

Porsche Engineering Magazin

TURBO FÜR DIE ENTWICKLUNG

Datengetriebene und reale Methoden im Zusammenspiel



*As unique as you
and your dreams.*



D R I V E N B Y D R E A M S





Markus-Christian Eberl
Sprecher der Geschäftsführung
von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

ob Software für neue Fahrfunktionen, die Integration von Komponenten in ein Gesamtsystem oder die zunehmende Vernetzung unserer Fahrzeuge: In der Automobilentwicklung bewegen wir uns immer mehr weg von komplizierten, hin zu komplexen Problemstellungen. Das hat Folgen für unsere Arbeit. Ein einzelner Ingenieur oder eine kleine Gruppe von hoch spezialisierten Entwicklern kann die heutigen komplexen Anforderungen nicht mehr hinreichend „im Alleingang“ lösen. Vielmehr wird zunehmend das gemeinsame, integrative Wirken in größeren Netzwerken zu einem wesentlichen Erfolgsbestandteil. Ein entsprechend befähigtes System nutzt weiterhin die Intelligenz, Kreativität und Leistung jedes Einzelnen, macht daraus aber mehr als die Summe der Individuen und trägt über seine Organisationsform zur Gestaltung der Gesamtlösung bei. Das Grundprinzip kennen wir aus dem Mannschaftssport, allerdings müssen bei technisch komplexen Zielen nicht fünf, sechs oder elf Spieler derartig kollaborationsbefähigt werden, sondern Hunderte oder sogar Tausende von Softwarespezialisten, Ingenieuren und anderen Fachleuten.

Die Bewältigung dieser Aufgabe stellt hohe Anforderungen an die Führungskultur. Während in der Vergangenheit oft ein charismatischer Manager von vorne geführt hat, ist in Zukunft verstärkt Führung von der Seite gefragt: Manager müssen Teams für ihre Entwicklungsaufgaben befähigen, statt ihnen den Weg zum Erfolg genau vorzugeben. Das verändert die gesamte Organisation von Unternehmen. Mit agilen Methoden und neuen Organisationsprinzipien können Manager heute die Problemlösung anders strukturieren und das vorgenannte Führungsprinzip operationalisieren. Ein wesentlicher Vorteil solcher Methoden liegt darin, dass weniger geschlossene Vorgaben erfolgen, sondern methodeninhärent eine höhere Lösungs Offenheit gegeben ist. Dies beschleunigt insbesondere bei hochkomplexen Aufgabenstellungen die Umsetzung und fördert Lösungskonzepte. Gleichzeitig wird mehr Verantwortung an die Mitarbeiter übertragen. Bei Porsche Engineering haben wir in den letzten Jahren genau solche Strukturen und Prozesse aufgebaut.

Unser Ziel: eine maßgeschneiderte technische Lösung für unsere Kunden, das optimale Ergebnis „in time & in quality“. Wir sehen uns dabei in der Rolle eines Partners auf Augenhöhe. Denn in einer komplexen Welt kommt es auch auf den permanenten Austausch mit unseren Kunden an – in Form eines geschlossenen Kreislaufs, in dem Ideen hin und her gespielt werden. So vergrößern wir die Lösungsräume und finden die richtigen Antworten auf die aktuellen Herausforderungen.

Wie wir uns dabei methodisch weiterentwickeln, zeigt das Titelthema der aktuellen Ausgabe. Neue Möglichkeiten der Entwicklung ergeben sich insbesondere aus der intelligenten Nutzung einer Vielzahl von Daten. Während uns die technisch begrenzten Datenmengen in der Vergangenheit limitiert haben, können wir mittlerweile große „Data Lakes“ problemlos füllen. Dies liegt an umfassend weiterentwickelten Technologien aufseiten der Datenquellen, wie Simulationen und Sensoren in den Fahrzeugen sowie seitens der Datenübertragung und -speicherung. Die Herausforderung besteht nun darin, mit intelligenten Algorithmen – unter anderem mithilfe von Künstlicher Intelligenz – die relevanten Informationen zu identifizieren und zu interpretieren. Parallel dazu wird der reale Versuch auf Teststrecken wie im Nardò Technical Center aber weiterhin unverzichtbar bleiben. Denn es sind am Ende Menschen und nicht Algorithmen, die das Endergebnis einer Entwicklung abschließend bewerten und freigeben.

Über Dienstleistungen für komplizierte Fragestellungen hinaus, bis hin zu Turn-Key-Lösungen für immer neue, hochkomplexe Probleme: Das ist der Anspruch an den Weg in die Zukunft. Und ich freue mich sehr darauf, ihn in meiner neuen Rolle als Sprecher der Geschäftsführung von Porsche Engineering gemeinsam mit Ihnen zu beschreiten.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Ihr Markus-Christian Eberl

———> **ÜBER PORSCHE ENGINEERING:** Die Porsche Engineering Group GmbH ist internationaler Technologiepartner der Automobilindustrie. Die Tochtergesellschaft der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG entwickelt für ihre Kunden das intelligente und vernetzte Fahrzeug der Zukunft – inklusive Funktionen und Software. Etwa 1.700 Ingenieure und Software-Entwickler widmen sich neuesten Technologien, etwa in den Feldern hochautomatisierte Fahrfunktionen, E-Mobilität und Hochvoltssysteme, Konnektivität und Künstliche Intelligenz. Sie führen die Tradition des 1931 gegründeten Konstruktionsbüros von Ferdinand Porsche fort und entwickeln die digitalen Fahrzeugtechnologien von morgen. Dabei kombinieren sie tiefgreifende Fahrzeugexpertise mit Digital- und Software-Kompetenz.

Weltweit auf Achse: Bei der internationalen Absicherung werden die Fahrzeuge unter anderem in den USA getestet.

Auf Wolke sieben: Datengetriebene Entwicklung nutzt riesige Datenmengen und die Cloud als Drehscheibe.



INHALT 02/2023

PORSCHE
ENGINEERING
DIGITAL



TITEL ENTWICKLUNGSMETHODEN DER ZUKUNFT

12

Datengetriebene Entwicklung

Mithilfe wachsender Datenmengen lässt sich die Entwicklung beschleunigen und auf eine breitere empirische Basis stellen.

18

Konzentration aufs Wesentliche

Ein neues Konzept von Porsche Engineering ermöglicht die komplette Automatisierung von Prüfstandtests digitaler Funktionen.

22

Simuliert. Automatisiert. Variiert.

Im Forschungsprojekt AVEAS werden kritische Verkehrssituationen mit KI-Hilfe erkannt und gespeichert. Daraus entstehen Modelle für die virtuelle Absicherung.

28

„Datengetriebene Entwicklung ist unverzichtbar“

Dr. Michael Steiner und Markus-Christian Eberl sprechen im Interview über die großen Themen der Automobilentwicklung.

34

Härtetest im Realbetrieb

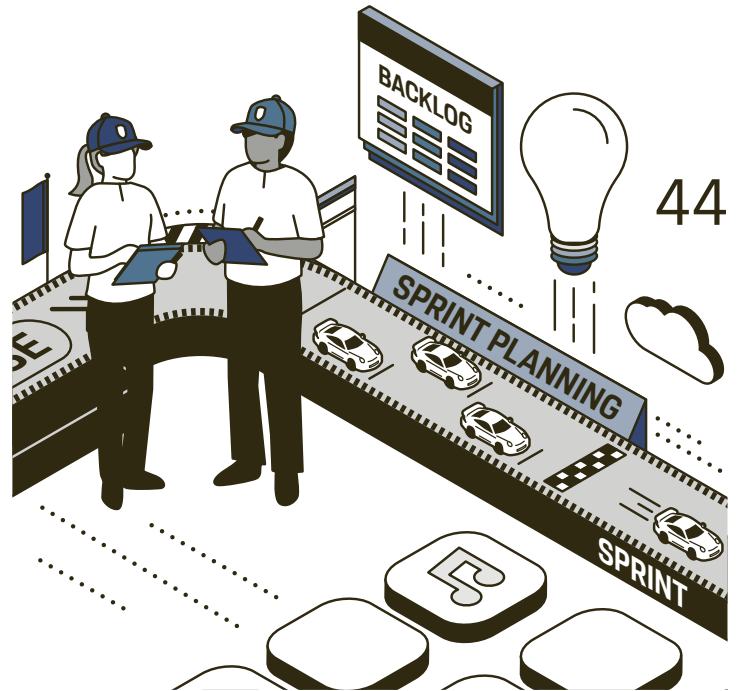
Bei der internationalen Absicherung müssen neue Fahrzeuge beweisen, dass sie die hohen Erwartungen an ihre Qualität auch in der Praxis erfüllen.

40

„Technische Kompetenz mit Kenntnis des Marktes kombinieren“

Christian Friedl und Dr. Nazif Mehmet Yazici von der Porsche AG sprechen über Kundenerwartungen und Herausforderungen für die internationale Absicherung.

Experten im Gespräch: Dr. Michael Steiner wirft mit Markus-Christian Eberl einen Blick in die Zukunft des Automobils.



Schneller Umlauf:
Bei der agilen Software-Entwicklung stehen Flexibilität und Geschwindigkeit im Mittelpunkt.

PERFORMANCE UND EXPERTISE

44

Im Sprint zur App

Durch agile Software-Entwicklung finden die Fahrzeug- und die Smartphone-Welt zuverlässig zusammen.

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

48

Sechster Sinn

Überall auf der Welt wird bereits an der nächsten Mobilfunk-Generation gearbeitet. Auch Fahrzeuge werden von 6G profitieren.

54

Code wird Grün

Informationstechnologien sind für große Mengen an CO₂-Emissionen verantwortlich. „Green Coding“ soll das ändern.

PORSCHE UND PRODUKT

58

Mehr Luxus, mehr Performance

Porsche erneuert die dritte Generation des Cayenne.

ESSAY

66

Fahrzeugentwicklung im digitalen Universum

Dr. Peter Schäfer über vergangene und kommende Revolutionen in der Entwicklung.

RUBRIKEN

- 03 Editorial
- 06 News
- 10 Auf den Punkt.
- 42 Noch Fragen?
- 64 Nach gedacht
- 68 Impressum

MITWIRKENDE



Marc-Stefan Andres schreibt Features, Reportagen, Interviews und Porträts. Und interessiert sich für wirklich fast alles.



Andreas Reeg ist Fotograf aus Darmstadt, der sich auf Porträts spezialisiert hat. Er ist auch Autor dreier Bücher.



Andrew Timmins leitete zehn Jahre lang das Infografik-Ressort beim stern. Heute arbeitet er freiberuflich in Hamburg.

NEWS

02/2023

Panamera GTS

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 13,1–12,1 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 296–275 g/km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 05/2023



Auf Wachstumskurs:
Marius Mihailovici (oben)
leitet Porsche Engineering
Rumänien und setzt
auf ein modernes
Arbeitsumfeld (unten).



Aktivitäten in Timișoara

NEUES BÜRO UND WEITERE EXPANSION IN RUMÄNIEN

Porsche Engineering hat einen neuen Standort in Timișoara eröffnet und verfolgt in Rumänien langfristige Wachstumspläne: 2023 sollen in Timișoara und im bereits bestehenden F&E-Büro in Cluj-Napoca mehr als 100 Mitarbeiter eingestellt werden, darunter 50 Software-Entwickler und Ingenieure. Der Fokus liegt dabei auf Themen wie KI, Big Data, Cloud, Infotainment, ADAS, Konnektivität und weiteren Zukunftsthemen der automobilen IT-Ära. Das neue Büro in Timișoara befindet sich im Herzen der Stadt, im Gebäude des United Business Center von Iulius Town Timișoara. Es umfasst 2.110 Quadratmeter und ist ein moderner, digitalisierter Raum, in dem die Mitarbeiter die neue Ära des hybriden Arbeitens erleben können. „Porsche Engineering ist ein Unternehmen, das auf Innovationsgeist baut – mit dem Individuum als treibender Kraft“, sagt Marius Mihailovici, Geschäftsführer von Porsche Engineering Rumänien. Das Unternehmen will zur weiteren Entwicklung der lokalen Automobilsoftware-Industrie beitragen, die derzeitige und die nächste Generation von technischen Talenten ausbilden und der Gesellschaft etwas zurückgeben.

**„Porsche Engineering ist
ein Unternehmen, das
auf Innovationsgeist baut
– mit dem Individuum
als treibender Kraft.“**

Marius Mihailovici
Geschäftsführer
Porsche Engineering Rumänien



Neue Geschäftsführung:
Markus-Christian Eberl
(oben links) tritt die
Nachfolge von Peter Schäfer
(oben rechts) an. Dirk Philipp
(Mitte) wurde als Kaufmän-
nischer Geschäftsführer/
Chief Operating Officer in die
Geschäftsführung berufen,
Dirk Lappe (unten) bleibt
Geschäftsführer Technik.



Peter Schäfer verabschiedet sich in den Ruhestand

WECHSEL IN DER GESCHÄFTSFÜHRUNG VON PORSCHE ENGINEERING

Markus-Christian Eberl (49) ist seit Juni 2023 Sprecher der Geschäftsführung von Porsche Engineering. Nach seiner Position als Leiter Technische Konformität der Porsche AG tritt er damit die Nachfolge von **Peter Schäfer** (63) an, der Ende Mai in den Ruhestand gegangen ist. Zudem wurde **Dirk Philipp** (53) Anfang 2023 in die Geschäftsführung berufen, wo er die Funktion des Kaufmännischen Geschäftsführers/Chief Operating Officer übernommen hat. Geschäftsführer Technik bleibt **Dirk Lappe** (59), der diese Funktion seit 2009 innehat. Markus-Christian Eberl ist seit 23 Jahren bei Porsche tätig. Vor seiner Berufung zum CEO von Porsche Engineering leitete er in der Entwicklung der Porsche AG den Bereich Technische Konformität. Davor war er in verschiedenen Positionen in der Internen Revision und in der Motorenentwicklung tätig, seit 2014 in leitender Funktion. Vor seinem Einstieg bei Porsche im Jahr 2000 hat Eberl Erfahrungen im Bereich Ingenieurdienstleistungen mit Schwerpunkt Software-Entwicklung gesammelt. „Porsche Engineering vereint umfassendes Fahrzeug-Know-how mit Digital- und Softwarekompetenz. Ich bin überzeugt, dass Markus-Christian Eberl an dieser entscheidenden Schnittstelle wichtige Impulse bei der gezielten Weiterentwicklung von Porsche Engineering setzen wird“, sagt Michael Steiner, Vorstand Forschung und Entwicklung der Porsche AG sowie Vorsitzender des Gesellschafterausschusses von Porsche Engineering. Zugleich bedankte er sich bei Peter Schäfer: „Wir sind Peter Schäfer zu großem Dank verpflichtet. Er hat maßgeblich zur Erfolgsgeschichte des Unternehmens beigetragen – mit einer klaren strategischen Ausrichtung und einer konsequenten internationalen Orientierung. Dabei legte er stets besonderen Wert auf die Unternehmenskultur.“ Dirk Philipp leitet seit 2011 den Bereich Finanzen/Administration bei Porsche Engineering und war seit 1995 in verschiedenen Positionen im Porsche-Konzern tätig, unter anderem als Leiter Finanz Controlling Entwicklung.



1.700

Mitarbeiter arbeiten heute
weltweit für
Porsche Engineering.

12

Standorte in fünf Ländern garantieren,
dass die Entwickler
immer nahe an den Kunden sind.



Wellenjäger: Das neue Surfboard von Sebastian Steudtner soll schnell genug sein, um den Surfsport auf ein neues Niveau zu heben.

Kooperation im Surfsport

MIT OPTIMIERTEM BOARD BEREIT FÜR DAS NÄCHSTE SURF-LEVEL

Porsche Engineering hat gemeinsam mit Sebastian Steudtner, dem Weltrekordhalter im Big-Wave-Surfen mit einer Wellenhöhe von 26,21 Metern, und der Porsche AG in den vergangenen zwei Jahren sein Surfboard wissenschaftlich analysiert und optimiert. Dabei wurden Erfahrungen aus der Fahrzeugentwicklung auf den Surfsport übertragen: Mithilfe neuester Simulationsmethoden und Windkanal-Validierungen konnten unter anderem das Verhalten des Surfboards im Wasser (Hydrodynamik) sowie die Aerodynamik von Board und Surfer verbessert werden – mit dem Ziel, die Wasser- und Luftwiderstände zu reduzieren. So soll Steudtner höhere Geschwindigkeiten erreichen. Bis dato sind

70 bis 80 km/h möglich. Das höhere Tempo ist nötig, um größere Wellen reiten zu können – denn je höher eine Welle ist, desto schneller muss der Surfer sein, damit sie ihn nicht überrollt. Im Mai wurde das neue Board im portugiesischen Cascais erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Durch Optimierungen am Gesamtsystem konnte der Luftwiderstand erheblich reduziert werden. Damit sind nun Surf-Geschwindigkeiten von potenziell rund 100 km/h erreichbar. Getauft wurde das Board auf den Namen „Caçador RS“. Der Name ist eine Kombination aus dem portugiesischen Wort „Caçador“ (Jäger) sowie dem Porsche-typischen Kürzel „RS“, das für besonders sportliche Porsche-Modelle vergeben wird.

Big Data

Wachsende Datenmengen in den Fahrzeugen eröffnen neue Möglichkeiten in der Entwicklung.

Text: Christian Buck

Schon lange entwickeln sich Fahrzeuge zu rollenden Hochleistungscomputern, denn immer mehr Steuergeräte ermöglichen immer mehr Funktionen. Das zeigt sich auch bei den Datenmengen, die kreuz und quer durch moderne Fahrzeuge fließen. Längst reicht der in den Fahrzeugen standardmäßig genutzte CAN-Bus mit seinen maximal ein Megabit pro Sekunde (Mbit/s) Datenrate nicht mehr aus. Aber auch Flexray mit 10 Mbit/s stößt an Grenzen. Darum hält nun Automotive Ethernet Einzug ins Fahrzeug und bietet je nach Variante 100 oder 1.000 Mbit/s. Auf den verschiedenen Bussystemen herrscht Hochbetrieb: „Man kann davon ausgehen, dass ein voll ausgestattetes Fahrzeug pro Sekunde circa 20 Gigabit an Daten intern sendet“, berichtet Dietmar Luz, Fachreferent Elektrik/Elektronik bei Porsche Engineering. „Sie werden in Dutzenden Steuergeräten verarbeitet. Zum Vergleich: Die ersten Fahrzeuge mit Intelligenz an Bord hatten genau zwei Steuergeräte – das Motor- und das Bremssteuergerät –, die per CAN-Bus vernetzt waren.“

Künftig werden vor allem die hochautomatisierten Fahrfunktionen dank zahlreicher Kameras, Radare und Lidar-Sensoren für explodierende Datenraten sorgen. Im Engineering macht sich das schon jetzt bemerkbar: „Ein Versuchsfahrzeug liefert beim hochautomatisierten Fahren pro Tag bis zu 44 Terabytes an Daten“, sagt Dr. Joachim Schaper, Leiter KI und Big Data bei Porsche Engineering. „Sie werden auf schnellen Festplatten im Kofferraum der Autos gespeichert.“

Von dort gelangen sie in die Cloud, wo sich während einer Fahrzeugentwicklung Daten aus Versuchsfahrten

und Simulationen ansammeln. „Heute liegen wir bereits im Petabyte-Bereich, wobei ein Petabyte ungefähr 1.000 Festplatten in modernen Computern entspricht“, rechnet Daniel Schumacher vor, der bei Porsche Engineering als Spezialist für Cloud-Architekturen arbeitet. „Bald werden wir den Exabyte-Bereich erreichen.“ Glücklicherweise schaffen es die Festplattenhersteller immer noch, regelmäßig neue Speicherrekorde aufzustellen – sie dürften auf absehbare Zeit also nicht von den Fahrzeugentwicklern überholt werden.

In der Cloud angekommen, stehen die Daten Entwicklern an allen Standorten zur Verfügung und können – teilweise in Echtzeit – ausgewertet werden. Mit ihrer Hilfe lassen sich beispielsweise neuronale Netze für hochautomatisierte Fahrfunktionen trainieren, aber auch die Fehlermeldungen der Steuergeräte automatisch analysieren. Immer mehr unterstützen die Algorithmen auch die Applikateure, die durch die datengetriebene Entwicklung schneller bessere Lösungen finden können. Der Einsatz von Daten in der Entwicklung dürfte sich in Zukunft noch weiter beschleunigen, denn wachsende Datenmengen und neue Technologien wie Quantencomputer werden den Ingenieuren immer neue Möglichkeiten eröffnen – und damit den Kunden heute noch unvorstellbare Fahrerlebnisse. ●

Früheres
Datenaufkommen

Neues
Datenaufkommen

× 10

Neues Datenaufkommen inklusive
Daten für moderne Fahrerassistenz-
und Sicherheitssysteme

× 800

Datenflut: Die Menge digitaler Informationen im Fahrzeug hat sich in den letzten Jahren durch den Einsatz von Cloud-Technologien um den Faktor zehn erhöht. Kommen weitere moderne Fahrerassistenz- und Sicherheitssysteme hinzu, steigt das Datenaufkommen erneut um den Faktor 800.

MIT DATEN AUF WOLKE SIEBEN



Porsche Engineering nutzt die immer größeren Datenmengen von Prüfständen, Simulationen und Versuchsfahrzeugen, um die Entwicklung maßgeblich zu beschleunigen und auf eine breitere empirische Basis zu stellen. Eine entscheidende Rolle spielt dabei Cloud-Technologie, die gleichzeitig zu einer effektiveren Nutzung der IT-Infrastruktur führt.

Text: Constantin Gillies
Illustrationen: Dan Matutina



TITEL

DATEN-
GETRIEBENE
ENTWICKLUNG

911 Targa 4

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 10,9–10,5 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 247–238 g/km

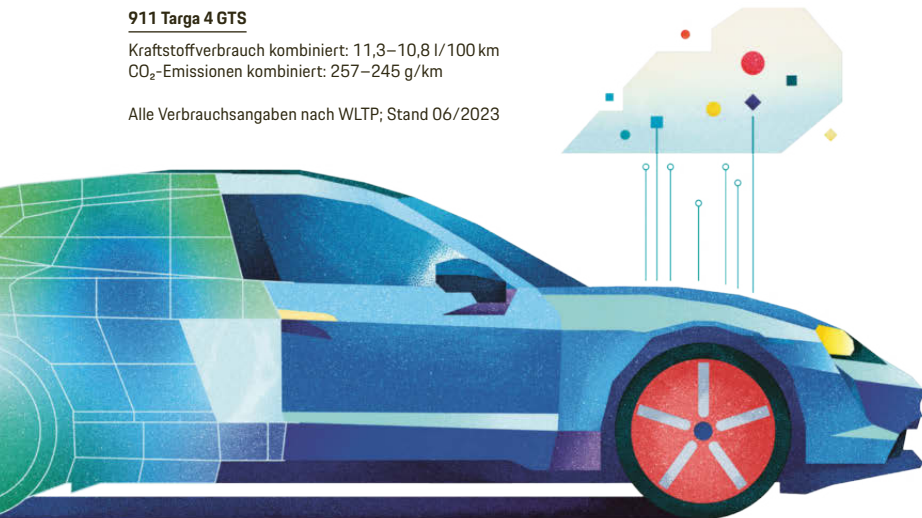
911 Targa 4S

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,1–10,4 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 252–236 g/km

911 Targa 4 GTS

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,3–10,8 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 257–245 g/km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 06/2023



Früher endete eine Erprobungsfahrt, wenn das Fahrzeug in der Garage geparkt wurde. Heute geht sie sogar danach noch weiter – etwa beim Test der Fahrbereitschaft von batterieelektrischen Modellen, der auch nachts und am Wochenende durchgeführt wird. Dabei versetzt sich das Fahrzeug viele hundert Mal selbstständig in den Startmodus: Temperatur, Spannung sowie Kapazität der Hochvoltbatterie werden überprüft, die Bordsysteme auf das Losfahren vorbereitet. Bei jedem Startvorgang zeichnen Datenlogger die gesamte Kommunikation im Fahrzeug auf – bis zu drei Gigabyte Rohdaten pro Test, was 40.000 E-Mails ohne Anhang entspricht. Danach gehen die Messdaten per Mobilfunk oder WLAN in die Cloud, wo sie aufbereitet und analysiert werden. All das läuft automatisch ab. „Wenn der Ingenieur oder die Ingenieurin morgens ins Büro kommt, ist eine E-Mail im Postfach, die auf die Daten und Ergebnisse des Tests hinweist“, sagt Jonas Brandstetter, Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering.

SCHUB DANK DER CLOUD

Diese Art der datengetriebenen Fahrzeugentwicklung gewinnt rasant an Bedeutung. Bei immer mehr technischen Fragestellungen liefern umfangreiche Datenanalysen eine breitere empirische Basis und ergänzen die Erfahrung der Ingenieure. Zusätzlichen Schub bekommt die datengetriebene Entwicklung durch die

Cloud, da sich mithilfe von Online-Rechenkapazitäten viel mehr Testdaten auswerten lassen. Das beschleunigt die Entwicklungsarbeit und führt gleichzeitig dazu, dass IT-Infrastrukturen effektiver genutzt werden. „Die Cloud kann in fast allen Teilbereichen einen Mehrwert liefern“, fasst Brandstetter zusammen. Experten schätzen, dass sich die Menge digitaler Informationen im Fahrzeug in den letzten Jahren um den Faktor zehn erhöht hat. Kommen moderne Fahrerassistenz-, ADAS- und Sicherheitssysteme hinzu, steigt das Datenaufkommen erneut um den Faktor 800 (siehe dazu auch den Beitrag auf Seite 10). „Was Kunden- und Erprobungsfahrzeuge in Zukunft liefern, lässt sich manuell nicht mehr verarbeiten“, sagt Daniel Schumacher, Spezialist Cloud-Architektur bei Porsche Engineering. Eine konkrete Zahl: Die Bus-Technik CAN (Controller Area Network) kommt in der ursprünglichen Version auf eine Million Bits pro Sekunde. Der Nachfolger Automotive Ethernet kann das Zehntausendfache übertragen – zehn Gigabit pro Sekunde. Das heißt, durch das Fahrzeug fließen in 3,5 Sekunden so viele Daten, wie ein kompletter Spielfilm auf DVD benötigt.

