

# Porsche Engineering Magazin



## ***DIE GROSSE VERSCHMELZUNG***

Wie sich Fahrzeug und Software vereinen



PORSCHE



# Platz für fünf. Und unzählige Abenteuer.

DAS NEUE CAYENNE TURBO E-HYBRID COUPÉ.  
FURTHER TOGETHER.

Kraftstoffverbrauch kombiniert in l/100 km: 2,0–1,7 (WLTP, gewichtet); CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert in g/km: 46–40 (WLTP, gewichtet);  
Stromverbrauch kombiniert in kWh/100 km: 31,8–30,1 (WLTP, gewichtet);  
elektrische Reichweite nach WLTP in km: 70–72 (EAER) · 76–81 (EAER City); Stand: 11/2023



**Dirk Philipp**  
Kaufmännischer Geschäftsführer / Chief Operating  
Officer (CFO/COO), Porsche Engineering

## Liebe Leserinnen und Leser,

Hard- und Software verschmelzen in modernen Fahrzeugen zunehmend miteinander. Viele Kunden erwarten, dass ihre digitale Welt vollständig in das Fahrzeug integriert wird. Gleichzeitig erweitern digitale Technologien das bisherige Fahrerlebnis maßgeblich. Neue Funktionen werden durch den Einsatz von Software erst möglich – wie etwa die Automatisierung, Vernetzung und Personalisierung. Das „Software-defined Vehicle“ führt zu neuen Kundenerlebnissen, erfordert aber auch weiterentwickelte Hardware, neue Formen der Zusammenarbeit und innovative Entwicklungsprozesse.

Porsche Engineering hat sich frühzeitig auf diese Entwicklung eingestellt und in den vergangenen Jahren konsequent neue Kompetenzen in digitalen Feldern und Methoden aus- und aufgebaut. Wir können Software und Funktionen entwickeln – und wir wissen auch, wie man sie erfolgreich testet und ins Fahrzeug integriert. Dabei wenden wir virtuelle und reale Methoden genauso an wie generative Künstliche Intelligenz.

Schnelligkeit wird immer mehr zum Wettbewerbsfaktor in unserer Branche, und digitale Tools werden uns helfen, weiterhin an der Spitze zu bleiben. Durch Digitale Zwillinge von Komponenten und Teststrecken können wir etwa immer mehr Versuche virtuell durchführen und dadurch wertvolle Zeit sparen – trotz der weiter steigenden Komplexität in der Fahrzeugentwicklung. Auch durch den Einsatz von KI-Methoden können wir den Reifegrad und die Geschwindigkeit der Entwicklung erhöhen. Large Language Models sind mit hohem Wirkungsgrad auch in der Entwicklung anwendbar.

Durch den weltweiten Zugriff auf Entwicklungsdaten können diese Prozesse weiter beschleunigt werden. Darum setzen wir verstärkt auf die Cloud als zentrale Datendrehscheibe für die Mitarbeiter an unseren Standorten in Europa, China und den USA. Weil die Cloud und spezifische Car-IT-Expertise von großer strategischer Bedeutung sind, ist ein neues Team bei Porsche Engineering ausschließlich damit beschäftigt, sie als Backbone für das gesamte Unternehmen weiter auszubauen.

Sie sehen: Software bildet einen wesentlichen Bestandteil unserer Lösungen. Darum haben wir diese Ausgabe des Porsche Engineering Magazins der „großen Verschmelzung“ von Software und Fahrzeug mit all seinen spannenden Facetten gewidmet. In meiner Rolle als kaufmännischer Geschäftsführer und Chief Operating Officer (CFO/COO) von Porsche Engineering mit Verantwortung für IT und Digitalisierung freue ich mich sehr darauf, Sie in unsere Welt der Software-Fahrzeugentwicklung mitzunehmen, ohne dabei die Hardware aus den Augen zu verlieren.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Ihr Dirk Philipp

—→ **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 1.800 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.



**Intelligente Strategie:** PERL findet dank Reinforcement Learning eine Strategie, die zum optimalen Applikationsergebnis für eine ganze Funktion führt.



**Vordenker:** Federico Magno (links) und Dirk Lappe sprechen im Interview über Künstliche Intelligenz und autonomes Fahren.



# INHALT 01/2024

PORSCHE  
ENGINEERING  
DIGITAL



## TITEL DIE GROSSE VERSCHMELZUNG

12

### **Bedatet vom KI-Agenten**

Die virtuelle Applikationssoftware PERL verlagert einen Großteil der Steuergerätebedatung auf die KI.

18

### **„Technisch führende Lösungen für das automatisierte Fahren“**

Jürgen Bortolazzi und Albrecht Böttiger diskutieren über automatisierte Fahrfunktionen und die Zukunft des Fahrens.

26

### **Das Ziel ist der Weg**

Porsche Engineering erstellt mit einer eigenen Ende-zu-Ende-Toolkette präzise Streckenmodelle für Kunden.

30

### **Integration mit System**

Die Integration von Software ins Fahrzeug bestimmt entscheidend über die Leistung und das Kundenerlebnis. Das zeigte sich auch bei der Entwicklung von Antrieb und Fahrwerk für den neuen Porsche Cayenne.

## PERFORMANCE UND EXPERTISE

40

### **Plattform für China**

Porsche und Porsche Engineering haben mit einem chinesischen Lieferanten ein neues Steuergerät für das Infotainment-System für den Porsche Boxster, Cayman und Macan entwickelt.

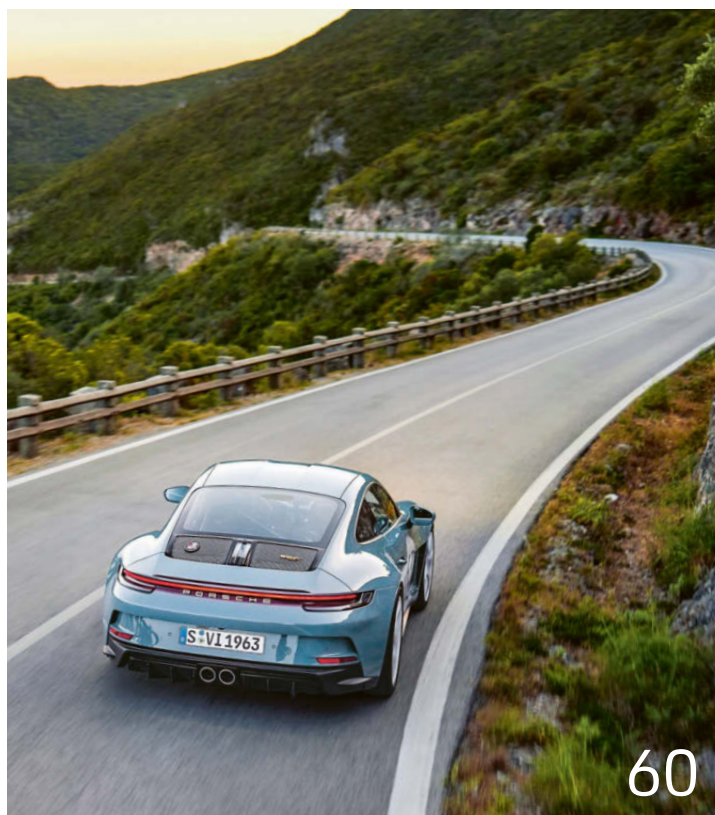


**Genuss pur:** Der 911 S/T bietet eine einzigartige Kombination aus Agilität und Fahrdynamik.

**Maßgeschneiderte Lösung:** Das Infotainment-System für den Porsche Boxster, Cayman und Macan wurde auf die Bedürfnisse chinesischer Kunden zugeschnitten.



40



60

## TRENDS UND TECHNOLOGIEN

44

### „Mut ist der Treibstoff für Innovationen“

Federico Magno und Dirk Lappe diskutieren über die großen Zukunftstrends und neue Entwicklungsmethoden.

52

### Blick in die Zukunft

Porsche Engineering entwickelt den Digitalen Zwilling einer Hochvolt-Batterie, um Alterungsprozesse zu modellieren.

56

### Code auf dem Prüfstand

Bewährte Methoden und Werkzeuge helfen, Fehler in Programmen zu identifizieren. Forscher arbeiten bereits an neuen Ansätzen, unter anderem auf Basis von Künstlicher Intelligenz.

## PORSCHE UND PRODUKT

60

### Fahrspaß ohne Grenzen

Zum 60. Geburtstag des legendären 911 hat Porsche ein puristisches Sondermodell auf den Markt gebracht. Der 911 S/T wurde ein Elfer in seiner reinsten Form.

## RUBRIKEN

- 03 Editorial
- 06 News
- 10 Auf den Punkt.
- 38 Noch Fragen?
- 66 Nach gedacht
- 68 Rückblick
- 69 Impressum

## MITWIRKENDE



**Richard Backhaus**

beschäftigt sich als Journalist seit mehr als 25 Jahren mit allen Themen rund um die faszinierende und innovative Automobiltechnik.



**Emily Piwowar**

ist Mitgründerin des Fotografen-Kollektivs „NÓI CREW“. Sie hat eines der beiden großen Interviews in dieser Ausgabe fotografiert.



**Constantin Gillies**

ist freier Wirtschafts-journalist und Buchautor. Wichtige Themen sind für ihn neben Wirtschaft auch Technologie und Internet.



# NEWS

## 01/2024

### Taycan

Stromverbrauch kombiniert: 24,1–22 kWh/100 km

CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert: 0 g/km

Reichweite kombiniert: 370–510 km

Elektrische Reichweite innerorts: 440–627 km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 11/2023



**Wichtiger Meilenstein:**  
Durch den neuen Standort ist  
Porsche Engineering noch näher an  
den Entwicklungen in den USA.



← USA

## NEUE US-TOCHTER

Porsche Engineering baut sein globales Netzwerk durch eine neue Präsenz in den Vereinigten Staaten aus. Die Porsche Engineering Services North America, Inc. wird ihren operativen Sitz in der Nähe von Los Angeles haben. Wie in anderen Märkten, in denen Porsche Engineering vertreten ist, wird die Aufgabe des neu gegründeten Teams darin bestehen, marktspezifische Fahrzeugfunktionen und digitale Dienste, einschließlich Konnektivität und Infotainment, zu bewerten und in der Entwicklung zu berücksichtigen. „Aus strategischer Sicht ist der Aufbau einer Präsenz in den USA ein wichtiger Meilenstein, um unsere Fähigkeiten zur Deckung der zukünftigen Nachfrage auszubauen“, sagt Markus-Christian Eberl, Sprecher der Geschäftsführung von Porsche Engineering. „Durch die Präsenz im Markt können unsere Ingenieurinnen und Ingenieure, Test- und Qualitätsmitarbeitende detaillierte Marktkennntnisse sammeln und diese mit ihrem umfassenden Fahrzeug-, Funktions- und Software-Know-how kombinieren, um erstklassige Technologiedienstleistungen anzubieten.“

↓ Hackathon

## OPTIMALE PROBLEMLÖSUNG IM HACKATHON

Am 13. und 14. Juni 2023 hat Porsche Engineering in Ostrava (Tschechien) einen Hackathon veranstaltet. „Ziel war es, eine effizientere und schnellere Lösung für den Umgang mit Fahrzeugdaten in Python zu finden“, berichtet Jan Wörner aus dem Bereich Entwicklung Gesamtfahrzeug Data Driven Testing & Fahrzeugfunktionen. „Die gestellte Aufgabe ist für das gesamte Unternehmen relevant. Kommerzielle Tools sind dafür aber nicht so gut geeignet, weil sie sich oft nur schwer in eine automatisierte Datenverarbeitungs-Pipeline integrieren lassen.“ Sechs Teams mit insgesamt 22 Mitgliedern aus den Standorten Cluj, Timișoara, Prag, Ostrava und Bietigheim nahmen die Herausforderung an. Als Sieger ging das Team „Data Vampires“ hervor, dessen Lösung hinsichtlich Leistung, Ressourcenverbrauch und Korrektheit der Informationen am meisten überzeugte. „Wir wollen in Zukunft noch weitere Hackathons veranstalten“, so Wörner. „Denn sie sind eine großartige Möglichkeit, komplexe Probleme zu lösen, die während unserer Projekte schwer für uns zu knacken sind. Durch die Schaffung einer internationalen Plattform können Expertinnen und Experten aus dem gesamten Unternehmen in Europa teilnehmen und sich gegenseitig durch Teamarbeit unterstützen.“



# 22

**Mitarbeiter** aus fünf Standorten nahmen am Hackathon in Ostrava teil. Zwei Tage lang suchten die Teams nach der besten Lösung für die gestellte Aufgabe

→ Corporate Social Responsibility

## ENGAGEMENT FÜR DIE LOKALE GEMEINSCHAFT

Seit mittlerweile mehr als sieben Jahren engagiert sich Porsche Engineering Rumänien mit vielfältigen Aktivitäten, die die Zukunft der lokalen Gemeinschaften gestalten. Für die Mitarbeitenden vor Ort ist es wichtig, sowohl einen Beitrag für die Weiterentwicklung von technologischen als auch von gesellschaftlichen Themen zu leisten. Eine Gemeinschaft von mehr als 50 Mitarbeitenden aus Cluj und Timișoara engagiert sich ehrenamtlich in Projekten, die ihnen am Herzen liegen. Dabei konzentrieren sie sich auf die Bereiche Umwelt, Soziales und Bildung. So hat beispielsweise die in Cluj gestartete Initiative „Ladies in Tech“ mittlerweile 32 aktive Mitglieder, die sich auf die Stärkung von Frauen und Bildungsaktivitäten für Kinder aus ärmeren Familien konzentrieren. Darüber hinaus unterstützt das Unternehmen mehrere Projekte auch finanziell, wie zum Beispiel die Renovierung von Schulen, Sommercamps für Kinder, die Krebserkrankungen bekämpft haben und die Robotik-Gruppe eines Gymnasiums aus Cluj.



**Herzensangelegenheit:** Mitarbeiterinnen von Porsche Engineering Rumänien engagieren sich für gesellschaftliche Themen.



**Wachstum:** Die Standorte in Peking und Shanghai ermöglichen Entwicklungen vor Ort und bauen ihre Kapazitäten weiter aus.



↓ Shanghai und Peking

## MEHR ALS 200 MITARBEITER IN CHINA

Porsche Engineering China wächst. Die beiden Standorte Shanghai und Peking haben im September einen wichtigen Meilenstein erreicht: Dort arbeiten nun mehr als 200 Vollzeitbeschäftigte. Porsche Engineering ist seit über 30 Jahren in China aktiv. Um die lokale Marktdynamik besser verstehen und chinaspezifische Lösungen entwickeln zu können, wurde 2014 der erste Standort in Shanghai gegründet. Seit 2022 arbeitet auch ein Team in Peking an Themen wie hochautomatisiertem Fahren, Konnektivität, Infotainment und Fahrerassistenzsystemen.



## FORMULA STUDENT GERMANY: „GREENTEAM“

Seit 2011 unterstützt Porsche Engineering das „GreenTeam“ der Universität Stuttgart beim Konstruktors-Wettbewerb „Formula Student“. Dabei profitierte das Team vom Know-how und der Infrastruktur von Porsche Engineering. „Dank der Expertise im Bereich Hochvoltzellen und der Bereitstellung modernster Hochvolt-Prüfstände konnten wir unseren Akku bis ans Limit fordern“, so das Team. „Ein weiterer entscheidender Faktor war die Möglichkeit, das exklusive Testgelände in Weissach zu nutzen. Hier kamen all unsere Erkenntnisse zusammen und halfen nicht nur bei der Erprobung des Rennwagens, sondern auch dabei, unsere Fahrer auf ein neues Level zu bringen.“ Auch an den internationalen Porsche Engineering-Standorten Prag, Cluj, Nardò und Shanghai werden Formula-Student-Teams unterstützt.



**„Ein entscheidender Faktor war die Möglichkeit, das exklusive Testgelände in Weissach zu nutzen.“**

Formula-Student-Team „GreenTeam“  
Universität Stuttgart

**Elektrifiziert:** Sowohl der Taycan als auch das Rennauto des „GreenTeams“ profitieren vom Porsche-Know-how bei elektrischen Antrieben.



### Taycan

Stromverbrauch kombiniert:  
24,1–22 kWh/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert:  
0 g/km  
Reichweite kombiniert:  
370–510 km  
Elektrische Reichweite  
innerorts: 440–627 km

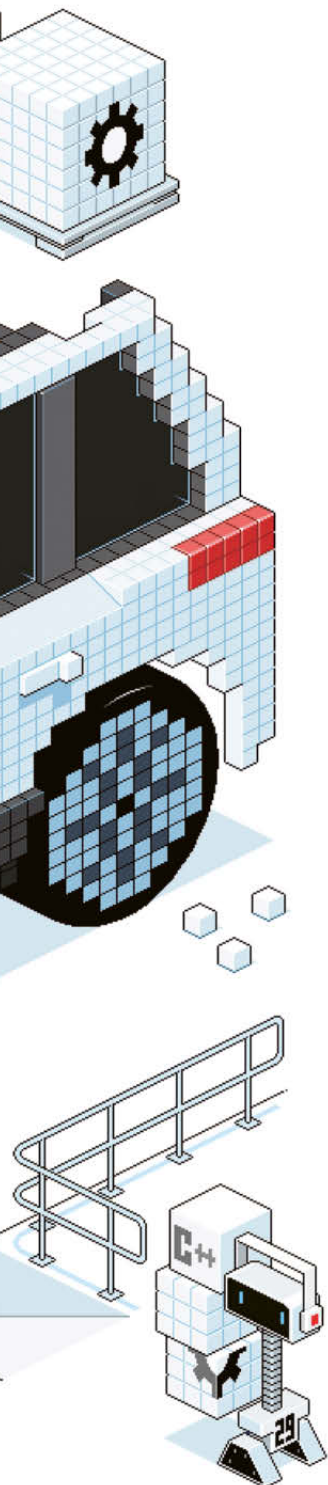
Alle Verbrauchsangaben nach  
WLTP; Stand 11/2023

Neue Technologien treiben die Entwicklung der Automobilindustrie voran. In dieser Rubrik erklären wir „auf den Punkt“, was derzeit besonders aktuell ist.

Text: Christian Buck  
Illustration: Supertotto

Die Entwicklung automatisierter oder vernetzter Fahrfunktionen ist eine große Herausforderung. In den JUPITER-Versuchsfahrzeugen von Porsche Engineering sorgt das Roboter-Betriebssystem ROS dafür, dass neue innovative Funktionen schneller entwickelt und erlebbar werden.





**S**eit 2007 entwickeln Forscher weltweit das Robot Operating System (ROS) – zunächst am Stanford Artificial Intelligence Laboratory, inzwischen im Rahmen der Open Source Robotics Foundation (OSRF). Auch wenn der Name etwas anderes vermuten lässt: ROS ist streng genommen kein eigenständiges Betriebssystem, sondern baut als Vermittlungsschicht zwischen Hard- und Software beispielsweise auf Linux oder Windows auf. ROS liefert unter anderem zahlreiche Gerätetreiber, sodass sich neue Sensoren und Aktoren problemlos in bestehende Systeme integrieren lassen. Außerdem versteht sich ROS als „Software-Werkzeugkasten“ für die Forschung und die anwendungsgetriebene Automatisierung.

Porsche Engineering nutzt ROS bereits seit 2019. Die Ingenieure des Unternehmens haben dafür zusammen mit ADAS-Ingenieuren von Porsche eigene, komplexe Softwareinterfaces entwickelt, um den ROS-Layer mit den Bussystemen von Serienfahrzeugen zu verknüpfen. So lassen sich neue Features nahtlos in bestehende Fahrzeuge integrieren, die dadurch als neue Form eines „Aggregateträgers für Softwarefunktionen“ genutzt werden können. Diesen Ansatz nutzt Porsche Engineering bei den JUPITER-Versuchsfahrzeugen (Joint User Personalized Integrated Testing and Engineering Resource). Sie können mit zahlreichen Sensoren für automatisierte Fahrfunktionen ausgestattet werden, darunter aktuell Stereokameras und Lidar. „Dank ROS waren die Lidar-Sensoren innerhalb nur einer Woche eingebaut und integriert, und nach einem Tag Inbetriebnahme konnten wir sofort Testdaten aufzeichnen“, berichtet Marcel Pelzer, Entwicklungsingenieur Fahrerassistenzsysteme und Leiter des JUPITER-Projektes bei Porsche Engineering. „Üblich sind hier Integrations- und Inbetriebnahmezeiten von mehreren Tagen bis hin zu Wochen.“

ROS-Anwendungen bestehen aus einzelnen „Knoten“ („Nodes“), die untereinander kommunizieren. Auch dafür liefert ROS viele Software-Bibliotheken, unter anderem für den standardisierten Datenaustausch, die Visualisierung von Daten oder das Debugging. „Neue Knoten können dadurch sofort die Daten anderer Knoten nutzen“, erklärt Pelzer. „Man muss nicht von Anfang an wissen, wer mit wem sprechen soll. Die standardisierten Nachrichten helfen auch, Algorithmen auf verschiedenste Sensoren abzustimmen.“

Das macht ROS neben dem Bau von Robotern auch für die Entwicklung neuer automatisierter oder vernetzter Fahrfunktionen attraktiv, denn dafür müssen neue Software und Sensoren schnell in Prototypenfahrzeugen erlebbar gemacht werden. Neben der einfachen Integration neuer Hardware bietet vor allem das Knoten-Konzept einen entscheidenden Vorteil: ADAS-Funktionen (Advanced Driver Assistance Systems) lassen sich flexibel als neue Knoten imple-

mentieren, und deren Zusammenspiel kann auf einer einheitlichen Plattform getestet werden.

Als weiteres Beispiel nennt er die prototypische Implementierung einer erweiterten Parkfunktion. „In der Serienentwicklung braucht man normalerweise mehrere Monate, bis Zulieferlösungen für eine Fahrerassistenzfunktion im Fahrzeug verfügbar sind. Im JUPITER-Fahrzeug konnten wir eine Reversing-Assist-Funktion zur automatischen Personen-Erkennung mit nur einem Entwickler innerhalb der halben sonst üblichen Zeit umsetzen.“

Neben der schnellen Implementierung neuer Sensoren und Funktionen bieten die JUPITER-Fahrzeuge den Entwicklern weitere Vorteile: Sensoren werden an möglichen Serienpositionen eingebaut, um den Einfluss der Platzierung auf den Algorithmus evaluieren zu können. Zudem ist ein Zugriff auf ihre Rohdaten möglich – ebenso wie der Zugriff auf den Fahrzeugbus und damit auf alle Aktoren.

Durch den Einsatz von ROS können die Entwickler neue Fahrfunktionen jederzeit ohne großen Aufwand als Knoten in ROS implementieren. Insgesamt sind in einem JUPITER-Fahrzeug 50 bis 60 Knoten für diverse Funktionen und Unterfunktionen aktiv – immer mit der Option, das System während der Laufzeit dynamisch um weitere Knoten zu erweitern. Hinzu kommt, dass der ROS-Quellcode Open Source ist, ROS verschiedene Programmiersprachen wie C++ und Python unterstützt und es eine große Community gibt, die Inspirationen liefert und bei Problemen unterstützt. Dadurch können sich die Anwender bei Porsche Engineering auf das Wesentliche konzentrieren: die Funktionsentwicklung.

Die neue Version ROS 2 setzt auf den Erfahrungen von ROS auf. Ihre Kommunikations-Infrastruktur ist durch den DDS-Standard (Data Distribution Services) auch für Automotive-Anwendungen zertifiziert, sodass man ROS 2 theoretisch in Serienfahrzeugen einsetzen könnte. DDS bietet den großen Vorteil, je nach Datenquelle Eigenschaften (Quality of Service), Transportmechanismen und auch Zugriffsrechte konfigurieren und somit Hardwareressourcen bestmöglich nutzen zu können. „ROS hat sich als sehr gute Plattform erwiesen, um neue Technologien zu testen und unseren Kunden Cutting-Edge-Technologien anzubieten“, fasst Pelzer zusammen. „So können wir schnell Use Cases demonstrieren und verkürzen die diesbezügliche Time-to-Delivery gegenüber unseren Kunden deutlich. Hierauf sind wir stolz, denn die intelligente Beschleunigung der Liefer- und Bereitstellungszeiten von Lösungen zu komplexen Aufgaben ist ein wesentlicher Bestandteil unserer Prozess- und Methodenoptimierungsaktivitäten. Außerdem lässt sich das Zusammenspiel mehrerer Technologiedomänen wie ADAS, V2X, Künstliche Intelligenz und Simulation mit ROS auf einer einheitlichen Basis untersuchen. Dadurch können wir in der Entwicklung der vernetzten und intelligenten Fahrzeuge von morgen viele Synergien nutzen.“ — ●



The background of the slide is a complex, abstract pattern. It features a dense network of thin, glowing blue lines that form a grid-like structure, overlaid with numerous small, bright white dots. The lines and dots are more concentrated on the right side, creating a sense of depth and movement towards the center-right.

# TITEL

## PERL

**Smarter Entscheidungsprozess:** PERL nutzt Reinforcement Learning, um eine optimale Applikationsstrategie zu finden.





# BEDATET VOM KI-AGENTEN

Die virtuelle Applikationssoftware PERL von Porsche Engineering verlagert einen Großteil der Steuergerätebedatung auf die KI. Das reduziert den Bedarf an Prüfstandsversuchen und Testfahrten in der Applikationsphase des Fahrzeugs. Die Ergebnisse erster Kundenprojekte belegen das große Potenzial der neuen Methodik.

