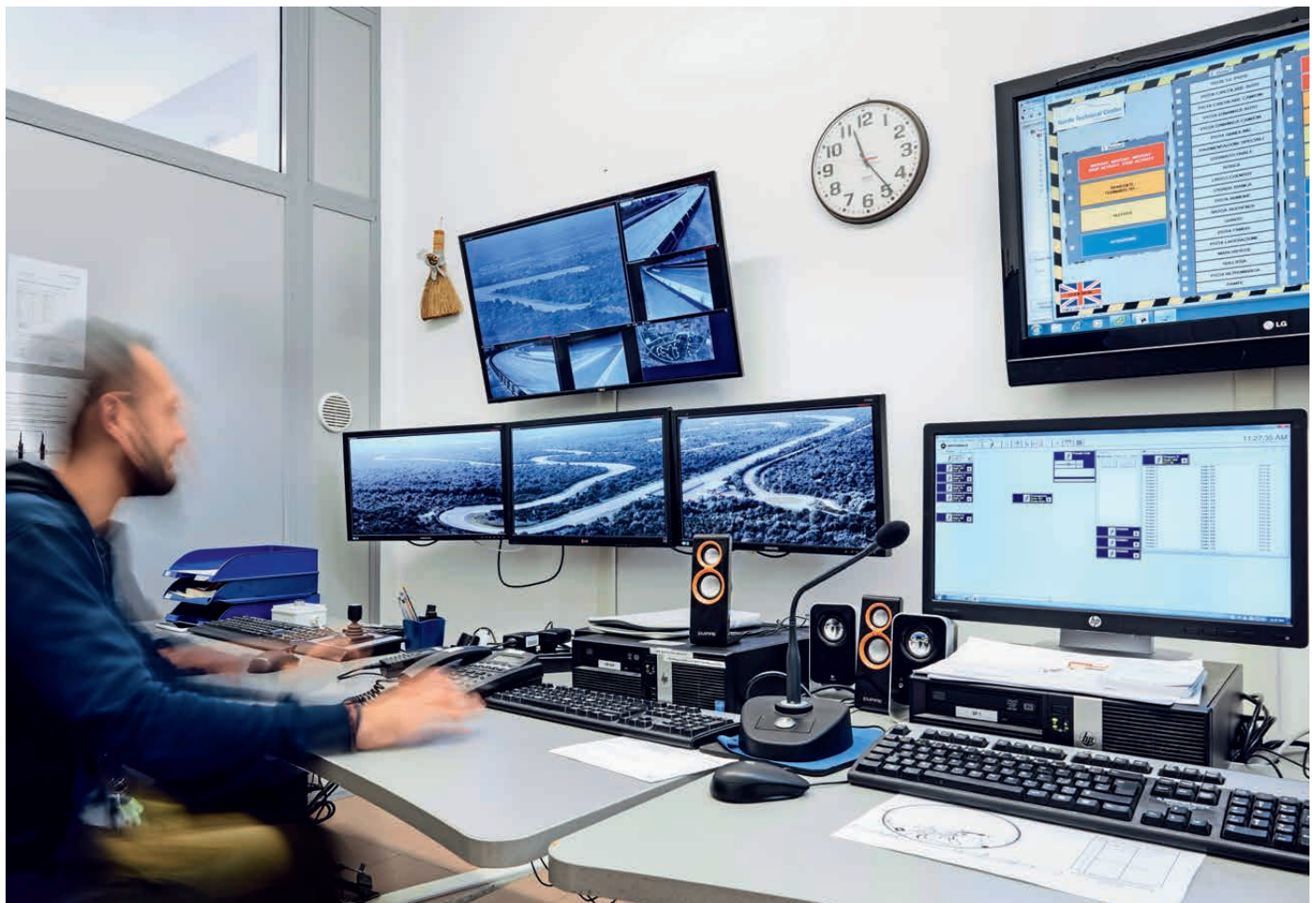
Hightech-Labor für Fahrzeughersteller

Der Masterplan für die Zukunft des NTC ist aber nicht nur auf Sicherheit ausgerichtet, sondern basiert auf einer genauen Analyse aller Bedingungen. So werden Asphalt und Beton hinsichtlich der Reibwerte geprüft und mit den im Straßenbau verwendeten Materialien verglichen. Das Ziel: Jeder Belag, der in Nardò verwendet wird, soll dem entsprechen, was auf der

Welt an Straßendecken gebräuchlich ist. Und da hat sich im Laufe der Jahrzehnte einiges verändert. Auch gilt es, weitere Werkstätten zu modernisieren und die Logistik noch effizienter zu gestalten. Einige der Umbaupläne gehen zurück auf Kundenwünsche. Eine zusätzliche Nasshandling-Strecke, ein Neigungshügel und eine Spurwechselgerade im Hochgeschwindigkeitsbereich stehen in diesem Zusammenhang ganz oben auf der Liste.

Um auch automatisiertes Fahren belastbar testen zu können, wird das NTC neue Wege beschreiten. Moderne Einrichtungen für Fahrerassistenzsysteme sollen eine perfekte Testumgebung dieser Systeme schaffen. Denn neue Technologien erfordern auch neue Prüfmethode. Man versteht sich als Speerspitze für eine solche Entwicklung. Das Nardò Technical Center wird schon bald ein Labor sein, in dem die Kunden sich auf eine digitale Infrastruktur stützen können, die eine sichere Datenanalyse in Echtzeit garantiert. Denn die digitale Revolution des Fahrens verlangt nach schneller Elektronik entlang der Test-

Sicherheit geht vor: Die Strecken in Nardò werden zentral überwacht – per Videotracking, GPS-Tracking und Funkkommunikation.



strecke. Daher wird der Rundkurs mit einer Technik ausgestattet, die eine lückenlose V2X-Verbindung gewährleistet. Damit können die Fahrzeugdaten während Testfahrten sehr schnell übermittelt, verarbeitet und ausgewertet werden.

Die Zukunftsplanung umfasst überdies sämtliche Einrichtungen, die zum Testen von elektrifizierten Fahrzeugen nötig sind. Das reicht von speziellen Werkstatt-Ausrüstungen bis hin zu Hochleistungs-Ladestationen, die Elektroautos schnell wieder an den Start bringen. Der Tausch von Batterie-Packs mithilfe von eigens für diesen Zweck vorgesehenen Hebebühnen? Induktives Laden? Oftmals reifen erst im Dialog mit den Kunden die Erkenntnisse für die effizientesten Lösungen. Alle diese Herausforderungen hat Porsche Engineering längst erkannt und setzt Lösungen dafür nun in Nardò konsequent um.

Umwelt und Region

Eines verlieren die Porsche-Planer bei allen Modernisierungsmaßnahmen niemals aus den Augen: ihre Verantwortung für die Menschen und das Umfeld.

Da über 90 Prozent der Menschen, die ständig hier arbeiten, auch von hier stammen ist die Unterstützung der Region umso wichtiger. Das NTC wählt zunehmend örtliche Lieferanten und beschäftigt immer mehr Menschen aus der Gegend. So ist im Laufe der Jahre auch die Zusammenarbeit mit den örtlichen Behörden und der Universität stetig gewachsen.

Die Verantwortung für die Region erstreckt sich auch auf den Umweltschutz. Derzeit laufen die Renovierungsarbeiten in Werkstätten und Büros, die insbesondere auf die Senkung des Energieverbrauchs ausgerichtet sind. So werden beispielsweise Öl-Heizsysteme durch hocheffiziente elektrische Heiz- und Kühlsysteme ersetzt oder für die Beleuchtung LED-Lampen eingesetzt. Außerdem wurde die gesamte Fahrzeugflotte zugunsten einer besseren Umweltverträglichkeit ersetzt. Für die Zukunft sollen noch weiterreichende Maßnahmen verfolgt werden. So läuft bereits die Suche nach Möglichkeiten für eine noch umweltfreundlichere Energieversorgung. Alle Verfahren zur Energieerzeugung stehen deshalb ebenfalls auf dem Prüfstand. Solar- und Windkraft sollen künftig eine größere Rolle spielen. Und auch die



Das NTC in
Zahlen:

700

Hektar Fläche

153

Mitarbeiter

300

Besucher pro Tag

38

Werkstätten

Für beste Arbeitsbedingungen: Die Werkstätten sind modern und großzügig. Auch für das Testen von Elektrofahrzeugen stehen alle notwendigen Einrichtungen in Nardò zur Verfügung.





Historie bewahrt: Das Verwaltungsgebäude Masseria wurde komplett saniert. Dabei blieb der Charme des alten Gebäudes erhalten.

Bei Renovierungsarbeiten steht hohe Umweltverträglichkeit besonders im Blickpunkt.

effiziente Energiespeicherung, zum Beispiel in Salz-Gel-Tanks, nimmt man in Nardò in Angriff.

Ausblick: Reales Testing ist unverzichtbar

Testen ist heute zwar stark geprägt von Computersimulationen, doch das Abprüfen aller Vorgänge unter kontrollierten und dabei realitätsnahen Bedingungen ist nach wie vor entscheidend für den Erfolg jeder Mobilitätslösung. Die Vielfalt an Teststrecken und Einrichtungen in Nardò ist bereits heute groß und für die meisten Autohersteller attraktiv. Hinsichtlich Qualität und Sicherheit werden den Kunden sehr gute Bedingungen geboten. Und um sich für die Zukunft optimal aufzustellen, werden die Angebote für neue Anforderungen und Technologien stets weiter ausgebaut. In Nardò hat man die Herausforderungen, die insbesondere das automatisierte Fahren an das Testing stellt, erkannt und schafft zielgenau das Umfeld, das die Entwickler in den kommenden Jahren und Jahrzehnten benötigen. ☛



Das Nardò Technical Center ist eines der wichtigsten und bekanntesten Testzentren für Fahrzeughersteller auf der Welt. Das Kerngeschäft des Nardò Technical Center bildet das weitgefächerte Angebot an Erprobungsdienstleistungen für seine Kunden. Von Motorrädern über Personenkraftwagen bis zu schweren Lastwagen – das NTC kann für alle Arten von Fahrzeugen ein geeignetes Testprogramm anbieten.

Das einzigartige Prüfgelände garantiert bei guten Wetterbedingungen Testmöglichkeiten an 365 Tagen im Jahr und 24 Stunden am Tag. Kunden können im NTC eine große Bandbreite an Tests auf verschiedenen Streckenarten durchführen. Auf einer Gesamtfläche von 700 Hektar hält das NTC für seine Kunden über 20 Teststrecken und -einrichtungen für die unterschiedlichsten Arten von Erprobungsaktivitäten bereit. Alle Strecken und Einrichtungen zeichnen sich durch höchste Standards für Sicherheit und Geheimhaltung aus. Einige Beispiele: Fahrzeugdynamik auf der Dynamik-Plattform und dem Handling-Kurs, Dauerhaltbarkeitstests und Zuverlässigkeitstests auf dem Rundkurs, Ermüdungstests auf Off-Road-Strecken.



TESTING

Die Stoppuhr als ultimative Instanz

Interview: Anja Rützel
Foto: Hoch Zwei/Corbis via Getty Images

Mark Webber kann auf eine beeindruckende Rennsportkarriere zurückblicken. Im Interview spricht er darüber, was einen guten Testfahrer ausmacht sowie über Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Testings von Renn- und Straßenfahrzeugen.

Mark, idealerweise sind Rennfahrer auch begabte Testfahrer, um den Ingenieuren bei der Weiterentwicklung ihres Rennwagens helfen zu können. Wie viel Zeit investiert ein Rennfahrer in Testfahrten, verglichen mit dem Renntraining?

- Das Verhältnis zwischen beiden würde ich 30 Prozent Test und 70 Prozent Rennen schätzen. Die meisten Rennfahrer sind allerdings keine wahnsinnig begeisterten Testfahrer, aber sie wissen, dass es unerlässlich ist, wenn man das Auto verbessern will. Ein Testfahrer muss ein Auto komplett ausreizen. Das ist sein Job. Nur dann bekommt er wirklich nützliche Informationen.

Muss ein Rennfahrer sein Auto bis ins letzte technische Detail verstehen?

- Nein. Es hilft natürlich, ein grundlegendes Verständnis zu haben, aber es ist fast unmöglich, mit all den komplexen technischen Entwicklungen Schritt zu halten. Ich finde es darum wichtig, mit den Entwicklern an den exakten Punkten zu arbeiten, die mir tatsächlich helfen können, besser zu werden – und da von ihnen auch Dinge dazu zu lernen. Aber der Fahrer muss kein technischer Experte sein. Und der Ingenieur auch kein Top-Fahrer.

Folgen Sie beim Testen eines Rennwagens einem vorgegebenen detaillierten Plan der Entwickler, oder ist das eher eine intuitive Angelegenheit?

- Die meisten Testfahrten folgen einem festgelegten, sorgfältig ausgearbeiteten Entwicklungsplan.