Außerdem sprudeln die Daten aus immer mehr Quellen. Porsche Engineering hat die neuesten Versuchsfahrzeuge mit JUPITER-System (Joint User Personalized Integrated Testing and Engineering Resource) rundum mit Laserscannern ausgestattet, die in jeder Sekunde 1,5 Millionen Messpunkte erfassen. Mithilfe der sogenannten ComBox, die sich mit wenigen Handgriffen im Fahrzeug installieren lässt, können diese und andere Informationen in Echtzeit in die Cloud übertragen werden. Eine weitere Datenquelle sind Hardware-in-the-Loop(HiL)-Systeme, in denen Teile des Fahrzeugs nachgebildet werden, zum Beispiel das Cockpit samt Kombiinstrument und Bedienelementen. Damit lässt sich das Infotainment-System eines neuen Modells testen, bevor das eigentliche Fahrzeug zur Verfügung steht.

In der Vergangenheit wurden Daten meist vor Ort (on premise) analysiert. Die Entwicklungsingenieure übertrugen Messwerte aus den Testfahrten auf lokale Rechner und werteten sie dort aus. Die Nachteile



„Morgens ist eine E-Mail im Postfach, die auf die Daten und Ergebnisse des Tests hinweist.“

Jonas Brandstetter

Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering



dieses Vorgehens: Es muss viel händisch gearbeitet werden, nur Personen in der jeweiligen Abteilung haben Zugriff auf die Daten, außerdem muss für jede Aufgabe eine eigene IT-Infrastruktur aufgebaut werden, die später unter Umständen nicht optimal ausgelastet ist. Beide Nachteile lassen sich mit der Cloud beseitigen. Sind Daten in einer zentrale „Data Lake“ hochgeladen, können beliebig viele Entwickler darauf zugreifen – ganz gleich ob sie in Tschechien, Rumänien, China, Italien oder Deutschland arbeiten. „Das ist die ideale Plattform, um Spezialisten aus aller Welt teilhaben zu lassen“, so Daniel Meißner, Senior Spezialist IT bei Porsche Engineering. Zudem „atmen“ die externen Rechnerkapazitäten: Ganze Systeme oder Rechennoten lassen sich je nach Aufgabe beliebig hinzufügen oder entfernen.

EINHEITLICHE DATENSTRUKTUR

Um die Vorteile der Cloud ausschöpfen zu können, sind allerdings Vorarbeiten nötig. „Wir müssen alle Daten in einer einheitlichen Struktur verfügbar machen“, erklärt Schumacher. In welchem Format ein Messgerät oder ein Sensor seine Daten liefert, hängt nämlich vom Hersteller und von der intern verwendeten Software ab. Zudem existieren mehrere Standards für die interne Fahrzeugkommunikation (CAN, FlexRay, Automotive Ethernet). Um die Daten von der jeweiligen Hardware losgelöst betrachten zu können, verwendet Porsche Engineering eine Art Zwischenschicht – das Robot

„Was Kunden- und Erprobungs-fahrzeuge in Zukunft liefern, lässt sich manuell nicht mehr verarbeiten.“

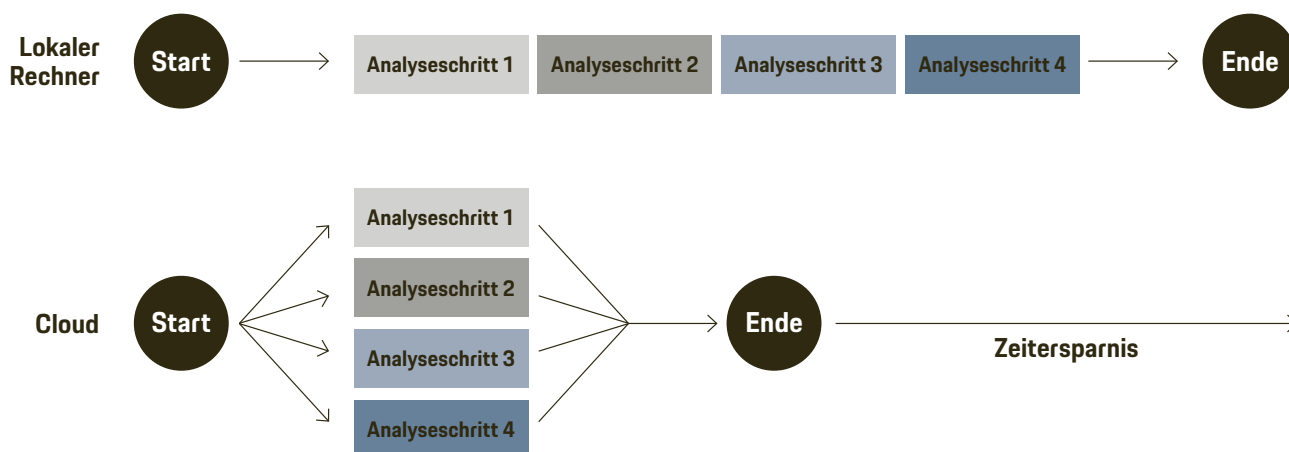
Daniel Schumacher

Spezialist Cloud Architektur bei Porsche Engineering

Operating System (ROS). Dieses Programmiergerüst, das ursprünglich für Industrieroboter entwickelt wurde, stellt ein einheitliches Datenformat und Werkzeuge zur Auswertung bereit.

Anders als beim Arbeiten „on premise“ kann die Auswertung einer Testfahrt heute schon beginnen, während sich ein Fahrzeug noch auf der Strecke befindet – egal wo auf der Welt. JUPITER-Fahrzeuge etwa sind über 5G direkt an die Cloud angebunden. So kann schon während der Fahrt der erste Arbeitsschritt stattfinden, das sogenannte Pre-Processing: Man versetzt die Daten, die für den Transport komprimiert

PARALLEL STATT SERIELL: ANALYSEN IN DER CLOUD STATT VOR ORT



BESCHLEUNIGTE ENTWICKLUNG: DATEN UND DIE CLOUD MACHEN ES MÖGLICH

3

Gigabyte an Rohdaten können beim Test des Startvorgangs von E-Fahrzeugen anfallen.

200

Prozesse kann man in der Cloud parallel anstoßen, um Aufgaben schneller zu bearbeiten.

30

mal so viele Testfälle wie früher fallen heute in der Entwicklung an.

1,5

Millionen Messpunkte erfassen die Laserscanner in JUPITER-Testfahrzeugen pro Sekunde.

10

Gigabit pro Sekunde kann Automotive Ethernet im Fahrzeug übertragen.

5G

ermöglicht die Vernetzung der JUPITER-Versuchsfahrzeuge mit der Cloud.

wurden, in den Ausgangszustand. Danach wird eine Auswahl getroffen – da nicht jede digitale Information für die Entwicklung einer Fahrfunktion relevant ist. Bei den eingangs erwähnten Fahrbereitschaftstests etwa selektiert ein Algorithmus diejenigen Versuche, in denen ein Steuergerät am Fahrzeugbus nicht schnell genug reagiert hat – wenn es zum Beispiel nicht in den geforderten 200 Millisekunden hochgefahren ist, sondern 400 Millisekunden benötigt hat.

„Ich sehe nur noch die ein bis zwei Fälle von 100, in denen etwas nicht optimal lief“, sagt Adalbert Rosinski, Experte für Vernetzung und Bussysteme bei der Porsche AG. Früher hätte er diese Vorauswahl zeitaufwendig selbst durchführen müssen. Außerdem liegen viel mehr Daten vor, seit die Versuche automatisch durchgeführt und vorausgewertet werden. „Die Zahl der Testfälle hat sich um den Faktor 20 bis 30 erhöht“, schätzt Rosinski. So steigt die Chance, Optimierungspotenziale zu entdecken.

AUSWERTUNG MIT MACHINE LEARNING

Neben den Daten müssen auch die Analysewerkzeuge, mit denen die Entwickler bisher lokal gearbeitet haben, in die Cloud überführt werden. Dieser Schritt ist meist mit dem größten Aufwand verbunden. „Bei der Umformung in Code arbeiten wir intensiv mit dem jeweiligen Fachbereich zusammen“, berichtet Schumacher. Typisch für die Automobilentwicklung ist zum Beispiel eine Schwellenwert- oder Kennlinienanalyse, bei der eine Software eine Zeitreihe untersucht und Bereiche

markiert, in denen die Daten ein kritisches Niveau erreicht haben. Daneben verbreitet sich zunehmend die Auswertung mithilfe von Machine Learning: Ein Algorithmus wird mit großen Realdatensätzen gespeist und lernt von selbst, kritische Momente zu erkennen. Beide Analysemethoden lassen sich problemlos in die Cloud übertragen.

Um eine Analyse parallel auf mehreren Rechnern durchführen zu können, muss die Arbeit in kleine Pakete aufgeteilt werden – Fachleute sprechen davon, sie cloudfähig zu machen. Eine achtstündige Erprobungsfahrt zum Beispiel wird in Abschnitte von jeweils einer Stunde unterteilt. Die Messdaten verschnürt man zusammen mit dem Analysecode zu Paketen (siehe Kasten); diese sogenannten Con-



„Ich sehe nur noch die ein bis zwei Fälle von 100, in denen etwas nicht optimal lief.“

Adalbert Rosinski

Experte für Vernetzung und Bussysteme bei der Porsche AG



„Software ist der Motor der Zukunft – das unterstreichen wir mit der engen Partnerschaft, die wir mit der Volkswagen-Gruppe eingegangen sind.“

Dr. Markus Stinner
Automobilexperte bei Microsoft Deutschland

tainer lassen sich dann an virtuelle Maschinen im Netz verteilen. „In der Cloud lassen sich bis zu 200 Prozesse parallel starten“, ergänzt Brandstetter, „dafür hätte man früher 200 Rechner lokal vorhalten müssen.“

Das Ergebnis der Cloud-Auswertung erhalten die Entwickler im sogenannten HyDA-Format (hybride Daten und Analyse), also als eine Mischung aus Messdaten und Auswertung. „Das macht es dem Ingenieur möglich, auf jedem Level eine Analyse durchzuführen“, erklärt Brandstetter. Er kann sich zum Beispiel eine fertige True/False-Auswertung für eine Datenreihe anzeigen lassen – oder bei Bedarf tief in die Analyse von 300 Einzelsignalen einsteigen.

AUF LANGE SICHT ALTERNATIVLOS

Die Vorteile des Arbeitens in der Cloud sind offensichtlich: mehr Tempo, größere Datenmengen und eine breitere Datenbasis für Entscheidungen. Allerdings ist der Umzug in die Cloud anspruchsvoll. „Das bedeutet ein völlig neues Arbeiten“, räumt Meißner ein. Um den Einstieg zu erleichtern, arbeiten die Cloud-Experten von Porsche Engineering intensiv mit den Fachabteilungen zusammen. „Wir wollen die Arbeit nicht übernehmen, sondern die Kollegen mitnehmen“, formuliert Meißner das Motto. In kleinen Workshops und begleitet von Beratern bringen die Fachabteilungen ihre Prozesse selbst in die Cloud.

In einem Punkt sind die Fachleute einig: Datengetriebene Entwicklung ist auf lange Sicht alternativlos. „In Zukunft geht es darum, eine Software schon abzusichern, bevor sie überhaupt auf das Steuergerät im Fahrzeug kommt“, erklärt Vernetzungsexperte Rosinski. Versuche würden mehr und mehr in virtuellen Testumgebungen stattfinden. Gleichzeitig fänden in der gleichen Zeit deutlich mehr Absicherungszyklen statt. Ohne die neue Architektur in der Cloud sei dieses Tempo nicht machbar. ●



ZUSAMMENGEFASST

Die datengetriebene Entwicklung gewinnt rasant an Bedeutung. Zusätzlichen Schub bekommt das Thema durch die Cloud, da sich dort viel mehr Testdaten in kurzer Zeit auswerten lassen. Porsche Engineering setzt auf datengetriebene Entwicklung und nutzt die Methode in immer mehr Fachbereichen.

DATENANALYSE BEREITS WÄHREND DER FAHRT – BEI MAXIMALEM SICHERHEITSNIVEAU

Porsche Engineering nutzt für die Prozessierung von Entwicklungsdaten die Microsoft Azure Cloud als Plattform. Für die maximale Sicherheit der sensiblen Daten sorgt dabei das sogenannte Zero-Trust-Modell. Man geht zunächst davon aus, dass alle Geräte unsicher sind, auch solche, die über ein virtuelles privates Netzwerk (Virtual Private Network, VPN) angebunden sind. „Jeder Zugriff muss authentifiziert, autorisiert und verschlüsselt sein“, erklärt Dr. Markus Stinner, Automobilexperte bei Microsoft Deutschland. Ein Entwicklungsfahrzeug wird als Internet-of-Things-Gerät mit eigenen Sicherheitszertifikaten behandelt. Daten-Uploads können individuell authentifiziert und autorisiert werden. „Über diese Architektur können wir zudem Entwicklungsdaten aus dem Fahrzeug mit geringer Verzögerung streamen“, so Stinner.

Die eigentliche Analyse findet in einem sogenannten Kubernetes-Cluster in der Cloud statt. Es handelt sich um eine Gruppe virtueller Rechner, die viele Aufgaben parallel erledigen können. Voraussetzung ist, dass die Aufgaben zunächst parallelisierbar gemacht – also in kleine Pakete aufgeteilt – wurden. Dafür nutzt man sogenannte Docker-Container. Sie enthalten alles, was der virtuelle Rechner braucht, um arbeiten zu können: Betriebssystem(teile), Programmcode und zu verarbeitende Daten. Eine achtstündige Testfahrt zum Beispiel wird in Segmente von jeweils einer Stunde unterteilt und dann samt des jeweiligen Analyse-Werkzeugs in einem Container hinterlegt. So lassen sich in der Cloud mehrere Hundert Stunden Testfahrt parallel auswerten.

Für den Cloud-Anbieter Microsoft hat der Automotive-Sektor eine große Bedeutung. „Software ist der Motor der Zukunft – das unterstreichen wir mit der engen Partnerschaft, die wir mit der Volkswagen-Gruppe eingegangen sind“, so Stinner. Das autonome Fahren werde die Komplexität von Software noch einmal erhöhen. „Diese Herausforderung wollen wir gemeinsam mit Porsche Engineering angehen.“





Konzentration aufs Wesentliche



Intelligente Verifizierung:
Eine neu entwickelte Funktionalität wird am HiL-Prüfstand getestet (oben). Die intensiven Tests stellen sicher, dass die Integration neuer Features in das Fahrzeugsystem reibungslos funktioniert.

Ein neues Konzept von Porsche Engineering ermöglicht die vollständige Automatisierung von Prüfstandstests neuer digitaler Funktionen. Durch „Continuous Integration“ werden nicht nur die Tests, sondern auch die begleitenden Abläufe automatisiert. Das erhöht die Effizienz bei den Funktionstests der Porsche Connect Dienste.

Text: Richard Backhaus

Die Ausstattung eines Porsche aufwerten und einfach per Software um optionale Funktionen erweitern – möglich wird das mit den digitalen Diensten von Porsche Connect. Der Fahrer erhält damit Zugang zu einer Fülle von Zusatzfunktionen, die ihn vor, während und nach der Fahrt unterstützen. Ganz nach seinen Wünschen lässt sich beispielsweise eine aktive Spurführung für noch sichereres Fahren oder eine intelligente Managementfunktion zur Anpassung der Klima- und Geschwindigkeitseinstellungen an die Restreichweite seines Elektrofahrzeugs ergänzen.

Damit die Integration der Features in das Fahrzeugsystem reibungslos funktioniert und die vielen verschiedenen Dienste nahtlos zusammenarbeiten, verifiziert ein internationales Testteam mit rund 110 Mitarbeitern bei Porsche Engineering die Software für alle Baureihen und Modelle von Porsche, bevor sie ins Fahrzeug kommt. „Das Ökosystem moderner Connectivity-Lösungen wie Porsche Connect ist besonders komplex, da verschiedene Software-Welten – Automobil, Infrastruktur und Smartphone – eingebunden sind. Hinzu kommt die Fülle an einzelnen Software-Funktionen, die in allen Kombinationen getestet werden müssen“, so Dr. Fabian Hinder, Fachprojektingenieur bei Porsche Engineering. Entsprechend umfangreich sind die erforderlichen Testschritte im Labor und auf der Straße, die die Software durchläuft.

Für die Prüfstandstests der Porsche Connect Dienste hat Porsche Engineering an den Standorten Shanghai, Cluj, Prag, Ostrava und Weissach 30 spezielle HiL-Prüfstände (Hardware-in-the-Loop) aufgebaut. Dabei erfolgt nur die Einbindung der vier im Fahrzeug verbauten Kernsteuergeräte für die Porsche Connect Dienste als Hardware, die anderen Fahrzeugsysteme werden in einer virtuellen Echtzeitumgebung nachgebildet. „Diese sogenannte Restbussimulation dient in erster Linie dazu, die Kommunikationsdaten der verschiedenen Bussysteme zu erzeugen und damit die Porsche Connect Dienste unter realistischen Bedingungen auf dem Prüfstand zu testen“, so Daniel Klauber, Entwicklungsingenieur bei Porsche

Engineering. Während der Tests wird untersucht, ob die Software wie spezifiziert auf verschiedene durch die Simulation erzeugte Situationen reagiert. „Basierend auf den Ergebnissen dieser grundsätzlichen Funktionstests, der sogenannten Smoke-Tests, entscheiden die Experten von Porsche Engineering, wie die weiteren Testabläufe gestaltet werden“, sagt Klauber. Diese Untersuchungen finden an unterschiedlichen Standorten weltweit statt, um marktspezifische Funktionen zu testen.

Auch wenn die Restbussimulation und die HiL-Testdurchführung schon seit längerer Zeit weitgehend automatisiert erfolgen, war die Vorbereitung des Prüfstands vor sowie die Nachbereitung der Ergebnisse nach dem Test durch manuelle Tätigkeiten geprägt. So mussten die Prüfstandsingenieure die neueste Connect-Software per Hand aus dem Datenmanagementsystem auswählen und auf die Steuergeräte der Testumgebung laden.

VOLLSTÄNDIGE AUTOMATISIERUNG

Ein neues Konzept von Porsche Engineering gewährleistet nun eine vollständige Prozessautomatisierung der Prüfstandstests. Dabei sind nicht nur die Tests selbst, sondern auch die begleitenden Abläufe automatisiert. Das System verwaltet die Software der Connect Dienste selbstständig und lädt sie auch auf die Teststeuergeräte hoch. Ebenfalls automatisiert erfolgen die Parametrisierung der Steuergeräte sowie Start, Durchführung und Analyse der Prüfstandstests. „Das entlastet die Testingenieure und beschleunigt die



„Das Ökosystem moderner Connectivity-Lösungen ist besonders komplex, da verschiedene Software-Welten eingebunden sind.“

Dr. Fabian Hinder
Fachprojektingenieur bei Porsche Engineering

CONTINUOUS INTEGRATION

AUTOMATISCHE TEST-PROZESSKETTE



Tests, da zwischen den Prozessschritten keine manuellen Tätigkeiten mehr ausgeführt werden müssen. Der manuelle Zeitaufwand zur Vorbereitung der Prüfstände reduziert sich so um rund 90 Prozent. Auch weist das System aktiv auf kritische Testergebnisse hin. Das Testteam kann sich so voll auf die Fehleranalyse konzentrieren“, so Hinder.

INTERDISZIPLINÄRES TEAM

Hinzu kommt, dass für einige Arbeiten am Prüfstand kein umfangreiches Expertenwissen mehr erforderlich ist, wie es beispielsweise für das manuelle Update neuer Software auf die Teststeuergeräte der Fall war. „Im Connect-Umfeld entsteht eine extrem hohe Varianz aufgrund der Anzahl der Dienste, der zu bedienenden Fahrzeugbaureihen und Märkte. Um diese Varianten bei wöchentlichen Software-Lieferungen mit Tests abdecken zu können, ist eine Vollautomatisierung des HiL-Prüfstands zwingend notwendig“, so Carsten Weigt, Teamleiter Shared Test & Integration bei der Porsche AG.

Die Vollautomatisierung wurde mit hauseigenem Know-how durch ein interdisziplinäres Projektteam bei Porsche Engineering umgesetzt. Dabei arbeiteten Experten aus den Bereichen Software-Entwicklung, Prozessautomatisierung, Testautomatisierung, Restbussimulation und Testinfrastruktur-Aufbau an verschiedenen Standorten weltweit zusammen. Teilweise erweiterte das Team die vorhandenen Bausteine durch selbstentwickelte Schnittstellen für eine weitreichendere Automatisierung der Prozesskette. „Um die Komplexität zu reduzieren, haben wir automatische Routinen definiert, mit denen wir Prozesse einfacher triggern können“, erklärt David Karimi, Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering.



„Eine Vollautomatisierung des HiL-Prüfstands ist zwingend notwendig.“

Carsten Weigt
Teamleiter Shared Test & Integration
bei der Porsche AG



Fehlende Bausteine für die Vollautomatisierung ergänzten die Experten durch Eigenentwicklungen. Auf diese Weise entstand zum Beispiel ein lokaler Client zur Steuerung der Prüfstände sowie ein sogenannter Software-Crawler, mit dem Software automatisiert von den Servern der Zulieferer heruntergeladen wird. Weitere Beispiele sind eine generisch anzuwendende Steuerungslogik sowie Reporting-Tools für die Dokumentation aller Ergebnisse der einzelnen automatisierten Prozessschritte.

MODULARER AUFBAU

Die zur Vollautomatisierung der Prüfstände verwendete Methodik wird auch Continuous Integration genannt. Sie basiert im Kern auf dem frei zugänglichen Software-System „Jenkins“, mit dem das fortlaufende Zusammenfügen von Software-Komponenten zu einer Anwendung ermöglicht wird. „Die Entwicklung der Porsche Connect Dienste verläuft rasant schnell und dynamisch. Um die neuen Dienste und Änderungen dennoch rechtzeitig absichern zu können, haben wir die Einführung der HiL-Automatisierung vorangetrieben. Gemeinsam mit Continuous Integration können wir neue Steuergeräte-Software jetzt automatisch herunterladen und die Steuergeräte sehr effizient flashen und codieren“, erklärt Dickson Ng, Product Owner Automatisierungsplattform & Continuous Integration bei der Porsche AG.

Mit ihrem modularen Aufbau bietet die Continuous-Integration-Methodik hohe Flexibilität für Anpassungen

„Um die Komplexität zu reduzieren, haben wir automatische Routinen definiert, mit denen wir Prozesse einfacher triggern können.“

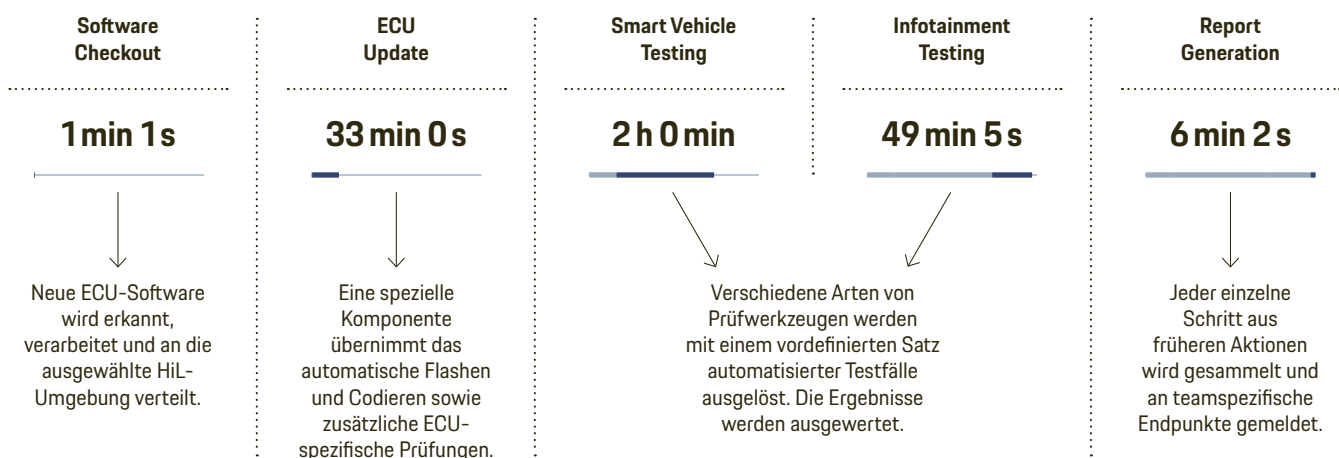
David Karimi

Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering

und Erweiterungen, denn je nach Anwendungsfall lassen sich ganz unterschiedliche Module zu einem neuen Gesamtprozess integrieren. „Dadurch bietet sich unser Ansatz für die Automatisierung aller Prüfstandstests sämtlicher Domänen an“, sagt Hinder. „Erste Anfragen anderer Bereiche haben wir schon.“ Zunächst ist jedoch die Integration der Vollautomatisierung in alle Connect-HiL-Prüfstände von Porsche Engineering weltweit im Fokus des Projektteams. Nach der erfolgreichen Erstumsetzung sollen nun auch alle anderen Prüfstände in Deutschland, China und Tschechien umgerüstet werden. Geplant ist, alle HiL-Prüfstände für Porsche Connect Dienste bis Ende 2023 vollautomatisiert zu betreiben. ●

PIPELINE FÜR SOFTWARE-TESTS

Von der Anlieferung neuer Software-Versionen bis hin zum Report: Der Testprozess in Jenkins folgt einem präzise festgelegten Ablauf (unten ein konkretes Beispiel, das rund dreieinhalb Stunden gedauert hat – inklusive Zeitabgaben für die einzelnen Schritte). Manuelle Eingriffe sind nicht mehr nötig.