Text: Richard Backhaus

**B**ei der Applikation neuer Fahrzeugfunktionen müssen die Ingenieure einen immer größeren Aufwand betreiben, denn mit dem zunehmenden Funktionsumfang und der wachsenden Systemvernetzung moderner Fahrzeuge steigt auch die Anzahl der für die Applikation notwendigen Tests und der relevanten Parameter signifikant an. Um die höhere Komplexität auch künftig noch beherrschen zu können und zudem die Entwicklungseffizienz zu erhöhen, setzt Porsche Engineering Künstliche Intelligenz (KI) zur Kalibrierung und Bedatung der Steuergeräte ein. „Mit dem Porsche Engineering Reinforcement Learning, kurz PERL, machen wir die Applikation von Fahrfunktionen zu einem smarten Entscheidungsprozess“, so Matteo Skull, Fachprojektleiter bei Porsche Engineering.

PERL basiert auf dem sogenannten Deep Reinforcement Learning, einem selbstlernenden KI-Verfahren. Die Grundidee: Statt einzelne Parameter zu optimieren, erarbeitet sich die KI eine Strategie, die zu einem best-

möglichen Applikationsergebnis für eine ganze Funktion führt. Vorteile sind die hohe Prozesseffizienz der Methodik, da sie selbstlernend ist, und die universelle Anwendbarkeit auf viele Entwicklungsbereiche des Fahrzeugs (siehe auch Porsche Engineering Magazin 1/2021 zum Prinzip von PERL). „Porsche Engineering hat schon früh das Potenzial von Deep Reinforcement Learning für die automatisierte Applikation von Steuergeräten erkannt. Seit 2017 arbeiten wir zusammen mit KI-Experten der Porsche-Engineering-Standorte im rumänischen Cluj und in Timisoara an PERL und haben die Methodik seither ständig weiterentwickelt“, so Dr. Matthias Bach, Leiter HV-Batterie Applikation und Diagnose bei Porsche Engineering. Inzwischen wurden mehr als 50 Patente für PERL angemeldet.

Dank dieser Kompetenz ist Porsche Engineering eines der ersten Unternehmen weltweit, das eine Methodik für die KI-gestützte Applikation validiert und in den Entwicklungsprozess für neue Fahrzeugsysteme

integriert hat. Zwischenzeitlich wurde PERL schon in zwei Kundenprojekten für die Applikation eingesetzt. Einerseits betreibt Porsche Engineering seit rund drei Jahren in Zusammenarbeit mit dem FZI Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe und mit Porsche eine Forschungsk Kooperation, in deren Rahmen PERL für die Abstimmung der Gemischaufbereitung eines neuen Ottomotors für Hybridfahrzeuge genutzt wird. Andererseits kommt PERL bei der Applikation der Schwingungsdämpfung im Antriebsstrang eines E-Fahrzeugs von Porsche zum Einsatz.

## APPLIKATION VON REGLERN

In beiden Fällen wird die KI für die Applikation von Reglern genutzt, was eine besondere Herausforderung darstellt. Thomas Rudolf, Doktorand bei Porsche Engineering und am FZI, erklärt: „Die Applikation von Regelungsfunktionen ist sehr anspruchsvoll, da wir hochdynamische Vorgänge präzise kontrollieren müssen. Bei der Gemischaufbereitung eines Motors beispielsweise muss für jede Drehzahl- und Drehmomentkombination mittels Parameterkennfeldern die Einspritzmenge richtig abgestimmt werden, damit der Lambda-Wert als Regelungsgröße für den optimalen Betrieb der Abgasnachbehandlung dem Soll entspricht.“

Die Herausforderung resultiert dabei vor allem aus der Totzeit, die sich aus der räumlichen Entfernung zwischen Motor und Sensorik am Ende des Abgasstrangs ergibt, gepaart mit der hohen Schnelligkeit, mit der das Regelungssystem etwa bei einem Lastwechsel arbeiten muss. Wenn die Regelung zu langsam reagiert, schränkt das die Funktion der Abgasreinigung ein, und die Emissionen steigen. Wenn zu aggressiv geregelt wird, kann sich das System unter Umständen aufschaukeln.

Entscheidend ist darum, einen Mittelweg zwischen beiden Extremen zu finden. „Die maßgeschneiderte Parametrierung von komplexen und variantenreichen regelungstechnischen Systemen im Automobil stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. Moderne Lernverfahren können die umfangreiche, kostenintensive und teilweise händische Applikation signifikant beschleunigen und effizienter machen“, fasst Prof. Dr.-Ing. Sören Hohmann, Leiter am Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Direktor am FZI, die Vorteile der KI-Nutzung zusammen.

PERL ist in der Lage, die Vielzahl der Regelungsparameter auch für einen hochdynamischen Motorbetrieb so abzustimmen, dass das optimale Gemisch eingestellt wird. „Insbesondere für künftige, strengere Emissionsnormen, die eine noch genauere Lambda-Regelung in allen Betriebsbereichen erforderlich machen, ist PERL damit ein unverzichtbares Entwicklungswerkzeug“, so Bach. Seine Einschätzung teilt

**Je nach Aufgabenstellung lassen sich mit PERL bis zu**

# 90 %

**Reifegrad der Applikationsdaten erreichen. Der Feinschliff und die Validierung der Rohkalibrierung erfolgen durch Prüfstandsversuche und Testfahrten.**

**Mehr als**

# 50

**Patente hat Porsche Engineering inzwischen für PERL angemeldet.**

### Taycan (Grafik)

Stromverbrauch kombiniert:  
24,1–19,6 kWh/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert:  
0 g/km  
Reichweite kombiniert:  
370–510 km  
Elektrische Reichweite innerorts:  
440–627 km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 11/2023



**„Moderne Lernverfahren können die umfangreiche, kostenintensive und teilweise händische Applikation signifikant beschleunigen und effizienter machen.“**

**Prof. Dr.-Ing. Sören Hohmann**

Leiter am Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme am KIT und Direktor am FZI

auch Dr. Galabina Aleksieva-Rausch, die bei Porsche für die Prozesse, Qualität und Methodenentwicklung verantwortlich ist: „Wir haben PERL im Rahmen einer Potenzialstudie parallel zur konventionellen Applikation eingesetzt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Das Resultat war viel besser als erwartet: Die Kalibrierung mit dem KI-Ansatz war ohne Feinanpassung bereits beinahe so gut wie die der Serienapplikation.“

Die Reife der im Rechner mittels KI generierten Applikationsdaten ist stark von der jeweiligen Aufgabenstellung abhängig, liegt in der Regel jedoch bei 80 bis 90 Prozent. Der Feinschliff und die Validierung der Rohkalibrierung erfolgen dann durch Prüfstandsversuche und Testfahrten, die aufgrund der Anforderungen an die Qualitätskontrolle und Absicherung auch künftig fester Bestandteil der Applikation bleiben müssen. Auch hierbei unterstützt PERL die Applikateurin bzw. den Applikateur, denn das Programm kann bei Tests im Hintergrund mitlaufen und nutzt die dabei gewonnenen Daten, um Vorschläge für die weitere Optimierung der Applikation zu machen.

Derzeit lässt sich der Effizienzgewinn von PERL bei einer Nutzung für die Serienentwicklung noch nicht beziffern. Fest steht allerdings schon jetzt, dass KI-gestützte Applikationsmethoden wie PERL den Gesamtentwicklungsprozess signifikant beschleunigen können: „Dank PERL können wir die Applikation erheblich früher durchführen und erhalten schneller valide Ergebnisse, mit denen wir die folgenden Entwicklungsschritte sehr viel zielgerichteter und damit effizienter angehen können“, so Stefano Chini aus dem Team von Aleksieva-Rausch.

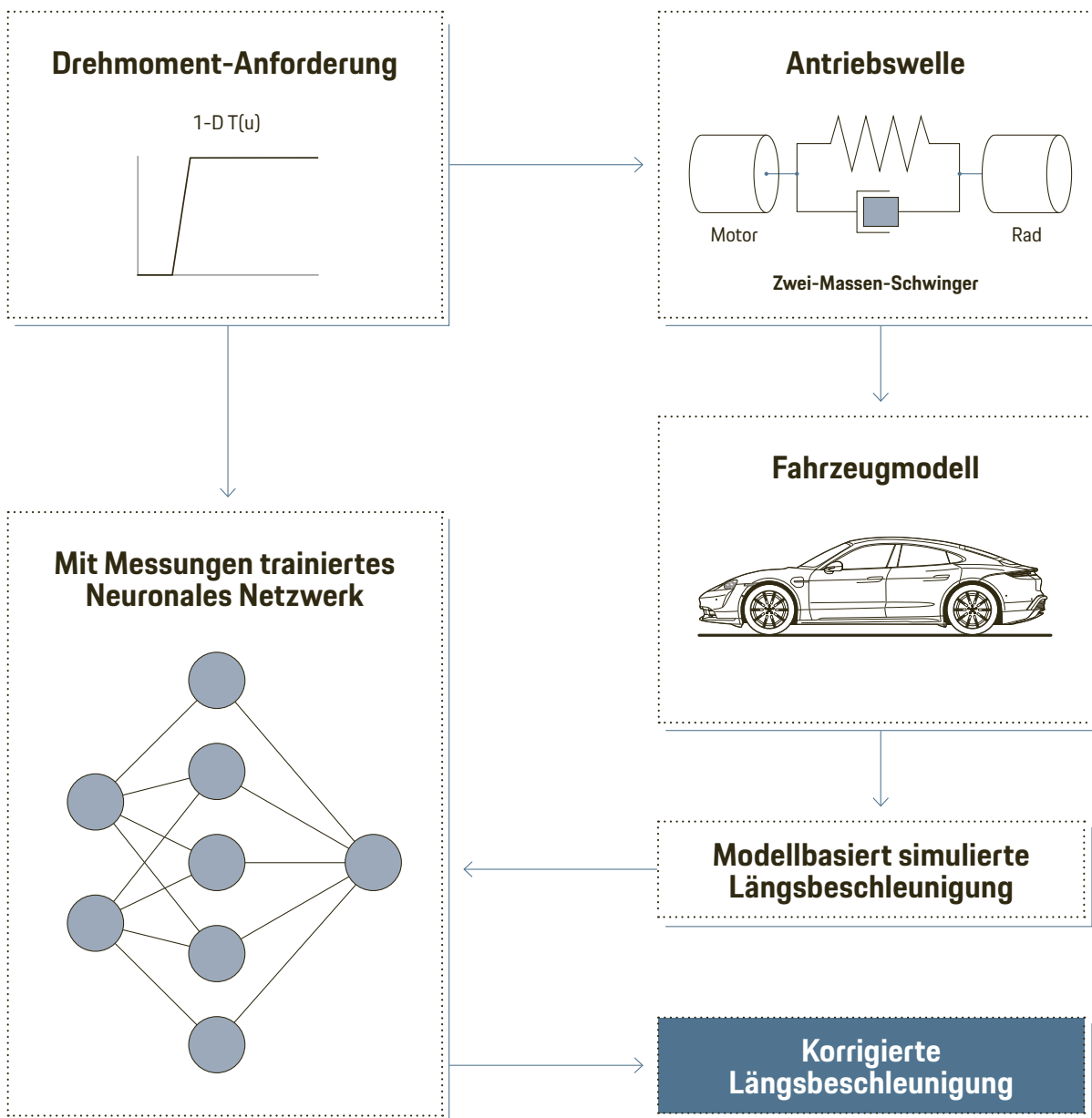


# APPLIKATION DER SCHWINGUNGSDÄMPFUNG

## NEURONALES NETZ VERBESSERT SIMULATIONS-GENAUIGKEIT

Für eine wirksame Schwingungsdämpfung muss der Elektromotor des E-Fahrzeugs zum richtigen Zeitpunkt und in der passenden Taktung angesteuert werden. Zudem darf die Gegenschwingung nicht zu stark ausgelegt sein, denn das zur Erzeugung der Gegenimpulse erforderliche Motormoment fehlt für den Vortrieb. Um PERL einsetzen zu

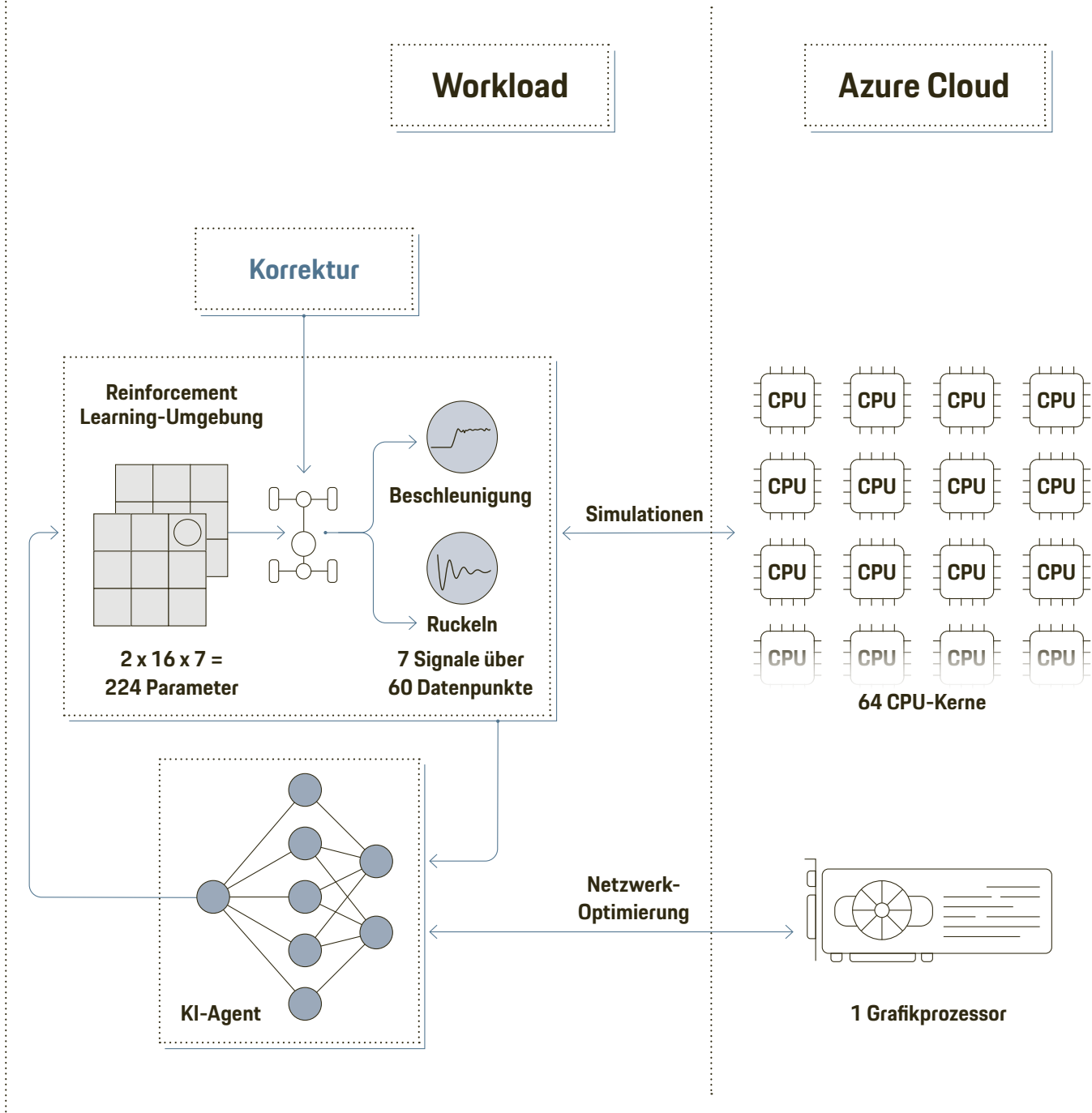
können, haben die Entwickler zunächst aus Prüfstandsdaten ein Modell der Fahrwerkphysik real auftretender Schwingungsprofile erstellt. Es wurde dann mithilfe neuronaler Netze erweitert. Das Hardwaremodell simuliert die Physik, und das künstliche neuronale Netz überbrückt die Genauigkeitslücke zwischen der realen Welt und der Simulation.



## PERL POLICY TRAINING

### CLOUD COMPUTING BESCHLEUNIGT DIE BERECHNUNGEN

Der Agent wurde anhand eines großen Datensatzes und zufällig initialisierter Kennfelder trainiert, um eine gute Generalisierung der Strategie zu gewährleisten. 64 CPU-Kerne in der Cloud haben die Simulationen parallel verarbeitet, was im Vergleich zu einer lokalen Maschine zu einer deutlichen Beschleunigung der Berechnungen geführt hat. Die Strategie wurde mit einem Grafikprozessor in der Cloud optimiert.





Der zweite Anwendungsfall von PERL ist die Schwingungsdämpfung im Antriebsstrang eines E-Fahrzeugs. Hier versuchen die Ingenieurinnen und Ingenieure, eine störende Schwingung im Antriebsstrang durch eine gezielt eingekoppelte Gegenmaßnahme abzuschwächen – das gleiche Prinzip ist beispielsweise bei Kopfhörern als „Noise-Cancelling“ bekannt. Dabei geht es vor allem um Anregungen im Bereich von 1 bis 15 Hertz, die von den Insassen im Fahrzeug oft als Vibrationen wahrgenommen werden und schlimmstenfalls sogar Schäden am Antriebsstrang verursachen können. Wie bei der Gemischbildung im Motor ist auch hier eine optimale Regelung entscheidend für die Systemfunktion, denn für eine wirksame Dämpfung muss der Elektromotor des Fahrzeugs zum richtigen Zeitpunkt und in der passenden Taktung angesteuert werden. Zudem darf die Gegenschwingung nicht zu stark ausgelegt sein, denn das zur Erzeugung der Gegenimpulse erforderliche Motormoment fehlt für den Vortrieb. Dadurch sind bei diesem Konzept Komfort und Fahrdynamik in direkter Wechselwirkung.

## OPTIMALE BALANCE FINDEN

Die Applikateure müssen bei der Auslegung der Schwingungsdämpfung daher eine optimale Balance zwischen Komfort und Sportlichkeit finden. Um das bestmögliche und Porsche-typische Ergebnis zu erzielen, werden für die Schwingungsdämpfung drei Kennfelder pro elektrisch angetriebener Achse gleichzeitig bedatet. Wegen der hohen Komplexität ist eine robuste Erstbedatung der Steuergeräte bei der manuellen Applikation mit hohem Aufwand verbunden. Erst danach können die Applikateure mit der Kalibrierungsfeinarbeit starten. „Ein Hauptziel von PERL war die Verkürzung dieses Zeitraums. Auch stand von Anfang an eine universelle Anwendungsmöglichkeit der KI für ganz unterschiedliche Fahrzeugplattformen und Derivate im Fokus“, sagt Maurice Hauß, Software-Ingenieur bei Porsche.

Um PERL einsetzen zu können, hat das Entwicklerteam von Porsche Engineering und Porsche zunächst aus einzelnen Prüfstandsdaten ein Modell der Fahrwerkphysik real auftretender Schwingungsprofile erstellt, das mittels neuronaler Netze erweitert wurde. „Das Hardwaremodell simuliert die Physik, und das künstliche neuronale Netz überbrückt die Genauigkeitslücke zwischen der realen Welt und der Simulation“, erklärt Skull. Im Anschluss kam die PERL-Kernmethodik zum Einsatz. Der KI-Agent wurde anhand eines großen Datensatzes und zufällig initialisierter Kennfelder am hybriden Modell trainiert, sodass eine gute Generalisierung der Strategie gewährleistet ist.

Nach Ende des aufwendigen Trainings dauerte es im Zieleinsatz nur wenige Sekunden, bis die fahrzeugspezifische Applikationsanpassung beendet war. Zudem ließ sich die Strategie der KI vom ursprüngli-

chen Fahrzeug ohne Änderungen und teilweise ohne fahrzeugspezifische Messungen auf weitere Derivate, auch mit anderen Antriebssträngen, übertragen. Die mit dem Einsatz von PERL verknüpften Erwartungen wurden damit weit übertroffen. „Bei neuen Varianten können wir dank PERL mit vorberechneten Daten in die Applikation starten, andere Nutzer von Testfahrzeugen können in dieser Zeit parallel an der Fahrzeugapplikation arbeiten und müssten nicht auf uns warten“, erklärt Tobias Roulet, Leiter Applikation E-Fahrzeuge bei Porsche. „In Summe können wir so ein bis zwei Wochen Applikationszeit einsparen. Zudem liefert PERL eine valide Vorbedatung, bei der ersten Inbetriebnahme des Antriebsstrangs besteht somit keine Gefahr von Schäden durch fehlerhafte Applikationsdaten.“

Das Kundenfazit fällt nach dem erfolgreichen Abschluss beider Kundenprojekte durchweg positiv aus. „PERL hat bewiesen, dass der Ansatz universell für alle Bedatungen anwendbar ist und dass KI den Aufwand und den Zeitbedarf in der Applikation deutlich reduzieren kann. Damit zahlt die neu entwickelte PERL-Methodik auf ein strategisches Ziel von Porsche Engineering ein: die Sicherstellung einer kurzen Lieferzeit von qualitativ hochwertigen Lösungen bei komplexen Aufgabenstellungen – zum Nutzen unserer Kunden“, so Bach. Eine Erweiterung der PERL-Nutzung bei Porsche ist schon in Planung. So soll das Programm beispielsweise für die Optimierung der Applikation der Nockenwellenlagerregelung eingesetzt werden. — ●



**„PERL hat bewiesen, dass der Ansatz universell für alle Bedatungen anwendbar ist und dass KI den Aufwand und den Zeitbedarf in der Applikation deutlich reduzieren kann.“**

**Dr. Matthias Bach**

Leiter HV-Batterie Applikation und Diagnose  
bei Porsche Engineering

## ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering nutzt Reinforcement Learning (RL) für die Applikation von Fahrfunktionen. Der neue Ansatz führt dazu, dass ein Großteil der Bedatung von der KI übernommen wird, erst am Ende gibt es den manuellen Feinschliff auf der Teststrecke. Zudem kann ein trainierter RL-Agent die Applikation mehrerer Fahrzeugderivate übernehmen. So verkürzt RL als Methode den Zeit- und Kostenaufwand in der Applikation erheblich.



**Geballte Expertise:** Albrecht Böttiger (links) und Jürgen Bortolazzi neben einem JUPITER-Versuchsfahrzeug.



# „Technisch führende Lösungen für das automatisierte Fahren“

Fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen erhöhen den Komfort und die Sicherheit. Jürgen Bortolazzi (Leiter Driver Assistance und Automated Driving bei Porsche) und Albrecht Böttiger (Leiter Advanced Driver Assistance Systems bei Porsche Engineering) sprechen im Interview über den aktuellen Stand der Technik und die Zukunft des Fahrens.

Text: Christian Buck  
Fotos: Núi Crew

## Welche Rolle werden Fahrerassistenzsysteme und das hochautomatisierte Fahren in Zukunft spielen – insbesondere für Porsche-Kunden?

- **BORTOLAZZI:** Porsche-Kunden erwarten von einem Fahrerassistenzsystem Unterstützung, Komfort und Sicherheit auf höchstem Niveau. Hier müssen und können wir technisch führende Lösungen anbieten – ebenso beim automatisierten Fahren. Hier gilt aber auch in Zukunft die Prämisse: Ein Porsche wird in erster Linie immer ein Selbstfahrerfahrzeug bleiben.
- **BÖTTIGER:** Wir sehen aber zunehmend, dass Porsche-Kunden in besonderen Situationen entlastet werden wollen – etwa im Stau oder bei der Suche nach einem Parkplatz. Denken wir etwa an die Situation in Großstädten wie Shanghai, Peking oder Los Angeles. Dort lässt sich ein Porsche nicht sportlich-dynamisch fahren wie auf einer malerischen Landstraße im Schwarzwald. Anstatt sich auf das „Stop and Go“ zu konzentrieren, würde vermutlich jeder gerne seine Zeit sinnvoll nutzen. Etwa mit Nebentätigkeiten, die beim aktiven Fahren nicht zulässig und nicht möglich sind.

## Sie haben gerade die gesetzlichen Anforderungen angesprochen. Sind diese weltweit harmonisiert oder gibt es sehr große Unterschiede?

- **BORTOLAZZI:** Hier sehen wir sehr große Unterschiede. Es gibt weltweite Regelungen, etwa die ECE-Regelungen der UN für die technischen

Anforderungen an Fahrzeuge, an denen sich viele Länder orientieren. Aber wir haben es auch stark mit länderspezifischen Ausprägungen zu tun. Vor allem China emanzipiert sich zunehmend und kommt mit eigenen Zulassungs- und Gesetzesvorgaben auf den Markt.

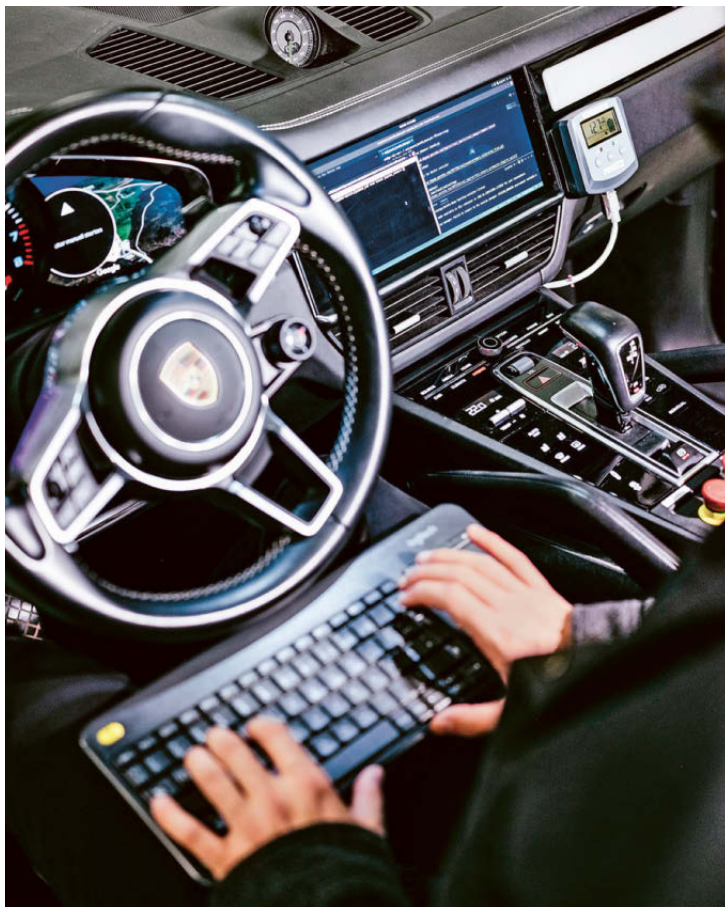
## Bei welchem Level des automatisierten Fahrens sind wir derzeit?