„Die Techniker können inzwischen die kleinste Fingerbewegung nachvollziehen, die wir Fahrer im Auto machen.“

Mark Webber

Viel wird vorher Off-Site getestet, aber auf der Strecke selbst hält man sich nicht mit Schnickschnack auf. Auf der Teststrecke geht es dann immer ans Eingemachte. Manchmal stößt man bei der Testfahrt trotzdem zufällig auf einen interessanten Punkt, den man dann spontan noch detaillierter untersucht. Ich würde sagen: 80 Prozent nach Plan, 20 Prozent Freestyle.

Verlassen sich die Ingenieure lieber auf ihre Messdaten oder auf den Rennfahrer?

- Daten sind sehr mächtig, keine Frage, und ihre Bedeutung wird immer größer. Die Techniker können inzwischen die kleinste Fingerbewegung nachvollziehen, die wir Fahrer im Auto machen. Aber manchmal passen die Daten nicht hundertprozentig zu dem, was mir als Fahrer mein Gefühl sagt. Dann ist es natürlich wichtig, auch darauf zu hören.

Welche Fähigkeiten muss ein guter Testfahrer im Allgemeinen unbedingt mitbringen?

- Er muss sehr konsistent in seiner Fahrweise sein, denn es gibt genug Parameter, die schwanken – die Reifenbedingungen, der Grip und so weiter. Also muss der Fahrer in seiner Fahrweise absolut stabil sein. Und er muss eine gesunde Beziehung mit den Ingenieuren haben, da darf es keine persönlichen Reibereien geben – es muss wie in einer guten Ehe sein. Deswegen hilft es, die Stoppuhr als ultimative Instanz anzuerkennen und Kritik nicht persönlich zu nehmen. Selbst wenn meine Mutter die Entwicklungschefin meines Rennteams wäre, würde ich gegebenenfalls zu ihr sagen: „Mum, das ist noch nicht gut genug.“

Welche Erkenntnisse, die man bei Testfahrten mit einem Rennwagen gewinnt, können in die Entwicklung von Serienfahrzeugen einfließen?

- Vor allem Materialentwicklungen und Reifen-Technologien. Aber auch technische Neuerungen wie seinerzeit ABS-Bremsen und Turboaufladung kamen aus der Rennwelt.

Worin unterscheiden sich Tests für Rennwagen und jene für Serienwagen?

- Rennwagen müssen in einem Konkurrenzumfeld bestehen. Darum geht es in diesen Tests mehr ins Extreme. Bei Serienwagen steht die Sicherheit mehr im Vordergrund. 🏁



Mark Alan Webber wurde am 22. August 1976 in Queanbeyan, New South Wales/Australien geboren. Von 2002 bis 2013 fuhr er in den Teams Minardi, Jaguar, Williams und Red Bull in der Formel 1 und wechselte danach zur WEC in die höchste Klasse LMP1 zu Porsche, wo er 2015 seine konstant guten Leistungen zusammen mit Timo Bernhard und Brendon Hartley als Teamkollegen mit dem Gewinn der Fahrerweltmeisterschaft krönte. 2016 beendete er seine Fahrerkarriere und ist heute ein gefragter Testfahrer und Markenbotschafter von Porsche.



E-Boxenstopp

Text: Peter Lincoln

Foto: Jürgen Koch, Illustration: d3

Schnellladen, egal ob im Parkhaus, am Supermarkt, auf einer Autobahnraststätte – für jeden Einsatzzweck hat Porsche Engineering nun eine Lösung entwickelt: ein modulares Flexbox-System, das die gegebene Eingangsspannung, die Besucherfrequenz und die Platzverhältnisse berücksichtigt. Erstmals vereinen sich hier hohe Wirtschaftlichkeit und benutzerfreundliches Design zu einer Ladelösung, die der Elektromobilität zu mehr Akzeptanz verhelfen wird.

Betrachtet man die aktuell eingesetzten Schnellladesäulen, zeigen sich sofort die Nachteile der Systeme. Bisher sind in jeder Ladesäule sämtliche fürs Laden notwendigen Komponenten installiert: Transformator, galvanische Trennung, Leistungselektronik, Kühlung und Konnektivität – ein hoher Aufwand, der jede einzelne Säule unverhältnismäßig teuer macht. Als Alternative kristallisierte sich deshalb für Porsche Engineering schnell ein Ladepark mit einer neuen Systemarchitektur und einer neuen Generation von Ladesäulen heraus. Diese neue Gerätegeneration zeichnet eine überzeugende Schnellladetechnik aus. Sie ist eine attraktive Schnittstelle zum Kunden und ermöglicht durch geringe Betriebskosten einen interessanten Business Case für unterschiedlichste Betreiber. Das von Porsche Engineering konzipierte innovative Ladepark-System (siehe Abb. 1) ermöglicht zeitgleich mehreren Elektroautos, ihre Batterien zu laden. Dank 800-Volt-Technik können sie in nur 20 Minuten genug Energie für etwa 400 Kilometer Reichweite speichern. Genug Zeit zum Beispiel für einen Pausenkaffee an der Raststätte oder die Besorgung im Supermarkt oder in der Fußgängerzone.

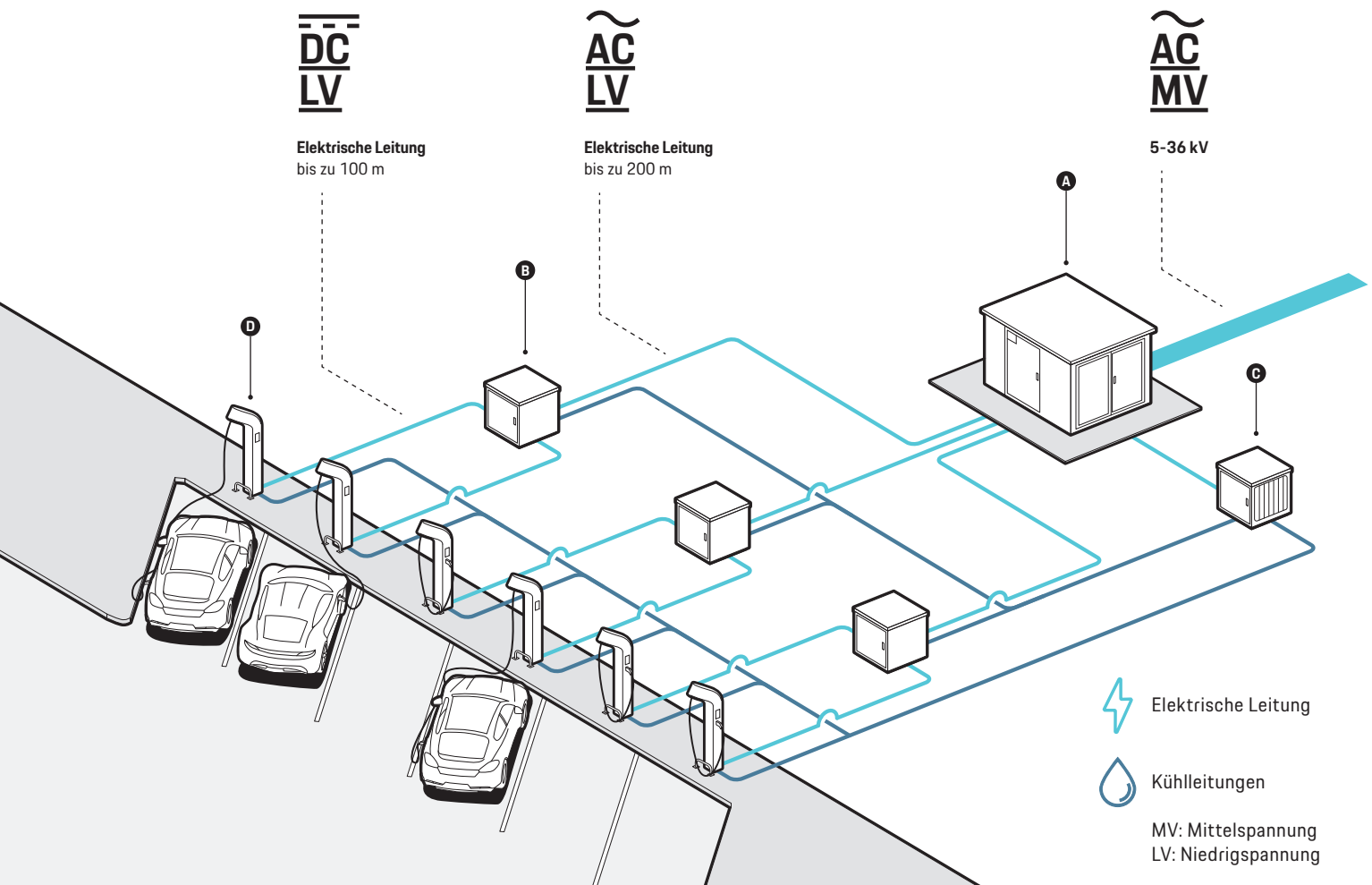
Flexboxen – Bausteine der Architektur

Das Ladepark-System von Porsche Engineering ist konzipiert wie ein Baukasten aus normierten, allwettertauglichen Gehäusen, den sogenannten Flexboxen (Außenmaße: 120 x 120 x 130 Zentimeter). Sie ermöglichen eine flexible Bestückung mit allen notwendigen Komponenten in einem Standardraster und können weit ent-

fernt von den Ladesäulen positioniert werden, etwa hinter einem Gebäude oder einer Hecke. Optisch und auch akustisch sind sie so für den Kunden nicht präsent. Zudem ergeben sich für geplante wie schon bestehende Gebäude beste Integrationsmöglichkeiten: Dort, wo noch Platz ist, fügen sich die Module ein, während die schlanken und benutzerfreundlichen Säulen bestens positioniert für den Kunden bereitstehen.

Räumlich sind also keine generellen Voraussetzungen für die Einrichtung eines Ladeparks nach dem Prinzip von Porsche Engineering vorgegeben. Technisch vorteilhaft für mittlere und große Ladeparks ist, dass ein Anschluss an das Mittelspannungsnetz (36 Kilovolt Wechselstrom) möglich ist. Eine Trafostation wandelt dann diese Mittelspannung (MV) in Niederspannung (LV) um. Auf der Sekundärseite des Transformators steht standortunabhängig immer dieselbe niedrigere Wechselstromspannung bereit.

Der intelligente Aufbau des Transformators erlaubt zudem, die aus Sicherheitsgründen notwendige galvanische Trennung unterzubringen. Der Nutzen ist klar: Die zentrale galvanische Trennung erspart diese in den einzelnen Ladesäulen. Dort ist sie bislang Bestandteil der Leistungselektronik und treibt Platzbedarf und Kosten in die Höhe. Auch für Standorte, wo diese Voraussetzung nicht gegeben ist, steht eine Lösung in Form einer Trafobox zur Verfügung. Auch damit bleiben die relevanten Vorteile wie optimales Package und der hohe ästhetische Anspruch erhalten.



1 Schnellladepark

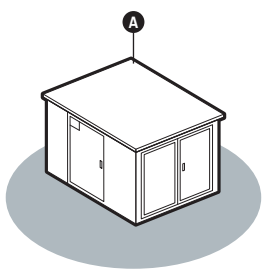
Dank einer innovativen Architektur lassen sich Elektroautos schnell, effizient und kostengünstig aufladen. Zudem zeichnet sich ein Schnellladepark durch eine hohe Wirtschaftlichkeit für Ladeparkbetreiber aus.

Hoher Wirkungsgrad – geringere Betriebskosten

Neben den geringeren Baukosten fallen auch die geringeren Betriebskosten ins Gewicht, denn der Porsche Engineering-Ladepark agiert intelligenter. Im Kontrollserver der Trafostation laufen sämtliche Informationen aller Steuergeräte der Hardware zusammen – vergleichbar einem lokalen Netzwerk. Das Zentralhirn prüft und verbindet etwa die Steuergeräte für die Kühleinheit, die Leistungselektronik und die Ladesäule. Der Kontrollserver übernimmt für die Abrechnung auch die Kommunikation zum Back-End des jeweiligen Betreibers. Das Ergebnis: Der Wirkungsgrad verbessert sich durch diese innovative Architektur auf über 95 Prozent, wodurch spürbar geringere Betriebskosten gegenüber bekannten Systemen möglich werden.

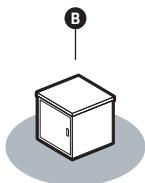
PowerBox

Zunächst wird die Wechselstrom-Niederspannung aus der Trafostation in der sogenannten PowerBox in Gleichstrom umgewandelt. Die PowerBox kann mit zwei Leistungselektroniken bestückt werden und versorgt damit zwei Ladepunkte. Für ihre Funktion werden Siliziumcarbid-Module der neuesten Generation verwendet. Die Vorteile sind im Vergleich zu Bausteinen auf bekannter Technologie niedrigere Leitungs- und Schaltverluste sowie geringerer Platzbedarf. Auch können Elemente



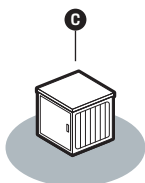
Transformator

Trafostation mit zentraler galvanischer Trennung und Kontrollserver wandelt Mittelspannung in Niederspannung um und arbeitet mit hohem Wirkungsgrad.



PowerBox

mit Leistungselektronik für zwei Ladesäulen wandelt Wechselstrom in Gleichstrom um.