01 REALE TESTFAHRTEN



Automatische Erfassung: JUPITER-Versuchsfahrzeuge von Porsche Engineering liefern Video-, Radar- und Lidar-Daten realer Verkehrssituationen.

Automatische Analyse

Algorithmen erfassen den Straßenverlauf, die Position der Verkehrsteilnehmer und ihr Verhalten. Dabei werden kritische Situationen wie eine scharfe Bremsung erkannt.



Simuliert. Automatisiert. Variiert.

Funktionen für das hochautomatisierte Fahren müssen intensiv durch Simulationen abgesichert werden. Im Forschungsprojekt AVEAS arbeitet Porsche Engineering daran mit, kritische Verkehrssituationen automatisiert mit KI-Hilfe aus Sensordaten zu erkennen und in einer Datenbank abzulegen. Die so erzeugten Streckenmodelle und Verkehrssituationen werden zudem variiert, um mehr Testfälle für die virtuelle Absicherung zu erzeugen.

Text: Constantin Gillies



**„Wir entwickeln gerade ein Verfahren,
das Verkehrsteilnehmer auch dann wiedererkennt,
wenn sie länger nicht zu sehen waren.“**

Leon Eisemann

Doktorand und Spezialist für Bilderkennung bei Porsche Engineering

Abstrakte Beschreibung

Aus den individuellen Trajektorien werden Meta-Vorgänge abgeleitet, zum Beispiel „Fahrzeug stoppt an der Kreuzung und fährt wieder an“. Sie lassen sich später in der Simulation variieren.

DATENEXTRAKTION, SITUATIONS-IDENTIFIKATION & STRECKENMODELLIERUNG **02**



Virtuelle Testfahrten: Im PEVATeC-Simulationsframework können die Entwickler die realen Fahrten nachstellen.

03 GENERIERUNG VON SZENARIO-VARIATIONEN



Endlose Möglichkeiten: Kritische Situationen wie ein Einschervorgang lassen sich in der Simulation Tausende Male mit verschiedenen Parametern durchspielen.



„Wir bauen einen vollständigen Katalog von kritischen Szenarien auf, mit dem wir Fahrerassistenzsysteme und Funktionen für das hochautomatisierte Fahren absichern können.“

Dr. Joachim Schaper
Leiter KI und Big Data bei Porsche Engineering

Tille Karoline Rupp
Verantwortliche für Simulation bei Porsche Engineering

Ein Fahrzeug überholt und schert mit zu geringem Abstand wieder ein – in solchen Momenten kommt es oft zu Beinaheunfällen. Heute verhindert der Fahrer meist das Schlimmste, indem er bremst oder ausweicht. Das autonom fahrende Fahrzeug von morgen muss in kritischen Momenten ebenfalls sicher reagieren, weshalb Porsche Engineering sie heute schon intensiv in Simulationen durchspielt.

Dabei erhöhen die Ingenieure gezielt die Kritikalität, zum Beispiel indem sie den Abstand zwischen den Fahrzeugen verringern. „Wir bauen einen vollständigen Katalog von kritischen Szenarien auf, mit dem wir Fahrerassistenzsysteme und Funktionen für das hochautomatisierte Fahren absichern können“, erklären Dr. Joachim Schaper, Leiter KI und Big Data bei Porsche Engineering und Tille Karoline Rupp, Verantwortliche für Simulation bei Porsche Engineering.

Die virtuellen Tests sind Teil des Forschungsprojektes AVEAS (Absicherungsrelevante Verkehrssituationen erheben, analysieren, simulieren), an dem neben Porsche Engineering weitere 20 Partner beteiligt sind, darunter mehrere Fraunhofer-Institute und das Karlsruher Unternehmen understand.ai.

SIMULIERBARE SZENARIEN

AVEAS will eine große Hürde auf dem Weg zum autonomen Fahren beseitigen: fehlende Daten. Um Funktionen für das hochautomatisierte Fahren abzusichern, müssten theoretisch Milliarden von Testkilometern gefahren werden. Weil dies einen enormen zeitlichen und finanziellen Aufwand darstellen würde, ergänzt man die realen Fahrten durch Fahrten in der Simulation. Doch das ist gerade bei kritischen Verkehrssituationen schwierig, da es an realen Basisdaten für die

Simulation mangelt – schließlich kommt es im normalen Verkehrsgeschehen selten zu Grenzsituationen. Diese Lücke soll AVEAS schließen. Ziel des Projekts ist es, Testfahrten automatisiert auszuwerten und die kritischen Verkehrssituationen als simulierbare Szenarien aufzubereiten.

Porsche Engineering steuert dazu einige entscheidende Bausteine bei. Für die Testfahrten wird zum Beispiel ein JUPITER-Versuchsfahrzeug (Joint User Personalized Integrated Testing and Engineering Resource) zur Verfügung gestellt. Es ist mit Kameras, Radar- und Lidar-Sensoren ausgestattet und überträgt seine Messdaten in die Cloud. Auch die Auswertung übernimmt Porsche Engineering: Algorithmen erfassen automatisch den Straßenverlauf, die Position der anderen Verkehrsteilnehmer und ihr Verhalten.

Die dabei eingesetzten Machine-Learning-Methoden werden ständig verfeinert. „Wir entwickeln gerade ein Verfahren, das Verkehrsteilnehmer auch dann wiedererkennt, wenn sie länger nicht zu sehen waren, zum Beispiel, weil ein Lkw sie verdeckt hat“, sagt Leon Eisemann, Doktorand und Spezialist für Bilderkennung bei Porsche Engineering. Das erfasste Verkehrsgeschehen wird in standardisierten Dateiformaten wie ASAM OpenDRIVE (logische Beschreibung des Straßennetzes) oder ASAM OpenLABEL (Objekte und deren Dynamik) gespeichert. So kann AVEAS auch Input für andere Projekte liefern, wie beispielsweise die Streckenmodellierung (siehe Kasten).

In einem zweiten Schritt wählen Algorithmen die kritischen Verkehrssituationen aus, indem sie zum Beispiel auf geringe Abstände oder starke Verzögerungskräfte achten. „Wobei das relevante Kritikalitätsmaß immer von der Fahrfunktion abhängt, die später getestet werden soll“, betont Nicole Neis, Doktorandin im Bereich Simulation bei Porsche Engineering. Soll zum Beispiel ein automatischer Abstandstempomat (Adaptive Cruise Control, ACC) abgesichert werden, wäre eine scharfe Bremsung vor einem Stauende ein relevantes kritisches Szenario.

Auch Umgebungsfaktoren können kritische Szenarien auslösen. Nähert sich das Fahrzeug zum Beispiel einem Tunnelende, blendet das Gegenlicht möglicherweise die Bordkameras. Solche Verkehrssituationen markiert der Auswahlalgorithmus ebenfalls, damit sie für die Absicherung von Fahrfunktionen verwendet werden können – schließ-

lich soll das autonome Fahrzeug später so besonnen reagieren wie ein menschlicher Fahrer, etwa indem es die Geschwindigkeit verringert oder andere Sensoren priorisiert.

Zunächst bestehen die (simulierbaren) Fahrszenarien aus den Positionsdaten der Verkehrsteilnehmer im Zeitverlauf; Experten sprechen von einer „trajektorienbasierten“ Beschreibung. Um ein Fahrszenario später in der Simulation variieren zu können, muss es abstrakt beschrieben werden – also „manöverbasiert“. Dafür leitet man aus den individuellen Trajektorien Meta-Vorgänge ab, zum Beispiel „Fahrzeug stoppt an der Kreuzung und fährt wieder an“. Dieses Szenario lässt sich dann an einem beliebigen Startpunkt in eine virtuelle Strecke einfügen und verändern.

ERWEITERUNG DES TESTRAUMS

Die virtuellen Testfahrten finden in der intern entwickelten Simulationsumgebung statt, dem sogenannten PEVATeC SimFramework (Porsche Engineering Virtual ADAS Testing Center Simulation Framework). In der digitalen Welt lässt sich die reale Fahrt nachstellen (resimulieren) und dann gezielt verändert durchspielen. „Bei diesem sogenannten Szenario-Sampling werden die realen kritischen Situationen systematisch modifiziert und somit der virtuelle Absicherungstestraum künstlich erweitert“, erklärt Rupp.

Ein Einschervorgang etwa lässt sich viele Tausend Mal mit unterschiedlichen Parametern wiederholen: mit einer höheren Einschergeschwindigkeit, einem zeitlich kürzeren Abstand (Time Headway) oder widrigen Umweltbedingungen wie einer nassen Straße. Durch diese gezielte Variation der Parameter lassen sich auch Testszenarien erschaffen, die allein aus Sicherheitsgründen real nicht gefahren werden können – man denke an eine Vollbremsung vor einem Stauende.

Im letzten Schritt werden die synthetischen Grenzszenarien verwendet, um die gewünschte Fahrfunktion abzusichern und zu optimieren. Dafür konstruiert Porsche Engineering einen digitalen Zwilling des JUPITER-Testfahrzeugs. „Der ‚Digital JUPITER‘ verfügt über die gleichen Schnittstellen und Sensoren wie das echte Fahrzeug“, erklärt David Hermann, Doktorand und Fachprojekt-Ingenieur im Bereich Simulation bei Porsche

Test der Fahrfunktion

Die synthetischen Szenarien werden in der Simulation verwendet, um die gewünschte Fahrfunktion abzusichern und zu optimieren. Dafür konstruiert Porsche Engineering einen digitalen Zwilling des JUPITER-Testfahrzeugs.



„Das relevante Kritikalitätsmaß hängt immer von der Fahrfunktion ab, die später getestet werden soll.“

Nicole Neis
Doktorandin im Bereich Simulation bei Porsche Engineering



**„Der ‚Digital JUPITER‘ verfügt
über die gleichen
Schnittstellen und Sensoren
wie das echte Fahrzeug.“**

David Hermann

Doktorand und Fachprojektingenieur im Bereich
Simulation bei Porsche Engineering

Engineering. „Alle Funktionen lassen sich eins zu eins testen.“ Porsche Engineering wird den Digitalen JUPITER nutzen, um im Rahmen von AVEAS einen Abstandstempomaten und eine Einparkfunktion (Reverse Assist) zu evaluieren und optimieren.

ERSTE PATENTE ANGEMELDET

Damit reale und virtuelle Testfahrt wirklich deckungsgleich sind, braucht es viel Erfahrung – auch in der analogen Welt. „Gefragt ist ein tiefes Verständnis dafür, wie reale Technik und Simulation zusammenhängen“, betont Schaper. Ein virtuelles Fahrzeug muss zum Beispiel wie das analoge Vorbild auf verschiedene Fahrbahnoberflächen reagieren. Das im Dezember 2021 gestartete Projekt

hat schon erste Ergebnisse geliefert. „Viele Glieder der Prozesskette sind vorhanden, die Versuchsfahrten laufen, einige Patente sind bereits angemeldet“, sagt Michael Strobelt, der die Beteiligung von Porsche Engineering an AVEAS koordiniert. Allerdings bringt die Grundlagenarbeit auch Herausforderungen mit sich. „Die Realität in ihrer hohen Variabilität abbilden zu können, ist anspruchsvoll“, betont Doktorand Eisemann. Erkennungsalgorithmen müssten zum Beispiel Fahrzeuge aus aller Welt identifizieren können – nicht nur deutsche. „Außerdem spielt das Schnittstellenmanagement eine große Rolle“, ergänzt Doktorandin Neis. Da die AVEAS-Partner Daten aus unterschiedlichen Quellen beitragen, ist für den Austausch eine genaue Abstimmung nötig. Das Karlsruher Institut

04 SIMULATION & AUSWERTUNG



Härtetest in der Simulation: In der virtuellen Testumgebung zeigt sich, ob die Fahrfunktion wie gewünscht reagiert (grüner Haken) oder ob sie verbessert werden muss (rotes Kreuz).

für Technologie liefert zum Beispiel Luftbilder von Straßen, die ebenfalls in die Konstruktion der digitalen Szenarien einfließen sollen.

AVEAS läuft noch bis Ende 2024. Dann soll eine skalierbare Pipeline für die Auswertung von Fahrscenarien stehen – und ein Katalog mit vielen Hunderttausend kritischen Szenarien. Beides könnte die Entwicklungsarbeit in Zukunft stark beschleunigen. Rupp beschreibt die langfristige Vision so: „Schon während der Messfahrt werden Szenarien generiert und sofort in der Simulation zur Optimierung der Fahrfunktion verwendet.“ Nach der Absicherung könnte dann ein entsprechendes Update Over-the-Air ins Fahrzeug übertragen werden. ●



ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering arbeitet im Forschungsprojekt AVEAS mit Partnern daran, kritische Verkehrssituationen mit KI-Hilfe automatisiert in Sensordaten zu erkennen und in einer Datenbank abzulegen. Sie werden zudem variiert, um mehr Testfälle zu erzeugen. Danach werden die Szenen in eine Simulation überführt und dienen dazu, Fahrerassistenzsysteme und Funktionen für das hochautomatisierte Fahren abzusichern.

Optimierung und Absicherung

Dank der Simulation von tausenden von kritischen Verkehrssituationen kann die neue Fahrfunktion effizient optimiert und abgesichert werden.

STRECKENMODELLIERUNG PRÄZISES ABBILD DER WELT

Für Simulationen wird eine Welt benötigt, in der sich die Verkehrsteilnehmer bewegen und mit der sie interagieren können. „Diese Streckenmodelle sind ein grundlegender Bestandteil jeder ADAS/AD-Simulation – ohne Streckenmodell kein virtueller Fahrversuch“, sagt Tille Karoline Rupp, Verantwortliche für Simulation bei Porsche Engineering. Streckenmodelle, im Fachjargon Szene genannt, beschreiben sowohl den Fahrbereich (Straße, Parkraum) als auch die Umgebung. Sie bestehen aus einem mathematischen Modell des Straßennetzes im OpenDRIVE-Format und einem 3D-Modell, das exakt Aussehen und Material der Objekte beschreibt.

Digitale Karten, wie sie kommerzielle Navigationssysteme nutzen, sind dafür nicht präzise und detailliert genug. „Es fehlen zum Beispiel Informationen über Breite der Spuren und Fahrbahnmarkierungen“, erklärt Tobias Watzl, Entwicklungsingenieur im Bereich Simulation und verantwortlich für die Streckenmodellierung. Je nach Aufgabe werden hochauflösende Karten, frei verfügbare OpenStreetMap-Karten, Höhenmodelle und vieles mehr kombiniert. „Um die Vielzahl an benötigten Testkilometern in einem angemessenen Zeitrahmen virtuell abbilden zu können, arbeiten wir an einem eigenen, hochgradig automatisierten Streckenmodellierungsprozess“, ergänzt Rupp. Hierbei wird der Automatisierungsgrad im Erstellungsprozess stetig erhöht.

Im Rahmen des AVEAS-Projektes speisen die eingesetzten JUPITER-Versuchsfahrzeuge Messdaten in den Streckenmodellierungsprozess ein. Sie tasten mit ihren Lidar-Sensoren die Umgebung ab und übertragen die resultierenden Punktwolken in die Cloud. Da Fahrbahnmarkierungen ein anderes Reflexionsverhalten haben als Asphalt, lassen sie sich in den Lidar-Daten gut identifizieren. Spezielle Algorithmen berechnen aus den Einzelmarkierungen eine durchgehende Gesamtlinie (dieser Prozess funktioniert auch, wenn einzelne Markierungen fehlen). Das Ergebnis ist ein präzises „georeferenziertes“ Abbild einer echten Straße im OpenDRIVE-Format. Dem stehen „generische“ Streckenmodelle gegenüber, die kein reales Vorbild haben (Beispiel: zehn Kilometer zweispurige Autobahn).

Die Streckenmodellierung erfordert hohe Präzision. Die ermittelte Straßengeometrie muss auf den Zentimeter genau sein, sonst würden zum Beispiel die Fahrzeugabstände bei simulierten Spurwechseln später nicht stimmen. Eine Herausforderung: Da Straßen im OpenDRIVE-Format als mathematische Funktionen beschrieben sind, können Sprungstellen entstehen, die in der Simulation als „Knick“ in der Straße erscheinen würden. Solche Punkte müssen interpoliert werden. „Der digitale Zwilling fährt eine Strecke oft mehrere Hunderttausend Mal – da muss jedes Detail stimmen“, betont Watzl.

„Datengetriebene Entwicklung ist unverzichtbar, um die zunehmende Komplexität beherrschbar zu machen.“

Dr. Michael Steiner
Entwicklungsvorstand
der Porsche AG



Experten für Innovationen:
Dr. Michael Steiner (links)
und Markus-Christian Eberl
blicken auf eine erfolgreiche
Zusammenarbeit zurück –
und sehen viel Potenzial
für die Zukunft.

„Wir verbinden virtuelle, algorithmische und datengetriebene Entwicklung mit der realen Welt.“

Markus-Christian Eberl
Sprecher der Geschäftsführung
von Porsche Engineering



Nachhaltigkeit, Künstliche Intelligenz sowie die neue Partnerschaft zwischen OEMs und Technologie-dienstleistern: **Dr. Michael Steiner**, Entwicklungsvorstand der Porsche AG, und **Markus-Christian Eberl**, Sprecher der Geschäftsführung von Porsche Engineering, diskutieren im Interview über die wichtigsten Themen in der Automobilentwicklung.

Interview: Christian Buck
Fotos: Andreas Reeg

„Unser Anspruch ist es, Technologiepartner für das intelligente und vernetzte Fahrzeug zu sein.“

Markus-Christian Eberl

Welche Trends werden die Automobilentwicklung in Zukunft am stärksten prägen?

- **STEINER:** Die Elektrifizierung wird die Automobilindustrie schnell weitgehend durchdringen, wenn auch nicht vollständig. Denn die Geschwindigkeiten der Transformation dürften in verschiedenen Marktsegmenten und Regionen der Welt unterschiedlich sein. Zudem werden dank höherer Datenübertragungsraten und Datenverfügbarkeit sowie der Verbindung zu Backends in der Cloud immer mehr Funktionen im Auto verfügbar sein. Umgekehrt könnten dann auch Funktionen aus dem Fahrzeug ins Backend verlagert werden. In diesem Sinne wird das „Software-defined Vehicle“ mehr und mehr die Automobilindustrie beeinflussen. Die Entwicklung wiederum wird schon allein wegen der steigenden Komplexität immer mehr mit Softwaremethoden und Simulationsfahrzeugen erfolgen.

Herr Eberl, wie ist Ihre Sicht auf die wichtigsten Trends?

- **EBERL:** Ich möchte die zunehmende Heterogenisierung der Welt ansprechen. Wir beobachten, dass sich die Erwartungshaltung an das Fahrzeug ändert. In vielen Regionen entstehen neue Kundenerwartungen, die unter anderem durch eigenständige, lokale Ökosysteme beeinflusst werden. Hierauf müssen wir fahrzeugseitig reagieren. Hinzu kommt eine wachsende Heterogenisierung der technischen Regularien: Die Anforderungen an Fahrzeuge und damit auch an unsere Dienstleistungsprodukte werden vielfältiger und immer anspruchsvoller. Wir müssen uns auf diese Entwicklung einstellen und in unterschiedlichen Regionen der Welt maßgeschneidert agieren. Ein weiterer Megatrend, den ich hier nennen möchte, ist das Thema ökologische Nachhaltigkeit: Eigentlich wird die Bezeichnung „Trend“ dieser Thematik nicht wirklich gerecht, denn es handelt sich eher um eine in großer Breite erkannte und akzeptierte Handlungsnotwendigkeit – dies ist viel mehr als ein bloßer Trend. Die Erkenntnis, dass die Menschheit auf das CO₂-Problem und auch auf weitere Umweltbelastungen reagieren muss, hat sich in den letzten Jahren immer mehr durchgesetzt. Für uns heißt das: Die Bedeutung von nachhaltigem Engineering nimmt weiter zu.
- **STEINER:** Das gilt für einen Hersteller von Luxusprodukten wie Porsche natürlich im besonderen Maße. Wir wollen und müssen auch in der Dimension Nachhaltigkeit Vorbild sein – nicht nur im Betrieb des Fahrzeugs, sondern auch bei der Herstellung und der Wiederverwertbarkeit. Letztere spielt bei Porsche zwar keine so große Rolle, weil die meisten der von uns produzierten Fahrzeuge so gut wie nie außer Dienst



Markus-Christian Eberl

ist seit Juni 2023 Sprecher der Geschäftsführung von Porsche Engineering. Zuvor war er Leiter Technische Konformität bei der Porsche AG. Der Diplom-Ingenieur hat an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrttechnik studiert.

gestellt werden. Dennoch: Wer heute glaubwürdig Luxus verkörpern will, kann das nicht nur durch Hightech, Qualität und Marke tun. Er muss auch Vorbild in der Nachhaltigkeit sein.

Um das hochautomatisierte Fahren ist es in letzter Zeit ruhiger geworden. Was wird hier in Zukunft zu erwarten sein?

- **STEINER:** Technisch geht hier heute schon sehr viel. Ich denke, dass in zwei oder drei Jahren Level-4-Fahren technisch grundsätzlich möglich sein wird. Das ist bei Porsche aber derzeit kein Thema. Da man einen Porsche immer selbst fahren will, werden Porsche auch immer ein Lenkrad und Pedale haben. Das heißt aber nicht, dass wir unseren Kunden in Zukunft nicht auch automatisierte Fahrfunktionen bis Level 3 anbieten werden, um sie etwa beim Einparken oder im Stau auf der Autobahn zu entlasten. Bei automatisierten Fahrfunk-



Dr. Michael Steiner

ist seit 2016 Entwicklungsvorstand der Porsche AG. Zuvor war er dort Leiter Entwicklung Gesamtfahrzeug/Qualität. Der Diplom-Maschinenbauingenieur promovierte 1995 an der TU München.

tionen geht es uns nicht darum, als Erstes im Markt präsent zu sein. Vielmehr steht bei der Entwicklung für Porsche höchstmöglicher Nutzwert und große Zuverlässigkeit im Fokus. Grundsätzlich muss das hochautomatisierte Fahren mit Level 4 oder sogar 5 dann aber auch zulassungsfähig sein und wirtschaftlich Sinn ergeben. In einigen Städten – darunter Phoenix und San Francisco – sind schon Testflotten unterwegs, zum Teil im halbgewerblichen Betrieb und ohne Fahrer. Das funktioniert, allerdings nur mit einem extremen technologischen Aufwand. Wirtschaftlich ist das noch nicht. Eine weitere Herausforderung: Viele der Fahrzeuge arbeiten stark mit KI-Methoden. Hier besteht eine wesentliche Herausforderung darin, den erforderlichen Sicherheitsnachweis deterministisch zu erbringen, denn diese Systeme lernen. Testfahrten über Millionen von Kilometern durchzuführen ist hierfür nicht mehr

„Das ‚Software-defined-Vehicle‘ wird mehr und mehr die Automobilindustrie beeinflussen.“

Dr. Michael Steiner

ausreichend. Wir benötigen vielmehr ergänzende Methoden – beispielsweise über begrenzende Fahrstrategien eher deterministischer Natur, in deren Rahmen das Fahrzeug eine Feinstrategie mit KI-Methoden entwickeln kann.

- **EBERL:** Wir investieren bei Porsche Engineering konsequent in Methoden und Kompetenzen für die intelligenten und vernetzten Fahrzeuge der Zukunft. Denn wir sind sicher, dass in naher Zukunft wesentliche Fortschritte in diesem Bereich erreicht werden. Folgende Faktoren möchte ich hier ansprechen: Erstens können erweiterte Konnektivitäts- und Fahrerstützungsfunktionen aus verlorener Zeit direkt Nutzzeit machen, beispielsweise in einer Stau-Situation. Damit wird Verschwendung von einer unserer wertvollsten Ressourcen, nämlich unserer Zeit, reduziert. Dies spricht dafür, dass assistierte Fahrfunktionen weiter zunehmen werden, bis hin zum automatisierten Fahren. Der zweite Faktor ist ein technischer Enabler: geometrisch miniaturisierte, preislich sinkende und bezüglich Leistungsfähigkeit steigende Rechenleistung. Diese ermöglicht heute eine Echtzeitverarbeitung von großen Mengen an Sensordaten im Fahrzeug. Genau in diesem Themengebiet haben wir umfassend Kompetenzen und Kapazitäten aufgebaut. Und wir haben den großen Vorteil, die virtuelle, algorithmische und datengetriebene Entwicklung entsprechender Funktionen auf unserem eigenen Testgelände in Nardò mit der realen Welt verbinden zu können.
- **STEINER:** Das ist ein wichtiger Punkt. Jeder Hersteller möchte in einer gesicherten und reproduzierbaren Umgebung arbeiten, um neue Funktionen effizient in verschiedensten Variationen testen sowie Fahrzeuge und Netzwerke trainieren zu können.