- **BORTOLAZZI:** Wir sind bei Stufe 2, also noch immer beim assistierten Fahren. Hier hat der Fahrer noch die volle Verantwortung. Aber wir arbeiten derzeit intensiv an einer Weiterentwicklung von Level 2, die vielfach auch als Level 2+ bezeichnet wird. In Zukunft kann der Fahrer die Hände vom Lenkrad nehmen. Gleichzeitig muss aber vom Fahrzeug überwacht werden, dass er jederzeit übernahmefähig bleibt. Das heißt, wir müssen überwachen, dass er die Augen auf der Straße hat, dass er das Verkehrsgeschehen weiter beobachtet und jederzeit wieder die Kontrolle übernehmen kann.

## Einige OEMs befinden sich gerade an der Grenze von Level 2 zu Level 3 des automatisierten Fahrens. Wie groß ist der Sprung von Level 2 auf Level 3?

- **BORTOLAZZI:** Es ist ein größerer Sprung, weil ein Redundanzpfad im Fahrzeug implementiert werden muss. Er übernimmt – zumindest für eine gewisse Zeit – die Fahraufgabe, wenn das Hauptsystem an seine Grenzen kommt oder ein Problem auftritt.

**Zukunftstechnologien im Praxistest:** Mit JUPITER hat Porsche Engineering eine skalierbare ADAS-Architekturplattform aufgebaut, um neue Technologien effizienter für eine Serienentwicklung vorzubereiten. Die Plattform wird im internationalen Software-Umfeld ständig weiterentwickelt.



Dahinter steht ein erheblicher Aufwand, auch in den umliegenden Systemen Bremse, Lenkung und Energieversorgung.

- **BÖTTIGER:** Wir sind relativ schnell von Level 1 zu Level 2 gekommen, also zum Beispiel von einer einfachen Längsführung zu einer kombinierten Längs- und Querverführung. Der Schritt hin zu Level 3 nimmt hingegen mehr Zeit in Anspruch – trotz der massiven Beschleunigung der Entwicklungsprozesse über eine datengetriebene Entwicklung. Das kommt vor allem von der erforderlichen Rückfallebene, die neben dem Materialaufwand in den Fahrzeugen auch einen großen Umsetzungsaufwand in der Entwicklung mit sich bringt.
- **BORTOLAZZI:** Bei Level 4 wird diese Rückfallebene noch deutlich ausgeprägter sein, sodass das Fahrzeug auch über einen längeren Zeitraum in einem Redundanzmodus bewegt werden kann. Hinzu kommt eine zusätzliche Redundanz – etwa im Antrieb, damit das Fahrzeug zum Beispiel selbstständig von der Autobahn abfahren kann.

**In den USA gibt es bereits Robotaxis ohne Fahrer. Sind die Hersteller dort den europäischen OEMs beim autonomen Fahren voraus?**

- **BÖTTIGER:** Hier muss zwischen den Anwendungsfällen unterschieden werden. Robotaxis haben

einen begrenzten Aktionsraum (Operational Design Domain) innerhalb von Städten, und die Fahrzeuge gehören Service-Providern oder Flottenbetreibern – so wie etwa heute auch schon fahrerlose Busse. Bei Fahrzeugen, die individuellen Kunden gehören und von diesen auch selbst bewegt werden, liegt der Schwerpunkt der Entwicklung auf dem entspannten Fahren auf der Autobahn oder im Stau und eben nicht auf dem fahrerlosen Fahren. Hier geht es vor allem um größere Distanzen. Daher gibt es hier Unterschiede bei der Ausrichtung. Wir können also nicht den Schluss ziehen, die US-Hersteller seien schon weiter, weil sie keinen Fahrer mehr brauchen.

**Wie sieht es bei den chinesischen Herstellern aus?**

- **BORTOLAZZI:** Nach unserer Beobachtung gehen chinesische Fahrzeughersteller sehr ambitioniert an das Thema Automatisierung heran. Dazu trägt sicher bei, dass es vom Staat gefördert und begünstigt wird. Wir erwarten in diesem Jahr beispielsweise eine Zulassungsgesetzgebung für Level 3. Die Ausprägung ist dort ebenfalls etwas anders: Die chinesischen Hersteller haben sehr viel Technologie an Bord, neben Sensortechnik auch Steuergeräte mit sehr hoher Rechenleistung. Es muss aber noch der Beweis angetreten werden, dass das tatsächlich zu sinnvollen Fahrzeugfunktionen führt.

**Auf welche Technologien setzen Sie bei der Entwicklung hochautomatisierter Fahrfunktionen?**

- **BORTOLAZZI:** Unsere heutigen Level-3- und Level-4-Konzepte sehen aus Sicherheitsgründen drei unabhängige physikalische Sensierungsprinzipien vor: Radar, Lidar und Kameras. Diese sind bewährt, haben aber durchaus noch Potenzial für weitere Verbesserungen, beispielsweise durch bildgebende Radare. Das sind hochauflösende Radare, die ähnlich wie ein Lidar ein dreidimensionales Bild der Umgebung erstellen.
- **BÖTTIGER:** Porsche Engineering hat – auch in Verbindung mit den internationalen Standorten – tiefgehende Kompetenzen bei allen drei Sensortypen. Wir haben aber auch die für Entwicklungen bis hin zu Level 4 notwendigen Kompetenzen im Bereich der Steuergeräteplattformen, inklusive zum Beispiel der Grafikressourcen und Beschleuniger für neuronale Netze. Die Verwendung von KI wird zunehmend unverzichtbar, besonders im Bereich der Umgebungswahrnehmung und der datengetriebenen Entwicklung – darauf haben wir uns mit einem eigenen, internationalen KI-Kompetenzzentrum konsequent ausgerichtet. Und wenn wir in Richtung der erforderlichen Prozesse, Methoden und Tools schauen: Wir stellen uns aktuell dafür auf, diese entlang des gesamten V-Modells, also vom Requirements Engineering über die Softwareentwicklung bis hin zur Absicherung und Freigabe abbilden zu können. Das ist ein Thema, das wir besonders vertiefen und als essenziell für eine erfolgreiche Freigabe vor Kunde betrachten.





**„Wir sehen zunehmend, dass  
Porsche-Kunden in besonderen  
Situationen entlastet werden  
wollen – etwa im Stau oder bei der  
Suche nach einem Parkplatz.“**

**Albrecht Böttiger**  
Leiter Advanced Driver Assistance Systems  
bei Porsche Engineering



#### **Dynamische Entwicklung:**

Mithilfe der JUPITER-Versuchsfahrzeuge lassen sich neue Funktionen und Algorithmen schnell erlebbar und überprüfbar machen.

#### **Was ist das Alleinstellungsmerkmal von Porsche Engineering, wenn wir auf den Entwicklungsprozess blicken?**

- **BÖTTIGER:** Wir sind in der Lage, für die End-to-End Entwicklung von ADAS-Funktionen neben Hardware und Realfahrzeugen insbesondere die virtuellen Tools entlang des gesamten V-Modells anzuwenden. Diese ermöglichen uns zum Beispiel, entstehende Funktionen zu simulieren und zu testen, bevor Steuergeräte als Hardware existieren. Eine weitere Stärke sind unsere weltweiten Standorte. Dort können wir zum Beispiel Hardware-in-the-Loop-Prüfstände betreiben und so rund um die Uhr den Testbetrieb, aber auch die Entwicklung fortführen. Fehler, die etwa in Shanghai entdeckt wurden, fließen sofort in ein Update ein, das danach in Europa getestet wird. Durch diese internationale Präsenz sind wir auch in der Lage, Realfahrten in den Märkten zu unterstützen. Das heißt: Wir können die lokal am Markt erforderliche Applikation und Absicherung mit physischen Erprobungsträgern vor Ort durchführen.

#### **Wie wird sich das Fahrzeug generell verändern, wenn das Fahren zunehmend von der Technik übernommen wird?**

- **BORTOLAZZI:** Das automatisierte Fahren erfordert eine höhere IT-Performance im Fahrzeug. Wir benötigen dafür Hochleistungsrechner an Bord, die Sensordaten verarbeiten und dann die Planung und Umsetzung der Route übernehmen. Es wird auch eine breitbandige Kommunikation des Fahrzeugs mit der digitalen Infrastruktur geben, in der beispielsweise elektronische Karten und Schwarmdaten abgelegt sind, also Bewegungsprofile und Verkehrsinformationen, aber auch Warnungen zu Unfällen. Zudem wird es die Vehicle-to-X-Kommunikation geben, sobald die entsprechenden Standards etabliert sind.
- **BÖTTIGER:** Besonders wichtig sind dafür die zahlreichen Komponenten, die integriert werden müssen. Hierfür muss Bauraum geschaffen werden, die Integration muss in der Regel ohne Einfluss auf das sichtbare Äußere des Fahrzeugs erfolgen. Möglicherweise können bestimmte Komponenten aber bewusst auch als Feature optisch hervorgehoben werden – dies ist ein Ansatz, den wir vielfach in anderen Märkten wie China beobachten: Dort werden teilweise Lidare nicht „versteckt“, sondern bewusst hervorgehoben.



**Wenn Sie es schon ansprechen: Wie lassen sich die neuen Fahrzeugfunktionen mit dem Styling verbinden?**

- **BORTOLAZZI:** Wir wollen Technik durchaus sichtbar machen – aber in einer Form, dass es wirklich gewollt aussieht. Die Design-Philosophie von Porsche ist sehr clean mit klaren Linien und nicht unterbrochenen Formen. Andererseits muss die optische Sensorik immer einen gewissen Sichtwinkel haben. Das sauber zu integrieren, ist tatsächlich eine große Herausforderung. Dabei arbeiten wir intensiv mit unseren Design- und Technikspezialisten im Karosserie-Bereich zusammen.

**Was bedeutet das hochautomatisierte Fahren für den Innenraum?**

- **BORTOLAZZI:** Unsere Vision ist es, unseren Kunden im automatisierten Fahrmodus ein adäquates Erlebnis im Innenraum zu ermöglichen. Je nachdem, ob der Fahrer Büroarbeit, Kommunikation oder Entertainment betreiben möchte, werden die Flächen im Fahrzeug beispielsweise durch Displays oder auch Projektionen nutzbar gemacht. Wichtig ist dabei aber immer der Sicherheitsaspekt: Wir müssen in jedem Fall den Insassenschutz gewähr-

leisten, denn beim automatisierten Fahren können Unfälle nicht zu 100 Prozent ausgeschlossen werden, beispielsweise durch das Fehlverhalten anderer Verkehrsteilnehmer. Die Passagiere müssen also auch in Relaxpositionen geschützt sein. Dafür brauchen wir intelligente Airbag- und neue Rückhaltesysteme, die in die Sitze integriert sind. Hinzu kommt eine hochpräzise Innenraum- und Insassenüberwachung, sodass das Fahrzeug genau erkennen kann, in welcher Position sich der Fahrer oder die Mitinsassen befinden und wie die optimale Auslösestrategie für diese Rückhaltemittel aussieht.

**Die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen ist sehr anspruchsvoll. Kooperiert Porsche hier mit anderen Unternehmen?**

- **BORTOLAZZI:** Ein wichtiger Partner ist Porsche Engineering, denn das Unternehmen hat über viele Jahre eine Reihe von grundlegenden Kompetenzen aufgebaut. Das gilt zum Beispiel für die datengetriebene Entwicklung, aber auch für das Thema Simulation. Ich möchte außerdem die Software-Entwicklungskompetenzen nennen, die wir gemeinsam weiter auf- und ausbauen. Hinzu

↓  
**Prof. Jürgen Bortolazzi** ist seit 2022 Leiter Driver Assistance und Automated Driving bei der Porsche AG. Daneben unterrichtet der promovierte Elektrotechnik-Ingenieur als Honorarprofessor am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).



**„Das automatisierte Fahren erfordert eine höhere IT-Performance im Fahrzeug. Wir benötigen dafür Hochleistungsrechner an Bord.“**

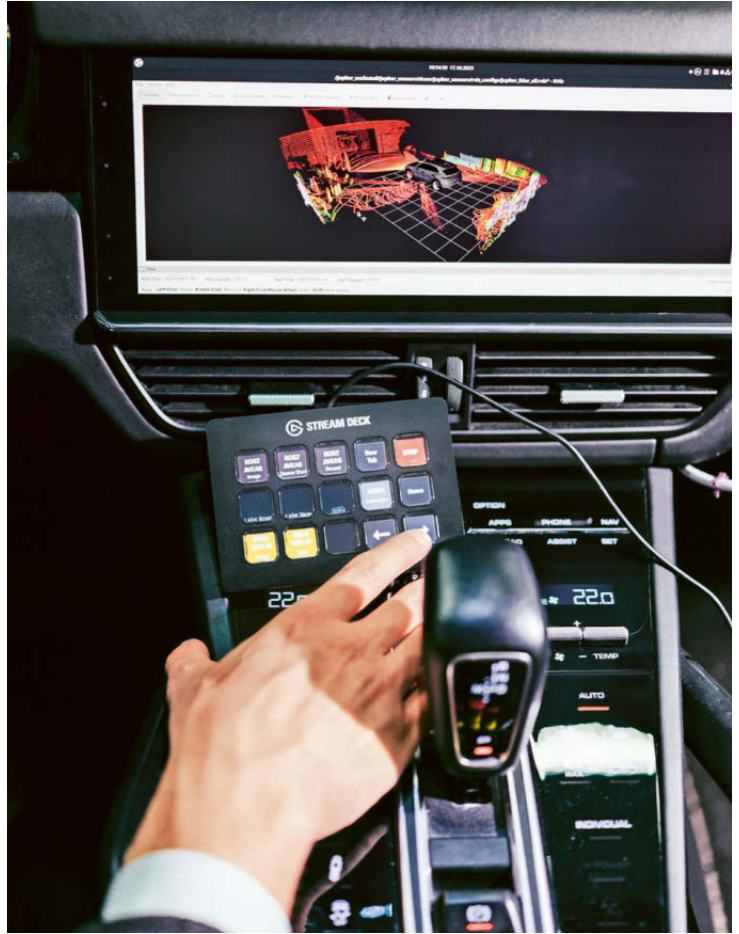
Jürgen Bortolazzi





## „Wir können die komplette End-to-End Entwicklung längs des V-Modells abbilden – und das unter Einsatz von Realfahrzeugen und virtuellen Werkzeugen.“

Albrecht Böttiger



kommen die Nearshore- und die internationalen Standorte von Porsche Engineering, die für uns sehr wichtig sind, weil wir aufgrund der unterschiedlichen Zulassungsbedingungen neue Systeme in vielen Regionen testen und absichern müssen. In all diesen Bereichen bietet uns Porsche Engineering hervorragende Unterstützung.

**Ein weiterer Partner ist Mobileye. Warum haben Sie sich gerade für die Zusammenarbeit mit diesem Unternehmen entschieden?**

- **BORTOLAZZI:** Mobileye ist derzeit einer der Technologieführer. Das Unternehmen zeichnet sich durch eine mehr als zehnjährige intensive Entwicklungstätigkeit im Bereich der Fahrerassistenzsysteme und des automatisierten Fahrens aus. Mobileye bietet neben einem Funktionsstack auch eine System-on-Chip-Lösung – bereits in der sechsten Generation – an, in die sehr viele Erfahrungen eingeflossen sind. Hinzu kommt ein komplettes digitales Ökosystem mit einer cloudbasierten Karte und einer effizienten Kopplung des Fahrzeugs mit dieser.

**Welche Meilensteine gibt es im Rahmen dieser Kooperation?**

- **BORTOLAZZI:** Wir haben seit einigen Jahren Kameras

in den Porsche-Fahrzeugen, die auf Mobileye-Technologie basieren. Jetzt kommt die neue Steuergeräteplattform hinzu. Sie bietet eine hochleistungsfähige Schnittstelle zur elektronischen Karte und eine stark erweiterte Sensorik – insbesondere den Kameragürtel, der 360 Grad überwacht.

**Zum Schluss die Frage: Fahren Sie lieber selbst oder lassen Sie sich fahren? Und worauf freuen Sie sich am meisten, wenn das Auto für Sie übernimmt?**

- **BÖTTIGER:** Wenn ich im 911 auf der Stülfser-Joch-Straße unterwegs bin, fehlt mir kein Level 3. Dann will ich selbst fahren. Ebenso im Schwarzwald. Sobald ich mich aber in der Stadt befinde, schalte ich schon heute den kombinierten Längs-Quer-Assistenten ein, der mir viel Entspannung und Komfort bietet. Wenn ich überhaupt nicht mehr selbst fahren müsste, würde ich im Internet surfen oder geschäftliche Dinge erledigen. Oder Sport und andere Videos schauen.
- **BORTOLAZZI:** Ich würde das automatisierte Fahren bevorzugt für den Weg ins Büro nutzen – etwa, um im Stau oder im Kolonnenverkehr auf der A8 morgens meine 50 Kilometer Arbeitsweg sinnvoll nutzen zu können. ●

↓  
**Albrecht Böttiger**  
ist seit 2023 Leiter Advanced Driver Assistance Systems bei Porsche Engineering. Zuvor hat sich der Diplom-Physiker seit 2010 bei der Porsche AG mit fortschrittlichen Fahrerassistenzsystemen und hochautomatisierten Fahrfunktionen beschäftigt.

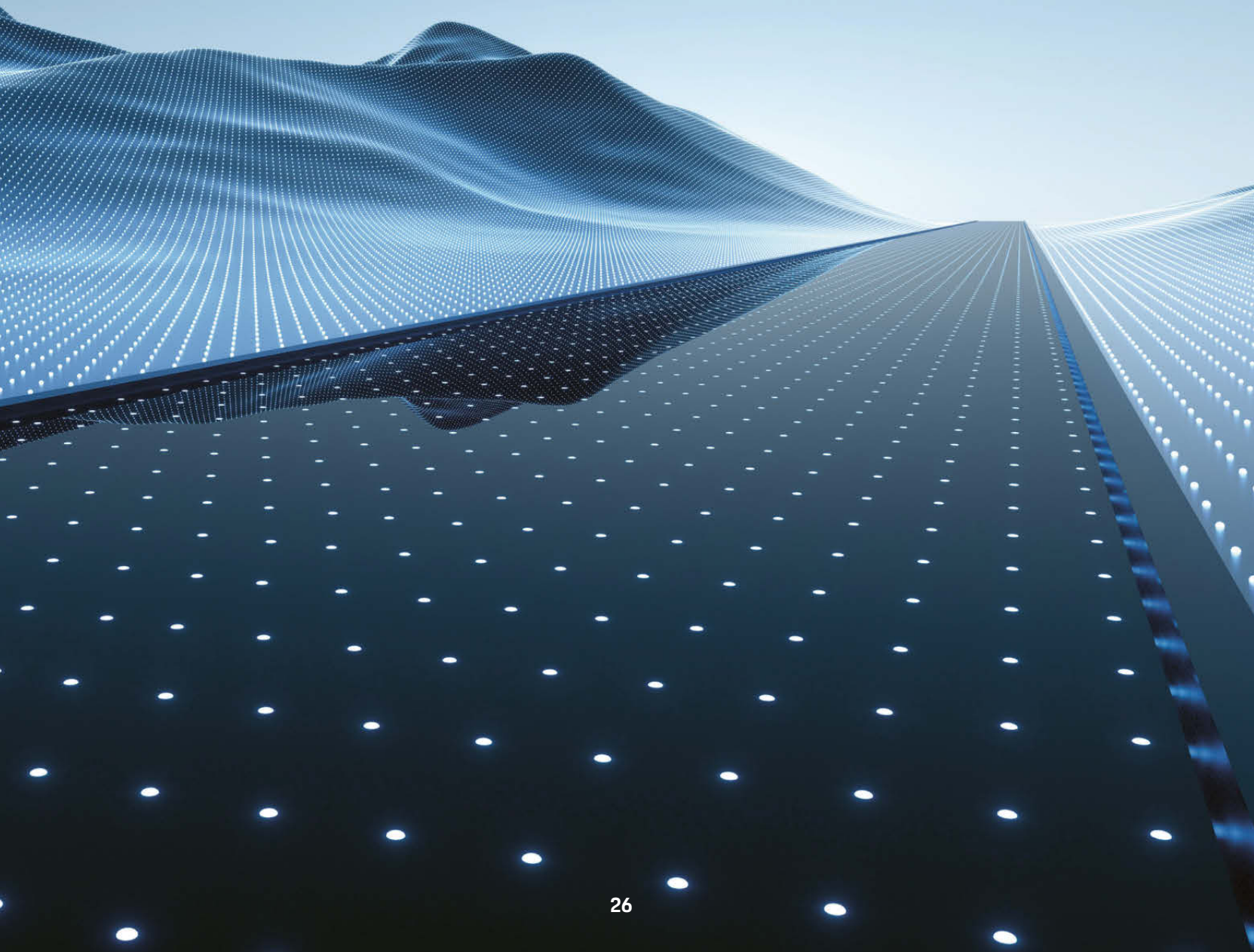


„Unsere Vision ist es,  
unseren Kunden im auto-  
matisierten Fahrmodus  
ein adäquates Erlebnis im  
Innenraum zu ermöglichen.“

Jürgen Bortolazzi  
Leiter Driver Assistance und  
Automated Driving bei Porsche



# Das Ziel ist der Weg





Virtuelle Absicherungen werden immer wichtiger, etwa um Fahrerassistenzsysteme oder vernetzte Fahrfunktionen entwicklungsbegleitend zu testen und abzusichern. Voraussetzung dafür sind Streckenmodelle, die Porsche Engineering mit einer eigenen Ende-zu-Ende-Toolkette für Kunden erstellt. Dahinter steht ein komplexer Prozess, für den gängige Kartendaten keineswegs ausreichend sind.

Text: Constantin Gillies

**B**evor der neue Porsche Cayenne im April letzten Jahres vorgestellt wurde, hatte der Prototyp schon vier Millionen Testkilometer absolviert. Doch das waren nur die Fahrten auf echten Straßen und Geländestrecken – ohne die simulierten Tests: Mittlerweile kommen auf jeden realen Testkilometer über 1.000 Kilometer, die im Computer gefahren werden. Die Ingenieure kreieren dafür einen Digitalen Zwilling des Fahrzeugs, der sich bei virtuellen Probefahrten in einer Simulationsumgebung am synthetischen oder hybriden Prüfstand (SiL, HiL, ViL) bewähren muss – vor allem in Situationen, die real nur selten auftreten oder zu gefährlich sind, um sie real zu testen: Wie reagiert zum Beispiel der Abstandstempomat, wenn sich direkt hinter einer Kurve ein Wildschwein auf der Fahrbahn befindet?

Gerade für die Absicherung von Fahrerassistenzsystemen und hochautomatisierten Fahrfunktionen ist es unerlässlich, solche sogenannten „Corner Cases“ in unzähligen Varianten und mit unterschiedlicher Kritikalität durchzuspielen. Dadurch wird eine Ressource immer wichtiger: virtuelle Straßen und Umgebungen. „Jede Funktion, die durch eine Simulation abgesichert werden soll, braucht ein Streckenmodell – einen Digitalen Zwilling von Straße und Umgebung“, erklärt Tille



**„Jede Funktion, die durch eine Simulation abgesichert werden soll, braucht ein Streckenmodell – einen Digitalen Zwilling von Straße und Umgebung.“**

**Tille Karoline Rupp**  
Leiterin der Fachdisziplin  
Simulation bei  
Porsche Engineering

Karoline Rupp, Leiterin der Fachdisziplin Simulation bei Porsche Engineering. Früher wurden solche Strecken oft manuell erstellt, doch auf diese Weise lässt sich der steigende Bedarf nicht decken – schließlich müssen auf dem Weg zum autonom fahrenden Auto viele Milliarden Testkilometer gefahren werden. „Ein hoher Automatisierungsgrad ist entscheidend“, so Rupp. Porsche Engineering hat eine eigene Ende-zu-Ende-Toolkette entwickelt, um aus verschiedenen Rohdaten – nahezu ohne manuelle Eingriffe – virtuelle Teststrecken zu erstellen.

Ausgangsmaterial für die Streckenmodellierung sind zum Beispiel hochauflösende Karten von Zulieferern oder Messfahrten, die Porsche Engineering selbst mit seinen JUPITER-Versuchsfahrzeugen durchführt (die Abkürzung steht für „Joint User Personalized Integrated Testing and Engineering Resource“). Karten von öffentlichen Diensten wie Google Maps sind für die Streckenmodellierung ungeeignet. „Wir gehen manchmal bis auf die Millimeter-Ebene hinunter und benötigen Informationen über Spur- und Fahrbahnbreite sowie dreidimensionale Querneigungen“, sagt Tobias Watzl, Entwicklungsingenieur und verantwortlich für die Streckenmodellierung. Da sich die Datenbasis von Land zu Land unterscheidet, ist eine lokale Präsenz

mitunter unverzichtbar. In China zum Beispiel gelten spezielle gesetzliche Vorgaben bei der Erfassung von Streckendaten. Dank seiner Teams in Shanghai und Peking kann Porsche Engineering einzelne Projektumfänge vor Ort übernehmen – immer in Zusammenarbeit mit den Experten an anderen Standorten.