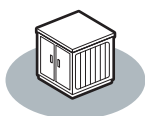
CoolingBox

sorgt für die Kühlung des gesamten Ladeparks.



Ladesäule

für ein hohes Maß an Funktionalität und Wirtschaftlichkeit.



ComboBox

Kombinierte PowerBox mit CoolingBox für wenige gleichzeitige Ladevorgänge.

wie beispielsweise Netzfilter wegen der höheren Taktfrequenz kleiner gebaut werden. Die Komponenten sind so ausgelegt, dass sie eine Distanz zwischen Trafostation und PowerBox von bis zu 200 Metern und zwischen PowerBox und Ladesäule von bis zu 100 Metern erlauben. Daraus ergibt sich eben jene hohe Flexibilität für die Positionierung der Bauteile an jeder beliebigen Stelle. Technisch wären sogar noch größere Distanzen möglich, allerdings dann mit erhöhten Leistungsverlusten und vor allem höheren Baukosten.

CoolingBox

Ein weiterer wichtiger Baustein des Ladeparks ist die CoolingBox. Mit ihrer Hilfe werden Säulen und die Leistungselektronik flüssigkeitsgekühlt. Jede CoolingBox kann zwei Kühleinheiten enthalten, die jeweils die zuverlässige Kühlung von mehreren Ladepunkten unter allen Betriebsbedingungen garantieren. Äußerlich unterscheidet sich eine CoolingBox von den anderen Flexboxen des Ladeparksystems durch Lüftungsschlitze für Zu- und Abluft. Optimal platziert ist die CoolingBox in größerer Entfernung zu den Ladesäulen. So wird sichergestellt, dass die beim Kühlen entstehenden, unvermeidlichen Geräusche kundenfern bleiben.

ComboBox – die Alternative für kleine Ladeparks

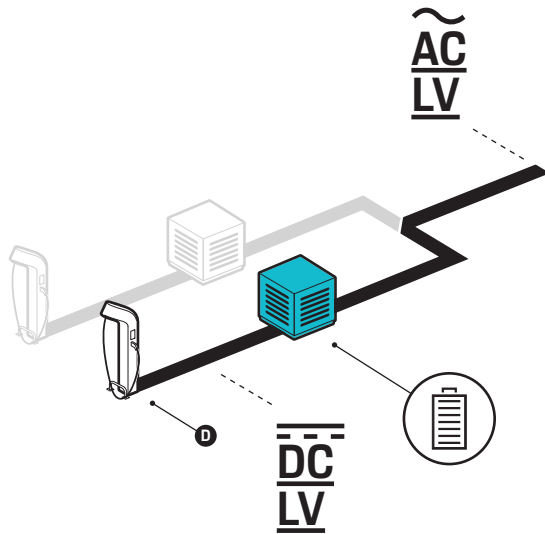
Auch auf besondere Anforderungen der Ladeparkbetreiber, wie etwa extrem wenig Platz, kann die Porsche Engineering-Entwicklung flexibel reagieren – zum Beispiel bei kleineren Anlagen. Arbeitet ein Betreiber nur mit wenigen Ladepunkten, gibt es ein kompaktes Alternativ-System: Die sogenannte ComboBox vereint PowerBox und CoolingBox, also eine Leistungseinheit mit einer Kühleinheit, was für jeweils einen Ladepunkt ausreicht.

ChargeBox – Schnellladen auch ohne Mittelspannung

Selbst für Fälle, in denen kein ausreichend starker Netzanschluss zur Verfügung steht, bietet das modulare Ladesystem eine Lösung, mit der Elektroautos sehr schnell geladen werden können. Die hierfür speziell konzipierte ChargeBox (siehe Abb. 2) enthält neben einer Leistungseinheit eine zusätzliche Puffer-Speicher-Batterie. Sie wird aufgeladen, solange kein Fahrzeug die Ladesäule nutzt. Durch die Speicherbatterie als Ersatz für Netzleistung steht für den Kunden aber auch hier eine hohe Ladeleistung abrufbereit. Ideal ist die ChargeBox für Standorte mit wenig Ladefrequenz pro Tag, und wenn ein Ausbau der Netzkapazität teuer ist. Die ChargeBox gibt es als Einstiegsmodell mit 70 kWh Batterie und einer 160 kW Ladesäule. Für höher frequentierte Standorte, für Fahrzeuge mit höheren Ladeleistungen oder als spätere Nachrüstung kann man auch auf die Vollausstattung mit 140 kWh und zwei Ladesäulen à 160 kW, zusammenschaltbar auf 320 kW, zurückgreifen. Als weiteres wichtiges Element der Lösung sichert eine Smart Grid Unit am Netzanschlusspunkt ab, dass nie mehr Strom als erlaubt aus dem Netz gezogen wird. Dieses Bauteil hilft zudem bei der Nutzung des Stroms einer vorhandenen PV-Anlage für das Schnellladen und unterstützt im Rückspeisebetrieb bei der Verbrauchsoptimierung am Standort.

Premium-Ladesäulen

Der Endkunde bekommt von der Technik im Hintergrund nichts mit. Für ihn steht der immer gleiche Anlaufpunkt bereit: Die Ladesäulen sind das Bindeglied zum Fahrer eines Elektroautos (siehe Abb. 3). Porsche Engineering hat die Säulen mit Ansprüchen an Design und Ergonomie für ein positives Ladeerlebnis und gleichzeitig mit Blick auf hohe Funktionalität und Wirtschaftlichkeit gestaltet. Da die Ingenieure alles aus der Ladesäule herausgenommen und in Flexboxen verpackt haben, was vor Ort nicht zwingend notwendig ist, konnte eine schlanke Optik verwirklicht werden – und eine Porsche typische Design-Identität. Denn das war neben der universellen Einsetzbarkeit bei jeder Parkplatzsituation ebenfalls Teil des Lastenheftes.



2 ChargeBox

Die ChargeBox ist dann die passende Lösung, wenn es in der Nähe keine Mittelspannungs-(MV-)Netzanbindung gibt und am Standort nur wenige Fahrzeuge pro Tag geladen werden. Eine ChargeBox kann bis zu zwei Ladepunkte versorgen. Sie enthält neben der Leistungseinheit eine zusätzliche Puffer-Speicher-Batterie.



Volker Reber
Leiter Fachdisziplin
Hochvolt-System-
entwicklung

Die kranartige Form der Säulen kommt nicht von ungefähr: Das hoch geführte flüssigkeitsgekühlte Ladekabel erreicht die Ladedose jedes Elektrofahrzeugs. Denn schließlich sollen E-Mobile aller Hersteller an diesen Säulen tanken können. Ein großzügiges 10-Zoll-Touchdisplay stellt viele Möglichkeiten für die Interaktion mit dem Kunden bereit. Insgesamt soll dieses sehr durchdacht gestaltete Konzept dazu beitragen, dass der Kunde den Ladevorgang als unkompliziert und angenehm empfindet.

Der ästhetische Anspruch zeigt sich auch in mehreren Beleuchtungselementen: Ein in der Vorderseite der Säule sichtbarer Streifen zeigt den Betriebszustand an. Leuchteinheiten links und rechts markieren sanft die Ladesäule und definieren den Bereich des Parkplatzes.

Passender Strom für jedes E-Modell

Ebenso flexibel wie bei der individuellen Struktur des Ladeparks ist die Porsche Engineering-Entwicklung auch in Sachen Ladekomfort für den Kunden. Durch die jeweilige Ladekontrolle in der Säule wird automatisch die Kommunikation zum Fahrzeug aufgebaut. Sie gleicht sofort zu Beginn des Ladevorgangs die Anforderungen des Fahrzeuges mit den Möglichkeiten der Ladestation ab. Ist ein Fahrzeug für die von Porsche entwickelte 800-Volt-Technik eingerichtet, kann es mit hoher Leistung geladen werden. Der Ladepunkt von Porsche Engineering versorgt aber auch Fahrzeuge, die nur für geringere Ladeleistungen ausgelegt sind. Auch sie erhalten den für sie passenden Strom.

Technisch setzt Porsche auf das Combined Charging System (CCS1/CCS2) als europaweiten Standard. Dieser ist angepasst an das höhere Spannungsniveau und auf die höheren Ströme des Ladeparks. Mit geringen Änderungen der Ladekontrolle können aber auch weitere Ladestandards wie CHAdeMO oder GB/T umgesetzt werden, so dass sich damit weitere Fahrzeuge selbst in Regionen wie Japan und China bedienen lassen.

Betriebssicher – jetzt und in Zukunft

Neben der aktuell hohen Flexibilität für Betreiber und Kunden wurde auch darauf geachtet, für künftige Anforderungen entwicklungsfähig zu bleiben. Deshalb haben die Porsche Engineering-Kollegen aus Prag die Software für die Steuerung des Ladeparks, des Ladevorgangs und die Serveranbindung selbst entwickelt. Dadurch ist der Ladepark nicht nur Smart Grid-fähig, kann also aktiv mit der Infrastruktur kommunizieren, sondern lässt sich dank der eingebauten, zentralen Intelligenz auch dann noch betreiben, wenn beispielsweise die Back-End-Kommunikation zur elektronischen Kasse des Betreibers ausfällt. Der Ladepunkt bleibt auch in einer solchen Situation für den Kunden verfügbar. Eine sichere, bequeme und schnelle Aufladung in jeder Situation ist der Anspruch, den Porsche Engineering hat. Dank dieser Fixierung auf den Kunden und dank der intelligenten Bauweise wird die neue Ladeinfrastruktur von Porsche Engineering so zur optimalen Lösung für praktisch jeden Betreiber. ☛



Florian Joslowski
Fachreferent HV-
Systeme im Bereich
Batteriethemata

800 V

Die neue Ladesäulen-Generation ist auf 800-Volt-Technologie ausgelegt. Sie ist aber auch für alle im Markt befindlichen Fahrzeuge mit 400 Volt abwärtskompatibel.

10 Zoll

Das große Touchdisplay ist so ausgelegt, dass es auch bei Sonnenlicht optimale Lesbarkeit bietet.

320 kW

20 min

Binnen 20 Minuten ist die Batterie des Mission E wieder für die nächsten 400 Kilometer geladen.

CCS

Porsche setzt auf das Combined Charging System als europaweiten Standard. Aber auch CHAdeMO und GB/T werden später noch umgesetzt.



Zusammengefasst: Das Konzept des innovativen Ladeparks von Porsche Engineering ermöglicht es, Elektroautos in nur 20 Minuten für rund 400 Kilometer Reichweite aufzuladen. Dank intelligenter Technik, elegantem Design, smarter Selbstbedienung und einfacher Abrechnung erleben die Kunden ein Premium-Ladeerlebnis. Der besondere Clou der Schnelllade-Parks von Porsche Engineering ist aber, dass sie effizienter arbeiten und dadurch die Betreiber mit deutlich niedrigeren Betriebskosten rechnen können. Schneller, flexibler und effizienter: Eine typische Porsche Engineering-Lösung eben.

Elektromobilität als Chance

Interview: Hans Schilder
Fotos: Heiko Simayer

Porsche engagiert sich intensiv für die Zukunft der Elektromobilität – sowohl durch den Bau von Hochleistungssportwagen mit Elektroantrieb als auch durch die Entwicklung einer Schnellladeinfrastruktur, die effizienter und kundenfreundlicher ist als herkömmliche Ladesysteme. Wohin die Reise geht und wo Herausforderungen warten, klären im Gespräch Otmar Bitsche, Leiter Entwicklung Elektrik, Elektronik, Elektromobilität bei Porsche, und Michael Kiefer, Leiter Hochvolt-Systeme bei Porsche Engineering.

M.K. – Michael Kiefer

O.B. – Otmar Bitsche

Über die Treibstoffversorgung von Verbrennungsmotoren haben sich die Automobilhersteller nie den Kopf zerbrochen, sondern diese Angelegenheit den Mineralölkonzernen überlassen. Warum also hat sich Porsche Engineering entschlossen, einen eigenen Ladepark für Elektroautos zu entwickeln?

M.K. – Bei der Umstellung von Verbrenner- auf Elektroantrieb muss ich meinen Kunden auf die Reise in die neue Elektrowelt mitnehmen. Bei unserer Marke sind 100 Prozent unserer Kunden Verbrenner gewohnt. Da stehe ich vor dem Henne-Ei-Problem. Kein Ladenetz, keine E-Autos. Und wenn es keine E-Autos gibt, investiert niemand in ein Ladenetz. Wir können Elektroautos demnach nur verkaufen, wenn wir dem Kunden die Sicherheit geben, dass ihm dafür ein vernünftiges Ladenetz zur Verfügung steht. Deshalb geht Porsche in Vorleistung und treibt den Ausbau der Ladeinfrastruktur selbst aktiv voran.

Wie machen Sie das?