Welches Thema treibt Sie derzeit noch um?

- **EBERL:** Das Thema Innovationskraft ist mir ein großes Anliegen, denn die Innovationszyklen werden im Vergleich zu früher immer kürzer. Eine entscheidende Aufgabe besteht darin, unsere Innovationsfähigkeit beizubehalten beziehungsweise weiter zu steigern. Das klingt einfach, ist aber schwierig. Denn Innovationskraft bedeutet: Innovationen müssen durch den kompletten Trichter bis ins Endprodukt kommen. Fast täglich entstehen innovative Ideen bei unseren Mitarbeitern, kleinere und größere. Hier besteht eine wesentliche Herausforderung darin, guten Ideen den Weg zu ebnen und sie nicht alltäglichen operativen Verpflichtungen oder Formalien zum Opfer fallen zu lassen. Um das zu erreichen, spielt Kultur eine große Rolle – auch beim Dienstleister. Wenn ich heute Technologiepartner sein möchte, muss ich meinen Kunden mehr liefern als nur die einfache Antwort auf das, was er oder sie gefragt hat.

„Wir brauchen eine offene Innovationskultur – auch vom Partner zu uns.“

Dr. Michael Steiner



Was heißt das konkret?

- **EBERL:** Unser Anspruch bei Porsche Engineering ist es, Technologiepartner für das intelligente und vernetzte Fahrzeug zu sein. Das bedeutet: Wir haben die Fähigkeit, über den Tellerrand zu schauen und unseren Kunden auch jenseits der vielleicht engen Fragestellungen eine Antwort zu liefern – also mitzudenken, den Lösungsraum aufzumachen, an der Lösungsgestaltung im kreativen Sinne mitzuwirken und dadurch einen Mehrwert zu liefern. Dafür benötigen wir entsprechend ausgestaltete Schnittstellen zu und Zusammenarbeitsmodelle mit unseren Auftraggebern: Wir haben den Anspruch, eigene Ideen bei unseren Auftraggebern einzubringen, ohne natürlich die ursprüngliche Aufgabenstellung aus den Augen zu verlieren. Das führt zu einem Mehrwert für beide Seiten: für den Kunden und für den Dienstleister und seine Mitarbeiter.
- **STEINER:** Das kann ich nur unterstreichen. Die Innovationen von morgen werden nicht alle aus Weissach kommen, sondern auch von Partnern und sicherlich teilweise auch aus ganz anderen Branchen. Wir brauchen darum eine offene Innovationskultur – auch vom Partner zu uns. Darum ist Porsche Engineering nicht nur bei uns beliebt. Die Ingenieure und Software-Entwickler bringen eigene Ideen mit und sind trotzdem kundenorientiert. Es ergibt keinen Sinn, wenn man Kunden etwas schmackhaft machen möchte, was sie gar nicht wollen. Porsche Engineering hat die Fähigkeit, auch im Verlauf eines Projekts als Anregung Input zu liefern, der zwar gar nicht so spezifiziert war, jedoch Mehrwert bringt. Wir müssen dann zuhören und dürfen den Rollladen nicht gleichzumachen. Das meine ich mit Innovationsdurchlässigkeit.

Was zeichnet Porsche Engineering als Partner auf Augenhöhe aus?

- **EBERL:** Um erfolgreich zu sein, braucht man einerseits Wissen. Und man benötigt andererseits Erfahrung, die nicht einfach generierbar ist, denn sie entsteht über einen langen Zeitraum und ist eine Art kumulierte Erkenntnis aus fortwährender Tätigkeit. Als Tochtergesellschaft eines Herstellers sind wir seit Jahrzehnten in der Automobilentwicklung tätig und verstehen nicht nur die neuen Themen, sondern auch deren Vernetzung mit den klassischen Disziplinen sowie die Integ-

ration ins Gesamtfahrzeug. Wir haben also nicht nur spezifisches Wissen, sondern auch Erfahrung, sehr viel Erfahrung! Die dritte Zutat ist Kultur: Wir schaffen Rahmenbedingungen, die Kreativität freisetzen und Umsetzungsstärke fördern. Auf Basis dieser drei Säulen – Wissen, Erfahrung und Kultur – gestalten wir kundenspezifisch unsere Leistungen aus. Mit diesem Porsche Engineering-Dreiklang generieren wir Mehrwert für unsere Auftraggeber.

Herr Steiner, das Auto wird immer komplexer. Verschiebt sich dadurch die Arbeitsteilung zwischen den OEMs und den Entwicklungspartnern?

- **STEINER:** Tendenziell wird in Zukunft mehr durch Dritte entwickelt werden. Das hängt mit mehreren Faktoren zusammen: Erstens, viele Entwicklungsdienstleister haben sich spezialisiert – von der Integration eines neuen Radarsensors in ein bestehendes Fahrzeugsystem bis hin zur Entwicklung eines kompletten Fahrzeugderivats. Als Hersteller formulieren wir eine Strategie für die Eigen- und Fremdleistungen. Dabei besteht schon seit längerem der Trend, dass technische Wertschöpfung vermehrt bei Entwicklungsdienstleistern stattfindet. Zweitens, wir haben die große Herausforderung, in Deutschland und in Mitteleuropa qualifiziertes Personal zu finden. Der bestehende Mangel an Experten führt dazu, dass wir verstärkt dort hingehen müssen, wo gut ausgebildete Mitarbeiter zu finden sind. Dazu gehört auch China, wo es viele Informatiker, Elektrotechniker und Maschinenbauer gibt. Indien ist bezüglich Software-Kompetenz sehr stark, genauso Teile Osteuropas. Es ist nur bedingt möglich, all diese Talente nach Mitteleuropa zu holen. Stattdessen müssen die Unternehmen dort hingehen, wo die gesuchten Talente vorhanden sind. Auch über Tech-Partner wie Porsche Engineering.

Kann der Einsatz von KI und datengetriebener Entwicklung helfen, diesen Mangel an Experten zu lindern?

- **STEINER:** Datengetriebene Entwicklung ist unverzichtbar, um die zunehmende Komplexität beherrschbar zu machen. Auch weil Computer in der Mustererkennung sehr viel besser sind als Menschen, müssen wir diesen Ansatz nutzen. Dabei gibt

es einen positiven Nebeneffekt: Wenn wir stärker datengetrieben entwickeln und mit KI-Methoden Fehler und Anomalien finden, können wir vielleicht auch automatisiert Lösungen optimieren – also Entwicklungstätigkeit rechnergestützt durchführen. Und wir könnten perspektivisch auch in einem Netzwerk von Entwicklungs-Hubs rund um die Welt besser örtlich verteilt arbeiten. Nicht alles wird von heute auf morgen datengestützt und virtuell gehen, aber wahrscheinlich mehr und mehr.

- **EBERL:** Um genau das zu ermöglichen, investieren wir nicht nur mit Blick auf die konkrete Kundennachfrage, sondern aus innerer Überzeugung in unsere eigene Methodenfähigkeit. Ich möchte exemplarisch die JUPITER-Versuchsfahrzeuge nennen, in die wir zum Beispiel auf Basis standardisierter Middleware wie ROS und DDS sehr schnell neue Sensorik für das automatisierte Fahren integrieren und testen können. Mithilfe von Code-Bibliotheken können wir rasch auf diese Sensoren beziehungsweise deren Daten zugreifen, etwa um neue Algorithmen zu erstellen und auszuprobieren. Das tun wir, weil wir davon überzeugt sind, dass die datengetriebene Entwicklung in der kompletten Pipeline von der Sammlung bis hin zur Speicherung und der Beherrschung von Daten eine maßgebliche Rolle spielen wird. Darum rüsten wir auch das Testgelände in Nardò weiter auf, wo bereits heute ein hochleistungsfähiges 5G-Netz zur Verfügung steht. Mithilfe dessen können wir beispielsweise unsere Kunden mit Cloud-basierten Datendiensten unterstützen, sodass deren Entwickler nicht nur vor Ort, sondern weltweit direkt und schnell auf neu generierte Daten zugreifen können.
- **STEINER:** Dass wir in Echtzeit auf Daten von Fahrzeugen auf einer Teststrecke wie in Nardò hier in Weissach zugreifen können, mit hoher Bandbreite, das ist etwas, von dem wir lange geträumt haben. Und dieser Traum wird jetzt wahr.

Herr Steiner, lassen Sie uns 20 Jahre in die Zukunft blicken. Was wird in einem Porsche dann anders sein als heute? Und was wird gleich bleiben?

- **STEINER:** Manches wird gleich bleiben oder sich schrittweise weiter verbessern: Wir werden zum Beispiel weiter daran arbeiten, dass das Fahrzeug alle Wünsche des Fahrers noch präziser und sportlicher umsetzt – egal, ob am Lenkrad, auf der Bremse oder auf dem Fahrpedal. Manches wird sich aber auch grundlegend verändern, etwa die Interaktion mit dem Fahrzeug: Sie wird mehr über natürliche Sprache stattfinden, mit deren Hilfe der Fahrer Komfort- oder Bürofunktionen aufrufen kann. Wahrscheinlich werden auch Videokonferenzen eine Selbstverständlichkeit sein. Möglich wird das durch eine mindestens doppelt redundante Konnektivität in die Welt. Wahrscheinlich werden die Fahrzeuge auch untereinander kommunizieren, vielleicht über 6G- oder 7G-Netzwerke. Des Weiteren werden die Fahrzeuge auch Energie intelligenter speichern und nutzen. Fortschritte in der Zellchemie werden dazu führen, dass die Batterien kleiner und günstiger werden. Auch ihr initialer CO₂-Footprint dürfte sich verkleinern – ebenso wie bei den Kunststoffen sowie bei Aluminium und Stahl. Grüner Stahl dürfte beispielsweise in Zukunft State of the Art werden, hoffentlich auch grünes Aluminium. Vor wenigen Wochen erst sind wir dazu eine neue Partnerschaft mit dem norwegischen Unternehmen Hydro eingegangen, das gemeinsam mit uns daran arbeiten wird, den CO₂-Fußabdruck unserer Fahrzeuge im Hinblick auf den Einsatz von Aluminium weiter zu reduzieren. Und natürlich wird ein Porsche in 20 Jahren auch selbst fahren können, zumindest in den allermeisten Situationen. Gleichzeitig soll das Fahren dann aber auch mindestens genauso viel Spaß machen wie heute, denn wir wollen die Performance von heutigen Supersportwagen in normale Porsche-Fahrzeuge bringen.



„Wir schaffen Rahmenbedingungen, die Kreativität freisetzen und Umsetzungsstärke fördern.“

Markus-Christian Eberl

911 Carrera S Cabriolet

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,0–10,3 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 250–233 g/km

Taycan

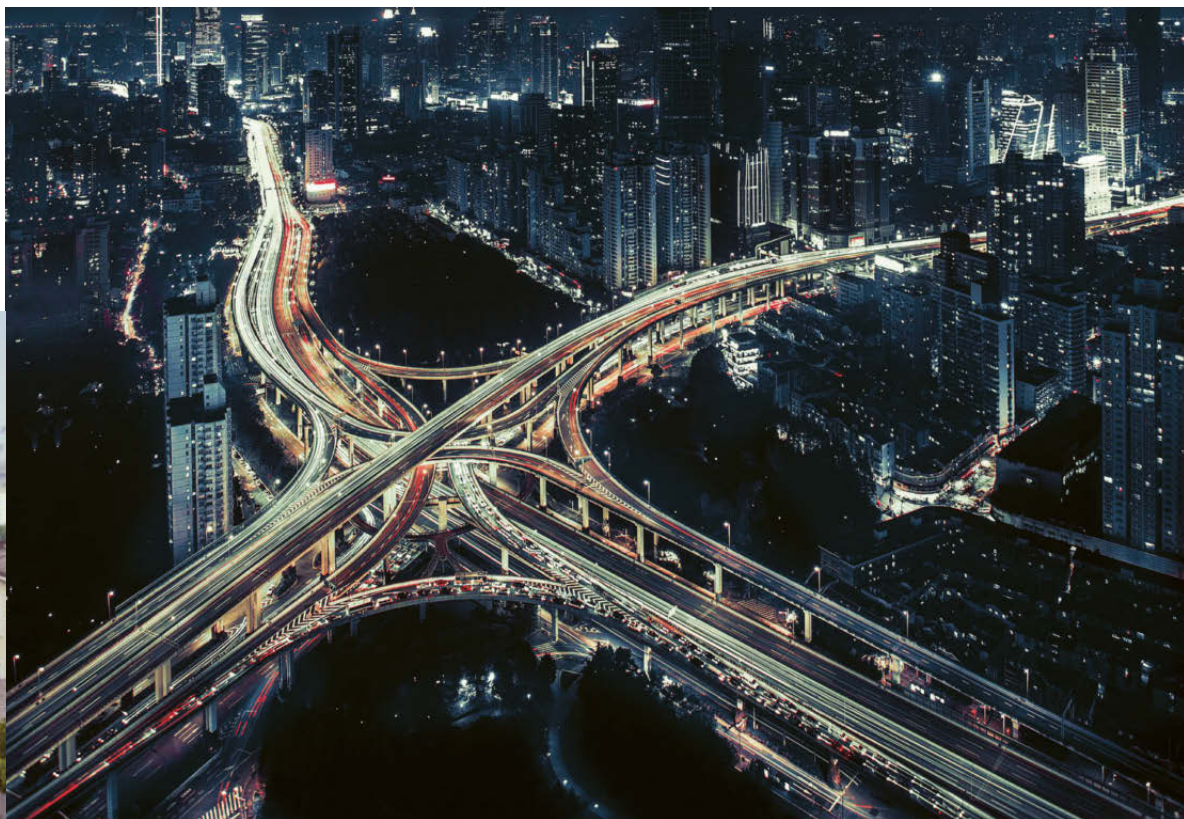
Stromverbrauch kombiniert: 23,9–19,6 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km
Reichweite kombiniert: 371–503 km
Elektrische Reichweite innerorts: 440–566 km

Cayenne E-Hybrid

Kraftstoffverbrauch gewichtet (PHEV-Modellreihe): 1,8–1,5 l/100 km
Stromverbrauch kombiniert (gewichtet) (Modellreihe): 30,8–28,7 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 42–33 g/km
Elektrische Reichweite (EAER) (Modellreihe): 66–74 km
Elektrische Reichweite innerorts (EAER city) (Modellreihe): 77–90 km
Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 05/2023



Weltweit im Einsatz: Für die Absicherung neuer Fahrzeuge sind Teams von Porsche Engineering unter anderem in Norwegen (links oben), den USA (links unten) und China unterwegs.



Härtetest im Realbetrieb

Bei der internationalen Absicherung stellen Entwicklungsingenieure sowie Versuchs- und Qualitätsmitarbeiter sicher, dass das Gesamtfahrzeug innerhalb der marktspezifischen Funktionsabsicherung die Erwartungen im Realbetrieb erfüllt. Sie kombinieren dabei ihr tiefes technisches Verständnis mit detaillierten Kenntnissen der jeweiligen Märkte. So werden hohe Qualität und ein erstklassiges Kundenerlebnis erreicht.

Text: Marc-Stefan Andres, Christian Buck (Interview)
Fotos: Anthony Dias, Luca Santini



China/Shanghai:
Bei Absicherungsfahrten in Shanghai können etwa der „Handshake“ eines Hybrid-Fahrzeugs und das Ladeerlebnis des Kunden getestet werden. So soll sichergestellt werden, dass der Porsche die hohen Qualitätsanforderungen der Marke erfüllt.

Mehrere Stunden schon fährt der Porsche Cayenne durch die Häuserschluchten von Shanghai. Die Fahrt wirkt ziellos, aber der Fahrer folgt einem gut durchdachten Plan. Mehrfach stoppt er, um die Batterie des Plug-in-Hybrids wieder aufzuladen – zum Beispiel auf Supermarkt-Parkplätzen oder in Parkhäusern, in denen es öffentliche Ladestationen gibt. Dort testet er immer wieder andere Zahlungsmethoden wie Kreditkarten oder Apps. Das häufige Nachladen hat einen besonderen Zweck: Das neue Fahrzeug ist im Rahmen der internationalen Absicherung vor dem Start der Serienproduktion unterwegs, am Steuer sitzt ein lokaler Testfahrer. Damit soll gewährleistet werden, dass der Porsche später die hohen Anforderungen der Kunden erfüllt und das Qualitätsversprechen der Marke einlöst. Der „Handshake“ mit der Ladesäule

wird hier ebenso getestet wie das Ladeerlebnis für den Kunden.

„Wenn wir mit der internationalen Absicherung beginnen, ist die Entwicklung des Modells schon so weit vorangeschritten, dass wir grundlegende Erprobungs-, Reifegrad- oder Freigabefahrten hinter uns haben“, erklärt Alexander Kopp, der gemeinsam mit Fabian Wörner bei Porsche Engineering im Team „Gesamtfahrzeug-Validierung & Analyse“ für die Koordination der Gesamtfahrzeugabsicherung verantwortlich ist. „Der Qualitätsabsicherung kommt somit eine besondere Bedeutung zu: Es gilt, die Modelle so im Realbetrieb zu fahren, wie es auch die Kunden tun – unter gegebenenfalls veränderten Rahmenbedingungen, da die Welt ja nicht stillsteht. Es verändert sich immer wieder etwas – zum Beispiel kommen oft gesetzliche

Neuerungen hinzu.“ Eine differenzierte, detaillierte Absicherung in unterschiedlichsten Märkten ist daher von hoher Bedeutung für das Kundenerlebnis. Nur so kann ein Porsche wirklich serienreif werden, denn die funktionale, optische und emotionale Produktqualität zeigt sich im Detail.

ABSICHERUNG IN ZWEI SCHICHTEN

Dabei ist es wichtig, dass diese Absicherungsfahrten an vielen unterschiedlichen Standorten stattfinden, um ein möglichst vollständiges Bild zu erhalten. Viele Fahrzeugfunktionen und -dienste können aufgrund der marktspezifischen Gegebenheiten – etwa lokale Verkehrsverhältnisse oder spezifische Infrastruktur für Online-Dienste – nur vor Ort validiert werden. Für Porsche Engineering sind dafür rund um die Welt Entwicklungsingenieure sowie Versuchs- und Qualitätsmitarbeiter tätig. Lokale Absicherungsfahrer führen gemeinsam mit ihnen in zwei Schichten am Tag Absicherungsfahrten durch und legen dabei standardmäßig jeweils ein Drittel der Fahrzeit in der Stadt sowie auf Landstraßen und Autobahnen zurück, um ein möglichst realistisches Bild zu bekommen. „Es ist genau diese Kombination aus hoher Beurteilungskompetenz und lokalem Verständnis, was Porsche Engineering auszeichnet“, sagt Dr. Nazif Mehmet Yazici, verantwortlich für Qualität und Absicherung Gesamtfahrzeug im Bereich Unternehmens-Qualität bei der Porsche AG (siehe auch das Interview auf Seite 38). „Darum arbeiten wir seit Jahren eng und erfolgreich zusammen.“



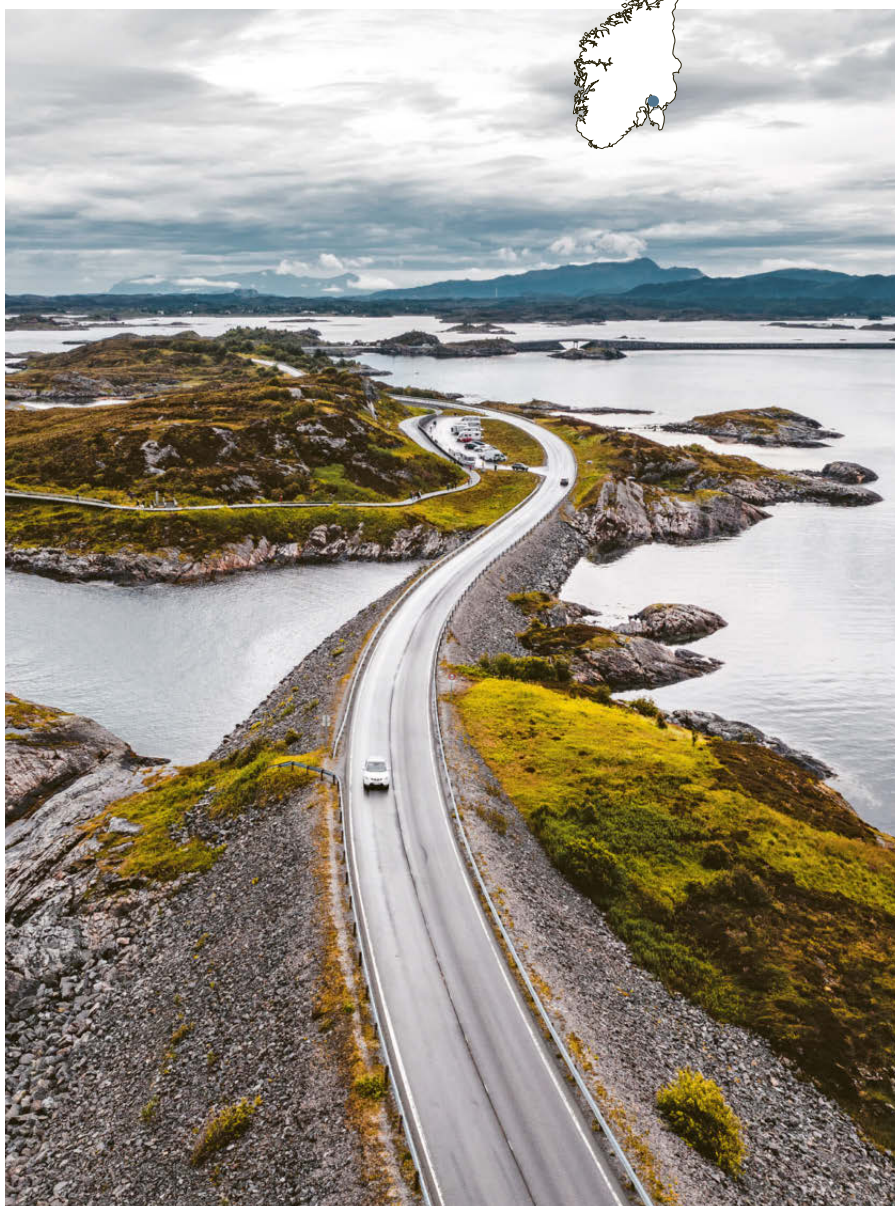
„Es gilt, die Modelle so im Realbetrieb zu fahren, wie es auch die Kunden tun – unter gegebenenfalls veränderten Rahmenbedingungen, da die Welt ja nicht stillsteht.“

Alexander Kopp

Verantwortlich für die Koordination der Gesamtfahrzeugabsicherung bei Porsche Engineering

Mit Einführung der umfassenden Connect-Services hat die Bedeutung der marktspezifischen Funktionsabsicherung immens zugenommen. Die Fahrzeugfunktionen und -dienste unter den länder- und marktspezifischen Gegebenheiten im Realbetrieb zu erleben, mit Fokus auf lokaler Funktionalität und Interoperabilität, liefert frühzeitig Erkenntnisse, um die Produktqualität und Kundenzufriedenheit verbessern zu können. Für bestimmte Zwecke wie das Absichern der Ladefunktionen von Elektrofahrzeugen werden darum auch Intensivabsicherungen, sogenannte Sonderprogramme, gefahren. Dieser Trend dürfte sich auch in Zukunft fortsetzen: „Wegen der technologischen Fortschritte sind wir geradezu mit einer Explosion an möglichen Fahrzeugfunktionen konfrontiert“, sagt Christian Friedl, Leiter Unternehmens-Qualität weltweit bei der Porsche AG. „Darum müssen wir uns frühzeitig überlegen,

Oslo/Norwegen:
Norwegen ist ein Pionier bei der Elektrifizierung. Darum ist die Interoperabilität der Fahrzeuge mit der Ladeinfrastruktur in diesem Markt besonders wichtig.





USA/Los Angeles:

Auch Besonderheiten in den USA, wie etwa uneinheitliche Fahrbahnmarkierungen, muss die Funktionsentwicklung berücksichtigen. Christian Friedl, Dr. Peter Schäfer, Dirk Lappe und Dr. Nazif Mehmet Yazici (von links nach rechts) haben sich vor Ort selbst ein Bild gemacht.

welche Features für unsere Kunden relevant sind. Auch das variiert stark von Markt zu Markt, weswegen wir in Zukunft umso mehr zwingend vor Ort sein müssen.“

Bei den Absicherungsfahrten sind die Bedingungen höchst unterschiedlich. Während sie in Shanghai vor allem im städtisch geprägten Raum stattfinden, kann es in Norwegen auch einmal passieren, dass der Fahrer stundenlang keinen anderen Menschen sieht. „Das Land ist in vielen Belangen Pionier bei der Elektrifizierung“, sagt Fabian Wörner. „Darum ist für Porsche die Interoperabilität der Fahrzeuge mit der Ladeinfrastruktur in diesem Markt besonders wichtig.“

ABSICHERUNG IN OSLO

Porsche Engineering hat dort zum Beispiel den Taycan vor der Markteinführung abgesichert. Während das Modell bei Kaltlanderproben kontinuierlichen Minustemperaturen ausgesetzt wurde, geht die internationale Absicherung anders vor. „Im urbanen Absicherungs-Cluster ist das Fahrzeug in Oslo unterwegs, wo es tags und nachts wechselnden Temperatureinflüssen ausgesetzt ist. Der Fahrer muss es am nächsten Morgen wieder ohne Funktionseinschränkungen öffnen und starten können. Ein weiterer Fokus liegt auf den Komfortfunktionen sowie der Vorkonditionierung, zum Beispiel auf dem Abfahrts-Timer via App oder auf der Standheizung“, berichtet Wörner von einem Anwendungsfall. Ein anderes Beispiel: Während in Deutschland im Winter bei Schnee und Eis mit Salz

Taycan GTS

Stromverbrauch kombiniert:
23,3–20,4 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km
Reichweite kombiniert:
439–502 km
Elektrische Reichweite innerorts:
539–621 km

911 Dakar

Kraftstoffverbrauch kombiniert:
11,3 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
256 g/km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP;
Stand 05/2023



„Die funktionale und emotionale Absicherung durch die lokalen Teams trägt maßgeblich dazu bei, die Qualität der Marke Porsche sicherzustellen.“

Fabian Wörner

Verantwortlich für die Koordination der Gesamtfahrzeugabsicherung bei Porsche Engineering

gestreut wird, bringen die Norweger Split aus. „Für unsere Fahrzeuge bedeutet das, dass die Karosserie und Anbauteile durch Split-Eintrag stärker beansprucht werden“, sagt Wörner. Solche marktspezifischen Rückmeldungen können zu Korrekturen und Verbesserungen führen – oder Anforderungen an künftige Optimierungsmaßnahmen beschreiben.