## SCHRITTWEISER AUFBAU DER STRECKE

Im ersten Schritt wird aus dem Kartenmaterial ein logisches Modell der Straße abgeleitet. Es beschreibt ihren Verlauf analog zu den Straßenbaurichtlinien mithilfe mathematischer Formeln, meist Polynomgleichungen. Abgespeichert wird das logische Straßenmodell als ASAM OpenDRIVE®-Datei – ein Format, das die Standardisierungsorganisation ASAM e.V. (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) verwaltet und weiterentwickelt.

Im zweiten Schritt wird ein dreidimensionales Modell der Straße erzeugt – also eine visuelle Repräsentation, die sich nicht nur am Bildschirm betrachten lässt, sondern auch mit Sensormodellen interagieren kann. Diese virtuelle Teststrecke lässt sich beliebig verändern, Auffahrten können hinzugefügt oder unendliche Rundkurse erschaffen werden. Generische Strecken, die kein Vorbild in der Realität haben, werden zudem an die zu testende Fahrfunktion angepasst. Geht es zum Beispiel um einen Algorithmus zur Verkehrszeichenerkennung, stellt man entlang der Strecke zahlreiche verschiedene Schilder auf. Alternativ können die Ingenieure auch reale Strecken nachbilden – etwa die A8 von Stuttgart nach München. Solche sogenannten georeferenzierten Strecken werden zum Beispiel benötigt, wenn die zu testende Funktion eine interne Karte nutzt.

Das 3D-Modell beschränkt sich zunächst auf die Straße. Doch um kamerabasierte Funktionen wie die Spurerkennung optimieren zu können, muss die digitale Strecke wie in der Wirklichkeit aussehen. Dafür erhält sie eine virtuelle Umgebung. Porsche Engineering hat dafür die 3D-Grafiksoftware Houdini in seine Pipeline integriert, die auch in der Filmindustrie verwendet wird. Damit lassen sich zum Beispiel realistisch aussehende Bäume oder Häuser entlang der Strecke generieren. Die Informationen darüber, wo sich welche Objekte entlang der Straße befinden, stammen unter anderem vom offenen Kartendienst OpenStreetMap (OSM).

Eine fotorealistische digitale Straße zu erschaffen, ist allerdings aufwendig. „Wenn alle Eingangsdaten stimmen, sind für ungefähr zehn Kilometer eine Stunde Rechenzeit nötig“, berichtet Watzl. Dabei müssen die Ingenieure einen Spagat schaffen: Das Streckenmodell braucht ausreichend Details, um die jeweilige Fahrfunktion sicher überprüfen zu können, darf aber nicht zu groß werden, weil es sonst unter Umständen zu viel



**„Wir gehen manchmal bis auf die Millimeter-Ebene hinunter und benötigen Informationen über Spur- und Fahrbahnbreite sowie dreidimensionale Querneigungen.“**

**Tobias Watzl**  
Entwicklungsingenieur bei  
Porsche Engineering



**„Wir brauchen gemeinsam definierte Qualitätsanforderungen, um die besten verfügbaren Tools zu einer zuverlässigen Toolkette verbinden zu können.“**

**Marcel Langer**  
Product Owner Simulation  
and Testing bei CARIAD

Rechenleistung erfordert. Damit die Simulation am Schluss flüssig läuft, lässt man zum Beispiel weit entfernte, nicht relevante Objekte weg oder vereinfacht ihr Aussehen stark.

## AUTOMATISIERTE TOOLKETTE ENTWICKELT

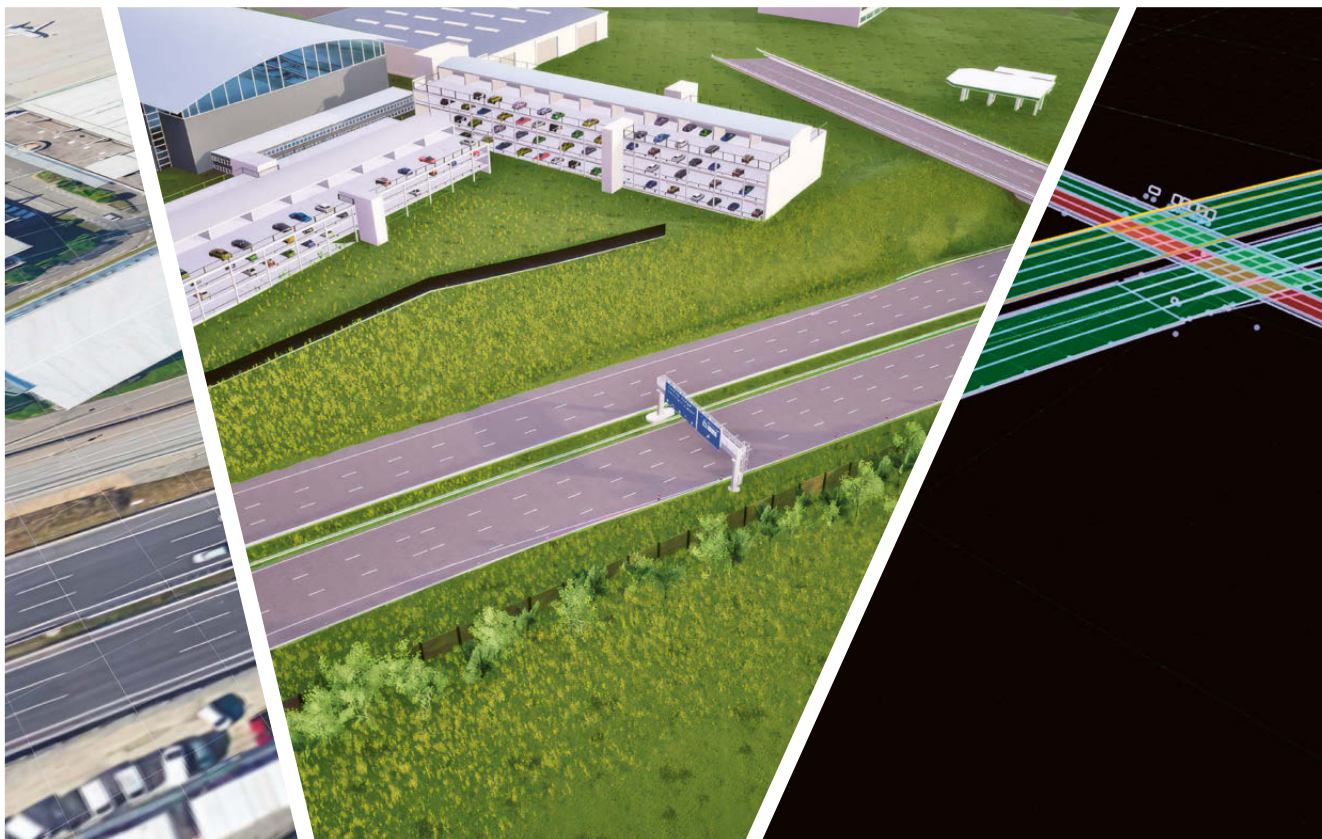
Entscheidend für die effiziente Streckenmodellierung ist ein möglichst hoher Automatisierungsgrad. Deshalb hat das internationale Team von Porsche Engineering eine eigene Ende-zu-Ende-Toolkette entwickelt: Alle Schritte von den logischen Streckendaten bis zum fertigen 3D-Modell mit Umgebung laufen automatisch ab. Dafür ist viel digitale Intelligenz nötig: Angenommen, das logische Streckenmodell zeigt keinerlei Steigung an, in den Höhendaten des Bodens sind jedoch 70 Meter verzeichnet, muss der Algorithmus erkennen, dass sich an dieser Stelle ein Tunnel befindet, und dem 3D-Modell eine passende Tunnelröhre hinzufügen.

Eine große Rolle spielt auch die Qualitätssicherung und Nutzung der Daten in verschiedenen Simulationsumgebungen ohne große Anpassungen. „Wir überprüfen die Daten semantisch hinsichtlich der Fahrbarkeit, Importierbarkeit und Standardkonformität“, betont Rupp. Automatisch erkannt werden müssen zum Beispiel Sprünge in der Straßengeometrie, die aufgrund von Messfehlern entstehen können. Neben Befahrbarkeitstests in den jeweiligen Simulationsumgebungen wird ein Qualitätsüberprüfungstool von CARIAD genutzt. Damit wird überprüft, ob eine ASAM OpenDRIVE®-Datei standardkonform ist und sich problemlos in der gewünschten Simulationsumgebung verwenden lässt.

Gemeinsam mit CARIAD und ASAM hat Porsche Engineering eine Initiative gestartet, die die Austauschbarkeit der Standards und ihre Überprüfung ermöglichen will. Im hieraus entstandene Projekt „ASAM Quality Checker“ wird gemeinsam mit weiteren Projektpartnern als wichtige Grundlage zur Verbesserung der Austauschbarkeit von Standards ein Überprüfungsframework entwickelt werden. „Skalierbare Simulationslösungen kann es nur mit Standards geben, die einheitlich interpretiert und implementiert werden“, betonen Marius Dupuis, Vorstandsvorsitzender (CEO) von ASAM, und Technikvorstand (CTO) Ben Engel. „Ohne Standards ist die Welt unbeschreiblich.“ Diese Einschätzung wird von Anwenderseite bestätigt: „Zusätzlich zu den Standards brauchen wir gemeinsam definierte Qualitätsanforderungen, um die besten verfügbaren Tools zu einer zuverlässigen Toolkette verbinden zu können“, sagt Marcel Langer, Product Owner Simulation and Testing bei CARIAD. Bei der modellseitigen Anpassung an die Simulationsumgebung kann Porsche Engineering seine Stärken ausspielen.



## VON REAL ZU REALISTISCH: ZWEI KOMPONENTEN DER STRECKENMODELLIERUNG



Streckenmodelle stellen ein Abbild einer meist real existierenden Wirklichkeit dar (Luftaufnahme links). Sie bestehen aus zwei hinsichtlich Geometrie und Inhalt übereinstimmenden Komponenten: erstens einer logisch-mathematischen Beschreibung des Straßennetzes und von Objekten (rechts)

sowie einem 3D-Modell des fahrbaren Bereichs und der Umgebung (Mitte). Streckenmodelle sind essenzieller Bestandteil für die virtuelle Absicherung und das entwicklungsbegleitende Testen an synthetischen und hybriden Prüfständen (SiL, HiL, ViL).

„Wir kennen die Anforderungen an die Simulationen genau, weil wir sie selbst entwickeln und in Kundenprojekten erfolgreich zum Einsatz bringen“, betont Rupp. Ein Beispiel sind sogenannte Hardware-in-the-Loop-Systeme, die es ermöglichen, die Funktion eines realen Steuergeräts in einem virtuellen Fahrzeug mit entsprechender Umgebung und umliegendem Verkehr zu testen. So lässt sich der Bedarf an Realtests verringern. Porsche Engineering setzt viele solcher HiL-Systeme ein.

### WEITER MIT WETTER UND KI

Je weiter es in Richtung hochautomatisiertes Fahren geht, desto umfangreicher und detaillierter müssen die virtuellen Teststrecken in Zukunft sein. „Es gibt noch jede Menge Potenzial“, sagt Watzl. Ein Beispiel: Derzeit herrscht im virtuellen Verkehrsraum immer Sommer – die Strecken sind sauber und trocken. „In Zukunft könnte man eine Winter-Variante einführen,

↓  
Ungefähr  
**1h**  
Rechenzeit ist  
für 10 km  
virtuelle Strecke nötig.

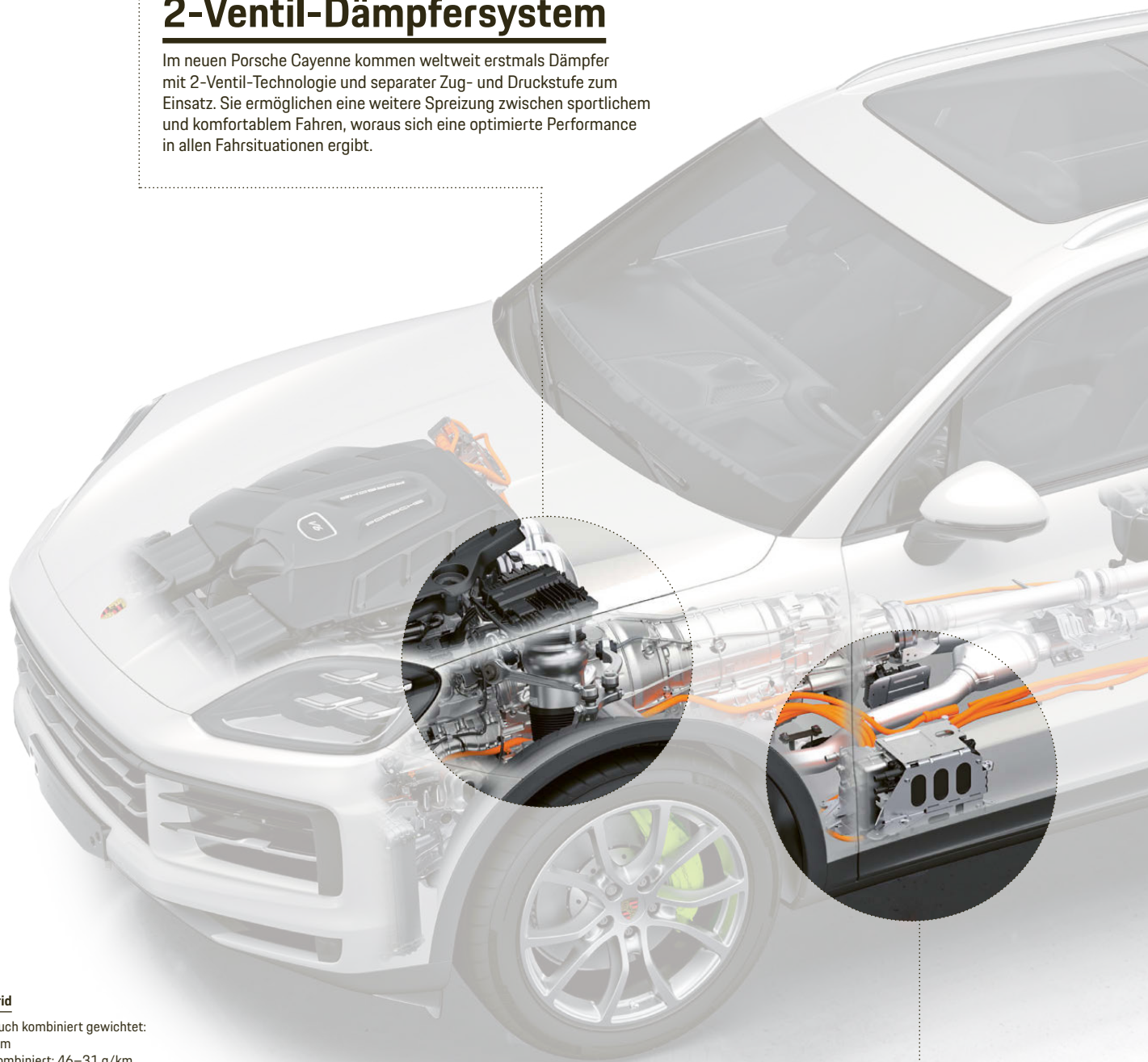
mit Schneehaufen am Straßenrand, die die Fahrbahnmarkierungen verdecken“, so Watzl. Wichtig ist dabei, dass Schneehaufen, aber auch zum Beispiel Blätterhaufen oder Pfützen nicht nur optisch dargestellt, sondern auch ihre physikalischen Eigenschaften korrekt abgebildet werden. Denn es gibt einen entscheidenden Unterschied zwischen der optischen und der physikalischen Erkennung für die Sensoren – und damit auch einen Unterschied, wie die Fahrerassistenzsysteme reagieren.

Um den Detaillierungsgrad weiter erhöhen zu können, nutzt Porsche Engineering auch die interne Expertise in Sachen Künstlicher Intelligenz. „KI kann automatisch Satellitenbilder analysieren und Informationen über Landschaft oder Bebauung liefern“, gibt Rupp als Beispiel. Außerdem lässt sich die Technik nutzen, um aus Videoaufnahmen automatisch Elemente wie Verkehrsschilder zu extrahieren. Das könnte die Anpassung eines Streckenmodells an ein anderes Land deutlich beschleunigen. ●

# 1.

## 2-Ventil-Dämpfersystem

Im neuen Porsche Cayenne kommen weltweit erstmals Dämpfer mit 2-Ventil-Technologie und separater Zug- und Druckstufe zum Einsatz. Sie ermöglichen eine weitere Spreizung zwischen sportlichem und komfortablem Fahren, woraus sich eine optimierte Performance in allen Fahrsituationen ergibt.



### Cayenne E-Hybrid

Kraftstoffverbrauch kombiniert gewichtet:

2,0–1,4 l/100 km

CO<sub>2</sub>-Emission kombiniert: 46–31 g/km

Stromverbrauch kombiniert (gewichtet):

31,8–28,6 kWh/100 km

Elektrische Reichweite WLTP (EAER): 66–78 km

Elektrische Reichweite WLTP innerorts

(EAER city): 76–90 km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 11/2023

# 3.

## Pulswechselrichter

Durch die Verringerung seiner Taktfrequenz steigt der Wirkungsgrad des Pulswechselrichters, und man kann aus dem Motor zehn Prozent mehr Leistung herausholen. Mögliche Störgeräusche werden durch ein künstliches Rauschen um die Trägerfrequenz vermieden.





## 2.

### Bremssystem

Der neue Porsche Cayenne soll möglichst rekuperativ bremsen, um seine elektrische Reichweite zu vergrößern. Die hydraulische Reibbremse kommt beispielsweise ins Spiel, wenn die Verzögerung des E-Motors nicht ausreicht. Die Software des elektronischen Bremskraftverstärkers sorgt dafür, dass man keinen Übergang spürt.

# Integration mit System

Die optimale Integration von Software ins Fahrzeug bestimmt entscheidend über die Performance und das Kundenerlebnis. So auch beim neuen Porsche Cayenne, für den Porsche Engineering gemeinsam mit Porsche und Zulieferern große Teile von Antrieb und Fahrwerk entwickelt hat. Dank innovativer Hardware und maßgeschneiderter Software bietet der Luxus-SUV das Porsche-typische Fahrerlebnis.

Text: Christian Buck



## „Eine unserer zentralen Aufgaben ist die Systemintegration. Dazu gehören die Implementierung von Code auf Steuergeräten sowie die Applikation und Absicherung neuer Funktionen.“

**Eva-Verena Ziegahn**  
Leiterin des Fachbereichs Fahrsystem  
bei Porsche Engineering

**S**oftware wird zunehmend zum bestimmenden Faktor im Fahrzeug, denn sie ermöglicht neue Funktionen und trägt immer mehr zur Wertschöpfung bei. Allerdings hängt das Kundenerlebnis nicht ausschließlich vom Können der Programmierer ab – es kommt darüber hinaus auch entscheidend darauf an, Software und Fahrzeug-Hardware so zu kombinieren und aufeinander abzustimmen, dass sich eine optimale Performance ergibt. Das gilt insbesondere für die Bereiche Antrieb und Fahrwerk, die das Fahrerlebnis maßgeblich beeinflussen. Porsche Engineering hat darum den neuen Fachbereich „Fahrsystem“ gegründet, in dem Experten für Hard- und Software in den Themenfeldern Fahrwerk und Antrieb eng zusammenarbeiten. Das Team ist in der Lage, Gesamtsysteme zu entwickeln und zu integrieren – von den Anforderungen über die Entwicklung von Funktionen, Software und Aktuatoren bis hin zu Applikation, Test und Absicherung.

### FOKUS AUF SYSTEMINTEGRATION

„Eine unserer zentralen Aufgaben ist die Systemintegration“, sagt Eva-Verena Ziegahn, Leiterin des Fachbereichs Fahrsystem. „Dazu gehören die Implementierung von Code auf Steuergeräten sowie die Applikation und Absicherung neuer Funktionen.“ Bei der Entwicklung des Porsche Cayenne hat Porsche Engineering zahlreiche Entwicklungsumfänge übernommen, die nahtlose Integration von Hard- und Software stand beim Antrieb und Fahrwerk von Anfang an im Mittelpunkt. „Der Cayenne zeichnet sich durch die hohe Spreizung von Fahrkomfort und Sportlichkeit aus“, erklärt Ziegahn. „Dies wird beispielsweise bei der aktiven Wankstabilisierung durch eine innovative Software und Parametrierung sowie die Integration in das Gesamtfahrwerk erreicht. Dabei müssen wir die komplexen Wechselwir-

kungen im Fahrwerk berücksichtigen, wo Allradantrieb, Vorder- und Hinterachslenkung, Bremssystem und der elektrische Antrieb das Fahrerlebnis beeinflussen.“

Als Beispiel für ein gelungenes Zusammenspiel von Hard- und Software nennt Ziegahn die Entwicklung und Applikation einer Innovation im Fahrwerk: Im Luxus-SUV kommen erstmals Dämpfer mit 2-Ventil-Technologie und separater Zug- und Druckstufe zum Einsatz. Sie wurden von Porsche Engineering gemeinsam mit einem Lieferanten entwickelt und ermöglichen eine weitere Spreizung zwischen sportlichem und komfortablem Fahren, woraus sich eine optimierte Performance in allen Fahrsituationen ergibt. Die innovative Hardware machte sich auch bei den Anforderungen an die Software-Entwicklung bemerkbar: „Durch die neuen 2-Ventil-Dämpfer mussten die Reglerkomponenten geändert und neue Schnittstellen zur Basissoftware geschaffen werden“, berichtet Fabian Heitkamp, verantwortlicher Entwicklungsingenieur bei Porsche für die Elektronische Fahrwerksplattform (EFP). „Darüber hinaus konnten wir auch beim Steuergerät und der Basissoftware nur wenig vom Vorgängermodell übernehmen. Kurz gesagt: Kein Stein ist auf dem anderen geblieben.“

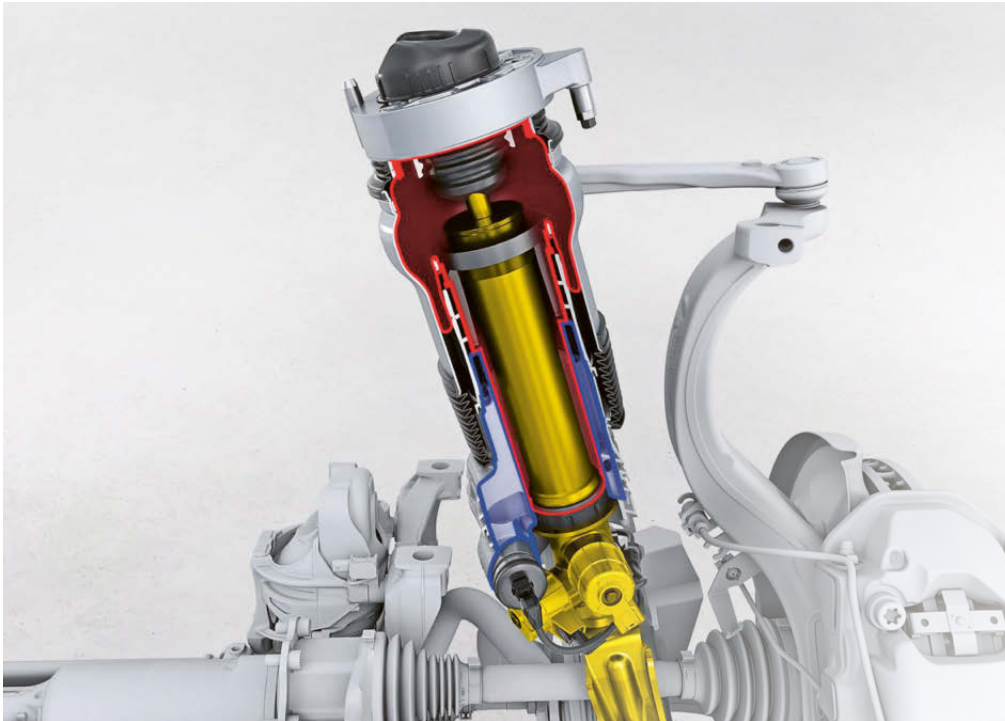
### KOOPERATION MIT CARIAD

Porsche Engineering übernahm die Bauteilverantwortung für das neue Steuergerät und koordinierte gemeinsam mit Porsche auch die Entwicklung der neuen Basissoftware beim Lieferanten. „Außerdem haben wir die Verantwortung für die komplette Funktionssoftware übernommen“, erklärt Marcus Schmid, Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering und zuständig für das Integrationsmanagement. „Wegen der höheren Komplexität des neuen 2-Kammer-Luftfeder-/2-Ventil-

**Die EFP ist das zentrale Steuergerät für das Fahrwerk.** Sie erfasst die Geschwindigkeit, die Höhenwerte, die Vertikal-, Wank- und Nickbewegungen des Autos, den Reibwert der Fahrbahn, den aktuellen Fahrzustand wie Unter- oder Übersteuern sowie die Daten der beteiligten Fahrwerksysteme. Daraus errechnet sie die optimale Arbeitsweise dieser Komponenten und stimmt sie schnell und präzise aufeinander ab. Durch die zentrale Steuerung erlebt der Kunde eine stärkere Ausprägung der Fahreigenschaften – präzises Kurvenverhalten, gesteigerte Fahrdynamik und hohen Fahrkomfort.



## 2-VENTIL-DÄMPFERSYSTEM INNOVATIVE PERFORMANCE



Das neuartige **2-Ventil-Dämpfer-system** hat Porsche Engineering gemeinsam mit einem Lieferanten entwickelt. Die innovative Hardware machte auch umfangreiche Änderungen an der Software für das Steuergerät erforderlich: Wegen der höheren Komplexität der Komponente sowie der gemeinsamen Entwicklung für weitere Baureihen werden nun 17 statt wie bisher 10 Funktionen benötigt. Um den engen Zeitplan einhalten und die hohe Komplexität beherrschen zu können, prüften die Entwickler die neue Software, lange bevor das neue Steuergerät und die neue Basissoftware zur Verfügung standen.