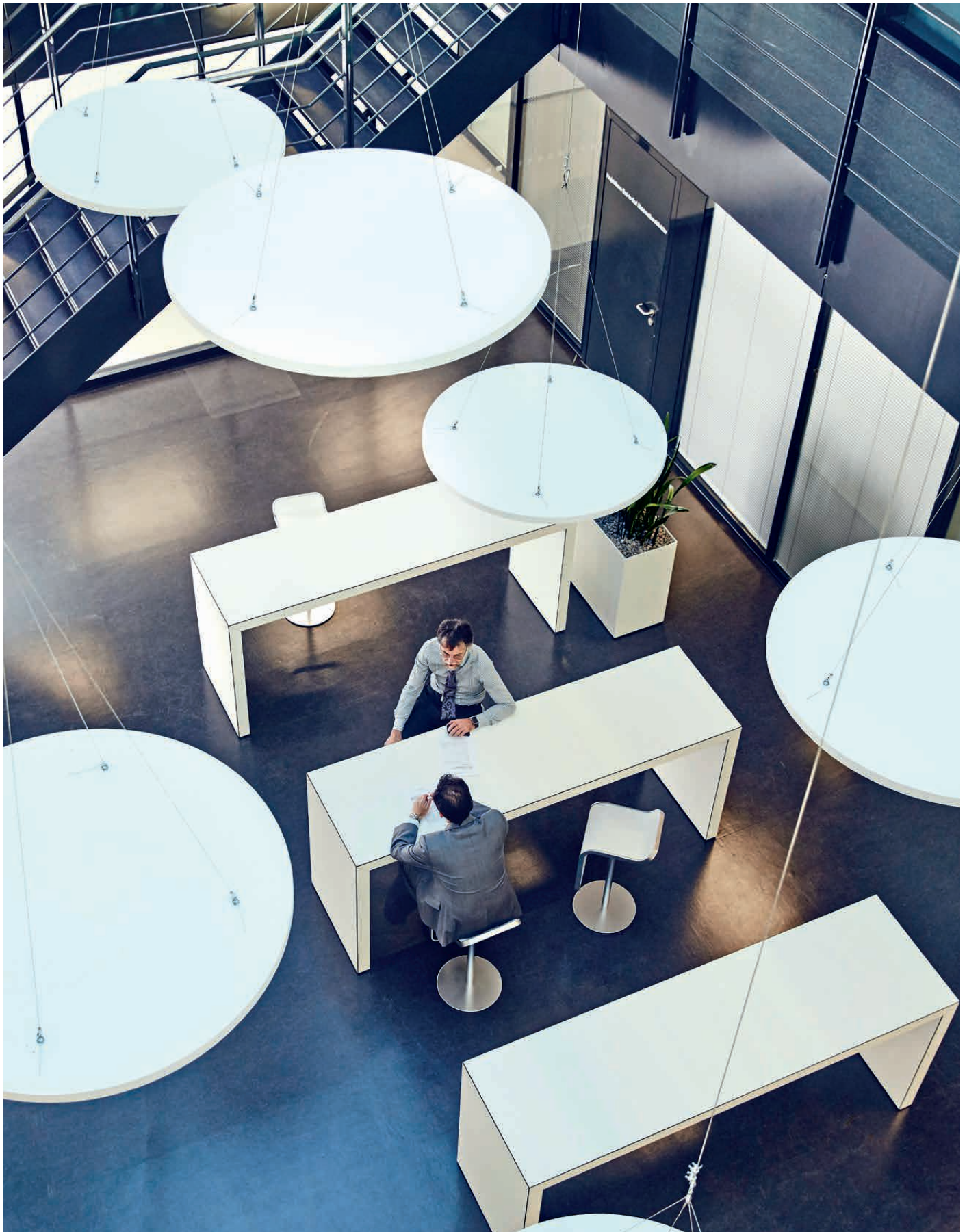
M.K. – Zum einen stellen wir dem Markt eine eigene effiziente Lösung zur Verfügung, und zum anderen beteiligt sich der Volkswagen

Konzern an dem Joint Venture „Ionity“ für den Ausbau eines Schnellladenetzes entlang der europäischen Fernstraßen. Sind erst einmal genügend Elektroautos unterwegs, werden mit Sicherheit Investoren auf den Zug mit Ladestationen aufspringen und einen Business-Case daraus machen, mit dem sie Geld verdienen können. Um dieses Geschäftsmodell zu ermöglichen, ist allerdings eine Anschub-Initiative wie die unsrige erforderlich, die das Gesamtkonzept erst ermöglicht.

Wie wichtig ist ein bedienungsfreundliches Ladesystem?

O.B. – Sehr wichtig. Das heutige System mit komplizierten Abrechnungsmodalitäten und auch mit unterschiedlichsten Strompreisen stellt eine echte Barriere im Hinblick auf die Akzeptanz der Elektromobilität dar.

M.K. – Wer heute mit einem Elektrofahrzeug von München nach Hamburg fahren möchte, braucht mehrere Karten, mit denen er sich an den Ladesäulen authentifizieren muss. Porsche nimmt dem Kunden genau diese Authentifizierung ab, indem wir mit allen Ladesäulenbetreibern Verträge schließen,





**„Mit der von
Porsche Engineering
entwickelten
Ladeinfrastruktur
benötigt der Kunde
nur eine einzige
Ladekarte, die
überall akzeptiert wird.“**

Michael Kiefer,
Porsche Engineering

Vorausdenken: Michael Kiefer (oben) und Otmar Bitsche (unten) leben Elektromobilität ganz selbstverständlich im Alltag und treiben den Ausbau einer europäischen Ladeinfrastruktur mit voran.



➤ Michael Kiefer (oben): Leiter Hochvolt-Systeme bei der Porsche Engineering Group GmbH • Geboren: 1975 • Aufgewachsen: bei Karlsruhe • Laufbahn: Studium der Technik und Wirtschaft an der Hochschule Karlsruhe • 2002 Trainee AUDI AG, 2006 Porsche, seit 2016 Porsche Engineering • Familie: verheiratet, zwei Kinder • Michael Kiefer hat als Leiter Hochvolt-Systeme bei Porsche Engineering ein hochflexibles und kostengünstiges Schnellladesystem mit 350 kW DC-Ladeleistung entwickelt, das sich dank seines modularen Aufbaus an jeden Standort und jeden Bedarf anpassen lässt.

➤ Otmar Bitsche (unten): Leiter Entwicklung Elektrik, Elektronik, Elektromobilität bei Porsche • Geboren: 1957 • Aufgewachsen: Feldkirch Tosters • Laufbahn: Studium der Elektrotechnik an der TU Graz • 1990 Steyr-Daimler-Puch, 1996 Smart, 1997 bis 2012 Mercedes, seit 2012 Porsche • Familie: verheiratet, eine Tochter • Otmar Bitsche ist der Leiter im Bereich E-Mobility der Porsche AG. Er verantwortet die Entwicklung von Elektroautos des Sportwagenherstellers.

sodass der Kunde nur eine einzige Ladekarte benötigt, die überall akzeptiert wird. Außerdem kann er mit einem garantierten Strompreis kalkulieren, der flächendeckend für die ganze Republik gilt. Kunden des Porsche-Ladedienstes erhalten schließlich nur eine einzige transparente Rechnung von der Firma Porsche.

Was unterscheidet den Ladepark von Porsche Engineering von anderen Konzepten für Ladestationen?

M.K. – Wir haben uns dem Thema Ladepark aus der Sicht der Kunden genähert, welche die Ladesäule bedienen müssen. Aber auch die Sicht der Betreiber, die diese Parks aufbauen möchten, haben wir nicht außer Acht gelassen. Für beide bietet der Markt derzeit kaum optimale Lösungen. Der Gebrauch ist oft kompliziert, oder es gibt beispielsweise Schwierigkeiten mit der Instandhaltung, dem Service oder mit

↓
800 Volt

Gleichstrom-Schnell-laden ermöglichen die Porsche-Ladesäulen.

↓
20 min

dauert das Laden bei Porsche für

↓
400 km

Reichweite.

der Diagnose von solchen Parks. Wir haben deshalb zum Beispiel sehr viel Arbeit in das Thema Benutzerfreundlichkeit gesteckt. Unsere Ladesäulen unterscheiden sich allein schon optisch von den heute üblichen. Sie unterstützen den Kunden durch eine Konstruktion, welche das Ladekabel sauber führt. Außerdem haben wir unser Gesamtsystem auf geringste Leistungsverluste ausgelegt. Das zahlt sich bei den laufenden Kosten aus. Darüber hinaus spart der potenzielle Betreiber des Parks sehr viel Geld.

Kann der Porsche-Ladepark an jedem Standort aufgebaut werden?

M.K. – Wir haben zwei Varianten: den Ladepark und die ChargeBox. Der Park ist für Standorte mit größeren Flächen ausgelegt, an denen ein sehr hoher Durchsatz an Ladevorgängen zu erwarten ist – 24 Stunden, sieben Tage die Woche. Mit einer kleinen Kompaktstation



ist aber auch ein Ladepark in der Stadt möglich, etwa in einem Wohngebiet. Für alle Orte mit extremen Flächenproblemen gibt es unsere zweite Variante, die ChargeBox mit einer integrierten Batterie. Sie kann an das normale Niederspannungsnetz angeschlossen werden und ermöglicht trotz ihrer kompakten Abmessungen ebenfalls das Schnellladen.

Ziel ist für Porsche immer das Schnellladen?

M.K. – Ja. Unser Leistungsbereich beginnt heute etwa bei 150 Kilowatt und reicht bis 350 Kilowatt. In einer späteren Ausbaustufe könnte es vielleicht auch mehr sein. Wir glauben, dass sich alles, was in der Zukunft installiert wird, in diesem Leistungsbereich abspielen wird. Denn im öffentlichen Raum möchte man keine Dauerparker an den Ladestationen haben, nur weil das Laden so viel Zeit in Anspruch nimmt. Niedrige Ladeleistung ist eigentlich nur fürs Heimladen akzeptabel.

Porsche-Schnellladesäule:

Ihr Design ist gleichzeitig futuristisch und praktisch. Michael Kiefer (rechts) demonstriert Otmar Bitsche die komfortable Bedienung. Links ist die Batterie des Mission E zu sehen und rechts die ChargeBox von Porsche Engineering.

Die Porsche-Ladesäulen ermöglichen Gleichstrom-Schnellladen mit 800 Volt. Können dieses Angebot alle derzeit käuflichen Elektroautos nutzen? Welche Voraussetzungen müssen sie fürs Schnellladen erfüllen?

- O.B.** – Die meisten Elektroautos lassen sich heute mit 50 Kilowatt schnellladen, aber nicht mit mehr.
- M.K.** – Künftige Ladepunkte werden also diskriminierungsfrei sein müssen. Das bedeutet, dass sämtliche Schnellladesäulen, auch wenn sie 350 Kilowatt bieten, in der Lage sein müssen, alle auf dem Markt erhältlichen Elektroautos zu laden.

Steht auch induktives Laden in Ihren Zukunftsplänen?

- O.B.** – Auf der Fahrzeugseite auf jeden Fall. Wir planen induktives Laden später auch beim Mission E anzubieten. Allerdings ist damit kein Schnellladen möglich. Dafür lässt sich mit dieser



Technik ein Fahrzeug in der eigenen Garage über Nacht ganz unkompliziert laden. Das Dilemma beim induktiven Laden ist allerdings, dass es noch keinen verbindlichen Standard dafür gibt. Den soll ein gemeinsames Forschungsprojekt mit anderen Herstellern entwickeln.

M.K. – Der fehlende Standard schließt derzeit noch öffentliche Plätze aus. Heute müsste für jeden Hersteller ein eigener Induktionsladeplatz vorhanden sein, und das ist für einen Betreiber in Parkhäusern ein völlig unattraktives Modell.

O.B. – Bei der Standardisierung geht es nicht nur um die Leistungsübertragung, sondern es müssen auch sämtliche Sicherheits- und Kommunikationswege einheitlich festgelegt werden. Fremdobjekterkennung, Lebendobjekterkennung, Metallobjekterkennung, die gesamte Kommunikation und auch das Positionieren vom Auto müssen standardisiert sein.

Wann wird es diesen Standard geben?

O.B. – Mit allem Drum und Dran rechne ich frühestens im Jahr 2020 damit. Vielleicht schaffen wir es bis Mitte 2018, die Leistungsübertragung zu standardisieren.

Welcher Typ von Elektromotor kommt für Porsche-Sportwagen infrage – asynchron, synchron oder Permanentmagnetmotor – und warum?

O.B. – Permanentmagnetmotoren sind unsere Wahl. Das hat im Wesentlichen drei Gründe. Erstens: überzeugende Leistungsdichte, also geringes Gewicht bei hoher Leistung, weil die Erregung schon durch die Permanentmagnete mitgebracht wird. Zweitens: sehr hohes Drehmoment. Drittens: Hohe Dauerleistungen sind möglich.

Setzt Porsche auf das Dual-Motorkonzept – mit je einem Motor an Vorder- und Hinterachse?

O.B. – Aktuell setzen wir bewusst auf Allradtechnologie. Aber das ist auch anders denkbar.

Derzeit gelten Hochvoltbatterien der neuesten Lithium-Ionen-Technologie als Maßstab. Sie bieten eine Energiedichte von derzeit durchschnittlich 180 Wattstunden pro Kilogramm. Gibt es für die Zukunft Batteriekonzepte mit deutlich höherer Energiedichte?