SENSOREN FÜR MARKTSTRÖMUNGEN

Ein anderes Beispiel kennt Alexander Kopp aus den USA. Für Fahrerassistenzsysteme greift das Fahrzeug auf zahlreiche Sensorinformationen und fest hinterlegte, prädiktive Kartendaten zu. Die Interpretation der Fahrbahnmarkierungen wird erschwert, weil sie in amerikanischen Bundesstaaten nicht einheitlich sind – manchmal weiß wie in Deutschland, dann wieder gelb, was hierzulande nur für Baustellen genutzt wird. „Solche marktspezifischen Besonderheiten muss die Funktionsentwicklung in Weissach berücksichtigen und sicher umsetzen“, sagt Kopp. Die lokalen Teams erkennen derartige Fälle schnell und

Italien/Nardò:

Auf einigen der über 20 Teststrecken in Nardò können die Versuchsfahrzeuge unter teilweise extremen Bedingungen überprüft werden.



geben ihre Beobachtungen an die Entwickler weiter. Gleichzeitig haben sie eine weitere wichtige Funktion. „Unsere Teams fungieren als Sensoren für Marktströmungen und -trends, die bei der Entwicklung und bei der Vermarktung miteinbezogen werden können“, sagt Kopp. Er verweist auch darauf, wie unterschiedlich die Fahrer in den Märkten sind: „So erfahren wir, welche Anforderungen die Nutzer in den jeweiligen Märkten an Systeme und Funktionen haben – im Gegensatz zur Sicht aus der deutschen Ingenieursbrille.“

Die Fahrten zur internationalen Absicherung finden nicht nur auf öffentlichen Straßen statt, sondern auch im Nardò Technical Center in Italien. Auf dem Prüfgelände in Apulien werden die Fahrzeuge auf einigen der über 20 Teststrecken eingesetzt, um sie unter teilweise extremen Bedingungen zu überprüfen. „Für Porsche ist das wichtig, weil viele unserer Käufer ihre Fahrzeuge bei Trackdays auf der Rennstrecke als Sportwagen erleben möchten“, sagt Wörner. „Dann muss natürlich alles funktionieren – ebenso wie im Motorsport, wo Porsche auf den Rennstrecken der Welt unzählige Siege eingefahren hat.“

FEEDBACK NOCH WÄHREND DER FAHRT

Aber egal wo auf der Welt die Absicherung stattfindet – die dabei gesammelten Erkenntnisse gelangen immer in kurzer Zeit zu den Entwicklern, die sie aufgreifen, um die Qualität der neuen Modelle noch einmal zu verbessern. Die Fahrzeuge sind dafür mit Messtechnik von Porsche versehen, die zahlreiche Daten kontinuierlich aufzeichnet und an eine Datenbank überträgt. Für eine effiziente Datennutzung ist die von Porsche Engineering entwickelte ComBox im Einsatz. Sie vernetzt die internationalen Absicherungsfahrzeuge per Mobilfunk oder WLAN noch während der Fahrt mit einer Datenbank, in die alle Ergebnisse einfließen – auch die Beobachtungen der Menschen am Steuer: Die Fahrer können Auffälligkeiten dokumentieren, indem sie eine Taste im Fahrzeug betätigen, die eine Messung in Verbindung mit einer Sprachaufzeichnung startet. Diese Informationen können durch die lokalen Experten mit den Messdaten sowie den Kamerabildern abgeglichen werden.

Bei der anschließenden Auswertung können die Porsche-Analytiker allen Auffälligkeiten auf den Grund gehen. So lässt sich objektivieren, was die Fahrer subjektiv wahrgenommen und beschrieben haben. Die gesammelten Ereignisse sind durch die Voranalyse und Objektivierung exakt nachvollziehbar, weshalb sich eventuelle Fehlfunktionen sehr gut reproduzieren lassen. „Die lokalen Expertenteams können die Situation dann noch einmal nachstellen und prüfen, ob das Ereignis erneut auftritt“, sagt Wörner. Ihre Mission ist klar: „Die funktionale und emotionale Absicherung durch die lokalen Teams trägt maßgeblich dazu bei, die Qualität der Marke Porsche sicherzustellen – immer unter Berücksichtigung der Ansprüche unserer internationalen Kundschaft.“ ●

INTERVIEW: „TECHNISCHE KOMPETENZ MIT KENNTNIS DES MARKTES KOMBINIEREN“

Die reale (Qualitäts-)Absicherung vor Ort bleibt auf absehbare Zeit unverzichtbar – auch wenn virtuelle Methoden immer wichtiger werden. Christian Friedl, Leiter Unternehmens-Qualität weltweit bei der Porsche AG, und Dr. Nazif Mehmet Yazici, verantwortlich für Qualität und Absicherung Gesamtfahrzeug in Friedls Team, sprechen im Interview über unterschiedliche Kundenerwartungen und künftige Herausforderungen.

Warum ist die internationale Absicherung so wichtig?

- **FRIEDL:** Wir haben eine sehr internationale Kundschaft mit sehr spezifischen Anforderungen – und einem hohen Qualitätsanspruch: dem Porsche-Qualitätsanspruch. Unsere Kundschaft stammt etwa zu jeweils einem Drittel aus den Weltregionen Europa, Nordamerika und Asien mit Schwerpunkt China. Darum testen wir die Produktqualität unter den realen Bedingungen vor Ort. Nur so können wir sicherstellen, dass unsere Fahrzeuge die Erwartungen der Kunden erfüllen. Außerdem müssen sie lokale Gesetze und Besonderheiten berücksichtigen. So sehen zum Beispiel die Verkehrszeichen in China anders aus als in Europa oder den USA. Trotzdem müssen unsere Fahrzeuge sie sicher erkennen – zu jeder Tages- und Nachtzeit, bei Sonnenschein, Nebel oder Monsunregen.
- **YAZICI:** Hinzu kommt noch das variierende Nutzungsverhalten unserer Kunden in den unterschiedlichen Märkten. Durch unsere lokalen Fahrer erfahren wir, welche Muster und Bedarfe es dort gibt. In China sind die Erwartungen an Displays, Lüfter oder Beduftungssysteme beispielsweise ganz andere als bei uns.



„Man kann nicht mit der schwäbischen Brille Funktionen für China absichern. Stattdessen benötigen wir lokale Experten, die unsere Kunden verstehen und repräsentieren.“

Christian Friedl

Leiter Unternehmens-Qualität weltweit bei der Porsche AG

Worauf kommt es bei der Absicherung vor allem an?

- **FRIEDL:** Flapsig gesagt: Man kann nicht mit der schwäbischen Brille Funktionen für China absichern. Stattdessen benötigen wir lokale Experten, die unsere Kunden verstehen und repräsentieren. Nur so können wir ein für den jeweiligen Markt maßgeschneidertes Produkt anbieten. Methodisch unterscheiden wir zwischen Absicherungsbreite und Absicherungstiefe. Im Rahmen der Absicherungsbreite ist für uns neben der optischen und der funktionalen auch die emotionale Absicherung von besonderem Interesse – denn unsere Produkte werden ganz wesentlich über Emotionen erlebt. Mit Blick auf neue Features wie assistiertes oder pilotiertes Fahren wird das Zusammenspiel der Experten vor Ort mit dem schwäbischen Ingenieur dann wieder wichtig. Gemeinsam bilden sie ein Team, das tiefe technische Kompetenz mit der Kenntnis des lokalen Marktes kombiniert.
- **YAZICI:** Das ist auch einer der Gründe, warum wir bei der internationalen Absicherung mit Porsche Engineering zusammenarbeiten. Die Experten kennen den lokalen Markt und haben gleichzeitig die Technologiekompetenz, um Funktionen technisch zu beurteilen. Das ist die Basis für fundierte Rückmeldungen, die dann zu Korrekturen und Verbesserungen führen – oder Anforderungen an künftige Funktionen beschreiben.

Sie haben bereits angesprochen, dass die Fahrzeugfunktionen immer komplexer werden. Was kommt dadurch in Zukunft auf die internationale Absicherung zu?

- **YAZICI:** Konnektivität, Digitalisierung sowie Funktionen mit einem hohen Automatisierungsgrad rücken immer mehr in den Vordergrund – und zwar sehr unterschiedlich in den Weltregionen. Darum müssen wir uns fragen: Was bedeutet das für hochautomatisierte Fahrsysteme? Wie könnte automatisiertes Valet Parking aussehen? Außerdem beobachten wir einen weiteren Trend: Es geht bei der Absicherung immer weniger um gefahrene Kilometer, sondern zunehmend um Funktionalität, Betriebsstunden oder die Erreichbarkeit von Fahrzeugen im lokalen Ökosystem. Anders gesagt: Das Gesamtpaket steht immer mehr im Mittelpunkt.
- **FRIEDL:** Ich möchte noch einen Aspekt ergänzen. Die Absicherung steht heute am Ende des Entwicklungsprozesses. Künftig wollen wir neue Kundenanforderungen zu Beginn der Entwicklung noch exakter beschreiben und uns noch früher überlegen, wie wir sie später validieren können. Am Ende könnte ein Regelkreis stehen, der Kundenanforderungen und Validierung permanent verbindet. Das macht es viel einfacher, Verbesserungen während der laufenden Entwicklung noch zu berücksichtigen.
- **YAZICI:** Es wird aktuell immer wichtiger, die Fahrzeugdaten intelligent zu nutzen, um das Nutzungs-

verhalten oder Fehler zu erkennen. Diese Daten bergen für die Zusammenarbeit von Absicherung und Entwicklung in frühen Phasen große Potenziale. Das ist eine Herausforderung für uns als Gruppe, inklusive unserem Partner Porsche Engineering. Diesen Schatz an Daten müssen wir optimal nutzen.

Blicken wir zum Schluss in die Zukunft. Welche Trends werden wichtig – etwa die virtuelle Absicherung?

- **FRIEDL:** Wir werden stark in die virtuelle Absicherung investieren, etwa um die Basisfunktionalität sicherzustellen. Aber deren Adaption an die marktspezifischen Kundenerwartungen wird aus meiner Sicht auf absehbare Zeit real erfolgen müssen. Zudem wird es auch ständig neue Funktionen im Auto geben, die wir noch gar nicht virtuell absichern können. Das Niveau der virtuellen Absicherung wird weiter steigen, ohne jedoch die reale Absicherung vollständig zu ersetzen. Wir müssen also das eine tun, ohne das andere zu lassen.
- **YAZICI:** Es gibt mittlerweile tatsächlich sehr beeindruckende Simulationsmethoden – zum Beispiel das EMV-Labor von Porsche Engineering in Bietigheim, in dem mein Handy dachte, es sei in New York und müsse sich in das US-amerikanische Netz einloggen. Wir können Simulationen also nutzen, um bestimmte Wechselwirkungen vorab zu testen. Trotzdem wird die Kombination aus virtueller und realer Absicherung auch in den kommenden zwei Jahrzehnten noch unverzichtbar bleiben.
- **FRIEDL:** Mit einem Augenzwinkern gesagt: Bei der Absicherung kommt es ganz wesentlich auf die „emotionale Qualitätsabsicherung“ an. Und ich hoffe sehr, dass wir auch in 20 Jahren noch nicht in der Lage sind, emotionale Qualität virtuell abzubilden. ●



„Es geht bei der Absicherung zunehmend um Funktionalität, Betriebsstunden oder die Erreichbarkeit von Fahrzeugen im lokalen Ökosystem.“

Dr. Nazif Mehmet Yazici

Leiter Gesamtfahrzeug und Analyse im Team von Christian Friedl

ZUSAMMENGEFASST

Die Anforderungen unterschiedlicher Märkte an die Qualität und Bedienung neuer Fahrzeuge lassen sich nur vor Ort überprüfen. Porsche Engineering ist darum weltweit mit gemischten Teams aus lokalen Fahrern und Ingenieuren im Einsatz. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse gelangen unverzüglich zurück zu den Entwicklern. Ziel ist es dabei immer, den hohen Qualitätsanspruch der Marke Porsche sicherzustellen.

Werden Autos bald im Metaverse entwickelt?

Geht es nach einigen Visionären aus dem Silicon Valley, verbringen wir bald einen großen Teil unseres Lebens im Metaverse. Mit einer 3D-Brille ausgestattet, sollen wir in Zukunft in virtuellen Welten leben, uns dort als Avatare bewegen und mit den Avataren anderer Menschen kommunizieren. Markenherstellern eröffnet das Metaverse völlig neue Möglichkeiten: Was spräche beispielsweise dagegen, digitale Zwillinge exklusiver Produkte in Zukunft in virtuellen Shops zu verkaufen? So könnten sich die Avatare der Metaverse-Nutzer mit mondänen Handtaschen, noblen Uhren oder den neuesten Sneakern schmücken, um ihre Avatar-Freunde zu beeindrucken.

Aber auch die Automobilentwicklung könnte sich künftig zunehmend in die virtuelle Welt verlagern. Der US-Chiphersteller Nvidia treibt beispielsweise unter dem Namen „Omniverse“ sein eigenes Metaverse voran. Es soll unter anderem digitale Zwillinge von Fabriken, das Training von Robotern in simulierten Umgebungen und standortübergreifende Live-Kollaborationen von Entwicklern ermöglichen. So wäre es in Zukunft möglich, Fahrzeugentwicklungen ganz oder teilweise im Metaverse durchzuführen. Interieur-Designer könnten zum Beispiel in einem virtuellen Fahrzeug verschiedene Varianten des Innenraums gestalten und testen. Und potenzielle Kunden könnten lange vor Produktionsstart sagen, was sie von diesen Ideen halten. Dabei muss die Entwicklung aber nicht stehenbleiben. Man könnte die Fahrzeugentwicklung beispielsweise ganz an ein Team aus digitalen Bots übertragen, die in virtuellen Entwicklungsabteilungen an den Innovationen für die Fahrzeuge von übermorgen arbeiten.

Sicher ist: Für die Arbeit im Metaverse werden immer detaillierte digitale Zwillinge benötigt, mit denen sich während der Entwicklung unter anderem simulierte Testfahrten durchführen lassen. Außerdem verfügt Porsche Engineering zur Simulation realer Umgebungen für den Test hochautomatisierter Fahrfunktionen über Technologien und Modelle, durch die man das Metaverse mit realitätsnahen Szenarien anreichern kann. Diese Modelle ließen sich auch nutzen, um im Metaverse virtuelle Fahrten zu unternehmen – zum Beispiel in einem Metaverse-Sportwagen, den die Avatare von Kunden im Metaverse-Autohaus kaufen könnten. Dank Blockchain-Technologie wären die Fahrzeuge als Non-Fungible-Tokens (NFT) genauso exklusiv wie ihre realen Pendants. Möglicherweise treffen sich Porsche-Enthusiasten in einigen Jahren virtuell zu „Cars & Coffee“, um gemeinsam ihre digitalen Sportwagen zu bewundern und über das Leben zu philosophieren.

Ob es so weit kommen wird? Das wird davon abhängen, wie die Konsumentinnen und Konsumenten die Umgebung akzeptieren. Bei aller Realitäts-treue sind virtuelle Umgebungen stets Modelle und beantworten Fragen, die im Vorfeld gestellt wurden. Dynamische, physische, reale Erlebnisse fühlen sich anders an. Und gleichzeitig könnte der Spaß in einer virtuellen Umgebung mit Sicherheit echt sein.

Text: Christian Buck
Illustration: Julien Pacaud

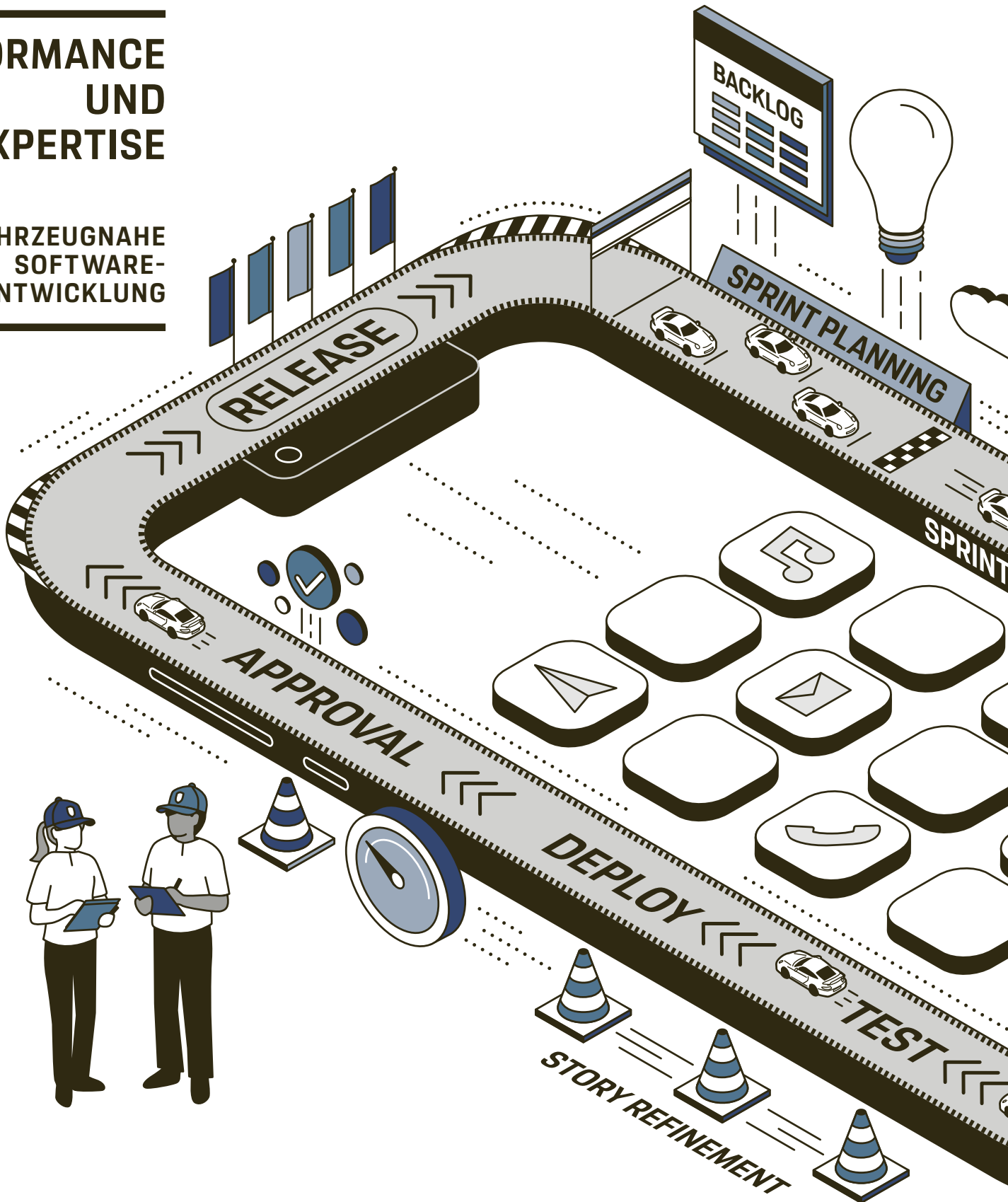


Neu gedacht: Im Metaverse könnte man nicht nur neue Autos entwickeln, sondern auch virtuelle Fahrzeuge und andere Güter als digitale Statussymbole verkaufen.



PERFORMANCE UND EXPERTISE

FAHRZEUGNAHE
SOFTWARE-
ENTWICKLUNG

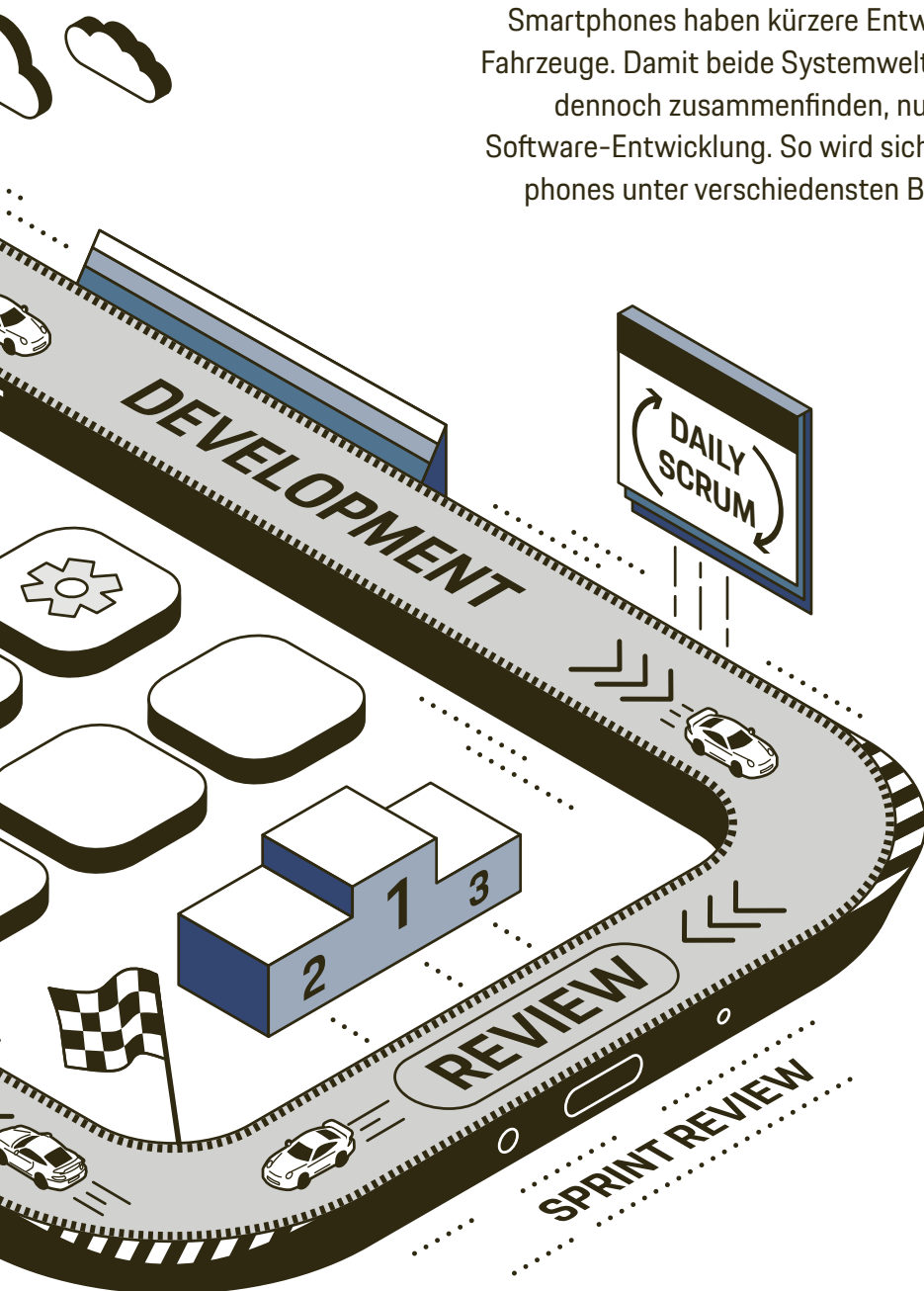


Schnell und flexibel: Agile Software-Entwicklung findet in zweiwöchigen Zyklen statt, „Sprints“ genannt.

IM SPRINT ZUR APP

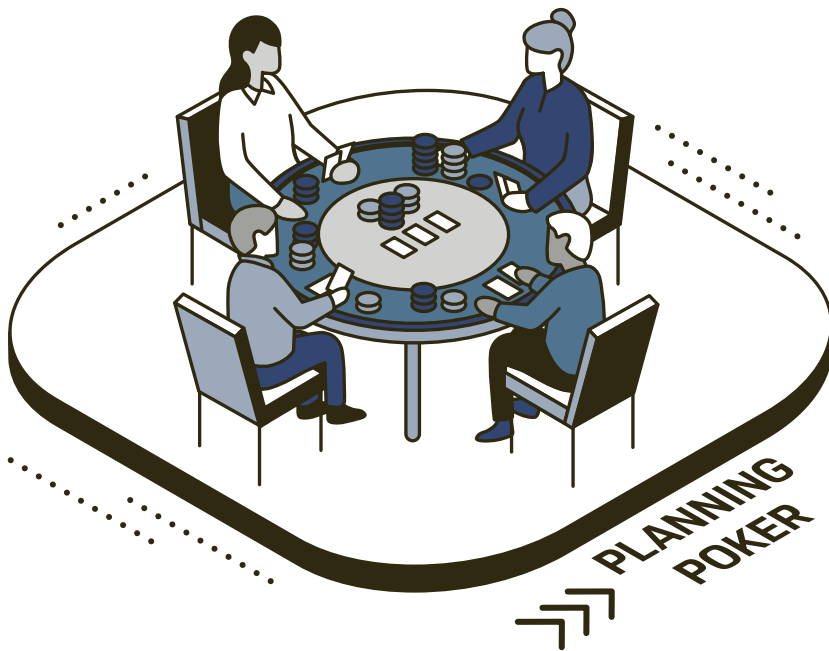
Smartphones haben kürzere Entwicklungs- und Update-Zyklen ihrer Software als Fahrzeuge. Damit beide Systemwelten für neue fahrzeugbezogene App-Funktionen dennoch zusammenfinden, nutzt Porsche Engineering die Methode der agilen Software-Entwicklung. So wird sichergestellt, dass die unterschiedlichsten Smartphones unter verschiedensten Bedingungen mit dem Fahrzeug kompatibel sind.