**„Wegen der höheren Komplexität sowie der gemeinsamen Entwicklung für weitere Baureihen benötigten wir 17 statt wie bisher 10 Funktionen.“**

**Marcus Schmid**  
Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering

Dämpfer-Systeme sowie der gemeinsamen Entwicklung für weitere Baureihen benötigten wir 17 statt wie bisher 10 Funktionen, von denen ein Teil von uns und ein anderer Teil von CARIAD kam.“

Um den engen Zeitplan einzuhalten und die hohe Komplexität beherrschen zu können, prüften die Entwickler die neue Software, lange bevor das neue Steuergerät und die neue Basissoftware zur Verfügung standen. „Wir versuchen, die Kommunikation und das Zusammenspiel der verschiedenen Funktionen so früh wie möglich per Hardware-in-the-Loop (HiL) oder am Prüfstand zu testen“, erklärt Ziegahn. „Bei Porsche Engineering haben wir an unseren verschiedenen Standorten dafür ein internationales Team aufgebaut, das uns schon früh unterstützt – sowohl bei der Funktionsentwicklung als auch beim HiL-Testing.“ Wie wichtig solche Methoden sind, betont auch Michael Becker, Projektleiter Fahrwerk Cayenne bei der Porsche AG: „Wir hätten ohne diese Methoden gar keine Chance mehr, denn es ist unmöglich, eine Software-Version aufs Auto zu spielen und gleich damit loszufahren. Mit HiL-Tests können wir zum Beispiel prüfen, ob die einzelnen Software-Komponenten überhaupt zusammen funktionieren. Und wir dürfen nicht vergessen, dass es im Fahrwerk viele Punkte gibt, die gesetzrelevant sind.“



**„Wir hätten ohne Methoden wie HiL gar keine Chance mehr, denn es ist unmöglich, eine Software-Version aufs Auto zu spielen und gleich damit loszufahren.“**

**Michael Becker**  
Projektleiter Fahrwerk Cayenne bei Porsche

Schon in frühen Entwicklungsphasen konnten die Entwickler dank virtueller Methoden viele Optimierungen vornehmen, sodass im späteren Entwicklungsprozess der Feinschliff an erster Stelle stand. Das ist auch in Zukunft entscheidend, da die Komplexität der Systeme und Komponenten immer weiter zunimmt. Zu Beginn wurden dabei Model-in-the-Loop-Tests (MiL) durchgeführt, bei denen das Verhalten der Matlab/Simulink-Modelle untersucht wurde, aus denen später der Code generiert werden sollte. Dieser musste dann bei Software-in-the-Loop-Tests (SiL) beweisen, dass er den Anforderungen entsprach. Anschließend folgten Processor-in-the-Loop-Tests (PiL), bei denen der Code auf einem Mikroprozessor lief, der dem später im Steuergerät eingesetzten Modell sehr ähnlich war. Sobald das neue Steuergerät und die neue Basissoftware zur Verfügung standen, folgten Tests auf Hardware-in-the-Loop-Prüfständen.

„Porsche Engineering konnte hier die komplette Kette abdecken – von der Funktionsentwicklung über die Implementierung der Funktionen in die Basissoftware bis hin zu den Tests und zur Integration ins Fahrzeug“, betont Heitkamp. Ermöglicht wurde das durch ein internationales Team, in dem alle erforderlichen Kompetenzen vorhanden waren. Experten aus

## **BREMSSYSTEM UNMERKLICHER ÜBERGANG**



Das **Bremssystem** besteht aus zwei Komponenten: der hydraulischen Reibbremse und dem E-Motor. Für den Übergang („Blending“) zwischen den beiden ist die Rekuperationsfunktion zuständig. Außerdem gleicht sie Eigenschaften der Reibbremse aus, die sich verändern – etwa aufgrund von Temperaturschwankungen oder Verschleiß. Eine besondere Herausforderung bestand darin, dass die Berechnungen auf verschiedenen Steuergeräten laufen. Darum konnte die Software für das Bremssystem nur im Steuergeräte-Verbund appliziert werden.



Deutschland, Tschechien und Rumänien übernahmen in vernetzten Teams die Code-Generierung und Entwicklung von Funktionen sowie deren Test und Absicherung, unter anderem mittels SiL- und HiL-Tests sowie Test-automatisierung. „Porsche Engineering hat die benötigten Ressourcen immer punktgenau bereitgestellt“, berichtet Heitkamp. „So konnten wir das Projekt trotz aller Herausforderungen pünktlich ins Ziel bringen.“

## UNMERKLICHES BLENDING VON REIB- UND REKUPERATIVER BREMSE

Auch beim Bremssystem für den neuen Cayenne stand das Zusammenspiel von Hard- und Software im Fokus der Entwickler. Ihre Aufgabe: Der Fahrer soll das bestmögliche Pedalgefühl haben und insbesondere nicht spüren, welchen Anteil jeweils die hydraulische Reibbremse und welchen Anteil der E-Motor an der Verzögerung des Fahrzeugs hat. Für dieses „Blending“ zwischen hydraulischer Reibbremse und rekuperativem Bremsen ist die Rekuperationsfunktion zuständig. Wie genau der Mix aussieht, hängt von vielen Einflussfaktoren ab. „Grundsätzlich besteht unser Ziel darin, möglichst viel rekuperativ zu bremsen und so den durchschnittlichen Energiebedarf des Fahrzeugs

bestmöglich zu senken und damit unter anderem auch die elektrische Reichweite des Fahrzeugs zu vergrößern“, erklärt Lisa Helbig, Entwicklungsingenieurin für Brems- und Lenksysteme bei Porsche Engineering. „Die hydraulische Reibbremse kommt beispielsweise ins Spiel, wenn die Verzögerung des E-Motors nicht ausreicht oder wenn das Fahrzeug durch die Rekuperation an der Hinterachse instabil werden könnte.“

Der Software-Verbund des Bremssystems trägt auch dazu bei, sich verändernde Eigenschaften der Reibbremse bestmöglich auszugleichen. Dabei wird sowohl die Temperatur berücksichtigt als auch der Verschleiß der Bremse über die Laufzeit. Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass die Algorithmen auf verschiedenen Steuergeräten laufen, weshalb die Software für das Bremssystem nur im Steuergeräte-Verbund appliziert werden konnte. Während die Software für den eBKV von einem Zulieferer stammte, übernahm Porsche Engineering die Bedatung der Funktionen und deren Tests. Als letzter Schritt folgte die Abnahme der Fahrzeuge gemeinsam mit Porsche.

## DEUTLICH BESSERES PEDALGEFÜHL

„Wir haben unser Ziel erreicht: Der Fahrer spürt keine Wechselwirkung beim Übergang zwischen rekuperativer und hydraulischer Bremsung“, resümiert Alexandros Athanasiadis, der bei Porsche für die Freigabe verantwortlich war. „Im Vergleich zum Vorgänger konnten wir das Blending noch weiter optimieren. Am Ende werden wir am Pedalgefühl gemessen, das wir mithilfe der Software optimal gestalten konnten.“ Als ein Beispiel dafür nennt er die neue „Kältekenntlinie“ für die Reibbremse. Sie sorgt für eine größere Bremskraftverstärkung beim Losfahren, wenn die Bremsen noch kalt sind – und damit für das gewünschte gleichbleibende Pedalgefühl. Neben dem Komfort verbessert sich auch die Effizienz des Cayenne durch die neue Auslegung der Rekuperationsfunktion: Die Verzögerungsleistung der Rekuperation des neuen Cayenne wurde auf bis zu 88 kW erhöht, was einer Steigerung um rund 30 Prozent entspricht. Zudem lässt sich die Rekuperation erstmals bis fast zum Stillstand des Fahrzeuges nutzen, bisher lag die Grenze bei 14 km/h.

Bis zu

**88  
kW**

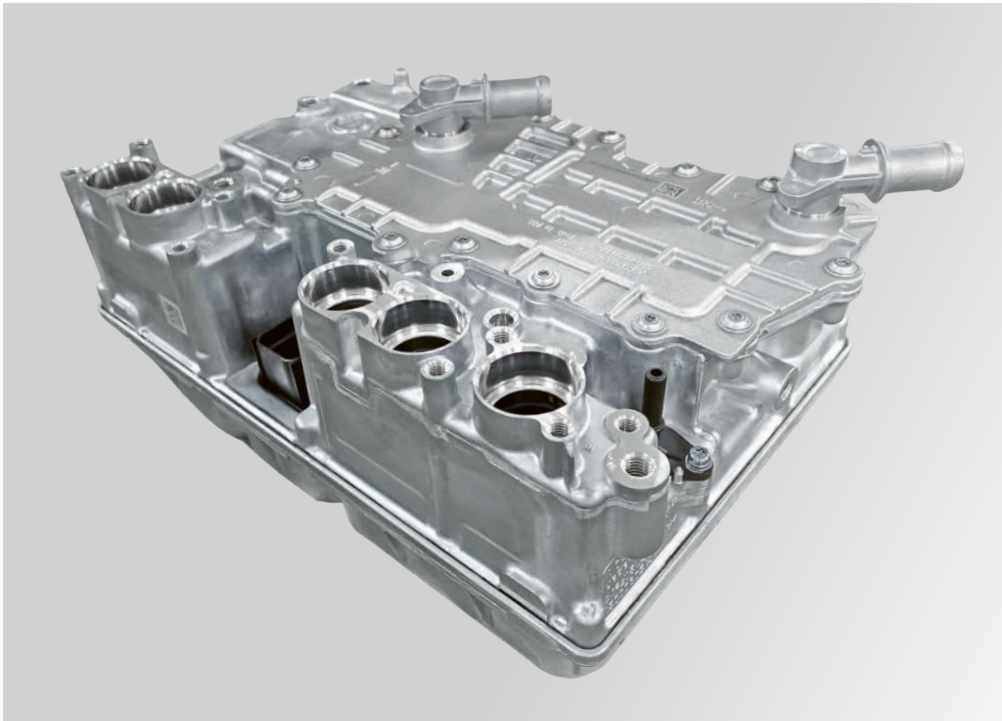
Verzögerungsleistung kann der neue Cayenne beim rekuperativen Bremsen liefern. Das sind 30 Prozent mehr als beim Vorgänger.



**„Porsche Engineering hat die benötigten Ressourcen immer punktgenau bereitgestellt.“**

**Fabian Heitkamp**  
Entwicklungsingenieur bei Porsche

## PULSWECHSELRICHTER FLÜSTERLEISE BEI OPTIMISierter EFFIZIENZ



### Erzeugung von Trainingsdaten

Der **Pulswechselrichter** versorgt den E-Motor je nach Leistungsanforderung des Fahrers mit Energie. Die Gleichspannung der Hochvoltbatterie wird dafür mit hoher Frequenz ein- und ausgeschaltet. Das Verhältnis von Ein- zu Ausschaltzeit bestimmt die Leistung des Motors. Durch eine Verringerung dieser Frequenz steigt der Wirkungsgrad der Elektronik – zugleich können aber auch störende Geräusche auftreten. Um das zu vermeiden, wird sie durch Rauschen zufällig variiert. So kann sich keine einzelne Frequenz bemerkbar machen.



**„Grundsätzlich ist es unser Ziel, möglichst viel rekuperativ zu bremsen und so die elektrische Reichweite des Fahrzeugs zu vergrößern.“**

**Lisa Helbig**  
Entwicklungsingenieurin bei Porsche Engineering

### RAUSCHEN UNTERDRÜCKT GERÄUSCHE

Neben dem neuen Dämpfersystem und der hybriden Bremse beschäftigte sich Porsche Engineering im Rahmen der Entwicklung auch mit dem Pulswechselrichter (PWR) des neuen Cayenne, an dessen Entwicklung, Test und Absicherung das Unternehmen von Anfang an beteiligt war. Hier kam es vor allem darauf an, den Übergang vom Verbrennungs- zum E-Motor für den Fahrer unmerklich zu gestalten und gleichzeitig die Leistung des Fahrzeugs zu steigern. Der neu entwickelte PWR zeichnet sich unter anderem durch eine variable Schaltfrequenz und unterschiedliche Modulationsverfahren aus, die je nach aktuellem Betriebspunkt optimiert werden. „Durch die Verringerung der Taktfrequenz steigt der Wirkungsgrad des PWR, und wir können aus dem Motor zehn Prozent mehr Leistung herausholen – nur durch eine intelligente Ansteuerung per Software“, erklärt Pascal Heusler, Leiter Pulswechselrichter Software und Applikation bei Porsche. „Aus akustischer Sicht entsteht dabei ein Nachteil, denn diese Vorgehensweise ruft Geräusche hervor. Die Lösung dafür ist die Erzeugung eines künstlichen Rauschens um die Trägerfrequenz, welches dieses Motorengeräusch verwässert.“





## „Der Fahrer spürt keine Wechselwirkung beim Übergang zwischen rekuperativer und hydraulischer Bremsung.“

**Alexandros Athanasiadis**  
Entwicklungsingenieur bei Porsche

Dieser Lösungsansatz lässt sich allerdings nicht für jeden Arbeitspunkt anwenden. Die Idee: Der Regler muss innerhalb von wenigen Millisekunden reagieren und die Schaltfrequenz gegebenenfalls anpassen. „Das ist eine sehr innovative Lösung“, so Heusler. „Wir verbessern den Systemwirkungsgrad und sorgen mit der ausgeklügelten Schallkomposition gleichzeitig dafür, dass der Fahrer nichts hört.“

Der PWR des neuen Cayenne wird als Baukasten im gesamten VW-Konzern eingesetzt – das gleiche Steuergerät kommt in fast 100 verschiedenen Fahrzeugderivaten zum Einsatz, in denen fünf unterschiedliche E-Motoren und drei unterschiedliche Getriebe verbaut werden. Zudem beruhen sie auf unterschiedlichen Plattformen, entweder der neuen Volkswagen Elektronik-Architektur E<sup>3</sup> oder MLBevo. Systemintegration bedeutete hier also auch: Integration über verschiedene Marken und Fahrzeugklassen hinweg, was den Entwicklern gelungen ist. „Von außen sind die Varianten nur an ihren unterschiedlichen Anschlüssen zu unterscheiden, das Innenleben ist immer gleich“, berichtet Frank Deckert, Projektleiter PWR Integration bei Porsche Engineering. „Wir haben die gesamte Varianz über eine einzige Hardware abgedeckt.“

### SPAGAT BEI DER APPLIKATION

Um den Aufwand bei der Applikation zu verringern, bildeten die Entwickler aus den rund 100 Fahrzeugen 11 Gruppen mit vergleichbaren Eigenschaften, etwa hinsichtlich ihrer Leistung und Motorisierung. Alle Fahrzeuge einer Gruppe erhalten die identische Bedatung, was eine große Herausforderung darstellt. So hat beispielsweise das Thermomodell für Rotor und Stator großen Einfluss auf die Drehmomentgenauigkeit und den Komponentenschutz, hängt seinerseits aber stark von der Einbaulage in den Fahrzeugen ab. Die Bedatung muss darum den Spagat zwischen verschiedenen Modellen schaffen. Die Vereinheitlichung der Applikation bringt große Vorteile bei künftigen Updates: Durch die Beschränkung der Varianz wird der Software-Pflegeaufwand reduziert (cost efficiency by concept).

„Insgesamt haben wir ein Top-System mit einer Regelung auf dem neuesten Stand der Technik entwickelt“, so Heusler. „Das konnten wir nur erreichen, weil wir eng mit Porsche Engineering zusammengearbeitet und die Kollegen einen grandiosen Job gemacht haben.“

Seit Juli 2023 ist der neue Cayenne auf dem Markt. Gemeinsam arbeiten Porsche und Porsche Engineering derzeit an der Systemintegration für die Derivate des Luxus-SUVs. Ein wichtiger Erfolgsfaktor war auch das große Vertrauen zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber. „Zu Beginn eines solchen Projektes ist nicht alles bis ins Letzte definiert – stattdessen gibt es Situationen, in denen man von heute auf morgen einspringen und das Team temporär um weitere Experten erweitern muss“, sagt Porsche-Projektleiter Becker. Der Ansatz, Experten für Hard- und Software frühzeitig an einen Tisch zu bringen, hat sich bestens bewährt. „Das Cayenne-Projekt zeigt, wie wichtig eine systematische Systemintegration ist“, sagt Ziegahn. „Und es verdeutlicht, welche wichtige Rolle Simulationen heute in der Entwicklung spielen. Mit ihnen können wir vieles außerhalb des Fahrzeugs für die Integration vorbereiten und uns später auf den finalen Feinschliff konzentrieren. Nur so lässt sich die in den letzten Jahren rasant gestiegene Komplexität beherrschen.“



### ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering hat sowohl die SE-Teamleitung im Fahrwerk inklusive FAS/HAF als auch große Teile der Entwicklung von Antrieb und Fahrwerk für den neuen Porsche Cayenne übernommen. Dabei stand das Porsche-typische Fahrerlebnis im Mittelpunkt, für das Hard- und Software optimal zusammenspielen müssen. Ein zentraler Erfolgsfaktor war die erfolgreiche Systemintegration aller Komponenten.



## „Wir haben die gesamte Varianz über eine einzige Hardware abgedeckt.“

**Frank Deckert**  
Projektleiter PWR Integration bei Porsche Engineering

# Wer ist näher an der Realität: Fahrzeugentwickler oder Gamer?

**V**iele erinnern sich sicher noch an die Anfangszeiten der Rennspiele, als die für damalige Verhältnisse revolutionäre Grafik von „Gran Turismo“ oder „World Racing“ für Furore sorgte. Aus heutiger Sicht ist die Begeisterung kaum noch nachvollziehbar. Stattdessen denkt man sich eher: „So hat das damals ausgesehen? Das hatte ich aber anders in Erinnerung!“ Heute sieht man statt pixeliger Fahrbahnen gestochen scharfe Landschaften, die so lebensecht sind, dass sie sogar für die Automobilentwicklung genutzt werden.

Denn eines haben Gamer und Automobilentwickler gemeinsam: Sie wollen die Realität möglichst detailgenau in die virtuelle Welt übertragen – die einen, um sich beim Spielen wie in einem echten Auto zu fühlen, die anderen, um neue Fahrzeugfunktionen mithilfe von Simulationen zu testen. Aber wer hat dabei die Nase vorn?

Die Antwort darauf lautet: Es kommt darauf an. Auch wenn Computerspiele heute schon sehr nahe an das Fahrverhalten der echten Rennautos herankommen – die Ingenieure haben in diesem Bereich immer noch die besseren Einblicke in die Fahrphysik und in die Eigenschaften von Standardsystemen wie ABS oder ESP. Auch das Verhalten der Reifen lässt sich nur schwer nachbilden, weswegen die Spielehersteller eher allgemeine Reifenmodelle nutzen. „Manche Hersteller von Computerspielen betreiben aber einen enormen Aufwand, um digitale Abbilder der Originalen zu erstellen“, berichtet Sebastian Horning, Geschäftsführer der Porsche-Tochter OverTake. „Ein Unternehmen aus Italien hat beispielsweise Rennprotokolle aus den 1970er-Jahren durchforstet, um in monatelanger Arbeit den Porsche 917 und den Porsche 956 im Computer nachzubauen.“

Bei der Optik der digitalen Rennautos hilft Porsche den Spiele-Entwicklern. Sie erhalten vom Sportwagenhersteller 3D-Modelle der aktuellen Fahrzeuge, bei Bedarf können sie historische Rennwagen im Porsche Museum per Laserscan vermessen und sogar deren Sound aufnehmen. „Weil die Spielehersteller immer die neuesten Grafik-Engines verwenden, dürfte die Optik der Modelle bei ihnen ein wenig besser sein“, vermutet Horning.

Gleichstand herrscht bei den Rennstrecken. Denn sowohl Spielehersteller als auch Ingenieure nutzen dafür Dienstleister, die mit Laserscans selbst die kleinsten Unebenheiten der Fahrbahn erfassen können. Derart genau arbeiten die Fahrzeugentwickler auch bei gewöhnlichen Straßen wie etwa Autobahnen, die für die Streckenmodellierung millimetergenau vermessen werden (siehe den Bericht auf Seite 26). Solche Daten stehen den Spieleherstellern in der Regel nicht zur Verfügung.

Mittlerweile arbeitet Porsche daran, die Digitalisierung von Straßen mithilfe der App „Virtual Roads“ zu automatisieren und so neue Anwendungsfälle zu erschließen. Videoaufnahmen – per Smartphone durch die Windschutzscheibe aufgenommen – sollen dabei als Ausgangspunkt für die Erstellung eines Streckenmodells dienen. Die App könnte in Zukunft zum Beispiel bei Events genutzt werden. ●



Text: Christian Buck  
Illustration: Julien Pacaud





**Wettrennen:** Sowohl bei Computerspielen als auch bei der Fahrzeugentwicklung kommt es auf realistische Modelle an. Bei Fahrverhalten haben die Hersteller die Nase vorne.



# PERFORMANCE UND EXPERTISE

ENTWICKLUNG  
UND  
VALIDIERUNG



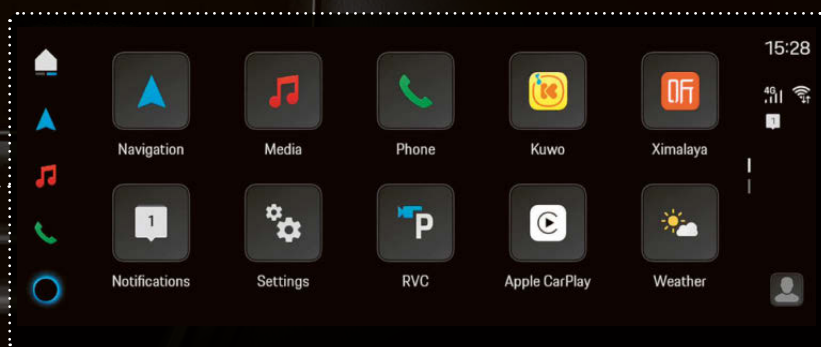


# PLATTFORM FÜR CHINA

In China sind digitale Ökosysteme in den letzten Jahren mit hoher Geschwindigkeit gewachsen. Heute sind sie ein fester hochintegrierter Lebensbestandteil im Alltag. Dies hat entsprechende Auswirkungen auf die Erwartungshaltung an Infotainment-Systeme im Fahrzeug. Im Rahmen der Modellpflege haben Porsche und Porsche Engineering deshalb gemeinsam mit einem chinesischen Lieferanten ein neues Steuergerät für die Infotainment-Systeme der Porsche-Modelle Boxster, Cayman und Macan entwickelt – in Rekordzeit und „in China für China“.

Text: Christian Buck

Für chinesische Käufer spielt das Infotainment-System beim Fahrzeugkauf eine besonders große Rolle. Sie erwarten unter anderem eine komfortable, dialogorientierte Sprachsteuerung und die Verfügbarkeit populärer landesspezifischer Apps, zum Beispiel für den mobilen Zugriff auf Musik, Podcasts, Videos, Messengernachrichten sowie die Bereitstellung von Echtzeitinformationen mittels Cloud-vernetzter Karten- und Navigationsfunktionen. Zahlreiche lokale Verkehrsleitsysteme sind Cloud-integriert, sodass beispielsweise die Wartezeit vor der roten Ampel als Echtzeitinformation zur Verfügung steht und mit entsprechenden Apps dem Fahrer als Countdown angezeigt werden kann. „Dafür muss ein Fahrzeug mit entsprechender Hard- und Software sowie einer ansprechenden Benutzeroberfläche ausgestattet sein. Darum unterziehen wir unsere Fahrzeuge regelmäßig einer Modellpflege, damit sie mit den sich rasch entwickelnden Kundenerwartungen Schritt halten können“, berichtet Michael Ackermann, Fachreferent Digital Baureihe Macan bei der Porsche AG. „Daher wurde 2022 beschlossen, für den 718 und den Macan



**Zeitgemäß:** Das Infotainment-System des Porsche Macan erlaubt durch die Entwicklung den Zugriff auf populäre chinesische Apps.



**Erwartungen erfüllt:** Auch in den 718-Modellen stehen chinesischen Kunden die aktuellen Internet-Services zur Verfügung.



**„In Deutschland wären viele Tests überhaupt nicht möglich gewesen, weil sich zum Beispiel das installierte Kartenmaterial bewusst auf China beschränkt.“**

**Stefanie Ebert**  
Projektleiterin bei  
Porsche Engineering

eine neue Android-basierte Infotainment-Plattform zu entwickeln, die für die aktuellen Internet-Services in China geeignet ist und das bietet, was die Kunden von uns erwarten.“

## ANSPRUCHSVOLLER ZEITPLAN

So sollte das neue Infotainmentsystem unter anderem Zugriff auf populäre Apps bieten, zum Beispiel „Ximalaya“ für Nachrichten und Podcasts, WeChat für Messages, „iQIYI“ für Videostreams, und Kuwo Music, ein Streamingdienst vergleichbar mit Spotify. Verbesserungen waren auch für das Navigationssystem geplant, das künftig Karten und Verkehrsleitinformationen des chinesischen Anbieters Amap nutzen sollte. Die Sprachsteuerung sollte dank der neuen Software ebenfalls auf das nächste Level gehoben werden und umgangssprachliche Befehle wie etwa „Ich will zum Bahnhof und unterwegs tanken!“ problemlos verarbeiten können.