O.B. – Wir gehen in Bezug auf den Energieinhalt von einer Steigerung von etwa fünf Prozent pro Jahr aus. Einen Hype erlebt derzeit das Thema Festkörperelektrolyt. Da sehen wir allerdings noch große technische Herausforderungen.



CCS-Stecker (Combined Charging System):

Er ergänzt den im europäischen Raum als Standard festgelegten Typ-2-Stecker mit zwei zusätzlichen Leistungskontakten um eine Schnellladefunktion und unterstützt AC- und DC-Laden (Wechselstrom- und Gleichstromladen) mit bis zu 170 kW.

„Wir planen induktives Laden später auch beim Mission E anzubieten. Noch fehlt allerdings dafür der verbindliche Standard.“

Otmar Bitsche,
Porsche



400 Volt

und Drehstrom mit mindestens 11 Kilowatt und 16 Ampère sollte eine Wallbox haben.



Fast

8.000

Ladestationen für Elektroautos gab es Ende 2017 in Deutschland.

Aber wir beobachten das sehr intensiv. Die Lithium-Ionen-Technik birgt auf jeden Fall noch viel Potenzial durch keramische Separatoren, durch Siliziumoxid in der Anode, durch Elektrolyte usw.

Schadet Schnellladen der Batterie?

O.B. – Nicht, wenn man es richtig macht. Man kann eine Batterie allerdings nicht bis 100 Prozent schnellladen. Mit steigendem Ladezustand muss die Leistung zurückgenommen werden. In Summe können wir in bis zu 20 Minuten für 400 Kilometer nachladen, ohne dass die Batterie leidet. Dabei ist das Ladeerlebnis für den Fahrer sehr angenehm, denn das Fahrzeug steuert das Laden vollkommen automatisch.

M.K. – Ganz gleich, ob auf Fahrzeug- oder Infrastrukturseite – wir bieten den Nutzern unseres Systems eine schnelle, flexible und effiziente Lösung. ☛

Kreativer Ingenieurnachwuchs überzeugt

Text: Hans Schilder
Fotos: Liana Haitonic

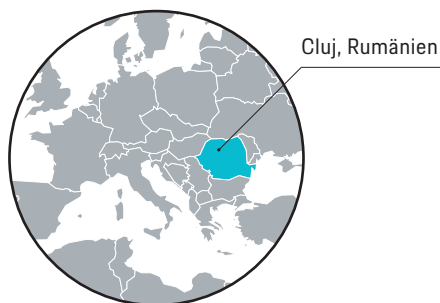
Erstaunlichen Ideenreichtum bewiesen die Teilnehmer der Porsche Engineering Student Competition 2017, die Porsche Engineering gemeinsam mit der rumänischen Universität von Cluj-Napoca ausgeschrieben hatte. Der Ingenieurnachwuchs baute und programmierte mit günstigen Standardteilen Autos, die automatisiert fahren, und stellte sich damit einem spannenden Wettbewerb.



Die jungen Studierenden richten ihre Blicke konzentriert auf den Boden der hell erleuchteten Halle. Dort markieren schwarze Linien zwei gut fußbreite ovale Teststrecken, die ihre Modellautos mit selbst entwickelter und programmierter elektronischer Steuerung völlig autonom bewältigen sollen. Das war die Grundaufgabe bei der Porsche Engineering Student Competition 2017.

Ausgeschrieben hatte den Wettbewerb Porsche Engineering gemeinsam mit der Technischen Universität von Cluj-Napoca für Studierendenteams, die sich an einer anerkannten rumänischen Universität für einen Ingenieurstudiengang eingeschrieben haben. Das Ziel der Veranstaltung war das aktuelle Thema „automatisiertes Fahren“ mit einem herausfordernden und gleichzeitig spielerischen Aspekt auf Studierendenebene zu transferieren. Den erfolgreichsten Teilnehmern wurde als Bonus eine besondere Nachwuchsförderung durch Porsche Engineering in Aussicht gestellt.

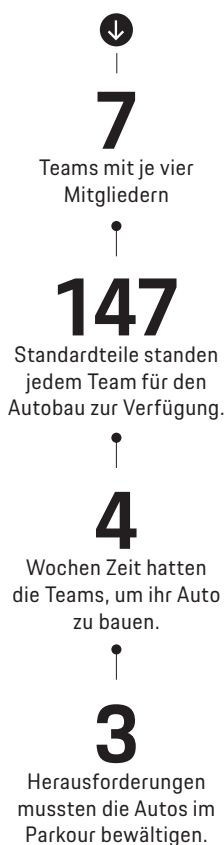
„Das rumänische Cluj ist dafür der ideale Ort“, erklärt Holger Dinkelaker, der den Wettbewerb für Porsche Engineering begleitete. „Denn Cluj und seine Universität sind in Sachen Software führend, eine Art europäisches Silicon-Valley. Das passt zu unserer Wachstumsstrategie, speziell was Software angeht.“



Wo steckt der Fehler? Ein Team diskutiert, welche Verbesserungen am Wettbewerbsfahrzeug noch in letzter Minute vorgenommen werden können (linke Seite).

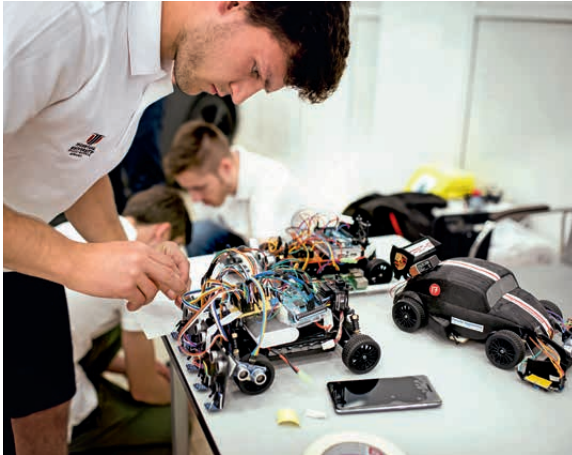


Großartige Perspektiven: John Heldreth (rechts) erläutert den Teilnehmern noch einmal die Regeln des Wettbewerbs und stellt den Siegern eine enge Zusammenarbeit mit Porsche Engineering in Aussicht. Holger Dinkelaker (links) gibt den Startschuss.



Beworben hatten sich 27 Teams; die sieben erfolgversprechendsten mit je vier Mitgliedern wurden schließlich zum Wettbewerb eingeladen. Allesamt Studierende im zweiten bis vierten Semester und zwischen 19 und 23 Jahre jung.

Um Chancengleichheit zu garantieren, stellte Porsche diesen Teams die gleichen 147 überall erhältlichen Standardteile für ein Wettbewerbsfahrzeug zur Verfügung. Dazu gehörten Chassis, Achsen, Elektromotor und weitere Bauteile, aus denen sich ein Modellauto im gängigen Maßstab 1:18 bauen ließ. Ebenfalls einheitlich: die elektronischen Steuerungskomponenten mit dem scheckkartengroßen, programmierbaren Minicomputer Raspberry Pi 1 für kaum 25 Euro als Kernstück, dem programmierbaren Micro-Controller Arduino Mega 2560 1 zur Steuerung der Hardware, sowie weiteres Equipment wie beispielsweise ein Ethernet Shield, Laser-, Licht- sowie Ultraschallsensoren, Kabel und Batterien. Eigenes, kostspieligeres Equipment war nicht zugelassen, um finanziell besser gestellte Studierenden keinen Vorteil zu verschaffen. „Es ging schließlich darum, die besten Problemlösungen auf der gleichen Basis zu finden, mit eigenen Ideen und Kreativität“, sagt Dinkelaker.



Teamarbeit: Die Teilnehmer bauen und programmieren ihre Fahrzeuge selbst. Im Anschluss schicken sie diese auf den ovalen Wettbewerbs-Parkour (rechte Seite). Ein spannender Moment.

↓
2016
Porsche Engineering Romania SRL
wird gegründet.

↓
25
Stipendien pro Jahr vergibt
Porsche Engineering an
Studierende der TU Cluj-Napoca.



Cluj-Napoca ist die zweitgrößte Stadt Rumäniens nach der Hauptstadt Bukarest. Sie ist im Nordwesten des Landes in der historischen Region Siebenbürgen gelegen. Die Technische Universität Cluj-Napoca hat etwa 18.000 Studierende und 13 Fakultäten. Eine Besonderheit ist der deutschsprachige Studiengang „Industrielles Ingenieurwesen“, der in Kooperation mit der Universität Stuttgart angeboten wird. Porsche Engineering Romania ist Partner des Master-Programms „Advanced Techniques in Automotive Engineering“ (ATAE), in dessen Rahmen 25 Studierende für die Arbeit in Forschung und Entwicklung in der Automobil- und Zuliefererindustrie vorbereitet werden. Die enge Zusammenarbeit zwischen Porsche Engineering und der Technischen Universität Cluj-Napoca findet außerdem ihren Ausdruck in der jährlich stattfindenden „Porsche Engineering Student Competition“.

Die Teams hatten vier Wochen Zeit, um ihr Auto zu bauen, diese mit der notwendigen Elektronik zu versehen und eine Software mit Algorithmen zu entwickeln, die ihr Fahrzeug in die Lage versetzte, die gestellten anspruchsvollen Aufgaben zu absolvieren. Die Modellautos mussten

- ➔ die Versuchsstrecke erkennen und so oft wie möglich in vorgegebener Zeit abfahren, ohne die Grenzlinien zu überschreiten;
- ➔ Objekte, die auf der Strecke für alle Teilnehmer gleich platziert wurden, erkennen und umfahren;
- ➔ auf bewegliche Objekte sinnvoll reagieren.

Am Finaltag stellte sich gleich zu Beginn heraus, dass die Lichtverhältnisse für manche Teams eine größere Herausforderung sind als angenommen. Manche selbst geschriebene Programme steuern die Competition-Modelle über die Grenzlinien der Strecke hinaus. Aber Nachbesserungen sind erlaubt. Hastig packen die Teams Laptops aus, schließen sie am Minicomputer ihres Autos an, um direkt neben dem Streckenoval ihre Software zu korrigieren. Nicht immer finden sie auf Anhieb eine Lösung für ihr Problem. Oft helfen dann bereitwillig Mitglieder konkurrierender Teams mit sinnvollen Tipps weiter. Teamgeist ist wichtiger als der Sieg.

Zwei Teams hatten am Ende des Wettbewerbs alle Aufgaben erfolgreich absolviert, Sieger wurden die 20 und 21 Jahre alten Mitglieder von „bitsplease“. Sie durften nach Weissach reisen, um Porsche Engineering intensiv kennenzulernen. Dort begrüßte sie der Entwicklungsvorstand der Porsche AG, Michael Steiner. Er demonstrierte damit, wie ernst man den Wettbewerb und die Nachwuchsförderung gerade auf der Führungsebene nimmt. Deshalb dürfen die Teilnehmer auch künftig auf Porsche bauen, sie können sich über Studienbegleitung, Praktikumsplätze sowie Unterstützung bei Semesterarbeiten freuen.

Die erfolgreiche Student Competition steht auch in diesem Jahr auf dem Programm und rundet das Engagement von Porsche Engineering in Cluj ab. Beispielsweise steigert die Porsche Engineering Romania SRL, jüngste Tochtergesellschaft des international agierenden Ingenieurdienstleisters Porsche Engineering Group GmbH, die Zahl der Beschäftigten in den Bereichen der Softwareentwicklung und der traditionellen Fahrzeugentwicklung immer weiter. Durch die Kooperation mit der Technischen Universität von Cluj-Napoca leistet das Unternehmen dort außerdem einen Beitrag zum nachhaltigen Wachstum des Masterstudiengangs der Fahrzeugtechnik und bietet spezielle Vorlesungen und Seminare, die von Experten von Porsche Engineering gehalten werden. Außerdem erhalten die besten Studierenden im Bereich der Fahrzeugentwicklung ein Stipendium.

**„Cluj und seine Universität
sind in Sachen Software führend,
eine Art europäisches
Silicon Valley.
Das passt zu unserer
Wachstumsstrategie, insbesondere,
was Software angeht.“**

Holger Dinkelaker,
Porsche Engineering

Entsprechend positiv bewertet der Leiter der Automotive Studiengänge an der Technischen Universität von Cluj-Napoca Prof. Dr. Ing. Bogdan Varga die Effekte für sein Institut: „Die Partnerschaft mit Porsche Engineering ist eines der erfolgreichsten Projekte in der Geschichte der TU Cluj-Napoca. Diese Partnerschaft schafft die Grundlage für die Verbesserung des Wissensstandes bei unseren Studierenden und hat darüber hinaus dazu beigetragen, dass die Anzahl an jungen Mitarbeitern bei Porsche Engineering Rumänien exponentiell steigt.“

Marius Mihailovici, Standortleiter der Porsche Engineering Romania, sieht in dieser Partnerschaft eine Win-win-Situation für alle drei beteiligten Parteien. „Studierende profitieren von unseren erfahrenen Ingenieuren, die Technische Universität kann ein neues Masterstudium in ihr Portfolio aufnehmen und unser Unternehmen hat Zugang zu hoch qualifizierten Ingenieuren, welche bereits mit unserem Arbeitsumfeld vertraut sind.“





Die Zukunft der Produktion

Text: Robert Stahlmenning
Fotos: Matthias Haslauer, DMG MORI

DMG MORI ist als Werkzeugmaschinenhersteller weltweit ein Begriff. Porsche Fans ist der prägnante Schriftzug von den Le-Mans-Boliden bestens bekannt. Auf der Langstrecke ergänzen sich die Kompetenzen zweier Global Player zu sportlicher Höchstleistung. Christian Thönes, Vorstandsvorsitzender der DMG MORI AG, sieht in Technologien wie Rapid Tooling und Additive Manufacturing großes Potenzial im Automobilbau und vielen anderen Industrien.