Text: Richard Backhaus
Illustrationen: Pia Bublies



Die Vernetzung von Smartphone und Fahrzeugelektronik ermöglicht neue Funktionen, die den Fahrgegnuss weiter steigern. Ein Beispiel sind Features, die mit der Smartphone-Kamera aus der Windschutzscheibe heraus Videos aufnehmen und mit Live-Fahrzeuginformationen verknüpfen. „Eine der großen Herausforderungen bei der Umsetzung von App-Funktionen, die auf dem Zusammenspiel der beiden Systemwelten Smartphone und Fahrzeug basieren, sind die vielen Stränge, die bei der Entwicklung zusammenlaufen“, erklärt Thomas Pretsch, Leiter Infotainment, Connect & E/E bei Porsche Engineering.

Um den angestrebten Funktionsumfang zu erreichen, greifen die Apps oftmals über die fahrzeugseitige WLAN-Verbindung des Fahrzeug-Infotainmentsystems auf Steuergeräteinformationen wie Fahrzeugposition, Geschwindigkeit, Drehzahl, Bremskraft, Lenkwinkel sowie Längs- und Querbeschleunigung zu und lesen diese aus. Die dafür erforderliche Software-Verknüpfung zwischen App und Fahrzeugelektronik wird durch die unterschiedlichen Produktlebenszyklen beider Systemwelten erschwert: Das Entwicklerteam muss die



Mit verdeckten Karten: Ziel des „Planning Poker“ ist es, den Aufwand eines Tickets unabhängig zu schätzen.

schnelllebige Smartphone-Technik in Fahrzeuge mit viel längeren Entwicklungsintervallen integrieren. Zugleich muss es sicherstellen, dass die App unter allen Bedingungen auf den unterschiedlichen Smartphones zuverlässig läuft und auch mit älteren Fahrzeugsystemen kompatibel ist.

IMMER AUF DEM AKTUELLEN STAND

Für die Entwicklung von Apps für Fahrzeuganwendungen nutzt Porsche Engineering Methoden der agilen Software-Entwicklung, mit denen eine App kontinuierlich auf dem aktuellen Stand gehalten wird. Zur Bearbeitung der Software werden dabei einzelne Arbeitspakete definiert, die sich innerhalb eines kurzen Zeitraums von zwei Wochen umsetzen lassen. Die Entwickler sind dadurch nicht mehr an die Zyklen der Fahrzeugmodellpflege gebunden, sondern haben die Möglichkeit, jederzeit eine neue Software-Version zu erstellen, die über den App-Store an die Kunden ausgeliefert wird.

Mithilfe der agilen Software-Entwicklung kann Porsche Engineering die komplette Umsetzung einer App für Apple- und Android-Smartphones von der Programmierung über das Testen bis zur Erzeugung der Release-Version für Endkunden sicherstellen. „Der Entwicklungsvorteil von Porsche Engineering ist dabei die Kombination aus großem Software-Know-how und umfassenden Kenntnissen im Bereich der

Fahrzeugtechnik. Hinzu kommt die Kompetenz bei der Fahrdynamikentwicklung, mit der wir genau vorher-sagen können, welche Fahrzeugparameter wir für die Umsetzung einer bestimmten Funktion benötigen“, so Pretsch. Ebenso agil wie die Software-Entwicklung gestaltet sich auch die Anpassung der Entwicklungs-methodik an neue Anforderungen oder Bedingungen. Ein Aspekt, der im Fahrzeug eine viel größere Rolle als in anderen App-Anwendungsbereichen spielt, ist das Testen der Software. Bei Porsche Engineering erfolgen diese Prüfungen entwicklungsbegleitend, sodass der Software-Code bei auftauchenden Fehlern schnell angepasst werden kann: Bei der Definition der Sprints legt das Entwicklerteam Meilensteine für die Program-mierung fest. Sind diese erreicht, prüft ein speziell geschulter Testingenieur die Software-Reife.

Damit die hohen Anforderungen an die Funktions-sicherheit künftig noch effizienter umgesetzt werden können, erweitert Porsche Engineering das Testpro-gramm für die Apps sukzessive. „Zusätzliche Tests während der Entwicklung kosten zwar Zeit, allerdings ist der notwendige Änderungsaufwand für das De-bugging sehr viel geringer, je früher man einen Fehler identifiziert“, sagt Johannes Hubert, Entwicklungs-ingenieur Infotainment & Connect bei Porsche Enginee-ring. Abhängig vom Update-Umfang sind heute schon Funktionstests per Simulation und im Fahrzeug fester Bestandteil des Entwicklungsprozesses. „Die Simula-tionen erfolgen dabei durch interne Routinen innerhalb der Software“, so Hubert. Fabian Breisig, Fachpro-jektingenieur Infotainment & Connect bei Porsche, ergänzt: „Diese Untersuchungen geben Aufschluss über grundlegende Funktionalitäten der App. Die Tests im Fahrzeug hingegen umfassen die Konnektivität mit dem Infotainmentsystem und die App-Funktionalitäten während der Fahrt.“ Künftig sollen die Fahrttests durch weitreichendere Simulationen und Versuche am



„Zusätzliche Tests kosten zwar Zeit, allerdings ist der Änderungsaufwand für das Debugging sehr viel geringer, je früher man einen Fehler identifiziert.“

Johannes Hubert

Entwicklungsingenieur Infotainment & Connect bei Porsche Engineering



„Agile Methoden eignen sich hervorragend für Software-Entwicklungen, die einem kontinuierlichen Veränderungsprozess unterworfen sind.“

Thomas Pretsch

Leiter Infotainment, Connect & E/E bei Porsche Engineering

HiL-Prüfstand (Hardware-in-the-Loop) ergänzt und teilweise ersetzt werden. Bei den Simulationsversuchen wird das Smartphone in eine Rennsimulation eingebunden. „Für die App entsteht so eine Situation, die der im Fahrzeug gleicht. Damit nähern wir uns dem realen Szenario an und können umfangreiche Funktionsuntersuchungen ohne Fahrzeug nachbilden“, so Breisig.

HOHE FLEXIBILITÄT DURCH SIMULATION

Der HiL-Prüfstand ermöglicht die Integration der App in das Fahrzeugsystem, auch wenn kein Testfahrzeug verfügbar ist. Statt des Komplettfahrzeugs wird nur das Infotainment-Modul des Fahrzeugs als Hardware benötigt, die zu- und abfließenden Datenströme der übrigen Steuergeräte bildet das Testsystem als Simulation nach. Das führt zu einer hohen Flexibilität bei der App-Entwicklung – beispielsweise können Funktionen für neue Fahrzeugmodellreihen frühzeitig in die App integriert werden, sodass sie schon bei Markteinführung des Fahrzeugs zur Verfügung stehen und Kunden sie direkt nutzen können.

Methoden der agilen Software-Entwicklung lassen sich nicht nur für die App-Applikation einsetzen. Porsche Engineering nutzt sie beispielsweise auch bei der Entwicklung von Batteriesystemen und Betriebsstrategien für Elektrofahrzeuge, aber auch in anderen Bereichen wächst das Interesse. „Agile Methoden eignen sich hervorragend für Software-Entwicklungen, die einem kontinuierlichen Veränderungsprozess unterworfen sind“, sagt Pretsch. „Aufgrund der immer stärkeren Bedeutung von Vernetzung und Software im Fahrzeug gehe ich davon aus, dass das Einsatzfeld dieses Ansatzes in allen Fahrzeugbereichen zunehmen wird.“

AGILE SOFTWARE-ENTWICKLUNG

Agile Software-Entwicklung ist ein beispielsweise in der Unterhaltungselektronik weitverbreiteter Projektmanagementansatz, der sich durch die abschnittsweise Erstellung von Software in häufigen Iterationszyklen (Sprints) auszeichnet. Ein Vorteil der agilen Arbeitsweise: Man kann schnell auf Änderungen reagieren, da die Entwicklung flexibel an sich fortentwickelnde Anforderungen angepasst werden kann. Da immer nur Software-Abschnitte als Zwischenziel betrachtet werden, muss das Endziel einer Entwicklung nicht klar umrissen oder bekannt sein. Die Festlegung des Arbeitsumfangs (Ticket), der innerhalb des Sprints abzuarbeiten ist, erfolgt im Rahmen einer Abstimmungsrunde aller Teammitglieder. Dazu nutzen sie die Methode des sogenannten Planning Poker (siehe Glossar).

Glossar

Sprint

Die agile Entwicklung findet in kurzen Zyklen (in der Regel zwei Wochen) statt, damit eine schnelle Rückmeldung gewährleistet ist. Ein Iterationszyklus wird auch „Sprint“ genannt.

Daily Standup

Das Daily Standup ist ein kurzes tägliches Meeting, in dem die Entwickler sich gegenseitig über den Status ihres Sprints informieren.

Ticket

Ein Ticket ist eine Aufgabenstellung für die Softwareentwicklung (Bugs, Stories, Tasks), die im Story Refinement in einen oder mehrere Sprints überführt wird.

Backlog

Das Backlog ist die Liste aller Tickets, die umgesetzt werden sollen.

Story Refinement

Die Pflege des Backlogs wird als Story Refinement bezeichnet. In einem kontinuierlichen Prozess werden dabei die Tickets ausgearbeitet und für die Umsetzung in einem Sprint bereit gemacht.

Planning Poker

Das Planning Poker ist eine agile Methode zum Schätzen des Aufwands eines Tickets. Dabei gibt jeder Entwickler mit verdeckten Poker-Karten eine Prognose ab. Sollten sich Diskrepanzen zwischen den Einschätzungen ergeben, ist das ein Indiz für Unklarheiten, zum Beispiel für eine ungenaue Formulierung des Tickets. Ziel des Planning Poker ist, dass alle Entwickler für jedes Ticket die gleiche Prognose zum Aufwand abgeben, also ein gemeinsames Verständnis der Aufgabenstellung haben.

SECHSTER SINN



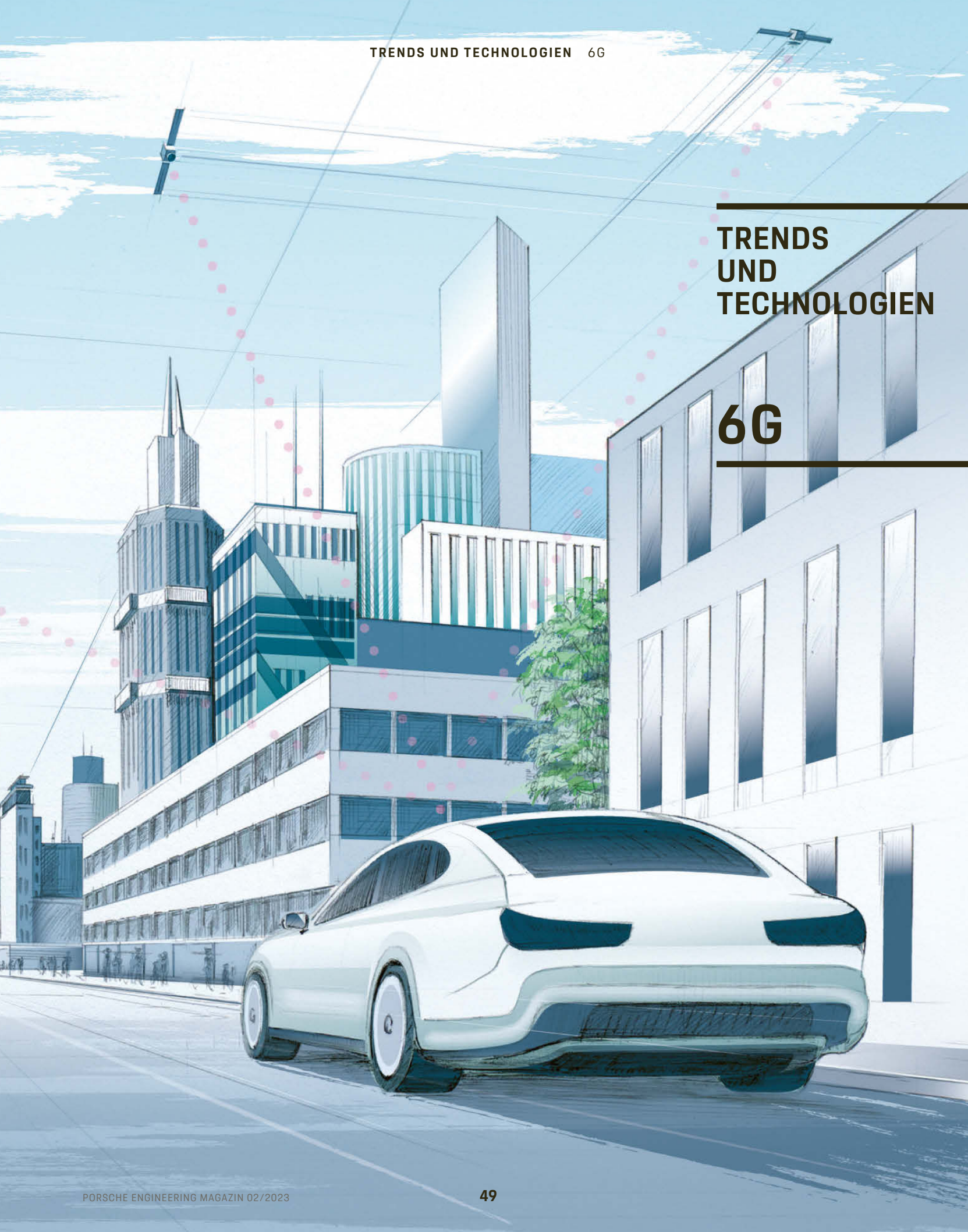
Weltweit arbeiten Forscher und Ingenieure bereits intensiv an der nächsten Mobilfunk-Generation 6G, die ungefähr 2030 zur Verfügung stehen soll. Fahrzeuge könnten besonders von den hohen Datenraten sowie von der Verschmelzung von Kommunikation und Umfelderkennung profitieren.

Text: Christian Buck
Illustrationen: Andrew Timmins

Idealer Partner: Fahrzeuge werden besonders von 6G profitieren, etwa durch schnellen Datenaustausch und die Kombination von Kommunikation und Umfelderkennung.

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

6G



Aktuell rollen Netzbetreiber mit Hochdruck 5G-Netze aus, mit deren Hilfe sich zahlreiche neue Anwendungen realisieren lassen – auch im Automobilbereich, wie die Entwicklung intelligenter und vernetzter Fahrzeuge im Nardò Technical Center von Porsche Engineering zeigt. Forschungseinrichtungen und Unternehmen denken jedoch noch einen Schritt weiter und haben bereits das Wettrennen um die nächste Generation des Mobilfunks eröffnet. Gegen Ende des Jahrzehnts soll der neue 6G-Standard unter anderem für noch höhere Datenraten, geringere Verzögerung und eine verbesserte Zuverlässigkeit sorgen. „In den USA, China und Europa gibt es intensive Aktivitäten in diesem Bereich“, berichtet Andreas Müller, Leiter aller 6G-Projekte bei Bosch. „Man hat in allen Weltregionen erkannt, dass die nächste Mobilfunkgeneration ein Thema von strategischer Bedeutung ist.“

Bis 6G Einzug in den Alltag von privaten und industriellen Nutzern halten kann, haben die Forscher allerdings noch viel Arbeit vor sich, denn für die künftigen 6G-Netze müssen sie die Grenzen des technisch Machbaren ein ganzes Stück verschieben. So haben die Entwickler beispielsweise die dritte Dimension entdeckt, um einen weltweit ununterbrochenen Datenaustausch sicherzustellen. „Bisher hat man sich beim Mobilfunk vor allem auf die Erdoberfläche beschränkt“, sagt Bernhard Niemann, Abteilungsleiter Breitband und Rundfunk am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. „Bei 6G werden Satelliten hingegen erstmals von Anfang an in das Netzwerk integriert sein.“

ÜBERGABE VON SATELLIT ZU SATELLIT

Das könnten einerseits die ortsunveränderlichen Satelliten im geostationären Orbit (GEO) in knapp 36.000 Kilometern Höhe sein, andererseits aber auch ihre tiefer kreisenden Pendanten, beispielsweise im Low Earth Orbit (LEO), der sich 200 bis 2.000 Kilometer oberhalb der Erdoberfläche befindet. Selbst Ballons ließen sich nutzen, um als „High Altitude Platforms“ in 15 bis 20 Kilometern Höhe als 6G-Basisstationen zu dienen. Bei höheren Frequenzen ab 10 Gigahertz müssen sich die Antennen der 6G-Geräte in Richtung der Satelliten oder Ballons ausrichten. Bei den LEO-Satelliten kommt eine weitere Herausforderung hinzu: Weil sie sich schnell am Himmel bewegen, muss die Verbindung regelmäßig von einem Satelliten an den nächsten übergeben werden – ohne dass der Nutzer etwas davon bemerkt.

Die Performance von 6G soll auch mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) gesteigert werden. KI-Algorithmen könnten zum Beispiel die Mobilfunk-Netzwerke flexibel an die aktuellen Gegebenheiten anpassen und so ihren Betrieb optimieren. „Mit maschinellem Lernen kann man Nutzungsmuster im Tagesverlauf erkennen“, erklärt



„Bei 6G werden Satelliten erstmals von Anfang an in das Netzwerk integriert sein.“

Bernhard Niemann

Abteilungsleiter Breitband und Rundfunk,
Fraunhofer IIS

Fraunhofer-Forscher Niemann. „Diese Informationen ließen sich nutzen, um die 6G-Netze mit minimalem Energieaufwand zu betreiben.“ Bosch-Experte Müller kann sich auch KI-gestützte Basisdienste vorstellen, die das Mobilfunknetz seinen Nutzern zur Verfügung stellt: „Denkbar wäre, dass das 6G-Netz Services wie Objektklassifizierung in Videoaufnahmen anbietet.“

Müller hält es sogar für möglich, dass man die Datenübertragung nicht mehr klassisch standardisiert und genau festlegt, wie ein Signal erzeugt wird, sondern die Auswahl des unter den aktuellen Umständen jeweils besten Verfahrens neuronalen Netzen auf der Sender- und Empfängerseite überlässt. Erste Schritte in Richtung KI-gestützte Hardware sind Rohde & Schwarz und der Chiphersteller NVIDIA bereits gegangen: Sie haben im Februar einen „neuronalen Empfänger“ vorgestellt, in dem ein KI-Modell im Vergleich zu einem leistungsfähigen Standard-Algorithmus eine deutlich bessere Performance aufweist. „Dieses Verfahren kann auch in künftige 6G-Smartphones integriert werden“, erklärt Taro Eichler, Technologie-manager für Wireless Communication und Photonik bei Rohde & Schwarz.

VORSTOSS IN DEN TERAHERTZ-BEREICH

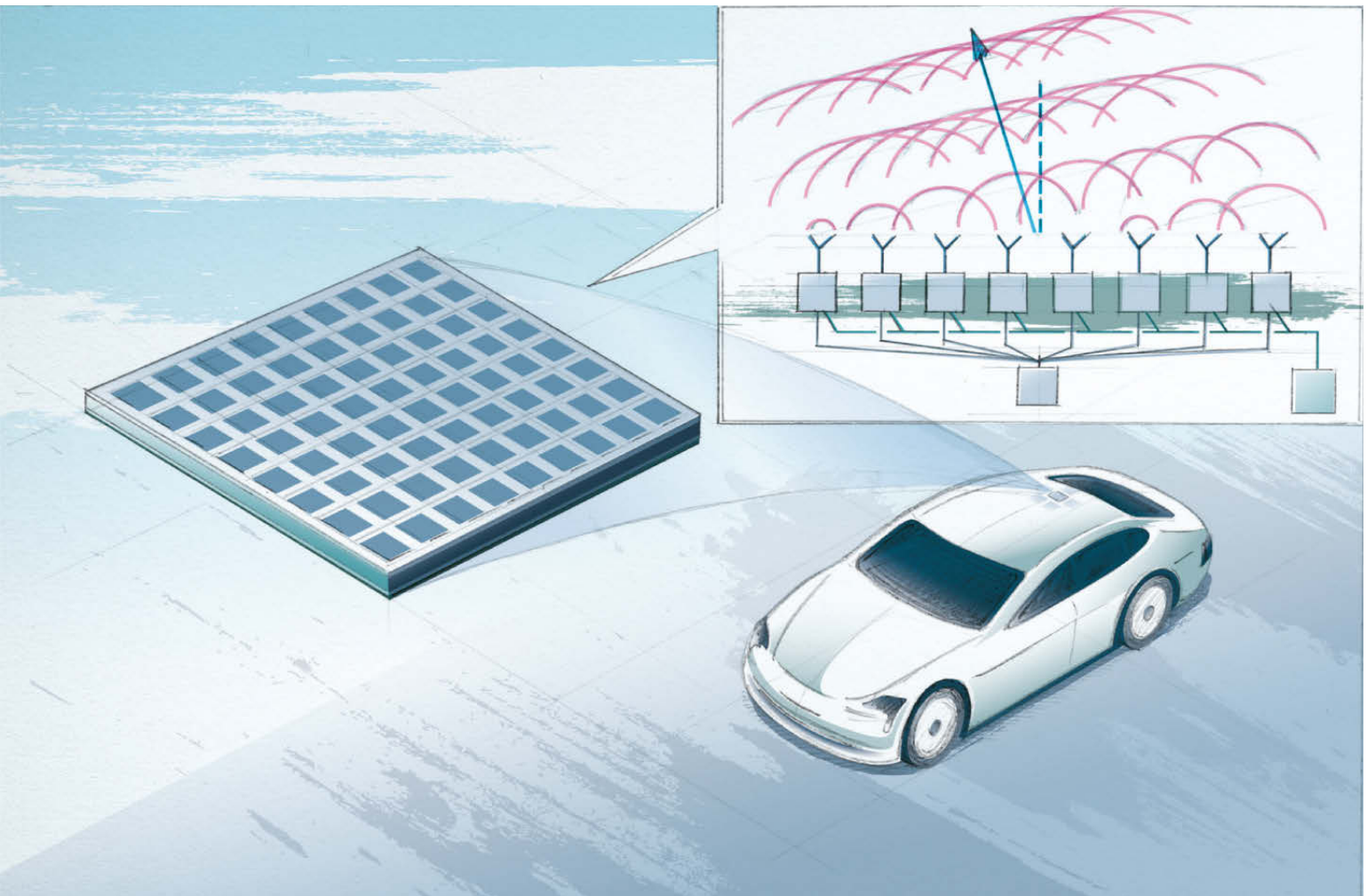
Viele Innovationen sind auch nötig, um die geplanten hohen Datenraten zu erreichen: „Bis zu einem Terabit pro Sekunde sollen künftig möglich sein“, so Niemann. „Dazu muss man höhere Frequenzbereiche erschließen, weil nur dort die erforderlichen Bandbreiten für die schnelle Datenübertragung zur Verfügung stehen.“ Geplant ist darum, Frequenzen im Sub-Terahertz-Bereich zwischen 90 und 300 Gigahertz und eventuell auch im Terahertz-Bereich ab 300 Gigahertz zu nutzen. Zum Vergleich: 4G arbeitet unterhalb von sechs Gigahertz, 5G sieht theoretisch zwar die Datenübertragung bei bis zu 71 Gigahertz vor – sie wird derzeit aber kaum für mobile Breitbanddienste genutzt.

Frequenzen im dreistelligen Gigahertz-Bereich bieten zwar viel Bandbreite, dafür macht die Physik den

↓
300

Gigahertz und mehr: 6G dringt bei den Funkfrequenzen in völlig neue Dimensionen vor. Das stellt hohe Anforderungen an Chips, Verbindungstechnik und Antennen.

Reichweitenoptimierung: Um auch bei hohen Frequenzen weit zu kommen, sollen Antennen-Arrays zur Strahlformung eingesetzt werden. Neu sind intelligente Oberflächen, die die Funkwellen gezielt reflektieren.