Neben der Technik gab es eine weitere Herausforderung: den anspruchsvollen Zeitplan. Wegen der rasanten technischen Entwicklung im Infotainment-Bereich sollte das Projekt möglichst schnell abgeschlossen werden. „So entstand die Idee, einen Lieferanten in China zu suchen, der die Entwicklung in China für China übernehmen konnte“, erklärt Ackermann. Hier kam Porsche Engineering ins Spiel: Das Unternehmen hat einen großen Entwicklungsstandort in Shanghai, viele einheimische Ingenieure und zahlreiche Testmöglichkeiten vor Ort. „Wir haben im Frühjahr 2022 ein internationales Team aus Kollegen in Deutschland und China gebildet“, sagt Thomas

Pretsch, Leiter des Fachbereichs Infotainment bei Porsche Engineering. „Unsere erste Aufgabe bestand darin, die aktuellen Kundenerwartungen zu ermitteln und verschiedene chinesische Lieferanten zu bewerten. Außerdem haben wir alle Spezifikationen zusammengetragen, also für die Hard- und Software sowie für das Benutzer-Interface.“

Die Aufgabe des künftigen Lieferanten war ebenso klar wie anspruchsvoll: Es sollte ein neues Infotainmentsystem entstehen, das auf dem aktuellen Stand der Technik war – aber ohne dass der Umstieg auf die neue Lösung Änderungen an den beiden Fahrzeugmodellen erfordern würde. „So mussten unter anderem die Größe, die Aufnahmepunkte und die Belüftung gleich bleiben“, erklärt Pretsch. Nach einer umfangreichen Marktanalyse und einem „Proof of Concept“ durch zwei Lieferanten empfahl Porsche Engineering eine der beiden Firmen als Hersteller des neuen Infotainmentsystems. Das Unternehmen produziert unter anderem Head Units, Komplettbildschirme und Lösungen für das Rear Seat Entertainment. „Dieser Lieferant hatte eine geeignete Plattform als Basis für eine Neuentwicklung im Programm“, sagt Stefanie Ebert, die bei Porsche Engineering für die Leitung des Projektes verantwortlich ist. „Außerdem hat das Unternehmen bereits für Volkswagen gearbeitet, sodass man dort die Konzernprozesse kannte und an viele Systeme schon angebunden war.“

Porsche folgte der Empfehlung, und nach der Auswahl des Lieferanten galt es, das Projekt möglichst schnell zu starten. Um eine effiziente und schnelle Zusammenarbeit zu gewährleisten, stellte Porsche





**Komfortabel ans Ziel:** Kunden in China profitieren unter anderem von einem verbesserten Navigationssystem auf Basis des Kartenanbieters Amap.



**„Die Zusammenarbeit war hervorragend – und wir haben in kurzer Zeit viele neue Features zu den Kunden gebracht.“**

**Michael Ackermann**  
Fachreferent Digital Baureihe Macan bei Porsche

Engineering in Shanghai ein eigenes Entwicklerteam auf, zu dem mehrere Funktionsverantwortliche gehörten – zum Beispiel für das Navigationssystem und die Sprachsteuerung „Digital Assist“. Zu den Aufgaben der Entwickler zählten die Steuerung des Lieferanten und die Festlegung der Funktionsdefinitionen. Zudem begleiteten und stimmten sie alle Anpassungen der Benutzeroberfläche ab, ohne dabei die typische Porsche-Optik aus den Augen zu verlieren.

„Zusätzlich zur täglichen Kooperation mit dauerhaft eingesetzten Resident-Engineers des Lieferanten bei Porsche Engineering China fanden mindestens einmal pro Woche in China Meetings zu neuen Software-Releases statt“, berichtet Ebert. Zudem stimmten sich die Entwickler von Porsche Engineering in Shanghai permanent mit ihren Kollegen in Deutschland ab. Diese waren wiederum die Schnittstelle zur Porsche AG, unter anderem zu den Verantwortlichen im Entwicklungsbereich Infotainment und User-Interaction. Axel Huber, Projektleiter im Bereich Infotainment und User-Interaction der Porsche AG: „Uns war es wichtig, einen kompetenten Partner zu haben, der die Prozesse bei Porsche kennt und selbstständig und eigenverantwortlich agieren kann, ohne bei wichtigen Entscheidungen die notwendigen Rücksprachen mit uns aus den Augen zu verlieren. Die Zusammenarbeit mit Porsche Engineering und dem Systemlieferanten war stets sehr konstruktiv.“ Weitere Schnittstellen zu Porsche waren die Baureihen Macan und 982 sowie die Qualitätsabteilung, der Einkauf und der Vertrieb.

Das systematische Testing von Hard- und Software wurde von Porsche Engineering in Shanghai durchge-

führt. „Dabei profitierten wir von der lokalen Expertise und den Marktkennntnissen unserer chinesischen Kollegen“, berichtet Ebert. „Hinzu kommt: In Deutschland wären viele Tests überhaupt nicht möglich gewesen, weil sich zum Beispiel das installierte Kartenmaterial bewusst auf China beschränkt.“

## IN KÜRZESTER ZEIT ZUM ERFOLG

Neben der Anpassung der Benutzeroberfläche an das Porsche-Design und den strikten Bauraum-Vorgaben erwies sich auch die elektrische Kompatibilität des neuen Infotainmentsystems zu bestehenden Komponenten wie Bedienelementen, Kombiinstrument und Rückfahrkamera als technische Herausforderung. Da ein Großteil der Kunden sich für einen Bose-Verstärker in ihrem neuen Macan oder 718 entscheiden, musste sich auch dieser via Lichtwellenleiter an die neue Hardware anschließen lassen. „Dafür nutzen wir MOST als Schnittstelle, womit der Lieferant aber noch keine Erfahrungen gesammelt hatte“, so Pretsch. „Die chinesischen Ingenieure arbeiteten sich mit großem Engagement in das für sie neue Thema ein und konnten auch diese Schnittstelle erfolgreich in die neue Hardware-Plattform integrieren.“ Nachdem sichergestellt war, dass die Entwicklung allen umfangreichen Anforderungen gerecht wurde, erteilte Porsche Engineering die Freigabeempfehlung für das neue Infotainmentsystem.

Porsche und Porsche Engineering führten dieses anspruchsvolle Projekt gemeinsam mit dem Lieferanten in kürzester Zeit zum Erfolg: Ende September 2023 startete in China die Produktion des neuen Infotainmentsystems, Ende November begann in Deutschland der Einbau in die Macan- und Boxster- beziehungsweise Cayman-Fahrzeuge, die Anfang 2024 an die ersten Kunden ausgeliefert wurden. Wie anfangs geplant, mussten die Fahrzeuge dafür nicht verändert werden – selbst der Kabelstrang mit seinen zahlreichen Verbindungen zur Infotainment-Hardware blieb genau gleich. „Die Kollegen in der Produktion können nur am Label erkennen, dass sie in die Fahrzeuge für China eine andere Hardware einbauen“, freut sich Ackermann.

„Trotz der sehr engen Zeitschiene von nur 18 Monaten haben wir das Projekt im vorgegebenen Zeit- und Kostenrahmen abgeschlossen“, fasst Ackermann zusammen. „Normalerweise hätten wir dafür drei Jahre gebraucht. Das konnten wir nur erreichen, weil wir interne Prozesse verkürzt und auf das Wesentliche reduziert haben – natürlich ohne Abstriche in Bezug auf Qualität oder rechtliche Vorgaben zu machen.“ Der Zulieferer habe großes Engagement gezeigt und alle Herausforderungen schnell gelöst. Auch die Zusammenarbeit mit Porsche Engineering war aus seiner Sicht vorbildlich: „Wir hatten während des Projektes einen intensiven Austausch, wobei die Kollegen immer sehr gut vorbereitet waren. Insgesamt war die Zusammenarbeit hervorragend – und wir haben in kurzer Zeit viele neue Features zu den Kunden gebracht.“

### Macan

Kraftstoffverbrauch kombiniert:  
10,7–10,1 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert:  
243–228 g/km

### Boxster

Kraftstoffverbrauch kombiniert:  
9,7–10,1 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert:  
247–201 g/km

Alle Verbrauchsangaben  
nach WLTP, Stand 11/2023

# „MUT IST DER TREIBSTOFF FÜR INNOVATIONEN“

Künstliche Intelligenz (KI)  
und autonomes Fahren:  
Die Automobilentwicklung  
ist spannend wie nie.  
Federico Magno  
(Geschäftsführer von  
Porsche Consulting) und  
Dirk Lappe (Geschäfts-  
führer von Porsche  
Engineering) diskutieren  
im Experten-Interview  
über die großen Zukunfts-  
trends und die Rolle von  
Mut in der Entwicklung.

Text: Porsche Engineering  
Fotos: Núi Crew

**Vordenker:** Federico  
Magno (links) und  
Dirk Lappe sprechen  
über die Möglich-  
keiten der Künstlichen  
Intelligenz.





---

# TRENDS UND TECHNOLOGIEN

## INTERVIEW

---



„Die menschliche Fähigkeit, aus Erfahrung zu lernen, Intuition und emotionale Intelligenz zu nutzen, bleibt einzigartig.“

Dirk Lappe



**Wie weit wird Ihrer Meinung nach die KI-Entwicklung gehen und welche Rolle wird sie in unserer Gesellschaft spielen? Gibt es spezifische Grenzen der KI-Entwicklung?**

- **LAPPE:** Künstliche Intelligenz hat beeindruckende Fortschritte gemacht, aber es gibt Grenzen im Vergleich zur menschlichen Erfindungsfähigkeit. KI ist stark in Mustererkennung, Datenanalyse und der Ausführung spezifischer, gelernter Aufgaben. Aber Kreativität und Innovation, wie sie Menschen zeigen, sind für KI schwierig. KI kann Daten basierend auf früheren Informationen verarbeiten, aber sie kann nicht wie Menschen völlig neue Ideen oder Konzepte erschaffen. Die menschliche Fähigkeit, aus Erfahrung zu lernen, Intuition und emotionale Intelligenz zu nutzen, bleibt einzigartig. Die Intelligenz der bewussten Wahrnehmung, also das Bewusstsein über die eigene Existenz und die Fähigkeit, Erfahrungen subjektiv zu verarbeiten, ist in

Bezug auf KI eine große Herausforderung. Aktuelle KI-Systeme können auf Basis von Algorithmen und maschinellem Lernen Daten verarbeiten und sogar Entscheidungen treffen. Aber sie besitzen kein Bewusstsein im menschlichen Sinne.

- **MAGNO:** Unser Bewusstsein umfasst auch die Emotionen – und für die bin ich als Italiener sozusagen Experte. Zu den Emotionen gehören Dinge wie Selbstbewusstsein, subjektive Erfahrungen und das Verständnis von sich selbst im Kontext der Welt. Diese Aspekte sind tief verwurzelt in der menschlichen Psychologie und verankert in unseren Hirnen. KI-Systeme haben keine persönlichen Erfahrungen, sie wissen sozusagen nicht, was sie tun – oder besser: getan haben. Ihre Aktionen sind gefühllos. Diese sogenannte selbstreferenzielle Intelligenz des Menschen ist eine weitere faszinierende Eigenschaft. Sie bezieht sich darauf, wie Menschen über sich selbst nachdenken, Selbstbewusstsein



entwickeln und ihre eigenen mentalen Prozesse verstehen und reflektieren.

#### Was ist denn das Besondere daran?

- **MAGNO:** Man sagt: Selbsterkenntnis ist der erste Schritt zur Besserung. Und wenn man das wörtlich nimmt, beschreibt es eigentlich ganz schön, was uns von Künstlicher Intelligenz zumindest momentan noch unterscheidet: Weil wir uns selbst erkennen, können wir aus Fehlern lernen. Diese Art der Intelligenz ist einzigartig komplex, da sie nicht nur kognitive Fähigkeiten umfasst, sondern auch emotionale und soziale Aspekte. Maschinen können diese Art von Intelligenz kaum nachahmen. KI-Systeme können programmiert werden, um ihre Leistung zu analysieren und sich an bestimmte Aufgaben anzupassen. Doch das ist eine kalte Selbstoptimierung, quasi blutleer, ohne Emotionen. Sie haben eben kein Bewusstsein ihrer selbst im menschlichen Sinne.

#### Und was heißt das für die Fahrzeuge der Zukunft?

- **LAPPE:** In Bezug auf zukünftige Entwicklungen, wie etwa im Fahrzeug der Zukunft, könnte man spekulieren, dass KI in bestimmten Bereichen menschenähnliche Fähigkeiten erreichen oder sogar übertreffen könnte. Dennoch gilt, dass Aspekte wie kreatives Denken, Empathie und allgemeine Problemlösungsfähigkeit wahrscheinlich Grenzen darstellen werden, die schwer durch KI zu überschreiten sind. Die Zukunft des automatisierten Fahrens sieht dennoch vielversprechend aus. Neben KI gibt es eine starke Entwicklung in der Sensorik. Diese Fortschritte könnten zu sichererem und effizienterem Straßenverkehr führen. Außerdem könnten automatisierte Fahrzeuge die Mobilität für Menschen verbessern, die selbst nicht fahren können oder wollen. Allerdings gibt es neben der technischen Komplexität auch Herausforderungen, wie etwa rechtliche Fragen, Datenschutz und die Akzeptanz in der Gesellschaft.

#### Welche Rolle spielt dabei die von Herrn Magno gerade beschriebene selbstreferenzielle Intelligenz?

- **LAPPE:** Selbstreferenzielle Intelligenz, wie sie beim Menschen vorkommt, ist für das autonome Fahren nicht unbedingt erforderlich. Autonome Fahrzeuge basieren auf KI-Systemen, die Umgebungsinformationen verarbeiten und darauf reagieren, aber sie benötigen kein Selbstbewusstsein oder Verständnis ihrer eigenen Existenz. Für autonomes Fahren sind andere Aspekte der KI wichtiger, wie etwa die Fähigkeit, die Umgebung genau zu erfassen, wie andere Fahrzeuge, Fußgänger, Verkehrsschilder und Straßenbedingungen. Außerdem ist die Fähigkeit, basierend auf sensorischen Daten und programmierten Algorithmen sichere und effiziente Entscheidungen zu treffen, von Bedeutung. Und

schließlich die Fähigkeit, sich an unterschiedliche Verkehrsbedingungen und unvorhersehbare Ereignisse anzupassen. Diese Fähigkeiten ermöglichen es autonomen Fahrzeugen, sicher zu navigieren und zu operieren, ohne dass eine selbstreferenzielle Intelligenz erforderlich ist. Wenn beim autonomen Fahren nicht alle Daten für die Wahrnehmung verfügbar sind, gibt es mehrere Herausforderungen und Lösungsansätze. Autonome Fahrzeuge sind oft mit redundanten Systemen ausgestattet, wie mehreren Sensoren und Kameras. Wenn ein Sensor ausfällt, können andere die fehlenden Daten kompensieren. Bei unzureichenden Daten neigen autonome Systeme dazu, vorsichtiger zu fahren, zum Beispiel langsamer zu fahren oder anzuhalten, bis mehr Informationen verfügbar sind. Fahrzeuge können aus vergangenen Erfahrungen lernen, um besser mit unvollständigen Daten umzugehen. Vernetzung mit anderen Fahrzeugen oder Verkehrsinfrastruktur kann zusätzliche Informationen liefern. Die Sicherheit ist dabei immer das oberste Ziel.

#### Und wie ist es mit der vollständig fahrerlosen Mobilität?

- **LAPPE:** Das sollten wir kurz einordnen: Es gibt bekanntlich fünf Level des automatisierten Fahrens. Jedes Level bringt mehr Automatisierung und weniger Notwendigkeit für menschliches Eingreifen mit sich. Level 1 – Assistiert: Hier gibt es Systeme wie Tempomat oder Spurhalteassistent, aber der Fahrer muss ständig eingreifen und die Kontrolle behalten. Level 2 – Teilautomatisiert: Das Fahrzeug kann bestimmte Aufgaben wie Lenken, Beschleu-



#### Dirk Lappe

ist seit 2009 Geschäftsführer Technik (CTO) bei Porsche Engineering. Zuvor war er dort Leiter Entwicklung Elektrik/Elektronik. Nach seinem Studium in Braunschweig arbeitete der Diplom-Ingenieur für Elektrotechnik, Elektronik und Kommunikationstechnik als Entwicklungsingenieur, Projektleiter, Gruppenleiter und Referent sowie als Leiter Vorentwicklung UMTS bei Bosch.



## „Mutige Entwickler und Unternehmer haben die Kraft, andere zu inspirieren. Sie zeigen, dass es möglich ist, visionäre Ideen in die Tat umzusetzen.“

Federico Magno

nigen und Bremsen übernehmen, aber der Fahrer muss immer noch die Umgebung überwachen und bereit sein, zu übernehmen. Level 3 – Bedingt automatisiert: Das Auto kann unter bestimmten Bedingungen selbst fahren, der Fahrer muss jedoch bereit sein, bei Bedarf die Kontrolle zu übernehmen. Level 4 – Hochautomatisiert: Das Fahrzeug kann in den meisten Situationen selbstständig fahren, ohne dass der Fahrer eingreifen muss. Es kann jedoch noch eine Option für manuelles Fahren geben.

- **MAGNO:** Und dann kommen wir schließlich zur „Königsklasse“. Zu Level 5, dem vollautomatisierten Fahren: Hier übernimmt das Fahrzeug alle Fahraufgaben unter allen Bedingungen. Es gibt grundsätzlich keine Notwendigkeit für einen Fahrer oder ein Lenkrad. Und eben das wird sich in den nächsten Jahren aufgrund der dafür notwendigen Datenmengen und Rechenleistungen sowie der erforderlichen, sehr teuren Sensorik als sehr schwierig erweisen. Autonom fahrende Fahrzeuge sind stark von der vorhandenen und gelernten Datenmenge und ihrer Aktualität abhängig. Ein Großteil der Daten



↓

**Federico Magno** ist seit 2017 Geschäftsführer von Porsche Consulting. Dort leitet er die Practices Operations, Marke & Vertrieb sowie Technologie & Entwicklung. Daneben verantwortet er ganzheitlich die Branchen Automobil, Luft- und Raumfahrt sowie das Transportwesen. Federico Magno hat an der Universität Bocconi in Mailand Wirtschaftswissenschaften studiert.

muss vom Fahrzeug ständig selbst erfasst werden. Aber für die Analyse dieser Datenmengen legt ein autonomes Fahrzeug virtuell Millionen Kilometer in Simulationen zurück und lernt dabei, die richtigen Entscheidungen zu treffen.

### Was genau unterscheidet das System dabei vom Menschen?

- **MAGNO:** Im Prinzip erst mal gar nicht so viel: Auch der Mensch erfasst mit seinen Sinnen die Umgebung, den Verkehr, Straßenverhältnisse, Schilder und die Ausmaße seines Fahrzeugs. Vorhandene Daten, etwa das Wissen, wo eine Straße ist oder wo man abbiegen kann, gibt es relativ wenige. Und sie sind leicht zu erweitern, etwa mit einem altmodischen Stadtplan. Aber ein Mensch muss für seinen Führerschein ja nicht mehrere Millionen Kilometer fahren. Die Anforderungen an den Führerschein beinhalten in der Regel eine bestimmte Anzahl an Fahrstunden und theoretischem Unterricht, gefolgt von einer praktischen und einer theoretischen Prüfung. Den Rest können Menschen mit ihrer selbstreferenziellen Intelligenz ausgleichen. Er muss nicht jede Situation einmal erlebt haben, um zu wissen, wie er handelt. Ob ein roter oder ein grüner Ball auf die Straße rollt, ist egal: Ein Mensch hält an, weil er ein Kind erwartet, das hinterherrennt. Ein autonomes Fahrzeug muss beide Situationen erst lernen. Und das ist ein einfaches Beispiel. Es ist aus heutiger Sicht nicht sicher, ob vollautonome Fahrzeuge in Simulationen und Tests für Level 5 jemals alle notwendigen Antworten werden finden können.

### Herr Lappe, wie will Porsche Engineering in der Zukunft den Fortschritt in der Mobilität beeinflussen?

- **LAPPE:** Mit Mut! Wie in den letzten Jahren werden wir auch in Zukunft Mut in der Entwicklung zeigen und immer wieder neue Wege einschlagen – denn das ist der beständige Treibstoff für Innovation, Fortschritt und positive Veränderungen. Jede Entwicklung, sei es in technologischen, wissenschaftlichen oder gesellschaftlichen Bereichen, erfordert oft den Einsatz von Mut. Mut in der Entwicklung ist mehr als nur eine persönliche Eigenschaft. So ist Mut zum Beispiel der Motor der Innovation. Er motiviert Entwickler dazu, neue Ideen zu erforschen und innovative Lösungen zu schaffen, die die bestehenden Grenzen des Bekannten überschreiten. Ohne Mut würden viele wegweisende Entdeckungen und Erfindungen niemals Realität werden.

### Herr Magno, wie blickt Porsche Consulting auf die Zukunft der Mobilität?

- **MAGNO:** Die Entwicklung der Mobilität war schon immer von vielen Unsicherheiten und nicht zu unterschätzenden Risiken geprägt. Doch das Risiko zu scheitern ist heute ein finanzielles und glückli-





#### **Taycan Turbo S Sport Turismo**

Stromverbrauch kombiniert:

24,0–22,6 kWh/100 km

CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert:

0 g/km

Reichweite kombiniert:

430–456 km

Elektrische Reichweite innerorts:

518–562 km

Alle Verbrauchsangaben  
nach WLTP; Stand 11/2023


cherweise kein lebensbedrohliches mehr, wie zum Beispiel in den ersten Jahren des Luftverkehrs. Auch dafür sorgt KI, die uns bei Simulationen hilft, seltene Fehler besser zu finden, die früher möglicherweise katastrophal geendet hätten. Mutige Unternehmer betrachten solche Fehler nicht als unüberwindbare Hindernisse oder als Zeichen des Scheiterns. Stattdessen sehen sie Fehler als wertvolle Gelegenheiten, aus ihnen zu lernen und sich zu verbessern. Und dann ein Produkt für alle Menschen daraus zu entwickeln.

**Das klingt danach, als sei Mut für Sie beide der zentrale „Enabler“ für neue Entwicklungen und Innovationen, auch in der Mobilität ...**

- **LAPPE:** Richtig. Entwicklung kann auf zahlreiche Hindernisse und Herausforderungen stoßen. Mut befähigt Entwickler dazu, diese Hindernisse zu überwinden, kreative Lösungen zu finden und sich den größten Schwierigkeiten zu stellen. In einer sich ständig wandelnden Welt ist es erforderlich, sich an neue Technologien, Trends und Kundenbedürfnisse anzupassen. Mutige Entwickler sind offen für Veränderungen und bereit, bestehende Konzepte und Geschäftsmodelle zu überdenken.
- **MAGNO:** Und es geht noch weiter: Mutige Entwickler und Unternehmer haben die Kraft, andere zu inspirieren. Sie zeigen, dass es möglich ist, Risiken einzugehen und visionäre Ideen in die Tat umzusetzen. Ihr Handeln ermutigt andere, ebenfalls mutig zu sein und innovative Wege zu beschreiten. Mutige Entwicklung kann weitreichende gesellschaftliche Veränderungen bewirken, indem sie Lösungen für drängende soziale Probleme bietet. Beispiele reichen von medizinischen Durchbrüchen bis hin zu nachhaltigen Umweltinitiativen.



- **LAPPE:** Nicht zuletzt ist Mut ein Schlüssel zur Förderung von persönlichem und beruflichem Wachstum. Und gleichzeitig treibt er den Fortschritt in der Entwicklung und den gesellschaftlichen Fortschritt insgesamt voran.
- **MAGNO:** In einer zunehmend globalisierten Welt sind solche Wettbewerbsvorteile entscheidend. Mutige Unternehmer sind oft in der Lage, sich von der Konkurrenz abzuheben, neue Märkte zu erschließen und innovative Produkte oder Dienstleistungen anzubieten. Ihr Mut fördert ein positives Arbeitsumfeld, in dem Menschen bereit sind, kreative Ideen zu teilen und innovative Projekte zu verfolgen.
- **LAPPE:** Zusammenfassend ist Mut in der Entwicklung ein treibender Faktor für Veränderung und Fortschritt in der Mobilität der Zukunft. Er ermutigt uns, Herausforderungen zu meistern und die Welt durch innovative Ideen und Lösungen zu gestalten. Mutige Entwicklung ist ein Antrieb für positive



**„KI hat die Kraft, Geschäfts-  
prozesse zu revolutionieren.  
Jedenfalls wenn man sie richtig  
einsetzt. Und auch dafür bedarf  
es eines gewissen Mutes.“**

Federico Magno

**„Die KI wird die Automobil-  
entwicklung revolutionieren,  
indem sie Fahrzeuge sicherer,  
effizienter und benutzer-  
freundlicher macht.“**

Dirk Lappe



Veränderungen und sollte daher in jeder Phase der Entwicklungsarbeit gefördert und geschätzt werden. Es ist der Schlüssel zu einer besseren Zukunft.