Was wäre, wenn die Form eines Bauteils für die Produktion keine Rolle mehr spielte, wenn bionische Strukturen den Weg wiesen zu einer effektiveren Gestaltung von Kühlern, die Batteriepacks oder Brennstoffzellen umgeben und trotz eines viel kleineren Bauvolumens den doppelten Wirkungsgrad traditionell gefertigter Komponenten haben? Was, wenn diese Baugruppen nicht aus 80 Einzelteilen beständen, sondern nur aus einem einzigen? Dauerhaft belastbar dank exakt berechneter und umgesetzter Lastpfade, sortenrein im Recycling und damit im Zielgebiet aller Ansprüche an den gesamten Lebenszyklus. Solche Aussichten begeistern jeden Ingenieur und technisch denkenden Menschen. Kein Wunder also, dass Christian Thönes über das Thema „Additive Manufacturing“ exakt so spricht: mit Begeisterung. Denn diese Art der Fertigung vermag es, aus Metall- oder Kunststoffpulver und Laserkraft neue Bauteile zu erzeugen – anstatt sie aus Blöcken zu fräsen oder in Formen zu gießen. „Einerseits sind die Möglichkeiten nahezu grenzenlos. Wir können hohe Gewichtseinsparungen realisieren,

Funktionen optimaler gestalten und absolut individuelle Bauteile realisieren. Andererseits stellt die Produktivität jedoch noch eine der großen Herausforderungen dar.“

Seit 2013 ist das Unternehmen mit dem sogenannten Laserauftragsschweißen per Pulverdüse erfolgreich am Markt. Durch den Kauf der Firma Realizer im Jahre 2017 hat DMG MORI sein Portfolio um das Pulverbett-Verfahren erweitert, das im Metallbereich weltweit inzwischen einen Marktanteil von 80 Prozent behauptet. „Das Fantastische ist, dass die additive Fertigung bereits ab Losgröße 1 wirtschaftliche Lösungen ermöglicht – und das schnell und individuell“, sagt der 45-Jährige, der die DMG MORI AG seit 2016 führt. Individuelle Lösungen sind also jederzeit möglich – ein wichtiger Punkt insbesondere im Testing und im Prototypenbau. Sobald sich ein Teil additiv herstellen lässt, entfällt die Werkzeugentwicklung, was Zeit und Kosten spart. Dank dieser neuen Fertigungsverfahren lassen sich auch komplexe Baugruppen schnell und absolut

reproduzierbar herstellen. Dieser Prozess allein erhöht die Effektivität bereits enorm, doch auch die Bauteile selbst tragen mit zur Effektivität bei, da sie frei von Produktionszwängen optimal gedacht werden können. Zum Beispiel eine Hohlwelle mit innenliegender Verrippung, um Material und somit Gewicht zu sparen: als reines Drehteil unmöglich, in der Kombination aus Drehen und Fräsen nur eingeschränkt möglich – und meist nur aus mehreren Einzelteilen. Additiv gefertigt ist die Hohlwelle aus jedem beliebigen Material in jeder beliebigen Form ohne Probleme herstellbar.

Material nur zu nutzen, um Lastpfaden Rechnung zu tragen: Das klingt einfach und ist genial. Dieser Ansatz nutzt die Natur als Vorbild – mit konzentriertem Licht als Werkzeug. Das ist effektiv und hat mitunter amüsante Nebeneffekte. „Einer unserer Kunden wollte, dass wir die Sichtfenster zum Bauraum entfernen“, erzählt Thönes, „seine Mitarbeiter würden immer wie hypnotisiert vor der Maschine stehen und den Prozess verfolgen.“ Ein Laser, der flink wie ein Kolibri über das Pulverbett fliegt und mittels Licht Formen ins Metall brennt und dabei ein kleines Feuerwerk erzeugt. Der Entstehungsprozess eines hocheffizienten Bauteils ist also genauso faszinierend wie das Ergebnis selbst.

DMG MORI ist weltweit der einzige Komplettanbieter in beiden möglichen additiven Fertigungstechniken: Bei dem Pulverdüse-Verfahren – auch „Direct Energy Deposition“ genannt – wird das Metallpulver über einen Gasstrom der Düse zugeführt. Laser und Pulverdüse fokussieren denselben Punkt. Anschließend erfolgt die Schmelze. Bei dem Pulverbett-Verfahren, auch „Selective Laser Melting“ (SLM), schmilzt ein Laser Metallpulver auf. Während bei der Pulverdüse-Technologie durch die fünffachsigte Bahnsteuerung der Werkzeugmaschine das Volumen entsteht, wächst beim SLM-Verfahren das Bauteil in mehreren Schichten, doch lediglich in Z-Richtung, also in die Höhe. Jede einzelne Schicht ist nur 20 bis 100 µm stark. Gitterstrukturen und Waben in ihren geometrischen Regelmäßigkeiten stellen dabei nur die „Aufwärmübung“ dar. Nahezu alle erdenklichen Formen – ohne Rücksichtnahme auf die Einschränkungen klassischer Fertigungsverfahren – sind möglich.

Ob im Flugzeugbau, in der Medizintechnik, im Dentalbereich oder eben in der Automobilbranche: „Es kommt überall zunehmend darauf an, Bauteile leichter zu machen“, führt der Vorstandschef aus. „Auf diese Weise kann das Ziel der Automobilhersteller, den Treibstoffverbrauch zu reduzieren und den CO₂-Ausstoß zu senken, erreicht werden.“ Additive Manufacturing ist der Schlüssel zu nachhaltigem Erfolg.

Dank der neuen Technologie lassen sich unterschiedliche Materialien häufig leichter miteinander verbinden. „Eine Laser-Leistung, die fokussiert einige Tausend Grad Celsius erzeugt, kann zum Beispiel

Edelstahl und Inconel miteinander verschmelzen“, geht Thönes ins Detail. Ebenso lassen sich gradierte, also nahtlos übergehende Werkstoffe schaffen, die mit konventionellen Methoden bislang nicht oder zumindest deutlich schwieriger umzusetzen waren.

Für Christian Thönes steht jedoch fest: „Bei allen Vorteilen des Additive Manufacturing ist klar: Traditionelle Fertigungsverfahren, wie Drehen oder Fräsen, bleiben auch in Zukunft bestehen.“ Hier ergänzt sich Traditionelles mit Neuem. Genauigkeiten unter 0,1 mm kommen weiter von klassischen, hochpräzisen Werkzeugmaschinen. Neue Fertigungsprozesse, wie das Additive Manufacturing ergänzen daher bestehende Technologien. DMG MORI ist Full-Liner – sowohl in der zerspanenden Nachbearbeitung als auch in der additiven Fertigung mit dem Pulverdüse- und Pulverbett-Verfahren.

Dass additives Manufacturing wirtschaftliche Lösungen bereits bei Losgröße 1 ermöglicht, ist für den Manager ein Baustein für die Fabrik der Zukunft. Diese neue Art der Produktion wird zum physikalischen Arm der Digitalisierung. Thönes erläutert: „Es materialisiert die Ideen der Ingenieure und macht die optimale Gestaltung aus der digitalen Welt (CAX-Systeme) herstellbar.“ Ausdruck finden deren Ideen in einer digitalen Umgebung, die DMG MORI immer weiter ausbaut. Das Schlagwort lautet: „Path of Digitization“. Mit CELOS, einer App-basierten Steuerungs- und Bedienoberfläche, sowie ADAMOS deckt DMG MORI die Prozesskette auch digital durchgängig ab. Das Kürzel ADAMOS steht dabei für „Adaptive Manufacturing Open Solutions“. Diese offene digitale Plattform hat DMG MORI 2017 gemeinsam mit den Firmen Durr, der Software AG, Zeiss und weiteren Partnern entwickelt. „Wir möchten einen internationalen Standard schaffen – von Maschinenbauern für Maschinenbauer, ihre Zulieferer und Kunden“, formuliert Christian Thönes das Ziel von ADAMOS. Neue Partner? Immer willkommen! ➤

Additive Technologien ergänzen die klassischen Fertigungsmethoden.



Komplexe Formen: Die Pulverdüsenshalter der neuesten Generation stellt DMG MORI additiv im Pulverbett-Verfahren her. Die werkzeuglose Fertigung reduziert Kosten und Produktionszeiten und bietet wesentliche Vorteile. Komplexe Geometrien werden möglich, das Bauteilgewicht sinkt um 70 Prozent, 22 Bauteile werden in einem Bauteil zusammengeführt und die Kühlleistung steigt dank größerer Oberfläche.



Christian Thönes wurde am 1. Mai 1972 geboren, ist verheiratet und dreifacher Vater. Er studierte Betriebswirtschaftslehre in Münster. Bei der damaligen Gilde-meister Aktiengesellschaft leitete er das Marketing, baute die Advanced Technologies (Ultrasonic und Lasertec) auf und war Geschäftsführer von DECKEL MAHO in Pfronten. Thönes wurde 2012 Vorstand für Entwicklung und Produktion und ist heute Vorstandsvorsitzender der DMG MORI AG.





Leicht gemacht

Text: Thorsten Elbriggmann
Fotos: Porsche AG, Rafael Krötz

Gewichtseinsparungen tragen mehr als alles andere zu verbesserter Effizienz bei. Doch der Weg zum Leichtbau ist nicht einfach zu beschreiten. Zeit also abzubiegen und unentdeckte Pfade zu erkunden. Dabei hilft ausgerechnet der Blick aufs Handy – wie der neue Porsche 911 GT3 RS beweist.

Neben neuen Fertigungsmethoden spielen innovative Werkstoffe in jeder Hinsicht eine zunehmend wichtige Rolle im Automobilbau. Es geht um das Zusammenspiel von hochfestem Stahl, Tiefziehblech, Leichtmetall und Kunststoffen, die nicht nur Temperaturschwankungen trotzen, sondern auch dauerhaft halten, im Falle eines Crashes Lasten aufnehmen und sich bei einem Austausch sortenrein trennen und recyceln lassen. Außerdem müssen diese Werkstoffe durch ihr geringeres Gewicht ihren Beitrag zu einem effizienteren Gesamtfahrzeug leisten.

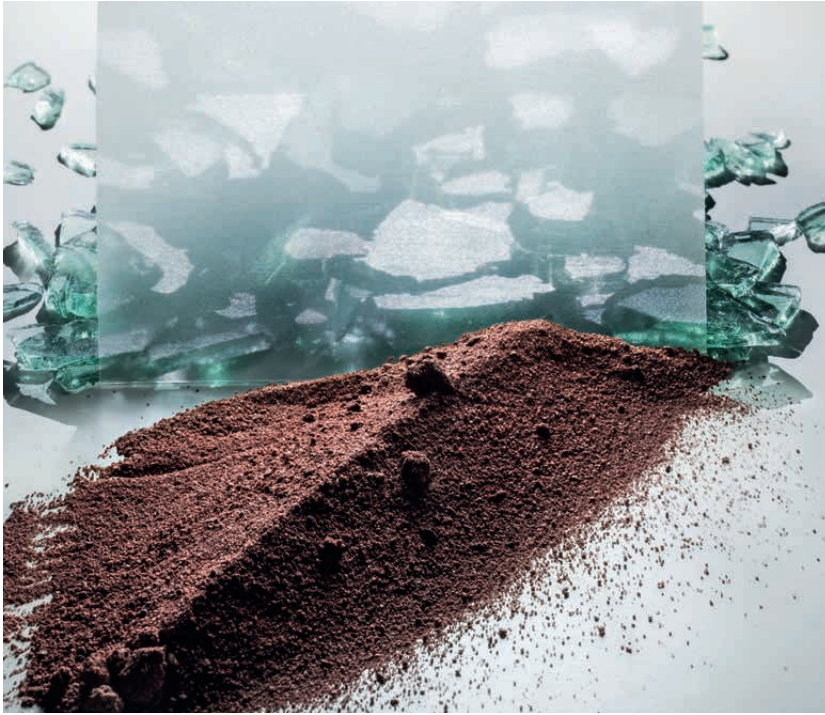
Um diese Anforderungen zu erfüllen, genügt es nicht, vorhandene Werkstoffe weiterzuentwickeln. Man muss „out of the box“ denken und in andere Bereiche blicken. Bei Porsche hat man sich in den vergangenen Jahren sehr intensiv mit Glastechnologien auseinandergesetzt. Schwere Glasscheiben leichter zu machen, ist ein uralter Wunsch. Im Rennsport ersetzte man sie in der Vergangenheit durch Kunststoffe wie etwa Makrolon. Doch für einen Einsatz in der Serienfertigung von Straßenfahrzeugen ist dieser Werkstoff wegen seiner Kratzempfindlichkeit und den eher begrenzten optischen Eigenschaften nicht geeignet. Deshalb haben sich die Entwickler mit dem Thema Dünnschichtglas beschäftigt. Unter dem Namen „Gorilla-Glas“ ist dieser Werkstoff aus der Display-Fertigung für Monitore bekannt. Tablet-PCs, Flachbildfernseher und Handys werden seit Jahren damit ausgestattet. Die Vorteile: beste optische

Eigenschaften, geringes Gewicht und sehr hohe Stabilität. Porsche setzte eine diesem Gorilla-Glas vergleichbare Glasqualität erstmals in der Verbundglas-Heckscheibe des Porsche 918 Spyder mit Weissach-Paket ein. Diese etwa 20 mal 20 Zentimeter große plane Scheibe war gewissermaßen eine Fingerübung. Heute ist man weiter.