„Man hat in allen Weltregionen erkannt, dass die nächste Mobilfunkgeneration ein Thema von strategischer Bedeutung ist.“

Andreas Müller
Leiter 6G-Projekte bei Bosch

6G-Entwicklern dort aber das Leben schwer. Funkwellen verlieren in der Luft schnell ihre Energie und kommen darum nur wenige Meter weit. Um die Reichweite zu steigern, setzen Forscher auf „Massive MIMO“ (Massive Multiple Input Multiple Output): Hunderte winzige Antennen werden zusammengeschaltet und richten softwaregesteuert den Funkstrahl zwischen Sender und Empfänger aus. „Dieses Beamforming mit beispielsweise 512 oder 1.024 Antennen ermöglicht es, die Reichweite der Funkwellen auch bei solch hohen Frequenzen deutlich zu erhöhen“, erklärt Professor Dr. Ivan Ndip, der am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM die Abteilung RF & Smart Sensor Systems leitet. „Beamforming ermöglicht eine hohe Mobilität und Flexibilität in der Kommunikation, erhöht aber auch die Komplexität der Hardware, da zahlreiche Transceiver-Kanäle erforderlich sind. Außerdem steigen Energieverbrauch und Kosten. Für die Punkt-zu-Punkt-Kommunikation bieten Linienantennen eine alternative Lösung. Sie können bei 6G-Frequenzen über 100 Gigahertz Reichweiten von bis zu mehreren Hundert Metern ermöglichen. Daher sollten die Transceiver-Architektur, die Antennenkonfigurationen und die Anzahl der Antennen entsprechend der Anwendung festgelegt werden, um

Datenraten von bis zu

1.000

Gigabit pro Sekunde sollen mit 6G möglich werden. Die Latenzzeit soll bei ungefähr 0,1 Millisekunden liegen.

Dritte Dimension: Statt sich nur auf die Erdoberfläche zu beschränken, setzen Entwickler bei 6G von Anfang an auch auf Satelliten oder Ballons.



7G

könnte quantenbasierte Verfahren und Algorithmen für die Verschlüsselung nutzen – doch bis dahin dürfte es noch viele Jahre dauern.

eine kostengünstige und energieeffiziente 6G-Lösung zu gewährleisten.“

Eine andere Methode zur Reichweitensteigerung soll ebenfalls erstmals bei 6G zum Einsatz kommen: rekonfigurierbare intelligente Oberflächen. „Bisher wurden die Ausbreitungseigenschaften und der Kanal für die Funkwellen als unveränderlich betrachtet, vorgegeben etwa durch die Wände innerhalb von Gebäuden“, erklärt Eichler. „In Zukunft könnte man die Signale aber an Oberflächen reflektieren, um sie gezielt zu lenken und so eine bessere Abdeckung zu erzielen. Das ist ein völlig neuer Ansatz.“ Rekonfigurierbare intelligente Oberflächen sind flache Strukturen mit integrierten elektronischen Schaltkreisen, zum Beispiel speziellen Dioden oder Flüssigkristallstrukturen in Kombination mit winzigen Antennenelementen. Sie können so programmiert werden, dass sie die ankommenden Funkwellen maßgeschneidert umlenken und auf diese Weise genau zum vorgesehenen Empfänger umleiten. Vorteil der neuen Technik: Sie soll deutlich energieeffizienter und günstiger als klassische Funk-Repeater sein, die jeweils einen kompletten Sender und Empfänger enthalten. Allerdings ist in diesem Bereich noch viel Forschungsarbeit nötig.

Vor großen Herausforderungen stehen auch die Designer von Hochfrequenz-Chips und -Systemen.



„Beamforming mit 512 oder 1.024 Antennen ermöglicht es, die Reichweite der Funkwellen auch bei hohen Frequenzen deutlich zu erhöhen.“

Prof. Dr. Ivan Ndip
Leiter der Abteilung RF & Smart Sensor Systems
am Fraunhofer IZM



„In Zukunft könnte man die Signale an Oberflächen reflektieren, um sie gezielt zu lenken und so eine bessere Abdeckung zu erzielen.“

Taro Eichler

Technologiemanager für Wireless Communication und Photonik bei Rohde & Schwarz

Einerseits müssen sie bei Frequenzen im hohen Gigahertz-Bereich spezielle Halbleiter wie Silizium-germanium oder Galliumnitrid einsetzen, andererseits spielt dort auch die Integration aller Komponenten zu einem System eine zentrale Rolle. „Man muss hier alles neu denken“, so Ndip. „Denn es ist sehr schwierig, die Energie des Senders möglichst verlustarm zur Antenne zu bringen und gleichzeitig die Wärme aus den Chips abzuführen.“ Auch hier sind neue Materialien sowie die Aufbau- und Verbindungstechnik der Schlüssel zum Erfolg: Substrate aus Polymeren, Gläsern oder Keramiken könnten die Grundlage für integrierte Packages aus 6G-Chips und -Antennen sein.

Der Einsatz hoher Frequenzen eröffnet neben hohen Datenraten noch eine weitere neue Möglichkeit: die Verschmelzung von Kommunikation und Umfelderkennung. In Zukunft ließen sich die 6G-Funkwellen auch dazu nutzen, um wie bei einem Radar mithilfe von reflektierter Strahlung Objekte, Oberflächen und Bewegungen in der Nähe zu erkennen. „Fahrzeuge könnten über 6G beispielsweise untereinander Daten austauschen und zugleich die dabei entstehenden Reflexionen auffangen, um sich ein Bild von ihrer Umgebung zu machen“, erklärt Bosch-Experte Müller. „Während Kommunikation und Radar heute noch völlig getrennt sind, könnte man in einigen Jahren für beides die gleichen Frequenzen, Chips und Antennen nutzen.“ Im Forschungsprojekt „6G-ICAS4Mobility“ arbeitet Bosch mit Partnern daran, die derzeit getrennten Kommunikations- und Radarsysteme enger miteinander zu verzahnen und in ein einziges 6G-System zu integrieren. Dazu sollen die Echtzeit-Sensordaten verschiedener mobiler Fahrzeuge über 6G-Mobilfunk koordiniert und kombiniert werden, um ein genaueres Bild der Fahrzeugumgebung zu erhalten. Ziel ist es, die Verkehrssicherheit und die Effizienz der Straßennutzung zu erhöhen.

Auch Experte Ndip sieht im Automobilbereich viele 6G-Einsatzmöglichkeiten, zum Beispiel für das auto-

nome Fahren: „Ein autonomes Fahrzeug muss anderen Verkehrsteilnehmern seine Position in Echtzeit mitteilen, Abstände präzise messen und sich gleichzeitig 360 Grad umschauen können.“ Nötig seien auch Downloads großer Datenmengen, etwa von Stadtplänen in hoher Auflösung, von Videobildern anderer Fahrzeuge oder von hochauflösenden Filmen für die Unterhaltung während der Fahrt. Dank der hohen 6G-Datenraten wäre das kein Problem – so ließen sich beispielsweise 4K-Videos oder umfangreiche Karten-Updates über eine Basisstation an einer Kreuzung oder Tankstelle in kurzer Zeit ins Fahrzeug laden. „Datendusche“ nennt Fraunhofer-Forscher Niemann diesen Vorgang.

Neben dem Automobilbereich soll 6G auch neue Anwendungen in der industriellen Fertigung, der Telemedizin oder der Robotik ermöglichen. Entsprechend groß ist die staatliche Unterstützung für die vielfältig einsetzbare Technologie: Allein in Deutschland fördert das Forschungsministerium die Mobilfunk-Zukunftstechnik bis 2025 mit rund 700 Millionen Euro. „5G wurde hierzulande ein wenig verschlafen“, sagt Eichler. „Um technologisch autark zu sein, auch wegen der aktuellen geopolitischen Situation, möchte man bei 6G unabhängiger werden und in Deutschland beziehungsweise Europa langfristig ein eigenes Wireless-Ökosystem aufbauen.“ Dazu dienen unter anderem vier „6G-Hubs“ aus Universitäten und Forschungseinrichtungen, die drei Jahre lang mit jeweils 70 Millionen Euro gefördert werden. Zusätzlich wurden rund 20 Industrieprojekte gestartet, in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus den 6G-Hubs, die das Forschungsministerium ebenfalls unterstützt.

KEIN ENDE DER ENTWICKLUNG IN SICHT

Ende des Jahrzehntes könnten erste Vorläufer von 6G-Netzen in Betrieb gehen, voraussichtlich aber noch mit reduziertem Funktionsumfang. Nach 2030 dürften dann alle neuen Funktionen schrittweise eingeführt werden. Dass die Entwicklung des Mobilfunks mit 6G an ihr Ende gekommen sein könnte, befürchtet Fraunhofer-Experte Niemann aber nicht. „Ich bin mir sicher, dass auch in Zukunft wieder etwas Neues kommen wird“, sagt er. „So wie heute KI erstmals Einzug in den Mobilfunk hält, könnten bei der nächsten Generation quantenbasierte Verfahren und Algorithmen eine wichtige Rolle spielen, zum Beispiel für die Verschlüsselung.“ Auch den Einsatz der Blockchain hält er für möglich, um Transaktionen abzusichern und Vertrauen zu schaffen. So ließen sich mit deren Hilfe beispielsweise Nachrichten zwischen Fahrzeugen fälschungssicher protokollieren. „Jeder Datenaustausch der Vehicle-to-Vehicle-Kommunikation – etwa der Hinweis auf ein Hindernis auf der Fahrbahn – würde in der Blockchain gespeichert“, so Niemann. „Schon diese wenigen Beispiele zeigen: 7G wird neue Trends aufgreifen und heute noch undenkbar innovative Services ermöglichen.“ ●



ZUSAMMENGEFASST

Forscher und Unternehmen arbeiten bereits am nächsten Mobilfunkstandard 6G. Er soll etwa 2030 zur Verfügung stehen und neben Leistungsverbesserungen auch neue Anwendungen ermöglichen. Zum Beispiel lassen sich die gleichen Frequenzen für Kommunikation und Radar nutzen, sodass Datenaustausch und Umfelderkennung gleichzeitig durchgeführt werden können. Grundlage für die neuen 6G-Anwendungen sind hoch entwickelte Halbleiter und intelligente Antennen-Arrays zur Strahlformung.



Informationstechnologien sind die Basis für Innovationen in den verschiedensten Branchen. Zugleich könnte ihr Energieverbrauch in Zukunft aber große Herausforderungen bedeuten. Darum wollen Informatiker mit „Green Coding“ die CO₂-Emissionen der IT deutlich verringern.

Text: Christian Buck

Ob Internet, Rechenzentren oder Künstliche Intelligenz: Wo intensiv gerechnet wird, sind der Energieverbrauch und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen hoch. Laut einem Report der Association for Computing Machinery (ACM) liegen die Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) und der globale Flugverkehr hinsichtlich ihrer Klimaauswirkungen heute ungefähr gleichauf: Je nach betrachteter Studie sei die ICT-Branche für 1,8 bis 2,8 Prozent der jährlichen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Rechne man auch die Auswirkungen der Hardware-Produktion mit ein, liege ihr Anteil sogar bei fast vier

Prozent. Der Flugverkehr kommt nach Schätzungen auf rund 2,5 Prozent.

In Zukunft dürfte der ICT-Energiebedarf noch deutlich zunehmen: Laut ACM könnte er bei gleichbleibender Entwicklung im Jahr 2050 für ein Drittel aller weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich sein. „Rechenintensive Prozesse wie Big Data, das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz sind teilweise sehr energiehungrig“, berichtet Professor Dr. Volker Wohlgemuth von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin. „Sie können zwar einen großen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten, müssen aber selbst möglichst ressourcenschonend

Informationstechnologien\#studien<stromsparen>
Klima>Eine Million Tonnen CO2<\>
gen<\>könnte in Deutschlands<\Code>
wolken>Clouds und Rechenzentren_\\IT\\
ernet\eingespart werden, wenn man<\>
mwelt>den Stromverbrauch von<Online->
andel_Software um 20 Prozent<Green!>
oding!verringern würde.</p>

entwickelt werden.“ Energieeffizientere Hardware und eine klimaneutrale Stromversorgung dürften hier zu Verbesserungen führen. Aber auch die Softwareentwicklung kann einen spürbaren Beitrag leisten – durch „Green Coding“: Dahinter verbirgt sich ein Softwareentwicklungsansatz, mit dem der Ressourcen- und Energieaufwand für den Entwurf, die Erstellung, Verarbeitung und Veröffentlichung eines Softwareprojekts reduziert werden soll. In der Fahrzeugentwicklung ist das schon länger ein Thema: Steuergeräte sind hinsichtlich ihrer Speicherausstattung und Rechenleistung stark eingeschränkt und müssen darum sehr effizient programmiert werden. Aber auch hier lässt sich noch Energie sparen – durch eine intelligente Verteilung der Berechnungen: energiesparend im Fahrzeug und rechenintensiver in der Cloud.

PROBLEME MIT „BLOATWARE“

Studien belegen, wie groß der Einfluss von Software auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen von Informationstechnologien ist. Eine Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes zeigt beispielsweise, wie unterschiedlich zwei Textverarbeitungsprogramme die Ressourcen eines Computers auslasten: In einem Standard-Nutzungsszenario verbrauchte die eine Software 3,6 Wattstunden Energie, ein Konkurrenzprodukt kam hingegen auf nur 0,93 Wattstunden. „Obwohl beide Programme die gleichen Aufgaben erfüllen, benötigt Programm 2 nur rund ein Viertel an elektrischer Energie und ist damit deutlich energieeffizienter“, so die Autoren der Untersuchung. Beim Vergleich dreier Internet-Browser ergab sich ein ähnliches Bild: Unter vergleichbaren

Bedingungen lagen die Energieverbräuche während der Nutzung bei 1,95, 0,91 und 0,66 Wattstunden. Im Leerlauf schwankte ihre Prozessorauslastung sogar zwischen 0,8 und 12 Prozent.

Eine Ursache für die schlechten Werte ist „Bloatware“, also Software, die durch eine Vielzahl an – oft wenig genutzten – Funktionen aufgebläht und darum wenig energieeffizient ist. Aber auch die eingesetzten Programmiersprachen führen zu deutlichen Unterschieden: So schneiden das in den frühen 70er-Jahren entwickelte C und die relativ neue Sprache Rust beim Energieverbrauch am besten ab, während die weitverbreiteten Sprachen Ruby und Python den Stromverbrauch deutlich steigen lassen. Bei einem Vergleichstest benötigten sie für die gleichen Aufgaben das 70- beziehungsweise 76-Fache im Vergleich zu C – nicht zuletzt

deshalb, weil beide jedes Mal während der Programmausführung neu übersetzt (interpretiert) werden, wohingegen dieser Prozess bei C oder Rust nur einmal vor dem Aufruf der Software stattfindet (Kompilierung). „Allerdings bieten einige Programmiersprachen eine deutlich bessere Unterstützung durch spezifische Bibliotheken für eine Fragestellung, die es möglicherweise in anderen nicht gibt“, bemerkt Wohlgemuth. „Man muss sich darum immer den Einzelfall ansehen.“

Um die Auswirkungen der Softwareentwicklung auf die Umwelt zu minimieren, setzt Green Coding an verschiedenen Punkten an. „Dazu gehören Softwarearchitektur, Implementierung, Methodik und Plattformen“, so Wohlgemuth. „Hier gibt es überall verschiedene Möglichkeiten, stromsparende Mechanismen zu programmieren.“ Wer beispielsweise eine mathematische Funktion



**„Green Coding kann in jeder Branche
angewendet oder als
Vergabekriterium eingesetzt werden.“**

Prof. Dr. Volker Wohlgemuth
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

„Unerwünschte Werbung verursacht alleine in der EU jährlich so viele Treibhausgasemissionen wie eine Stadt von der Größe Turins.“

Joseph De Veauagh-Geiss
Projekt- und Community-Manager bei KDE e.V.

(Berechnung der Fakultät einer natürlichen Zahl) nicht selbst in Python schreibt, sondern dafür die vordefinierte Variante aus einer in C geschriebenen Funktionsbibliothek nutzt, spart mehr als 90 Prozent Energie. Eine ähnliche Verringerung wurde auch bei der Berechnung von Zufallszahlen gemessen.

UNNÖTIGEN CODE VERMEIDEN

Allerdings gibt es auch beim Einsatz von quelloffenen Software-Bibliotheken Optimierungspotenzial: Viele enthalten Code, der nie genutzt wird und während der Kompilierung zu einem unnötigen Energieverbrauch führt. Einsparungen lassen sich aber auch erreichen, indem man den Netzwerkverkehr bei verteilten Softwareanwendungen auf ein Minimum reduziert. „Das gelingt zum Beispiel durch weniger hoch aufgelöste Bilder oder

den Einsatz binärer statt textbasierter Dateiformate“, so Wohlgemuth. „Zudem kann es sich lohnen, Berechnungen möglichst lokal statt tief in der Cloud auszuführen – aber hier gibt es noch Forschungsbedarf.“ Software hat aber auch Auswirkungen auf die Nutzungsdauer von IT-Hardware. „Wenn die Ressourcenanforderungen, zum Beispiel durch Bloatware, immer weiter ansteigen, müssen Computer unnötig früh ausgetauscht werden, was zu einem Mehrverbrauch an Energie und Rohstoffen führt“, sagt Wohlgemuth. „Auch daran sollten Programmierer denken, wenn sie Software schreiben.“

Um diese und verschiedene andere Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Code erfassen und besonders „grüne“ Produkte auszeichnen zu können, hat das Bundesumweltministerium das Umweltzeichen „Blauer Engel“ auch auf Software ausge-

dehnt. „Dabei werden verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte erfasst“, erklärt Joseph De Veauagh-Geiss, der bei der Software-Community KDE am Projekt „Blauer Engel für Free and Open Source Software“ arbeitet. „Neben dem Energieverbrauch geht es um die Nutzungsdauer der Hardware, aber auch um die Autonomie des Anwenders. Zu den Kriterien gehört unter anderem die Möglichkeit, frei von unerwünschter Werbung zu bleiben – die alleine in der EU jährlich so viele Treibhausgasemissionen verursacht wie eine Stadt von der Größe Turins.“

WACHSENDES INTERESSE

Bislang ist erst eine Software mit dem Blauen Engel ausgezeichnet. „Die Politik sollte den Blauen Engel als Vergabekriterium für öffentliche Aufträge nutzen“, fordert Wohlgemuth, nach dessen Beobachtung Green Coding derzeit nur langsam in die Unternehmen vordringt. In Forschung und Lehre hingegen finde das Thema bereits deutlich mehr Aufmerksamkeit, denn auch die Informatik habe erkannt, dass Programme und Hardware große Auswirkungen auf die Umwelt und das Klima haben können – im positiven wie im negativen Sinne. „Green Coding kann in jeder Branche angewendet oder als Vergabekriterium eingesetzt werden, wobei es besonders große Potenziale in Bereichen wie IT, Finanzen, Automotive oder Online-Handel gibt“, so Wohlgemuth. „Darum ist wichtig, dass wir bei den Entwicklern ein Bewusstsein dafür schaffen, welchen immensen Hebel für mehr Klimaschutz sie bei ihrer Arbeit haben.“ —●

```
Treibhaus-\\_<gas_emissionen>
<\\>Man müsste etwa 41 Millionen\\umwelt
\\Bäume pflanzen, um den_ressourcen-\\
\\]jährlichen CO2-Ausstoß aller_schonend<\\>
[|)Google-Suchanfragen zu\\computer
..kompensieren. Der Schwarzwald||einfluss
[|]hat rund vier Millionen Bäume.\\netzwerk
\\ str0m.sparende.[mechanismen]<\\>
<\\><klima>neutrale\\str0m.vers0rgung</p>
```

PORSCHE UND PRODUKT

DER NEUE CAYENNE



Erfolgreich in die Zukunft: Der neue Cayenne kombiniert On- und Offroad-Performance mit luxuriösem Alltagskomfort.

Cayenne

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 12,1–10,8 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 275–246 g/km

Cayenne E-Hybrid

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 1,8–1,5 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 42–33 g/km
Stromverbrauch kombiniert: 30,8–28,7 kWh/100 km
Elektrische Reichweite kombiniert: 66–74 km
Elektrische Reichweite innerorts: 77–90 km

Cayenne S/Cayenne S Coupé

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 13,4–12,4 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 304–282 g/km

Cayenne E-Hybrid Coupé

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 1,8–1,5 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 42–33 g/km
Stromverbrauch kombiniert: 30,8–28,6 kWh/100 km
Elektrische Reichweite kombiniert: 66–74 km
Elektrische Reichweite innerorts: 78–90 km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 05/2023



MEHR LUXUS, MEHR PERFORMANCE

Porsche erneuert die dritte Generation des Cayenne durch weitreichende Maßnahmen an Antrieb, Fahrwerk, Design und Ausstattung grundlegend. Die Bandbreite zwischen On- und Offroad-Performance auf der einen und luxuriösem Alltagskomfort auf der anderen Seite wird dadurch noch größer.

Text und Fotos: Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft

Porsche hat sein erfolgreiches Luxus-SUV konsequent weiterentwickelt: Der neue Cayenne debütiert mit einem hochdigitalisierten Anzeige- und Bedienkonzept, neuartiger Fahrwerktechnik und innovativen Technologie-Features. „Es ist eine der umfangreichsten Produktaufwertungen in der Geschichte von Porsche“, sagt Michael Schätzle, Leiter der Baureihe Cayenne.

Fein auflösende HD-Matrix-LED-Hauptscheinwerfer sorgen für eine auf jede Fahrsituation zugeschnittene Fahrbahnausleuchtung, ein Luftgütesystem filtert Schadstoffe aus der Atemluft im Innenraum, und dem Beifahrer steht erstmals im Cayenne ein eigenes Infotainment-Display zur Verfügung – unter anderem für Video-Streaming während der Fahrt. Mit seinem weitreichend nachgeschärften Design und leistungsstärkeren Antrieben unterstreicht der Cayenne seinen Anspruch als Sportwagen in seinem Segment. Porsche integriert ein grundlegend überarbeitetes Anzeige- und Bedienkonzept in den neuen Cayenne.

Die neue Porsche Driver Experience, erstmals eingeführt im Porsche Taycan, setzt die Fahrerachse in den Fokus und optimiert die Bedienung. Funktionen, die der Fahrer häufig verwendet, befinden sich direkt am oder unmittelbar neben dem Lenkrad. So verfügt der links hinter dem Lenkrad angebrachte Fahrassistenzhebel nun über zusätzliche Funktionen zur Bedienung der Assistenzsysteme. Erstmals befindet sich



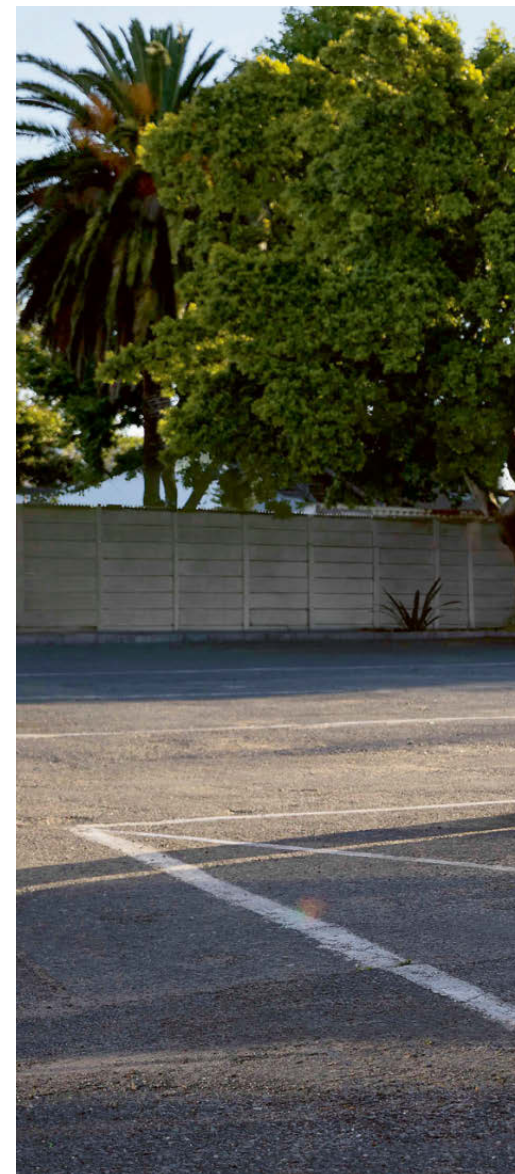


Voll digital: Das geschwungene Kombiinstrument bietet variable Darstellungsmöglichkeiten.

„Es ist eine der umfangreichsten Produktaufwertungen in der Geschichte von Porsche.“

Michael Schätzle

Leiter der Baureihe Cayenne bei der Porsche AG



Schneller Anschluss: Ein neuer Onboard-Lader mit 11 kW Leistung verkürzt die Ladedauer spürbar (rechts).





der Automatikwählhebel im neuen Cayenne auf der Armaturentafel. Dies schafft auf der neuen Mittelkonsole Raum für Ablagen und für eine große Klimabedienfläche in hochwertiger Black-Panel-Ausführung. Große, gut erreichbare Bedienelemente sorgen in Kombination mit mechanischen Klimawippen und einem haptischen Lautstärkeregler für optimale Bedienbarkeit und eine edle Anmutung.

DIGITALISIERT UND FAHRERFOKUS-SIERT: PORSCHE DRIVER EXPERIENCE

Das neu gestaltete Cockpit des Cayenne umfasst erstmals ein voll digitales 12,6-Zoll-Kombiinstrument, ausgeführt im Curved Design und mit variablen Darstellungsmöglichkeiten. Optional ergänzt ein optimiertes Head-up-Display die Darstellung. Das serienmäßige 12,3-Zoll-Zentralscreen des Porsche Communication Management (PCM) integriert sich

↓
12,6
Zoll hat das Kombiinstrument im Curved Design.
10,9
Zoll hat das Display für den Beifahrer.

harmonisch in die neue Armaturentafel und bietet Zugriff auf alle relevanten Fahrzeugfunktionen. Native Apps wie Spotify® und Apple Music® optimieren die Vernetzung im neuen Cayenne. Auf der Beifahrerseite ist erstmals ein 10,9-Zoll-Display verfügbar. Es bereichert das Fahrerlebnis für den Beifahrer mit der Anzeige von Performance-Daten, einem separaten Zugriff auf die Bedienung des Infotainment-Systems und marktabhängig zudem mit der Möglichkeit, während der Fahrt Video-Inhalte zu streamen. Eine spezielle Folierung stellt sicher, dass der Fahrer dieses Display nicht einsehen kann.