#### Und wie sieht es mit der Zukunft der KI aus?

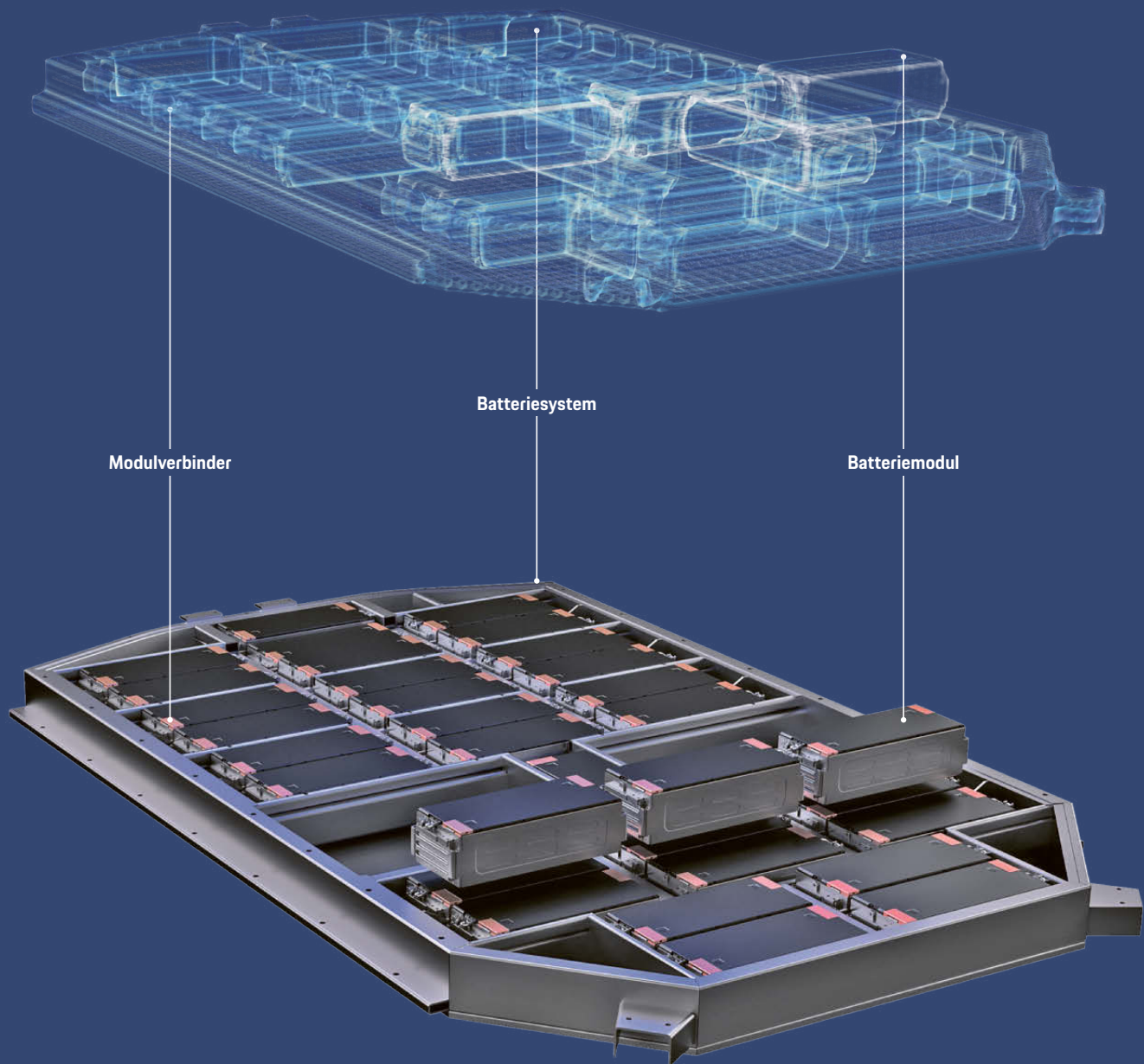
- **LAPPE:** Die Zukunft der KI in der Automobilentwicklung ist vielversprechend und vielfältig, nicht nur für das autonome Fahren. KI hat das Potenzial, zur Verbesserung der Sicherheitssysteme in Fahrzeugen beizutragen, indem sie Gefahren schneller erkennt und präventive Maßnahmen initiiert. Fahrzeuge könnten basierend auf den Bedürfnissen individuell angepasst werden, was zu einem neuen Fahrerlebnis führt. In der Entwicklung und Fertigung können KI-Systeme Prozesse optimieren, Ressourcen einsparen und die Produktqualität erhöhen. KI ist in der Lage, Wartungsbedarf vorherzusagen, was zur Reduzierung von Ausfallzeiten und zur Verlängerung der Lebensdauer von Fahrzeugkomponenten führt. Zusätzlich werden wir fortschrittlichere Vernetzungsfunktionen im Auto erleben, einschließlich Big-Data-Anbindung und IoT-Anwendungen. Mittels KI sind wir in der Lage, Fahrzeuge umweltfreundlicher zu gestalten, indem sie den Kraftstoffverbrauch optimiert und bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen unterstützt. Insgesamt wird die KI die Automobilentwicklung revolutionieren, indem sie Fahrzeuge sicherer, effizienter und benutzerfreundlicher macht.
- **MAGNO:** Langfristig sind weitere, große Innovationsschritte in Sicht. Neuromorphische Systeme, welche die Strukturen und Funktionen des menschlichen Gehirns nachahmen, könnten in der Zukunft eine Schlüsselrolle in der Weiterentwicklung von KI-Technologien spielen. Solche Chips könnten effizienter und schneller als herkömmliche Prozessoren sein, insbesondere bei der Verarbeitung von sensorischen Daten. Sie könnten Entscheidungsfindungen in Echtzeit ermöglichen – und damit dem Menschen in seiner Entscheidungsfreude nahekomen. Diese Systeme sind darauf ausgelegt, komplexe, unstrukturierte Daten, wie sie in der realen Welt vorkommen, besser zu verarbeiten. Das wird die Zukunft der Mobilität prägen. Nicht nur in Form von vollautonomen Fahrzeugen mit Level 5. Sondern auch in der Art, wie Mobilität organisiert wird und welche neuen Geschäftsmodelle sich herausbilden. Bei Porsche Consulting wenden wir KI bereits in den verschiedensten Bereichen an, etwa im Vertrieb, in der Entwicklung, der Produktion oder dem Marketing. Und wir wissen: Sie hat die Kraft, Geschäftsprozesse zu revolutionieren. Jedenfalls wenn man sie richtig einsetzt. Und auch dafür bedarf es eines gewissen Mutes.
- **LAPPE:** Physikalische Rechenmodelle, die natürliche Prozesse nachahmen, können ebenfalls dazu beitragen, effizientere und robustere KI-Systeme

**„Die Entwicklung einer KI mit bewusster Wahrnehmung oder gar selbstreferenzieller Intelligenz wäre ein enormer Sprung. Aber sie wirft natürlich auch viele rechtliche, ethische, philosophische und technische Fragen auf, denen wir uns stellen müssen.“**

Federico Magno

zu entwickeln. Solche Modelle könnten in der Lage sein, mit Unsicherheiten und unvollständigen Informationen besser umzugehen, was für autonomes Fahren entscheidend ist. Diese Technologien sind vielversprechend, stehen aber noch am Anfang ihrer Entwicklung. Sie könnten zu signifikanten Durchbrüchen in der KI führen, insbesondere in Bezug auf Flexibilität, Lernfähigkeit und Anpassungsfähigkeit.

- **MAGNO:** Die Entwicklung einer KI mit bewusster Wahrnehmung oder gar selbstreferenzieller Intelligenz wäre ein enormer Sprung. Aber sie wirft natürlich auch viele rechtliche, ethische, philosophische und technische Fragen auf, denen wir uns stellen müssen.
- **LAPPE:** Wir werden große Fortschritte der autonom fahrenden Fahrzeuge bis Level 4 erleben und hochqualitative und sichere Produkte realisieren. Wir werden jedoch schon aufgrund der nicht vorhandenen Vollständigkeit der Daten noch viele Jahrzehnte verhältnismäßig wenige Fahrzeuge mit Level 5 auf den Straßen sehen. Die meisten Fahrzeuge werden auch zukünftig ein Lenkrad besitzen, mit dem der intelligente Mensch bei Bedarf die Künstliche Intelligenz überstimmen und das Fahrzeug sicher übernehmen kann. ●



**Präzise Nachbildung:** Der Digitale Zwilling der Batterie verhält sich exakt wie das Original und gibt Aufschluss über den zu erwartenden Alterungsprozess.



# Blick in Zukunft

Batterien sind entscheidende Komponenten von E-Fahrzeugen – unter anderem, weil sie ganz bedeutend den Restwert beeinflussen. Darum wollen OEMs und Zulieferer im Detail verstehen, wie Batteriezellen und -systeme altern und welchen Einfluss das Nutzungsverhalten auf ihre Lebensdauer hat. Dafür entwickelt Porsche Engineering einen Digitalen Zwilling der Hochvoltbatterie.

Text: Constantin Gillies

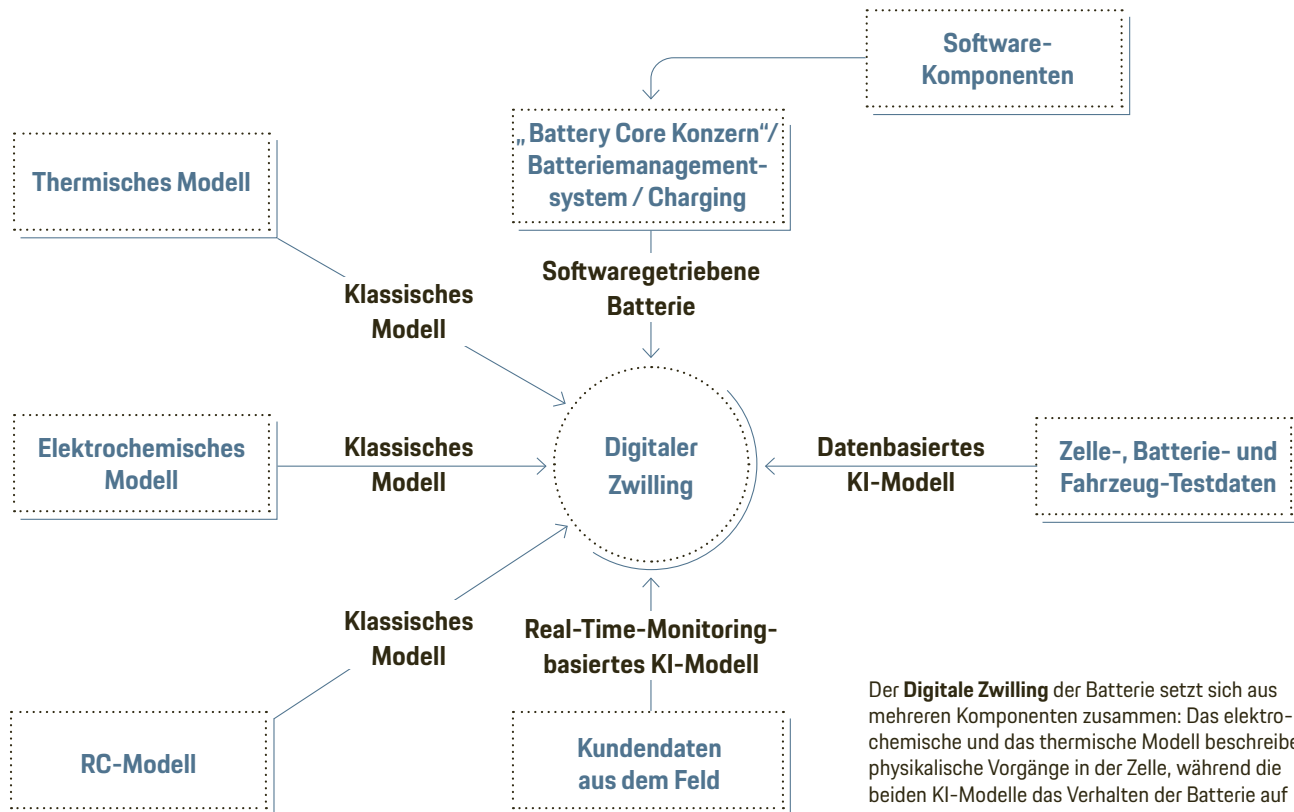
**W**ie verhält sich ein System, zu dem noch keine Langzeiterfahrungen vorliegen, in Zukunft? Diese Frage beschäftigt die Raumfahrtbehörde NASA seit vielen Jahrzehnten. Schließlich brechen ihre Sonden oft mit neuester Technik in unbekannte Umgebungen auf. Um den Lebenszyklus von Raumfahrzeugen besser abschätzen zu können, entwickelten NASA-Forscher Anfang der 2000er-Jahre das Konzept des „Digitalen Zwillings“: Man baute das reale Fluggerät bis ins kleinste Detail als Modell im Computer nach und spielte damit die unbekannten Szenarien durch – jahrzehntelange Reisen zum Beispiel.

Den gleichen Ansatz verfolgt Porsche Engineering, um die Hochvoltbatterie von E-Fahrzeugen zu optimieren. „Wir müssen verstehen, wie sich die Zellen langfristig im Feld verhalten – ohne auf langjährige Erfahrungen wie beim Verbrenner zurückgreifen zu können“, erklärt Dr. Joachim Schaper, Leiter KI und Big Data bei Porsche Engineering. Der „Digital Battery Twin“ soll den Blick in die Zukunft ermöglichen: Die digitale Repräsentation der Batterie verhält sich exakt wie das Original und gibt Aufschluss über den zu erwartenden

Alterungsprozess. Außerdem lässt sie sich nutzen, um Lebensdauer und Leistung der Batterie zu verbessern. KI-Experten von Porsche Engineering an den Standorten Deutschland und Tschechien arbeiten darum mit Hochdruck am digitalen Batteriezwillings.

Das Thema ist hochaktuell, denn die Ansprüche an die Haltbarkeit von Batterien steigen ständig – auch seitens des Gesetzgebers. Wer in der Europäischen Union Akkus in Umlauf bringt, muss laut EU-Batterieverordnung ab August diesen Jahres Angaben zu Leistung und Haltbarkeit machen. Der US-Bundesstaat Kalifornien hat bereits Mindeststandards festgelegt: Ab dem Modelljahrgang 2030 müssen E-Fahrzeuge nach zehn Jahren oder 150.000 Meilen (241.000 km) Laufleistung noch mindestens 80 Prozent der ursprünglichen Reichweite erreichen. Das schreibt das California Air Resources Board in seiner „Advanced Clean Cars II“-Regelung vom November 2022 vor. Eine ähnliche Regelung könnte in Zukunft auch in der EU gelten. Es wird für die OEMs also unerlässlich, präzise Angaben zur Haltbarkeit der Fahrzeugbatterien machen zu können.

## DER DIGITALE ZWILLING KOMBINATION AUS PHYSIKALISCHEN UND KI-MODELLEN



Der **Digitale Zwilling** der Batterie setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen: Das elektrochemische und das thermische Modell beschreiben physikalische Vorgänge in der Zelle, während die beiden KI-Modelle das Verhalten der Batterie auf Basis von Prüfstands- und Felddaten widerspiegeln.



**„Wir müssen verstehen, wie sich die Zellen langfristig im Feld verhalten – ohne auf langjährige Erfahrungen zurückgreifen zu können.“**

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

### VERHALTENSMUSTER ERKENNEN

Um einen Digitalen Zwilling der Batterie zu erschaffen, sehen die Ingenieure ein modulares, skalierbares Framework zur Integration bestehender und künftiger Modellkomponenten vor. Basis ist ein Performance-Modul, das das elektrische Verhalten der Batterie vereinfachend beschreibt und auf etablierten Ansätzen wie dem Resistor-Capacitor-Modell aufbauen kann. Hinzu kommt ein komplexeres elektrochemisches Modell, das die Vorgänge in der Batteriezelle auf der Ebene einzelner Partikel simuliert – die Interaktion zwischen Anode, Kathode und Elektrolyt. Eine weitere Säule ist das thermische Modell, mit dem sich vorhersagen lässt, wie die Batterie auf Kälte oder Hitze reagiert.

Die Modelle basieren überwiegend auf Laborversuchen mit einzelnen Zellen oder Zellmodulen und können nur begrenzt vorhersagen, wie sich die Batterie im Fahrzeug verhält. Deshalb ziehen die Experten von Porsche Engineering reale Felddaten hinzu. Sie stammen aus Testfahrzeugen oder von Prüfständen, auf



denen Zellen vermessen werden. Ergänzt werden sie mit Daten aus der Flotte, sofern die Kunden an einem Datenaustauschprogramm teilnehmen.

Mithilfe der Felddaten werden KI-Algorithmen darauf trainiert, Muster im Nutzungsverhalten der Kunden zu erkennen. Temperatur- oder Spannungsabweichungen in einzelnen Zellen etwa können auf frühzeitigen Verschleiß und Anomalien hindeuten. Allerdings kann eine KI nur das erkennen, wozu auch eine Datenbasis im Feld vorliegt. Aussagen zu langfristigen Alterungseffekten kann sie nicht treffen, da kaum ein E-Fahrzeug auf der Straße älter als vier Jahre ist. Deshalb führen die Ingenieure von Porsche Engineering beide Welten zusammen: „Der Erfolg liegt in der Kombination bestehender modellbasierter Bausteine mit KI-Methoden“, erklärt Adrian Eisenmann, Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering.

Einige Start-ups konzentrieren sich bereits ausschließlich auf die Analyse von Batteriedaten. Doch nur Zellen und Module zu betrachten, reiche nicht, betont Schaper: „Man braucht auch umfassendes Wissen über die Vorgänge im Fahrzeug.“ Porsche Engineering ist in beiden Welten zu Hause: Die Ingenieure haben zum Beispiel große Teile des Batteriemanagementsystems der Porsche E-Fahrzeuge sowie Pulswechselrichter für den Antrieb entwickelt. Gleichzeitig beschäftigt Porsche Engineering hoch spezialisierte Battery Data Scientists.

Aus der Arbeit am Digital Battery Twin ist schon eine erste Funktion hervorgegangen, die „Repair Prediction“. Sie basiert auf einem Machine-Learning-Algorithmus, der die Batteriedaten überwacht und bei Anzeichen von Verschleiß oder Anomalien warnt. „So kann der Kunde proaktiv angesprochen werden“, sagt Dr. Lars Marstaller, Product Owner Battery Analytics bei Porsche Engineering. Gleichzeitig verkürzt sich durch die Vorhersagefunktion ein möglicher Werkstattaufenthalt, da nötige Ersatzteile frühzeitig bestellt werden können.

## INDIVIDUELLER BATTERIE-ZWILLING

Die Arbeit am Digital Battery Twin hat im letzten Jahr begonnen und macht gute Fortschritte. Porsche Engineering hat bereits Prototypen der elektrochemischen und thermischen Modelle erstellt, die jetzt mit KI-Analysen kombiniert werden. Doch die Arbeit ist herausfordernd: Daten aus Fahrzeugen mit unterschiedlichem Thermo- und Ladesystem müssen zusammengeführt werden, zudem sind die Labormodelle oft komplex und benötigen viel Rechenleistung. Die Simulationsmodelle werden schrittweise mit Felddaten parametrisiert, um sie noch realitätsnaher zu machen. Noch in diesem Jahr soll es prototypische Anwendungen geben.



## „Der Erfolg liegt in der Kombination bestehender modellbasierter Bausteine mit KI-Methoden.“

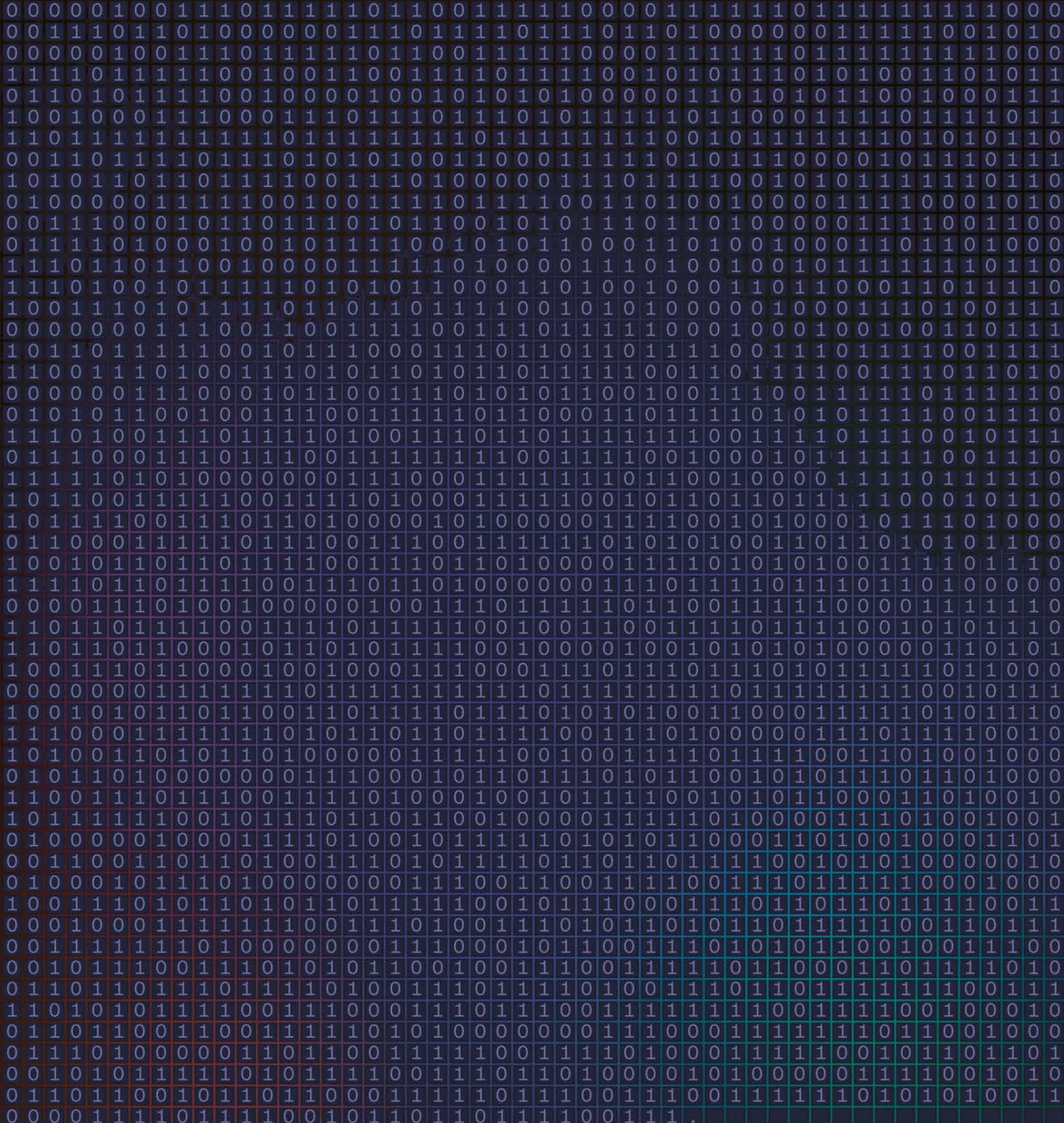
**Adrian Eisenmann**

Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering

Fernziel ist, nicht nur einen generellen Digital Battery Twin zu erschaffen, sondern auch eine digitale Repräsentanz individueller Fahrzeugbatterien. Sie könnte in der Cloud laufen und dem Kunden auf Wunsch Hinweise geben, wie er mit seinem Verhalten die Lebensdauer der Batterie verlängern kann, ohne dass die Fahrleistung leidet. Einige Faktoren, die sich positiv auf die Haltbarkeit auswirken, sind bekannt: Der Ladezustand (State of Charge, SoC) sollte konstant zwischen 30 und 70 Prozent gehalten und extreme Außentemperaturen vermieden werden. Doch das sind nur wenige Faktoren von vielen. „Batterialterung ist ein komplexes Zusammenspiel vieler Faktoren, die gerade im Feld nur schwer zu trennen sind“, so Eisenmann.

Denkbar ist sogar, mithilfe des digitalen Doppelgängers in Zukunft das Fahrzeug zu personalisieren. „Man könnte künftig den Fahrstil des Kunden auf Wunsch analysieren und die Parameter im Batteriemanagementsystem so ändern, dass der Verschleiß minimiert wird“, kann sich Experte Marstaller vorstellen. Außerdem könnten Digital Twins künftig wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung neuer Batterien liefern – möglicherweise auch außerhalb der Automobilindustrie. „Wissen über die Zellen ließe sich auch auf Lkw, E-Bikes und Boote übertragen“, gibt Schaper als Beispiel. ●





A P P R O V E D

**Bewiesen fehlerfrei:** Bei der Verifikation von Software vergleicht man den Code mit einer präzisen Spezifikation, die sich in Zukunft möglicherweise automatisch per KI erzeugen ließe.



# Code auf dem Prüfstand

Software spielt im modernen Leben, aber auch in Fahrzeugen eine Schlüsselrolle. Darum nutzen OEMs und Zulieferer bewährte Methoden und Werkzeuge, um Fehler in Programmen möglichst frühzeitig zu identifizieren. Forscher arbeiten bereits an neuen Ansätzen, unter anderem auf Basis von Künstlicher Intelligenz.

Text: Christian Buck

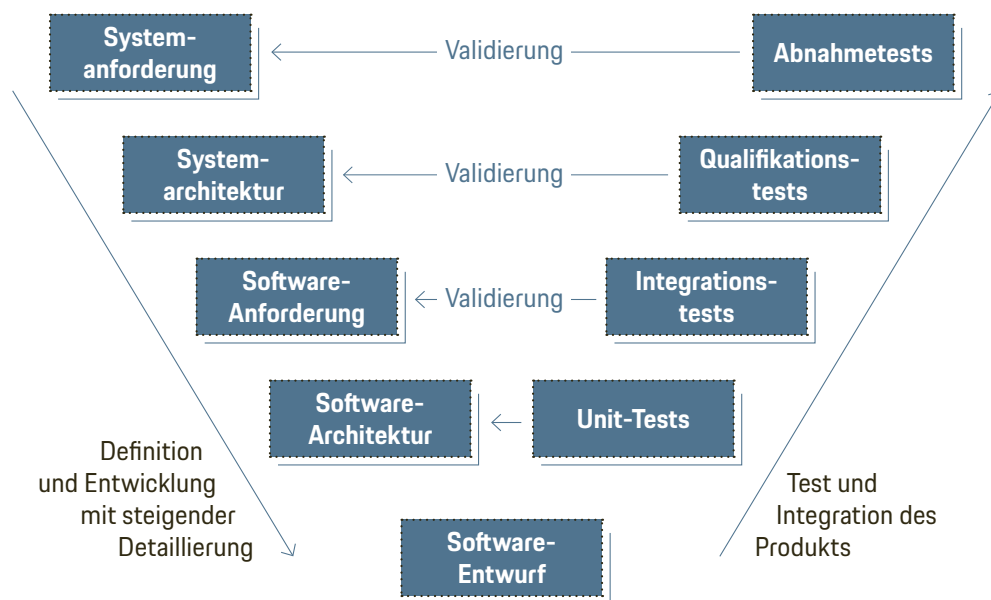
**M**oderne Fahrzeuge sind heute rollende Computer mit einem Netz von bis zu 100 elektronischen Steuergeräten, welche die Motor- und Batteriefunktionen steuern, die Klimaanlage überwachen oder das Infotainmentsystem kontrollieren. Hinzu kommen immer mehr intelligente Features wie Abstandsregelpostaten und automatisierte Fahrfunktionen. All das ist nur mithilfe komplexer Software möglich.