Klassischer Werkstoff – neu definiert

Die Technik zur Verarbeitung von Dünnschichtglas hat sich in den vergangenen drei Jahren rasant entwickelt. Erstmals war es den Ingenieuren gelungen, auch gebogene Scheiben aus Dünnschichtglas zu realisieren. Ihren großen Auftritt erlebte diese Technologie in einem Smartphone von Samsung. Hinter dem, was wir beim Handy als Gorilla-Glas kennen, steckt ein eigentlich uralter Werkstoff: Glas, bestehend aus recyceltem Glasbruch, aus Sand und – im Falle von Autoglas – aus einer dünnen Sicherheitsfolie zwischen zwei Schichten Dünnglas.

Erst ein chemisches Verfahren macht aus Glas ein Dünnschichtglas. Glas erscheint uns glatt und eben, jedoch ist die Oberfläche einer Glasscheibe unter dem Elektronenmikroskop so zerklüftet wie ein Canyon. In den Vertiefungen liegen Moleküle. Diese Moleküle werden chemisch ausgelöst und durch größere ersetzt, die sich in die Spalte hineinpressen und so an der Oberfläche für

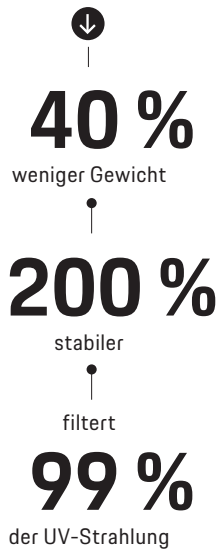


Gorilla-Glas: Die Idee zu hochfestem Dünnschichtglas stammt ursprünglich aus dem Displaybau für Handys oder Laptops. Porsche ist der erste Automobilhersteller, der dieses Verbundglas aus Sand, Recyclingglas und Sicherheitsfolie einsetzt. Das Dünnschichtglas ist stabiler, leichter, bietet besseren UV-Schutz und könnte künftig sogar Display-Funktionalitäten enthalten.

eine höhere Dichte des Materials sorgen. Das Glas wird dadurch „vorgespannt“ und somit hochstabil. Versuche zeigen, dass ein Dünnschichtglas von 2,1 Millimetern Stärke an der Außenseite einer Windschutzscheibe und 0,55 Millimetern Stärke innen, kombiniert mit einer PVB-Sicherheitsfolie gegenüber einer herkömmlichen Verbundglasscheibe um mindestens 200 Prozent stabiler ist. Eine solche Scheibe widersteht Hagel und Steinschlag also wesentlich besser, ist kratzunempfindlicher und bleibt bei einem Unfall länger stabil. Hinzu kommt, dass Dünnschichtglas in Maßen flexibel ist. Torsionen der Karosserie können so besser aufgenommen werden.

Nicht nur leichter, sondern auch leiser

Der Gewichtsvorteil ist enorm. Die Heckscheibe des aktuellen Porsche 911 wiegt zum Beispiel als herkömmliche Einschicht-Sicherheitscheibe 5,8 Kilogramm. Dieselbe Scheibe in Dünnschicht-Ausführung hingegen hat ein Gewicht von lediglich 3,7 Kilogramm. Das sind rund 40 Prozent Gewichtseinsparung an nur einem einzigen Bauteil. Porsche baut aktuell solche Scheiben am Porsche 911 GT3 RS ein. Heckscheiben und hintere Seitenscheiben bestehen aus diesem Material, das noch weitere Vorteile birgt. So ist der UV-Schutz bei dem neuen Verbundglas verbessert. Hier liegt das Geheimnis allerdings in der



Seitenscheibe des 911 GT3 RS:

Die in allen Dimensionen gebogene hochfeste Seitenscheibe des Porsche 911 GT3 RS – hier noch im Prototypenstadium – verbessert nicht nur das Leistungsgewicht, sie filtert auch Windgeräusche heraus.





Weissach-Paket:

Für besonders ambitionierte Fahrer hat die Porsche Motorsportabteilung zur weiteren Gewichtsersparnis ein optionales Weissach-Paket geschnürt.

Es umfasst zusätzliche Carbon-Bauteile in den Bereichen Fahrwerk, Interieur und Exterieur sowie optional Magnesiumräder. In der leichtesten Konfiguration sinkt das Gewicht des 911 GT3 RS auf

1.430 kg

Porsche 911 GT3 RS

CO₂-Emission (kombiniert): 291 g/km

Verbrauch innerorts: 19,2 l/100 km

außerorts: 9,0 l/100 km

kombiniert: 12,8 l/100 km

Effizienzklasse: Deutschland: G

Schweiz: G

Folie, die jetzt 99 Prozent aller UV-Strahlung filtert. Konventionelle Glasscheiben als Einscheibensicherheitsglas ohne Folie erzielen einen Filterungsgrad von nur etwa 70 Prozent. Außerdem sind durch die hohe optische Qualität des Dünnschichtglases insbesondere bei flachen Einbauwinkeln sehr viel weniger Verzerrungen wahrnehmbar als bei dickeren Scheiben, wie man sie bisher kennt. Und ganz nebenbei zeichnet sich ein solches Glas – einfach, weil es dünner ist – durch ein deutlich besseres Abtauverhalten bei Frost aus. Mit Blick auf die Elektromobilität ergibt sich der Vorteil einer deutlich verbesserten Dämmwirkung hinsichtlich höherfrequenter Schallwellen.

Nachteile hat das Glas nur wenige. Die Produktion ist derzeit noch teurer, was darauf zurückzuführen ist, dass die Automobilindustrie für die Hersteller solcher Glasqualitäten nur ein kleiner Kunde ist. Man fertigt vornehmlich Displays für die Unterhaltungsindustrie. Auch die höhere Flexibilität des Dünnschichtglases verhindert derzeit noch den Einsatz als Versenkscheibe in Türen. Fahrtwind bei höheren Geschwindigkeiten würde das Glas nach außen biegen und so ein Schließen erschweren. Mittelfristig wird hier ein Hybrid-Aufbau anvisiert, also ein Verbundglas, in dem nur auf der Innenseite ein chemisch vorgespanntes Dünnglas eingesetzt wird.

Mehr Glas im Innenraum?

Derzeit arbeitet man bei Porsche noch an einer verbesserten Infrarot-Reflexion. Diese liegt auf dem Niveau aller bekannten Glasarten, doch möchte man die Funktionalität hier erweitern, um eine höhere Wärmeschutzwirkung zu erreichen. Ferner könnte Dünnschichtglas die Oberflächen im Innenraum revolutionieren. Ganz neue Bedienkonzepte durch berührungsempfindliche, geschwungene Displays bieten dem Fahrer die Möglichkeit, Bedienelemente frei zu programmieren und an seine Bedürfnisse anzupassen. Eine mögliche Vision: Der Fahrer eines Porsche hinterlegt seine individuellen Wünsche zur Konfiguration seines Innenraums auf „My Porsche“ und findet in jedem Porsche, den er fährt, seine ganz persönliche Bedienumgebung vor.

Perspektivisch wird Dünnschichtglas in verschiedenen Ausprägungen immer häufiger die bislang bekannten Glasqualitäten ablösen. Die Vorteile liegen klar auf der Hand. Neben der höheren Widerstandsfähigkeit bei geringerem Gewicht trägt vor allem die wesentlich höhere Schallschutzwirkung dazu bei, dass sich mit Blick auf die Elektromobilität das Dünnschichtglas im Automobilbau durchsetzen wird. ◀





Vereinte Kräfte

Text: Thomas Fuths
Fotos: Stefan Bogner

**Das Wort Geysir ist isländisch für „in heftige Bewegung bringen“.
Was könnte besser die Boost-Technologie von Porsche beschreiben?
Und wo könnte man besser die Kraft von Natur und Technik spüren
als in Island und in einem Porsche Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo:
per Boost auf der Suche nach heftiger Bewegung.**

Der „große Geysir“ in Bláskógabyggð im Südwesten Islands gilt als die älteste bekannte heiße geothermale Springquelle der Welt und verlieh einem Naturphänomen seinen Namen. Von der erdinneren Hitze gespeist schießt heißes Wasser hoch in den Himmel. Feuer lässt Wasser aus der Erde in die Luft vordringen. Eine unfassbare Verdichtung aller Elemente in einem einzigen Naturschauspiel. Der Chemiker Robert Bunsen war der Erste, der die Faszination wissenschaftlich hinterfragte und erklärte. Genau in dem Jahr, in dem der große Forscher starb – 1899 –, betrat der Lohner-Porsche die Bühne der Automobilwelt. Nur wenige Monate später hatte Ferdinand Porsche dieses Elektromobil zum Hybridfahrzeug weiterentwickelt.

Forscherdrang half der Menschheit seit jeher, die Welt zu verstehen. Es ist Forscherdrang, der uns vorankommen lässt und der uns mitunter auch zurückbringt – rein räumlich, auf einer langen Reise nach Island. Zurück zum großen Geysir in einem Fahrzeug, das Energien vereint zu „heftiger Bewegung“, zu Vortrieb, der sich messen lässt und der in einem Porsche auf eine ganz besondere Boost-Technologie vertraut, die den Porsche Sportwagenanspruch in die Welt der Hybridfahrzeuge trägt.

Der Porsche 918 Spyder als Vorreiter

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs stellt eine der wichtigsten Aufgaben und zugleich größten Herausforderungen der Automobilindustrie im 21. Jahrhundert dar. Dabei geht es nicht darum, von heute auf morgen die Verbrennungs- durch Elektromotoren zu ersetzen. Das definierte Ziel – für Porsche – ist vielmehr ein geordneter Übergang in eine neue Epoche. Mit dem 918 Spyder demonstrierte Porsche 2013, was geschieht, wenn Ottomotoren mit elektrischen Antrieben kombiniert werden: Verbrenner und E-Maschinen verschmelzen zu einer neuen Allianz der Effizienz und Dynamik. Die Elektromotoren ermöglichen dabei einerseits das temporär emissionsfreie Fahren, wirken aber gleichzeitig als Booster – eine ebenfalls emissionsfreie Aufladung. Turbomotoren und elektrischer Boost addieren sich zu einer völlig neuen Dynamik. Dieses Antriebskonzept, die Hybridstrategie des 918 Spyder, hat Porsche auf die zweite Generation des Panamera übertragen. Porsche bietet den Panamera als Plug-in-Hybrid erstmals in einer zweiten Karosserieversion an: dem Panamera Sport Turismo. Ein progressives Fahrzeugkonzept, das zwei Antriebswelten miteinander verbindet: die Welt der fossilen Energieträger, weltweit verfügbar, in kürzester Zeit getankt, und

die Welt der unendlich vorhandenen Energien: Wind, Wasser, Sonne und Erdwärme. Letztere ist nirgendwo besser erschlossen als auf Island.

Der fünfsitzige Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo ist auf den Pisten der mehr als 1.300 Kilometer langen Ringstraße unterwegs, die die Insel umrundet. Zuvor wurde die Lithium-Ionen-Batterie (Energiegehalt 14 kWh) mit der Energie eines der fünf großen geothermalen Kraftwerke Islands geladen. Energie, die einfach da ist. Energie, die ohne CO₂-Emissionen im Panamera in Vortrieb umgewandelt wird. Auf bis zu 140 km/h kann der neue Sport Turismo im rein elektrischen E-Mode beschleunigen. Kombiniert der Porsche beide Antriebe, ist die auf Island erlaubte Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h in weniger als viereinhalb Sekunden erreicht. Auf den Autobahnen seines Herkunftslandes und auf Rennstrecken ist dieser Porsche bis zu 275 km/h schnell.