Das Erscheinungsbild des neuen Cayenne erhält einen besonders expressiven und athletischen Ausdruck. Ein neues Bugteil betont in Verbindung mit stärker überwölbten Kotflügeln und einer neuen Motorhaube sowie technisch anmutenden Scheinwerfern die Breite des Fahrzeugs. Dreidimensional gestaltete Heckleuchten, cleane Flächen und ein neues Heckunterteil



Markante Optik: Dreidimensional gestaltete Heckleuchten, cleane Flächen und ein neues Heckunterteil prägen die Rückansicht des neuen Cayenne.

mit integriertem Kennzeichenhalter prägen das Heck des neuen Cayenne. Eine erweiterte Farbpalette mit drei neuen Farben, Leichtbau-Sport-Pakete mit bis zu 33 kg Gewichtersparnis für das Cayenne Coupé sowie ein umfangreiches Räderangebot mit Optionen in 20, 21 und 22 Zoll erlauben es, den neuen Cayenne besonders individuell und sportlich zu gestalten. Im neuen Cayenne gehören Matrix-LED-Hauptscheinwerfer zum Serienumfang. Neu im Angebot sind die optionalen HD-Matrix-LED-Hauptscheinwerfer. Deren innovative Technologie sorgt mit zwei hochauflösenden Modulen und mehr als 32.000 Pixeln pro Scheinwerfer für ein exaktes, schnelles und pixelgenaues Ausblenden von anderen Verkehrsteilnehmern und somit für blend-freies Fernlicht. Die Helligkeit der Module lässt sich je nach Fahrsituation in mehr als 1.000 Stufen regulieren. Maßgeschneiderte Lichtmodi erhöhen in verschiedenen Fahrsituationen die Sicherheit und den Komfort.

NACHGESCHÄRFTES DESIGN, INNOVATIVE LICHTTECHNIK

Zudem führt Porsche im neuen Cayenne ein Luftgütesystem ein. Serienmäßig erkennt das Fahrzeug anhand der prädiktiven Navigationsdaten nahende Tunnel-

↓
Mehr als
32.000
Pixel pro LED-
Scheinwerfer

Bis zu
90
km Reichweite
im Hybridmodus



einfahrten und aktiviert automatisch die Umluftfunktion. Optional erkennt ein Sensor die Belastung der Atemluft mit Feinstaubpartikeln und aktiviert gegebenenfalls ein mehrfaches Durchströmen des Feinstaubfilters. Darüber hinaus befreit ein Ionisator die Atemluft von vielen Keimen und Schadstoffen, was vor allem Allergiker entlastet.

Zusätzlich steht den Kunden ein umfangreiches Angebot neuer und optimierter Assistenzsysteme zur Verfügung. Dazu gehören der aktive Geschwindigkeitslimit-Assistent sowie der Ausweichassistent, der Abbiegeassistent und das verbesserte Porsche InnoDrive als Bestandteil des Abstandsregeltempostats. Damit unterstützt der neue Cayenne seinen Fahrer noch bes-

ser in Gefahrensituationen sowie in Stausituationen auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen.

Porsche stattet den Cayenne nun bereits ab Werk mit einem Stahlfederfahrwerk inklusive Porsche Active Suspension Management (PASM) aus. Neue Stoßdämpfer mit 2-Ventil-Technologie und separater Zug- und Druckstufe ermöglichen eine optimierte Performance in allen Fahrsituationen. Vor allem der Komfort bei langsamer Fahrt, das Handling bei dynamischer Kurvenfahrt sowie die Nick- und Wankabstützung wurden spürbar verbessert.

VERGRÖßERTE BANDBREITE ZWISCHEN REISEKOMFORT UND PERFORMANCE

Zusätzlich lässt sich das Fahrerlebnis mit der neuen adaptiven Luftfederung mit 2-Kammer-2-Ventil-Technologie steigern. Sie verbessert das Fahrgefühl mit einer weichen Dämpfercharakteristik, beruhigt den Aufbau und vereinfacht das Handling on- sowie offroad – sowohl im Vergleich zum Serienfahrwerk als auch zum Vorgängermodell. Gleichzeitig verbessert das adaptive Luftfahrwerk die Fahrpräzision sowie die Performance und reduziert die Karosseriebewegungen in dynamischen Fahrsituationen. Das Fahrwerk bietet zudem eine noch markantere Differenzierung zwischen den Fahrmodi Normal, Sport und Sport Plus.

In Europa debütiert der neue Cayenne mit drei verschiedenen Motorisierungen. Eine umfangreiche Weiterentwicklung des von Porsche entwickelten Vierliter-V8-Biturbomotors löst im neuen Cayenne S das bisher verwendete V6-Aggregat ab. Mit einer Maximalleistung von 349 kW (474 PS) und einem Drehmoment von 600 Nm – ein Plus von 25 kW (34 PS) und 50 Nm im Vergleich zum Vorgänger – beschleunigt das SUV und SUV Coupé gleichermaßen in 4,7 Sekunden auf Tempo 100. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 273 km/h. Den Einstieg in die Welt des Cayenne begleitet ein optimierter Dreiliter-V6-Turbomotor. Er leistet nun 260 kW (353 PS) und 500 Nm, also 10 kW (13 PS) und 50 Nm mehr als zuvor.

HYBRIDMODELL MIT MEHR LEISTUNG UND BIS ZU 90 KM E-REICHWEITE

Zudem stellt der Sechszylinder-Motor die Basis für den Antriebsstrang des Cayenne E-Hybrid. In Kombination mit einem neuen, um 30 kW auf 130 kW (176 PS) erstarkten Elektromotor steigt dessen Systemleistung auf 346 kW (470 PS). Ausgerüstet mit einer im Vergleich zum Vorgänger von 17,9 kWh auf nun 25,9 kWh Kapazität vergrößerten Hochvoltbatterie sind nun je nach Ausstattung rein elektrische Reichweiten von bis zu 90 km nach WLTP möglich. Ein neuer 11-kW-Onboard-Lader verkürzt die Ladedauer an einer entsprechenden Stromquelle trotz der größeren Kapazität der Batterie jetzt auf weniger als zweieinhalb Stunden. Während der Fahrt steigern die optimierten E-Hybrid Fahrmodi die Effizienz des Fahrzeugs. ●



Gut zugänglich: Da sich der Automatikwählhebel auf der Armaturentafel befindet, wird in der Mittelkonsole Platz für Ablagen und für eine große Klimabedienfläche frei.

Teamarbeit für den neuen Porsche Cayenne

Porsche hat die dritte Generation des Cayenne durch weitreichende Maßnahmen an Antrieb, Fahrwerk, Design und Ausstattung grundlegend erneuert. Daran beteiligt waren in unterschiedlichsten Bereichen die Ingenieurinnen und Ingenieure von Porsche Engineering. Neben dem Fahrwerk widmete sich Porsche Engineering auch der Antriebsintegration sowie dem Karoseriesystem – immer in enger Kooperation mit den Porsche-Experten aus dem Entwicklungszentrum Weissach.

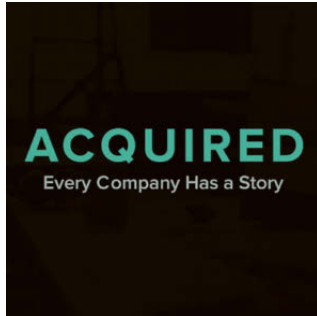
Die Fahrwerkspezialisten von Porsche Engineering arbeiteten ab 2019 innerhalb eines internationalen Teams mit mehr als 60 Kollegen aus vier Standorten an umfassenden Fahrwerkumfängen. Zu den bearbeiteten Themenfeldern gehörte neben Fahrerassistenzsystemen, der Lenkung, den Bremsen und Rädern auch das Feder-Dämpfer-System. Neben vielfältigen technischen Inhalten verantwortete Porsche Engineering auch die Teamleitung. Auch die hohen Anforderungen an die Cybersecurity im neuen Cayenne zählten zu den besonderen technischen Herausforderungen, wobei neue EU-Richtlinien zum Schutz vor IT-Angriffen zu berücksichtigen waren. Die erfolgreiche Zusammenarbeit ist auch nach der Vorstellung des neuen Porsche Cayenne noch nicht abgeschlossen: Die Experten aus dem Fahrwerk arbeiten an weiteren Projekten der Baureihe.

Neben dem Fahrwerk widmeten sich die Ingenieure von Porsche Engineering auch der Integration der Motoren und Motorperipherie, der Überarbeitung von Ansaugung und Prozessluft sowie der Entwicklung der Serien- und Sportabgasanlagen und der Kühlungsintegration in den Vorderwagen. Nicht zuletzt beschäftigte sich das Team auch mit der Optimierung des Tank-Entlüftungssystems und der Motordesignabdeckung.

Die Experten des Karoseriesystems beschäftigten sich von Konzeptentscheid bis zum Produktionsstart mit dem Fahrzeugkonzept und -Package sowie dem Digital Mock Up (DMU). Hinzu kamen diverse Karosserie-Entwicklungsumfänge, die ebenfalls von Konzeptentscheid bis Produktionsstart bearbeitet wurden – von Exterieur-Umfängen über Interieur-Umfänge bis hin zur Fahrzeugsicherheit.

Das Ergebnis: ein konsequent weiterentwickelter Porsche Cayenne, der die Bandbreite zwischen On- und Offroad-Performance auf der einen und luxuriösem Alltagskomfort auf der anderen Seite weiter vergrößert.

Wissen vertiefen



PODCAST

Jedes Unternehmen hat eine Geschichte

Dieser populäre Podcast erzählt ausführlich die Geschichten großartiger Unternehmen. In einigen Episoden treten bekannte Gründer und CEOs von Firmen wie Twitter, Atari, Zoom, Mozilla oder Electronic Arts als Gäste auf.

Acquired

www.acquired.fm

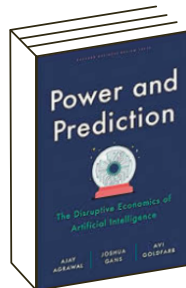
BUCH

Disruptive KI

Künstliche Intelligenz hat gerade ihren Siegeszug gestartet. Dieses Buch geht der Frage nach, wie KI die Entscheidungsfindung grundlegend verändern wird.

Power and Prediction

Ajay Agrawal, Joshua Gans, Avi Goldfarb
Harvard Business Review Press



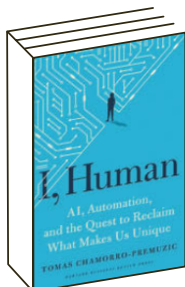
BUCH

Reise in die KI-Landschaft

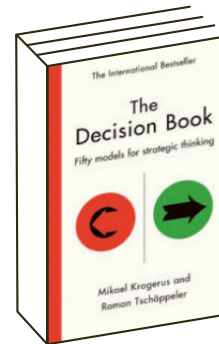
Tomas Chamorro-Premuzic beschäftigt sich mit einer hochaktuellen Frage: Werden wir KI nutzen, um unsere Arbeits- und Lebensweise zu verbessern? Oder werden wir zulassen, dass sie uns entfremdet?

I, Human

Tomas Chamorro-Premuzic
Harvard Business Review Press



Über den Tellerrand



BUCH

Besser entscheiden

Was will ich? Wie kann ich es erreichen? Wie kann ich glücklicher leben und effizienter arbeiten? In diesem Buch findet man 50 Entscheidungsmodelle für strategisches Denken.

The Decision Book

Mikael Krogerus, Roman Tschäppeler
Profile Books

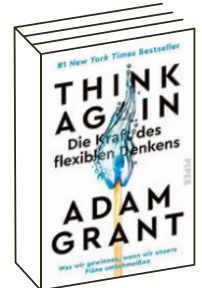
BUCH

Die Kraft des flexiblen Denkens

In einer sich rasant verändernden Welt brauchen wir eines ganz besonders: die Fähigkeit, Gedachtes zu überdenken und sich von Erlerntem wieder zu lösen. Dieses Buch zeigt, wie man seine Komfortzone verlässt.

Think Again

Adam Grant
Piper



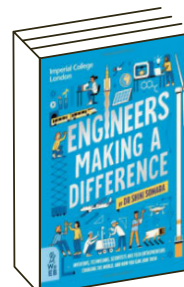
BUCH

Ingenieure als Superhelden

Die Autorin stellt in diesem illustrierten Buch 46 Ingenieure vor und zeigt, wie sie mit ihrer Arbeit die Welt verändern – etwa durch den Kampf gegen Nahrungsmittelknappheit.

Engineers Making a Difference

Shini Somara
Bounce Marketing



Für das Kind in uns



SPIEL

Einladung zur Konversation

Dieses Set mit 100 Karten enthält Fragen zu Hobbys, Wünschen, Ängsten, Vorlieben und Abneigungen, Kreativität, Glauben und vielem mehr. Sie sind eine Einladung zu Diskussionen am Küchentisch, im Auto oder wo immer der Wunsch nach einem sinnvollen Gespräch gerade aufkommt.

The Daily Question Conversation Card Set
www.amazon.de



SPIEL

Akustisches Gedächtnisspiel

Dieses Spiel besteht aus 20 Klangquadraten, die mit einem NFC-Chip versehen sind. Hält man sie an sein Smartphone, spielt die zugehörige App eine kurze Tonfolge ab. Dann stellt sich die Frage: Passt die Tonfolge des nächsten Quadrats dazu?

klang²
klang2.com

Intelligent unterhalten

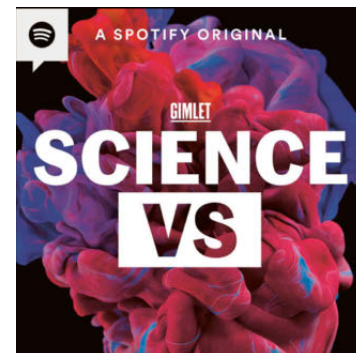


FILM

Vater der Atombombe

In seinem neuesten Film beschäftigt sich Regisseur Christopher Nolan („Tenet“, „Interstellar“) mit dem amerikanischen Physiker J. Robert Oppenheimer, der als „Vater der Atombombe“ gilt. In den Hauptrollen sind unter anderem Cillian Murphy, Robert Downey Jr. und Matt Damon zu sehen.

Oppenheimer
Universal Pictures



PODCAST

Freundliche Faktenchecker

Dieser Podcast nimmt sie alle unter die Lupe: Modeerscheinungen, Trends und hartnäckige Vorurteile. Wie böse sind Pitbulls wirklich? Können Placebos Krankheiten heilen? Hilft Hypnose? Science Vs liefert die Antworten auf diese und viele weitere Fragen.

Science Vs
gimletmedia.com/shows/science-vs



Fahrzeug- entwicklung im digitalen Universum

Hohe technische Kompetenz, eine klare Strategie und eine wertschätzende Unternehmenskultur:
Das sind wesentliche Voraussetzungen, um in der hochkomplexen Automobilwelt von heute
und morgen bestehen zu können. Dr. Peter Schäfer blickt auf vergangene und kommende Revolutionen.

Wenn ich heute auf meine Anfänge in der Automobilindustrie zurückblicke, stelle ich fest: Die Branche ist nicht wiederzuerkennen. Als junger Ingenieur bin ich mit reiner Mechanik groß geworden, später kamen die ersten Computer. Mich haben neue Technologien und das interdisziplinäre Arbeiten schon sehr früh gereizt, etwa der Einsatz von Computern für Simulationen in der Entwicklung. Denn mir war klar: Im Engineering gibt es keinen Stillstand.

Im Lauf meines Berufslebens habe ich dann eine technologische Revolution nach der anderen erlebt. Auf die Mechanik der Fahrzeuge wurden erste mechatronische Systeme aufgesetzt – also Systeme, die Elektronik und Software enthielten. Schnell hat man dann die Vorzüge der Vernetzung erkannt. Mit ihrer Hilfe ließ sich das Zusammenspiel der mechatronischen Systeme verbessern. Wir wissen alle, was inzwischen daraus geworden ist: Mittlerweile hat der digitale Funktionsumfang den mechanischen längst überholt.

Aber nicht nur das: Heute haben die Fahrzeuge einerseits Intelligenz an Bord, sind aber zunehmend auch mit einem Backend oder mit einer Cloud verbunden. In der Cloud werden künftig nicht nur Daten liegen – zusätzlich werden mithilfe Künstlicher Intelligenz vollkommen neue Funktionen ermöglicht werden. Es war schon etwas ganz Besonderes, all diese Innovationssprünge miterleben zu dürfen. Und vorauszuschauen, welch umfassende Veränderungen uns noch bevorstehen.

Die zunehmende Vernetzung führt auch dazu, dass man selbst immer vernetzter denken muss – und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter benötigt, die das ebenfalls können. Dadurch haben sich neben der Technik auch die Führung und die Zusammenarbeit stark gewandelt. Als junger Ingenieur habe ich noch stärker ausgeprägte Hierarchien und direktivere Führung erlebt. Es gab aber auch damals schon Vorgesetzte, die moderne, kooperative Führung förderten und lebten. In so einem Umfeld wollte ich arbeiten – und hatte das Glück, das tun zu können.

Ich habe gelernt, dass diese Form der Zusammenarbeit mit hoher Wertschätzung des Einzelnen hervorragend in Kombination mit anspruchsvollen technischen Aufgaben und einer klaren strategischen Ausrichtung funktionieren kann. Daraus ist dann mein eigenes Führungsverständnis entstanden:

Strategie und Kultur sind für mich elementare Bestandteile einer erfolgreichen Unternehmensführung in einem dynamischen, komplexen Umfeld. Ein fairer und gleichberechtigter Umgang mit Menschen, Offenheit und Kommunikation sowie – ganz wichtig – Wertschätzung gehören für mich dabei unbedingt dazu. Auch wenn man manchmal hart in der Sache bleiben muss, gilt es, immer fair im Umgang mit den Menschen zu sein – also „hard on facts, soft on people“ oder anders gesagt: „separate the people from the problem“.

Das allein reicht aber noch nicht: In der vernetzten Welt von heute und morgen brauchen wir auch Teams, die interdisziplinär zusammengesetzt sind. Sie müssen die klassischen Technologien verstehen, zugleich aber auch neue Innovationen vorantreiben wollen. Das bedeutet für die Führung, dass man diese Teams zusammenstellen, führen und begeistern können muss. Wichtig ist auch, dass man integrativ arbeitet – denn hier kommen Menschen mit unterschiedlicher Herkunft, Kultur und Kompetenzen zusammen.

So verstehen wir heute Führungskultur bei Porsche Engineering. Wir integrieren Menschen mit unterschiedlichen Qualifikationen und Hintergründen. Porsche Engineering ist inzwischen ein internationales Unternehmen mit 1.700 Mitarbeitern, in dem mehr als die Hälfte außerhalb Deutschlands arbeitet. Genau darum brauchen wir eine gemeinsame Kultur, die universell gültig ist und die auf der Wertschätzung des Einzelnen basiert. Sie ist die Basis für unsere erfolgreiche Zusammenarbeit.

Und dabei dürfen wir nicht stillstehen: Heute beherrschen wir die Entwicklung von Gesamtfahrzeugen und die Technologien der digitalen Welt. Doch die Reise geht weiter: Die Dynamik in der digitalen Welt ist unglaublich hoch, und die Innovationssprünge erfolgen immer rascher. In meiner Vorstellung sehe ich das intelligente Fahrzeug der Zukunft in der Mitte eines digitalen Universums, das mit zunehmender Geschwindigkeit expandiert. Diese Expansion wird neue Galaxien – digitale Welten – mit neuen Technologien hervorbringen. Beispielsweise könnten sich Fahrzeuge in Zukunft mit Smart Cities vernetzen, um gemeinsam Schwarmintelligenz zu nutzen.

Wir werden also auch in Zukunft Pioniergeist brauchen sowie Menschen mit Mut und

Veränderungswillen, die sich schnell in neue Felder einarbeiten und Neuland entdecken wollen. Gleichzeitig benötigen wir Führungskräfte, die neues Denken mitbringen und „Digital Natives“ begeistern können. Darum müssen wir unsere Unternehmenskultur und unsere Strategie kontinuierlich weiterentwickeln, denn sie sind das Fundament für unseren Erfolg.

Eines dürfen wir dabei nie verlieren: den Spaß an unserer Arbeit. Ihn wollte ich selbst immer haben – und ich bin dankbar dafür, dass ich auch bei Porsche Engineering ein Umfeld schaffen durfte, in dem unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter Begeisterung und Freude empfinden. ●



Dr. Peter Schäfer

Nach 20 Jahren bei Porsche verabschiedet sich Dr. Peter Schäfer, seit 2019 CEO von Porsche Engineering, in den Ruhestand. Schäfer hat die strategische Ausrichtung und das erfolgreiche Wachstum des internationalen Technologiedienstleisters maßgeblich geprägt: Unter seiner Führung hat Porsche Engineering seine Ausrichtung als Technologiepartner für die Entwicklung des intelligenten und vernetzten Fahrzeugs gezielt vorangetrieben. Zudem wurden neue Engineering-Standorte in Timișoara und Peking eröffnet. Die Zahl der Mitarbeiter der Unternehmensgruppe stieg von 1.200 im Jahr 2019 auf heute 1.700. Während seiner Zeit bei Porsche Engineering hat Schäfer nicht nur maßgeblich zur Erfolgsgeschichte des Unternehmens beigetragen – er legte bei seiner Arbeit immer auch großen Wert auf eine wertschätzende Unternehmenskultur.

Nach seinem Maschinenbaustudium war Schäfer wissenschaftlicher Angestellter an der Universität Stuttgart, wo er auch promoviert hat. 2003 stieß er zu Porsche und wurde Leiter Entwicklung Sonderprojekte. Es folgte 2004 die Berufung zum Generalbevollmächtigten der Porsche Engineering Services GmbH, 2008 wurde er Geschäftsführer des Unternehmens. Zwischen 2009 und 2018 war Schäfer bei der Porsche AG als Leiter Entwicklung Fahrwerk und Leiter Entwicklung Gesamtfahrzeug tätig. 2018 kehrte er als Geschäftsführer zu Porsche Engineering zurück.

Porsche Engineering Magazin

Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH

Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

Projektleitung

Miriam Stiller

Redaktion

Axel Springer Corporate Solutions GmbH & Co. KG, Berlin

Chefredaktion: Christian Buck

Projektmanagement: Nicole Langenheim

Bildredaktion: Bettina Andersen

Autoren

Marc-Stefan Andres, Richard Backhaus,
Constantin Gillies

Art Direction

Thomas Elmenhorst, Christian Hruschka

Übersetzung

RWS Group, Berlin

Kontakt

Porsche Engineering Group GmbH

Porschestraße 911

71287 Weissach

Tel. +49 711 911 0

Fax +49 711 911 88999

Internet: www.porsche-engineering.de

Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

Druck

Gutenberg Beuys Feindruckerei GmbH

Hans-Böckler-Straße 52

30851 Langenhagen

Leserservice

Ihre Anschrift hat sich geändert oder eine Kollegin / ein Kollege
soll auch regelmäßig das Porsche Engineering Magazin erhalten?

Senden Sie gerne Firma, Name und Anschrift an:

magazin@porsche-engineering.de



Bildquellen, soweit nicht anders ausgewiesen: Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG;

S. 1: Cover: Tim McDonagh; S. 3 Foto: Andreas Reeg; S. 4–5 Fotos: Andreas Reeg, Porsche AG, Illustrationen: Dan Matutina, Pia Bublies, Romina Birzer;

S. 12–17 Illustrationen: Dan Matutina; S. 28–33 Fotos: Andreas Reeg; S. 34–35 Fotos: Anthony Dias, Adobe Stock, Getty Images;

S. 36–37 Fotos: Getty Images (2); S. 38–39 Fotos: Anthony Dias (2), Luca Santini; S. 42–43 Illustration: Julien Pacaud; S. 44–47 Illustrationen: Pia Bublies;

S. 48–53 Illustrationen: Andrew Timmins; S. 64–65 Fotos: PR; S. 66–67 Foto: James Webb Space Telescope

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Für die Rücksendung unverlangt eingesandten Materials kann keine Gewähr übernommen werden.

Porsche Engineering ist eine 100%ige Tochtergesellschaft der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.

A silver Porsche Cayenne E-Hybrid Coupé is parked on a city street. In the foreground, a woman in a white top and tan skirt looks towards the car. In the background, a man and a woman stand near a building with a green facade and a white arched entrance. The scene is set during the day with trees and a clear sky.

PORSCHE

Allein ist es ein Augenblick. Zusammen eine Geschichte.

DAS NEUE CAYENNE E-HYBRID COUPÉ. FURTHER TOGETHER.

Der Sportwagen mit Platz für Familie, Freunde und unzählige gemeinsame Abenteuer. Erleben Sie Hybridtechnologie von der Rennstrecke für bis zu fünf Personen, auf und abseits der Straße. Mehr unter porsche.de/Cayenne

Kraftstoffverbrauch kombiniert in l/100 km: 1,8–1,5 (WLTP, gewichtet); CO₂-Emissionen kombiniert in g/km: 42–33 (WLTP, gewichtet);
Stromverbrauch kombiniert in kWh/100 km: 30,8–28,6 (WLTP, gewichtet);
elektrische Reichweite nach WLTP in km: 66–74 (EAER) · 78–90 (EAER City); Stand 05/2023

*Built by dreamers.
Worn by the driven.*



D R I V E N B Y D R E A M S



PORSCHE