Voller Boost ab dem ersten Moment

Wie skizziert, nutzt Porsche auch beim neuen Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo die Hybridstrategie des 918 Spyder. Analog zum Supersportwagen steht auch die elektrische Kraft des Sport Turismo-Elektromotors – 100 kW (136 PS) und 400 Nm Drehmoment – unmittelbar mit dem Antippen des Gas- bzw. E-Pedals zur Verfügung. Bei der ersten Plug-in-Hybrid-Generation dieser Baureihe – dem Panamera S E-Hybrid – musste das Fahrpedal mindestens zu 80 Prozent durchgedrückt werden, um den zusätzlichen Schub des E-Antriebs abzurufen. Nun indes spielen der Elektro- und Benzinmotor von Beginn an in derselben dynamischen Liga. Der Elektromotor sorgt also permanent für zusätzlichen Schub. Im Zusammenspiel mit der Leistungscharakteristik des V6-Biturbo-Motors (243 kW/330 PS/450 Nm) entsteht so ein Boost-Szenario aus Elektromotor und zwei Turboladern. Im Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo wird die elektrische Energie zudem genutzt, um die Höchstgeschwindigkeit zu erhöhen. Diese neue Art der „E-Performance“ – mehr Leistung, mehr Fahrspaß, weniger Verbrauch und temporär Null-Emissionen – gilt als das Boost-Konzept der Zukunft.

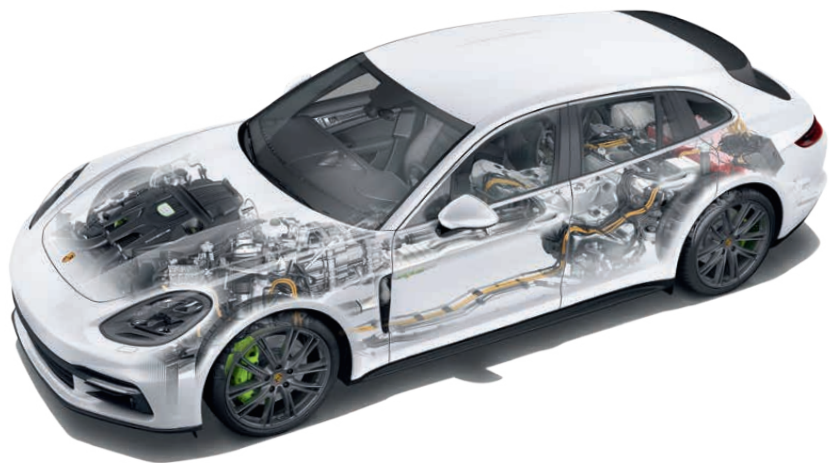
Der Elektromotor bildet zusammen mit der Trennkupplung zum V6-Benziner eine neue Generation des Porsche-Hybridmoduls. Im Gegensatz zum elektrohydraulischen System des Vorgängers wird die Trennkupplung beim neuen Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo durch einen Electric Clutch Actuator (ECA) elektromechanisch betätigt. Vorteil: nochmals kürzere Reaktionszeiten. Für die Kraftübertragung an den Allradantrieb kommt wie bei allen Panamera-Modellen der zweiten Generation ein schnell schaltendes Porsche-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) mit acht Gängen zum Einsatz; es löste die zuvor eingesetzte Achtgang-Wandlerautomatik des Vorgängers ab.

Gleichmäßig verteilt: Die E-Maschinenteknik gruppiert sich in erster Linie um die Hinterachse, während der vorn eingebaute V6-Verbrennungsmotor zum Vortrieb des Sport Turismo beiträgt.

↓
140 km/h
ist die Geschwindigkeit, bis zu der der Panamera rein elektrisch beschleunigen kann.

↓
2,4 h
dauert die Aufladung bei 230 Volt, 32 Ampere und 7,2 kW-Lader.

↓
14,1 kWh
beträgt der Energiegehalt der Batterie des neuen Panamera Hybrid-Modells.



Der Elektromotor wird über die flüssigkeitsgekühlte Lithium-Ionen-Batterie mit Strom versorgt. Obwohl der Energiegehalt der Batterie um 49 Prozent von 9,4 auf 14,1 kWh erhöht wurde, blieb das Gewicht der platzsparend im Heck integrierten Batterie konstant.

Was muss das Cockpit eines Hybrid-Sportwagens leisten?

Ein eng mit dem Antrieb vernetztes Highlight des Porsche Panamera Sport Turismo ist das Anzeige- und Bedienkonzept: ein serienmäßiges Porsche Advanced Cockpit mit berührungssensitiven Panels und individuell konfigurierbaren Displays. Zwei sieben Zoll große Screens bilden dabei das interaktive Cockpit.

Der Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo differenziert sich über das auf den Hybrid-Betrieb zugeschnittene Power Meter von den anderen Versionen der Baureihe. Als Hommage an den Porsche 918 Spyder wurden die hybrid-spezifischen Anzeigen in ihrer Funktionsweise denen des Supersportwagens nachempfunden. Das Power Meter liefert beispielsweise Informationen zur aktuell abgerufenen bzw. der via Rekuperation zurückgewonnenen elektrischen Energie.

Am Ende des Tages auf Island fährt der allradgetriebene Porsche Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo wieder an eine der zahlreichen öffentlichen Ladesäulen. Durchschnittsverbrauch im Neuen Europäischen

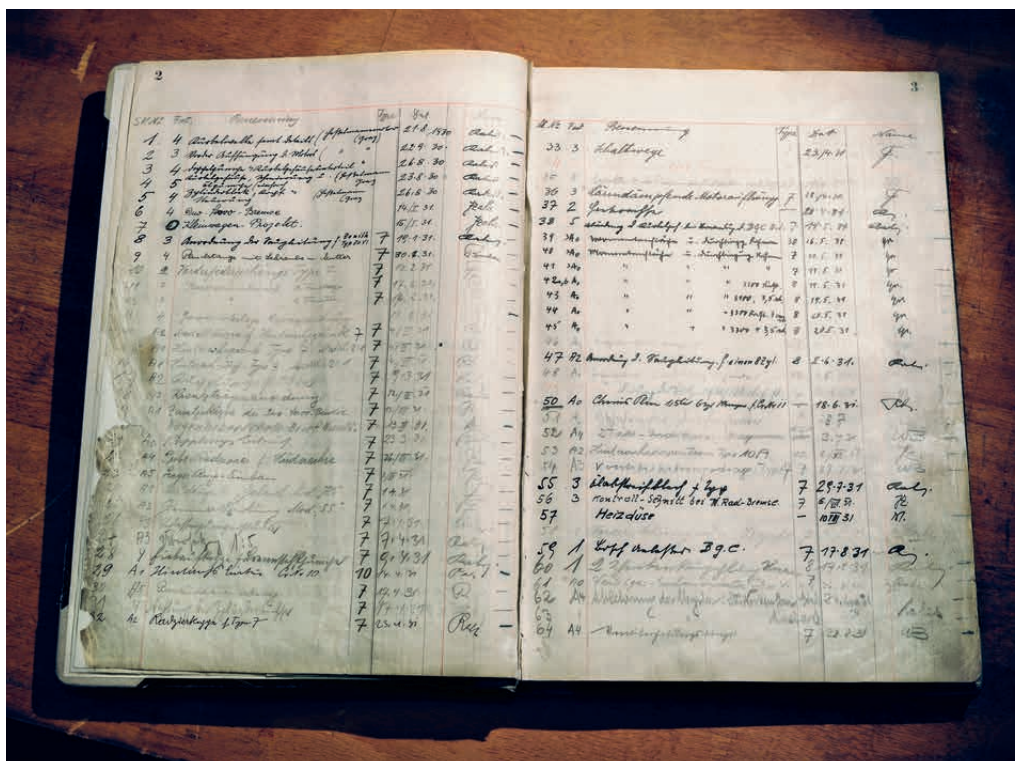
**Porsche Panamera
4 E-Hybrid Sport Turismo**

CO₂-Emission:
59 g/km;
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
2,6 l/100 km;
Stromverbrauch kombiniert:
15,9 kWh/100 km

Fahrzyklus (NEFZ): kombiniert 2,6 l/100 km und 15,9 kWh/100 km. Nutzt der Porsche den optionalen 7,2-kW-On-Board-Lader und einen 230-V-Anschluss mit 32 Ampere (A), ist die Hochvolt-Batterie nach 2,4 Stunden wieder mit der Energie der Erdwärme „aufgetankt“. Mit dem serienmäßigen 3,6-kW-Ladegerät und einem herkömmlichen 230-V-Anschluss mit 10 A geschieht das binnen sechs Stunden.

Danach ist der Hybrid Porsche wieder bereit, Fahrer und Passagiere in heftige Bewegung zu versetzen. Oder bringt sie vollkommen geräuschlos heran an den großen Geysir, um die ewige Kraft der Natur auf sich wirken zu lassen, so wie Robert Bunsen es damals getan hat. ◀





25.
04.

1931

Im sogenannten Hauptbuch sind die allerersten Aufträge des Konstruktionsbüros Porsche verzeichnet – darunter auch die erste Konstruktion des Lehrlings Ferry Porsche.

Bevor Porsche zu der Automarke wurde, die heute jedes Kind kennt, war Porsche bereits ein etablierter Engineering-Betrieb – Wurzeln eines Weltunternehmens, die bis heute in Porsche Engineering fortbestehen. Die Geschichte der Firma Porsche nimmt ihren Anfang, schon bevor sie tatsächlich beginnt. Als am 25. April 1931 die „Dr. Ing. h.c. F. Porsche GmbH“ ins Handelsregister eingetragen wird, existiert das unabhängige Konstruktionsbüro Porsche bereits seit einem Dreivierteljahr. Der erste Eintrag ins sogenannte Hauptbuch der Firma ist auf den 21. August 1930 datiert. Über den ersten Auftrag für den Ingenieurbetrieb Porsche – damals noch provisorisch in St. Ulrich bei Steyr beheimatet – vermerkt das Buch unter Auftragsnummer 1 eine technische Zeichnung im Format 4: „Kurbelwelle samt Details“ eines „Heßelmannmotors“ für ein Grazer Unternehmen. Das Konzept dieses Mitteldruckmotors nach dem Patent des Schweden Knut Hesselman beruht auf einer Mischform aus Dieselmotor und Benzintriebwerk – ein Vielstoffaggregat, dessen technische Umsetzung Porsche nun für seinen ersten Kunden vorantreibt. Innovativ vom ersten Moment an. Das Thema Gesamtfahrzeug-Entwicklung findet sich schon wenig später im Hauptbuch: Auftragsnummer 7 wurde unter dem Stichwort „Kleinwagenprojekt“ festgehalten. Der Volkswagen warf seine Schatten voraus. Doch „Typ 7“ war noch ein Konzept für die Marke Wanderer, einem der vier Ringe der Auto Union.

Für Firmenhistoriker ist diese erste Kladde die wohl wichtigste Quelle zur Frühgeschichte des Unternehmens – und der Unternehmer. Denn bereits am 30. Januar 1931, also noch drei Monate vor der offiziellen Registrierung der Firma in Stuttgart, findet sich im Auftragsbuch erstmals eine ganz neue Signatur – „Porsche“. Unter der Nummer 9 notiert Lehrling Ferry Porsche in der jugendlichen Handschrift eines damals 21-Jährigen: „Pleuelstange mit Schraube u. Mutter“.

In den vier Kladden, die heute in einem klimatisierten Tresorschrank im Historischen Archiv der Porsche AG lagern, sind rund 300 Projekte zwischen 1930 und 1945 aufgezeichnet. Darunter der Typ 22, jener erfolgreiche 16-Zylinder-Rennwagen der Auto Union und natürlich der Typ 356 „Nr. 1 Roadster“, ersonnen von Ferry Porsche, dem Lehrling anno 1931. Am 8. Juni 1948 erhielt der 356 als erster Porsche der Welt seine Zulassung – vor nunmehr genau 70 Jahren. Ein Jubiläum, das Porsche weltweit feiert. Eines, das es ohne den Ingenieurgeist Ferdinand Porsches wohl nie gegeben hätte. ●

Porsche Engineering

Magazin
AUSGABE
1/2018



Impressum

Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH
Michael Merklinger

Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

Geschäftsführende Redakteurin

Simone Dreger

Redaktion

Delius Klasing Corporate Publishers (DKCP), Bielefeld
Chefredaktion: Edwin Baaske
Redaktion und Projektmanagement: Thorsten Elbriggmann
Assistenz: Laura-Marie Holstein
Bildredaktion: Markus Bolsinger, Lukas Kawa
Produktion: Beate Klein

Autoren

Uwe Brenndörfer, Emmanuel Dhollande, Thomas Fuths, Marco Glink,
Heiko Junker, Peter Lincoln, Anja Rützel, Hans Schilder, Robert Stahlmenning,
Dr. Muhammed Türker, Johannes Winterhagen

Gastautoren

Prof. Dr. Andreas Knie,
Christian Thönes

Gestaltung

design hoch drei GmbH & Co. KG, Stuttgart
Art Direction: Wolfram Schäffer
Layout: Mark Ch. Klein, Mike Hofmaier

Übersetzung

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

Kontakt

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

Lithographie

Mohn Media, Gütersloh

Druck

Neef + Stumme, Wittingen

PORSCHE DESIGN

TIMEPIECES



WIR FEIERN UNSERE RENNSIEGE AUCH AM HANDGELENK.

www.porsche-design.com/MonoblocFlyback