Mit zunehmender Komplexität der Software wächst auch der Aufwand, den OEMs und Zulieferer betreiben, um Fehler zu vermeiden und so eine hohe Software-Qualität sicherzustellen. Sie orientieren sich dabei einerseits an den Standardprozessen der Branche – vor allem Automotive SPICE (ASPICE) und ISO 26262 – sowie eigenen Coding- und Qualitätsrichtlinien, die beispielsweise die Nutzung fehleranfälliger Funktionen in bestimmten Programmiersprachen verbieten. Porsche Engineering erreicht mit seinen Entwicklungsprozessen zuverlässig und reproduzierbar ASPICE Level 2. Dies entspricht nicht nur dem aktuellen Stand

der Technik und bildet die essenzielle Basis für die Freigabe im Fahrzeug, sondern stellt auch gegenüber den Kunden sicher, dass Fehler und Abweichungen frühzeitig erkannt und behoben werden können.

Bei der Software-Entwicklung folgt Porsche Engineering dem V-Modell (siehe Abbildung): Links finden sich von oben nach unten die Schritte Systemanforderung, Systemarchitektur, Software-Anforderung und Software-Architektur. An der Basis des V ist der Software-Entwurf, dem auf der rechten Seite von unten nach oben die Schritte Unit-Tests, Integrationstests und Qualifikationstests sowie Abnahme und Nutzung folgen. „Zu jedem Schritt links gehört ein Testschritt rechts“, erklärt Stefan Rathgeber, Leiter der Software-Entwicklung bei Porsche Engineering. „Bei Unit-Tests prüfen wir zum Beispiel die kleinste Einheit auf Funktionsebene, Komponententests folgen dann eine Stufe darüber.“ Für sämtliche Ebenen gibt es Testkataloge, die auch alle Varianten berücksichtigen.

## VALIDIERUNG AUF JEDER EBENE MIT DEM V-MODELL ZU HOHER SOFTWARE-QUALITÄT



Porsche Engineering folgt bei der Software-Entwicklung dem bewährten V-Modell. Längs der linken Seite erfolgt die immer detailliertere Definition und Entwicklung der Software, auf der rechten Seite folgt anschließend die stufenweise Validierung der Ergebnisse. Für sämtliche Ebenen gibt es Testkataloge, die auch alle Varianten berücksichtigen.

Ein eigenes Team von Qualitätsmanagern überprüft bei Porsche Engineering, ob bei der Software-Entwicklung alle Prozessschritte eingehalten und dokumentiert werden. Sie führen ständig Reviews durch, um Probleme so früh wie möglich zu finden. Denn in späteren Entwicklungsphasen steigt der Aufwand für die Fehlersuche und -behebung stark an. Man kann beispielsweise nicht sämtliche möglichen Konstellationen testen, weshalb bestimmte unglückliche Kombinationen zu Problemen führen können.



**„Die Kombinatorik des Einzelsystems wird durch die Kombinatorik der Derivate noch potenziert.“**

Professorin Ina Schaefer  
Karlsruher Institut für Technologie

Die zahlreichen Fahrzeugderivate, die vielen Ausstattungsvarianten sowie Software-Updates nach Auslieferung der Fahrzeuge stellen eine besondere Herausforderung dar. „Derivate sind im Moment ein großes Thema“, weiß Thomas Machauer, Fachprojektleiter bei Porsche Engineering. „Man versucht, möglichst nur die Unterschiede zwischen den Derivaten zu testen und so den besten Kompromiss zwischen Aufwand und Qualität zu finden.“ Mit diesem Thema beschäftigt sich Professorin Ina Schaefer vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Sie konzentriert sich auf die intelligente Erzeugung und Priorisierung der Testfälle, vor allem für Software-Varianten. „Die Kombinatorik des Einzelsystems wird durch die Kombinatorik der Derivate noch potenziert“, erklärt sie. „Wir stellen uns darum folgende Fragen: Was muss man testen, um den Variantenraum gut abzudecken? In welcher Reihenfolge soll getestet werden? Wenn es gelingt, nur die Unterschiede zu testen, kommen wir zu einem effizienteren Testprozess.“

### INTELLIGENTE TESTAUSWAHL

Eine aktuelle Promotion an Schaefers Lehrstuhl beschäftigt sich mit dem intelligenten Testen verschiedener Fahrzeugvarianten, wenn ein Update Over-the-Air ausgespielt wird. „Updates machen alles komplizierter, weil die Fahrzeuge im Feld ganz unterschiedliche Software-Stände aufweisen“, so Schaefer. „Früher hat man die Software nur beim Start der Serienproduktion getestet. Künftig muss man für jedes Update nachtes-





## „Informatiker wollen mathematisch zeigen, dass ein Programm genau das tut, was die Spezifikation vorgibt.“

**Professor Ralf Reussner**  
Karlsruher Institut für Technologie

ten, was den Aufwand stark erhöht.“ Dadurch ergeben sich auch ganz neue Fragen: Was muss man bei einem individuellen Fahrzeug testen, damit alles sicher ist? Welchen Einfluss hat das Update auf die Komponenten des Fahrzeugs? Um diese Fragen zu beantworten, hat Schaefer's Team ein Prototypenwerkzeug entwickelt, das den Variantenraum untersucht und eine Liste von Konfigurationen liefert, die getestet werden sollen. Andere Werkzeuge schlagen die beste Testreihenfolge vor.

Aber selbst der intelligenteste Test kann nicht alle mathematisch möglichen Kombinationen von Ein- und Ausgabewerten einer Software abdecken. Darum arbeiten andere Wissenschaftler an der Verifikation von Code. „Informatiker meinen damit einen Beweis“, erklärt Professor Ralf Reussner vom KIT. „Sie wollen mathematisch zeigen, dass ein Programm genau das tut, was die Spezifikation vorgibt. In besonders sicherheitskritischen Bereichen der Luftfahrt wird dieser Ansatz bereits eingesetzt, und auch einzelne Automobilhersteller haben ihn im Rahmen von Forschungsprojekten bereits untersucht.“

Was auf den ersten Blick vielversprechend klingt, stößt allerdings oft an theoretische Grenzen. So gibt es mathematische Probleme, deren Wahrheit oder Falschheit nicht automatisch festgestellt werden kann – zum Beispiel wahre Aussagen, für die kein Beweis existiert. Für Software bedeutet das: Gewisse Eigenschaften kann man nicht für alle Computerprogramme mit einem Algorithmus prüfen – etwa ob ein Programm anhält oder in einer Endlosschleife hängen bleibt. „Im Allgemeinen werden wir darum nie ein Verifikationswerkzeug bauen können, das einen beliebigen Programmcode nimmt und vollautomatisch den Nachweis seiner Fehlerfreiheit führt“, sagt Reussner.

Oft haben die Wissenschaftler aber Glück und finden dennoch automatisch einen Korrektheitsbeweis. Und wenn das nicht möglich ist, kommen interaktive Werkzeuge zum Einsatz, bei denen der Mensch bei Bedarf in den Prozess eingreift. „In der Praxis machen diese Tools aber verblüffend viel automatisch“, so Reussner.

### SPEZIFIKATION AUS DEM LASTENHEFT

Ein weiteres Problem der Software-Verifikation: Wenn die Spezifikation falsch ist, ist auch der Beweis wertlos. Um das zu vermeiden, haben Informatiker eigene Spezifikationssprachen entwickelt, die Programmiersprachen ähneln. „Mit ihnen lassen sich logische Zusammenhänge, aber auch zeitliche Aussagen beschreiben“, sagt Reussner's KIT-Kollege Professor Bernhard Beckert. „Damit ist aber ein hoher Aufwand verbunden: Die präzise Spezifikation einer Software dauert heute etwa genauso lange wie das Schreiben des Codes. Weniger aufwendig ist aber die einfache Beschreibung, dass die Software typische Fehler wie eine Division durch null nicht enthält.“ Am einfachsten wäre es, wenn sich die präzise Spezifikation automatisch aus dem Software-Pflichtenheft ableiten ließe, was nach Beckert's Meinung in Zukunft mithilfe von Künstlicher Intelligenz möglich sein könnte: „Large-Language-Modelle wie ChatGPT wären eventuell in der Lage, das zu leisten.“

Künstliche Intelligenz könnte sich aber auch – zum Beispiel als Ergänzung zur formalen Verifikation – eigenständig auf die Suche nach Programmfehlern machen. Diesen Ansatz unter dem Namen „Neural Bug Detection“ untersucht die Arbeitsgruppe von Professorin Heike Wehrheim an der Universität Oldenburg. „Man kann eine KI mithilfe von korrekten und fehlerhaften Programmen darauf trainieren, Fehler zu finden“, so Wehrheim. „Das Thema ist noch sehr jung, boomt im Moment aber stark und wird von vielen Forschern untersucht.“ Bisher eignet sich der Ansatz allerdings nur für kleine Programme oder einzelne simple Funktionen.

„Bessere Software ist definitiv möglich, auch wenn sie nie hundertprozentig fehlerfrei sein wird“, fasst KIT-Expertin Schaefer die aktuelle Situation zusammen. „Aber mit guten Prozessen und innovativen Verfahren können wir die Qualität ständig verbessern. Mir wird in der Forschung darum wohl nie die Arbeit ausgehen.“ ●

# FAHRSPASS OHNE GRENZEN

Der legendäre 911 wurde 60 Jahre alt. Porsche nahm das runde Jubiläum zum Anlass, ein puristisches Sondermodell zu entwickeln. Mit seinem Leichtbaudesign, seiner atemberaubenden GT High-Performance und der deutlich reduzierten Dämmung wurde der 911 S/T ein Elfer in seiner reinsten Form.

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

---

**PORSCHE  
UND  
PRODUKT**

**911 HERITAGE**

---





**Zeitloses Design, modern interpretiert:** Der neue 911 S/T ist unverkennbar ein Nachfahre des legendären Originals von 1963.





**Exklusiv:** Vom Sondermodell zum Jubiläum des 911 gibt es nur 1.963 Exemplare.

**Edel:** Beim Heritage Design Paket dominieren im Innenraum die Farben Cognac und Schwarz. Die Sitzmittelbahnen aus Stoff haben schwarze Nadelstreifen – ein Bezug zur Historie des 911. Kunden des 911 S/T können zudem exklusiv den Chronograph 1 – 911 S/T erwerben.



**Der neue 911 S/T**

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 13,8 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission\* kombiniert: 313 g/km

Alle Verbrauchsangaben nach WLTP; Stand 11/2023



**Blickfänger:** Der Schriftzug „Porsche“ und die Modellbezeichnung „911 S/T“ am Heck sind beim Heritage Design Paket in Gold ausgeführt.



**P**orsche feiert das 60. Jubiläum des 911 mit einer auf maximalen Fahrspaß ausgelegten Sonderedition. Der auf 1.963 Exemplare limitierte Porsche 911 S/T setzt auf konsequenten Leichtbau und ein puristisches Fahrerlebnis. Erstmals bringt der Hochdrehzahl-Motor des 911 GT3 RS seine Kraft per Handschaltgetriebe und Leichtbaukupplung auf die Straße.

Zum runden Geburtstag der Sportwagenikone 911 haben die Ingenieure in Weissach einen besonders puristischen und fahrspaßorientierten Sportwagen konstruiert: den 911 S/T. Das exklusive Jubiläumsmodell verbindet die Stärken der Modelle 911 GT3 mit Touring-Paket und 911 GT3 RS und bietet eine einmalige Kombination aus Agilität und Fahrdynamik. Er kombiniert den frei saugenden, 386 kW (525 PS) starken Vierliter-Boxermotor aus dem 911 GT3 RS mit einem kurz übersetzten Handschaltgetriebe. Hinzu kommen konsequenter Leichtbau und eine auf Agilität und Fahrbarkeit optimierte Fahrwerkabstimmung. Der 911 S/T

↓  
Der Vierliter-  
Boxermotor  
liefert

**386 kW  
(525 PS)**

Leistung

Dank Leichtbau  
wiegt das  
Sondermodell nur

**1.380**  
Kilogramm

wiegt lediglich 1.380 Kilogramm (DIN leer, inklusive aller Flüssigkeiten) und ist damit das leichteste Modell der Generation 992. Optional nimmt das Heritage Design Paket Anleihen bei der Wettbewerbsversion des 911 S der späten Sechziger- und frühen Siebzigerjahre.

### SPONTANES ANSPRECHVERHALTEN

In die Konzeption des Jubiläumsmodells floss die GT- und Motorsport-Kompetenz von Porsche ein. Dies äußert sich in einem besonders leichtfüßigen und agilen Handling, das auf maximalen Fahrspaß auf kurvigen Landstraßen ausgelegt ist. Die Reduzierung der rotierenden Massen sowohl im Motor als auch bei Rädern und Bremsen sorgt für ein besonders spontanes Ansprechverhalten. Der S/T reagiert direkt und verzögerungsfrei auf die Befehle des Fahrers. Jede Lenkbewegung, jeder Druck auf Gas- oder Bremspedal werden unmittelbar und passgenau umgesetzt. Anders als beim 911 GT3 RS lag der Schwerpunkt der Entwicklung des 911 S/T nicht auf dem Rundstreckeneinsatz, sondern auf Fahrten auf öffentlichen Straßen.



**Bereit für die Rennstrecke:** Das Heritage Design Paket bietet exklusiv die Farbe Shorebluemetalllic. Auf den Türen können ein Dekorfoliensatz sowie eine frei wählbare Startnummer von 0 bis 99 aufgebracht werden.

## DIREKTER NACHFAHRE DES 911 S

Die Namensgebung identifiziert den neuen 911 S/T als Nachfahren einer besonders sportlichen Version der ersten 911-Generation. Ab 1969 bot Porsche den 911 S mit einer speziellen Wettbewerbsausführung an. Intern hießen diese Fahrzeuge 911 ST. Modifikationen an Fahrwerk, Rädern, Motor und Karosserie verbesserten die Längs- und Quer-Dynamik signifikant. Große Spoiler oder andere aerodynamische Hilfsmittel kamen bei diesen Modellen noch nicht zum Einsatz. Der neue 911 S/T greift den Geist des ursprünglichen 911 S (ST) auf und überträgt ihn auf die aktuelle Modellgeneration des Porsche 911. Das Jubiläumsmodell kombiniert Elemente des 911 GT3 RS mit der Karosserie des 911 GT3 mit Touring-Paket und ergänzt sie um speziell für den 911 S/T entwickelte Leichtbauteile. So entsteht ein einmaliges Fahrerlebnis innerhalb des 911 GT-Portfolios.

Sein besonders agiles und direktes Fahrverhalten erreicht der 911 S/T unter anderem durch konsequenten Leichtbau. Der Frontdeckel, das Dach, die vorderen Kotflügel sowie die Türen mit den markanten Einzügen bestehen aus leichtem Kohlenstofffaser-verstärktem Kunststoff (CfK). Gleiches gilt für Überrollkäfig, Hinter-

Der 911 S/T  
beschleunigt in

**3,7**

Sekunden  
auf 100 km/h

Seine  
Höchstgeschwindigkeit  
beträgt

**300**

km/h

achs-Stabilisator und Schubfeld (Versteifungselement an der Hinterachse). Serienmäßig stattet Porsche das Jubiläumsmodell außerdem mit Felgen aus Magnesium, der Keramik-Bremsanlage PCCB, einer Lithium-Ionen-Starterbatterie und Leichtbauglas aus. Mit reduzierter Dämmung, dem Entfall der Hinterachslenkung sowie Gewichtseinsparungen im Antriebsbereich erreicht der 911 S/T ein Leergewicht nach DIN von lediglich 1.380 Kilogramm. Damit wiegt der Straßensportler noch einmal rund 40 Kilogramm weniger als ein handgeschalteter 911 GT3 Touring.

Exklusiv für den 911 S/T entwickelten die Porsche-Ingenieure eine neue Leichtbaukupplung. In Verbindung mit einem Einmassenschwungrad senkt sie das Gewicht der rotierenden Massen um 10,5 Kilogramm. Dies verbessert das Ansprechverhalten des frei saugenden Boxermotors spürbar: Das Aggregat dreht nun besonders schnell und unmittelbar hoch. Gekoppelt an ein Sechsgang-Handschaltgetriebe mit kürzerer Übersetzung als beim 911 GT3 besticht der Hochdrehzahlmotor des 911 S/T mit einer noch spontaneren Dynamik. Er beschleunigt den 911 S/T in 3,7 Sekunden auf 100 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit liegt bei 300 km/h. Unterstrichen wird das emotionale Fahrerlebnis vom markanten Klangbild der serienmäßigen



ßigen Leichtbau-Sportabgasanlage. Als einziger 911 der aktuellen Generation kombiniert der 911 S/T eine Doppelquerlenker-Vorderachskonstruktion mit einer Mehrlenker-Hinterachse ohne Hinterachslenkung. Dämpfer und Regelsysteme erhielten eine darauf angepasste Abstimmung.

## SERIENMÄSSIGE CFK-SITZE

Auch bei den aerodynamischen Maßnahmen am 911 S/T steht der Einsatz auf öffentlichen Straßen im Vordergrund. Das Jubiläumsmodell ist serienmäßig mit einer Abrisskante („Gurney Flap“) am ausfahrbaren Heckspoiler ausgestattet. Zur Serienausstattung gehören außerdem Leichtbau-Magnesiumräder in 20 Zoll vorne und 21 Zoll hinten mit Zentralverschluss. An der Vorderachse sorgen Ultra-High-Performance-Reifen der Dimension 255/35 ZR 20 für ein hohes Maß an mechanischem Grip. An der Hinterachse rollt der 911 S/T auf Pneus der Dimension 315/30 ZR 21. Cfk-Vollschalenitze sind serienmäßig. Der Vierwege-Sportsitz Plus ist alternativ ohne Aufpreis erhältlich. Das Kombiinstrument und die Uhr des Sport-Chrono-Pakets führt Porsche in historischer Farbgebung in Grün aus. Optional bietet Porsche den 911 S/T mit einem exklusiven Heritage Design Paket an. Für diese besonders edle Variante gibt es exklusiv die neue

Exterieurfarbe Shorebluemetalllic sowie die Felgenfarbe Ceramica. Auf den Türen können auf Wunsch ein Dekorfoliensatz sowie eine frei wählbare Startnummer von 0 bis 99 aufgebracht werden. Porsche-Wappen im klassischen Design des Ur-Elfers an Front, Radzierdeckeln, Lenkrad, Kopfstützen sowie auf dem Fahrzeugschlüssel unterstreichen die historischen Wurzeln des 911 S/T. Im Interieur stellen die Sitzmittelbahnen aus Stoff in Classic Cognac mit Nadelstreifen in Schwarz einen weiteren Bezug zur Historie her. Ergänzt wird das Paket durch eine Bi-Color-Semianilin-Lederausstattung in Schwarz/Classic Cognac mit erweiterten Lederumfängen, einen Dachhimmel in perforiertem Dinamica sowie weiteren Elementen aus der Porsche Exklusive Manufaktur. Der Schriftzug „Porsche“ und die Modellbezeichnung „911 S/T“ am Fahrzeugheck sind in Gold ausgeführt.

Porsche Design bietet Kunden des 911 S/T exklusiv den Chronograph 1 – 911 S/T an. Ausgestattet mit einem Gehäuse aus Titan, aus Gewichtsgründen unbeschichtet und gestrahlt, greift diese exklusive Armbanduhr das Leichtbaukonzept des puristischen 911-Sondermodells auf. Das Herzstück des Chronographen ist das Porsche Design WERK 01.240 mit COSC-Zertifizierung und Flyback-Funktion. Es wird von einem Rotor angetrieben, der an das Design des Magnesiumrads des 911 S/T angelehnt ist. ●

### 911 GT3 RS

Kraftstoffverbrauch kombiniert:  
13,4 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission kombiniert:  
305 g/km

### 911 GT3

Kraftstoffverbrauch kombiniert:  
13,0–12,9 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission kombiniert:  
294–293 g/km

### 911 GT3 mit Touring-Paket

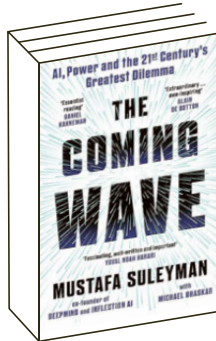
Kraftstoffverbrauch kombiniert:  
12,9 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission kombiniert:  
293–292 g/km

Alle Verbrauchsangaben  
nach WLTP; Stand 11/2023



**Sportwagen mit Motorsport-Genen:** Der 911 S/T bietet maximalen Fahrspaß auf kurvigen Landstraßen.

## Wissen vertiefen



BUCH

### Alles wird neu

Künstliche Intelligenz, DNA-Drucker und Quantencomputer verändern radikal die Welt. Das Buch stellt die zentrale Frage: Wie behalten wir die Kontrolle über diese neuen Technologien?

***The Coming Wave***

Mustafa Suleyman, Michael Bhaskar  
Bodley Head

## Über den Tellerrand



PODCAST

### Deep Dives in KI-Anwendungen

Ob Wildbiologen, Astrophysiker oder Datenwissenschaftler: In diesem Podcast von Nvidia berichten Spezialisten über konkrete Auswirkungen von KI – eine Person, ein Interview, eine Story.

***The AI Podcast***

[blogs.nvidia.com/ai-podcast](https://blogs.nvidia.com/ai-podcast)

PODCAST

### Expertendiskussionen rund um E-Mobilität

Valentin Buss und Marcus Zacher diskutieren mit ihren Gästen über Themen rund um E-Autos und Elektromobilität. Beispiele sind Batteriegesundheit, die Effizienz des elektrischen Antriebs und Ladetarife.

***Der Podcast zur Elektromobilität***

[www.elektroautomobil.com/newsbeitragskategorie/podcast/](http://www.elektroautomobil.com/newsbeitragskategorie/podcast/)



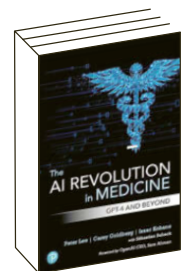
BUCH

### Revolution in der Medizin

GPT-4 und seine Konkurrenten stehen kurz davor, die Medizin zu revolutionieren. Jetzt muss geklärt werden: Was können sie tun? Was können sie nicht tun – jedenfalls noch nicht? Und was sollten die KI-Systeme niemals tun?

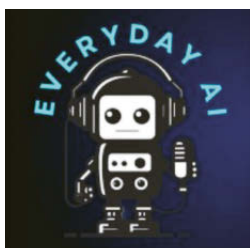
***The AI Revolution in Medicine***

Peter Lee, Isaac Kohane, Carey Goldberg  
Pearson



PODCAST

### Karriere machen mit KI



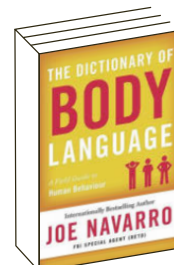
Dieser tägliche Livestream will Menschen helfen, ihre Karriere mit KI voranzutreiben. Er gibt dafür unter anderem praktische Tipps, wie man KI und maschinelles Lernen in seinen Alltag integrieren kann.

***Everyday AI***

[youeverydayai.com](http://youeverydayai.com)

BUCH

### Menschliches Verhalten entschlüsseln



Der ehemalige FBI-Agent Joe Navarro erklärt die verborgenen Bedeutungen hinter den vielen bewussten und unbewussten Dingen, die wir mit unserem Körper tun.

***The Dictionary of Body Language***

Joe Navarro  
Thorsons Publishing Group



Für das Kind in uns



SPIEL

## Strategiespiel für Kinder und Erwachsene

Das „GiiKER Smart Four“ ist ein innovatives 3D-Brettspiel, das sich von herkömmlichen Vier-in-einer-Reihe-Spielen abhebt. Und dank integrierter KI kann man sich mit einem intelligenten Computergegner messen, wenn keine zweite Person verfügbar ist.

**GiiKER Smart Four**  
www.amazon.de



SPIEL

## Kampf gegen das Chaos im Kopf

Hier muss man Karten ausspielen und dabei ein verwirrendes Chaos von Farben, Texten und Früchten durchschauen. Es beruht auf dem Stroop-Effekt: Unser Gehirn hat Schwierigkeiten, Wörter und Farben zu trennen, wenn sie in Konflikt miteinander stehen.

**Verkopft**  
simonjan.de

Intelligent unterhalten



FILM

## Dune 2

Im zweiten Teil der „Dune“-Neuverfilmung von Regisseur Denis Villeneuve verbündet sich Paul Atreides auf dem Wüstenplaneten Arrakis mit den Fremden, um seine Feinde zu besiegen. Wie schon in Teil 1 aus dem Jahr 2021 können die Zuschauer opulente Bilder vom Kampf von Gut gegen Böse erwarten.

**Dune 2**  
Seit dem 29. Februar 2024 im Kino



VIDEO Spiel

## Werde zur Spürnase

Der Spieler übernimmt die Rolle eines unter Gedächtnisverlust leidenden Detektivs, der einen Mordfall aufklären soll. Im Laufe der Untersuchung erinnert dieser sich wieder an Ereignisse aus seiner eigenen Vergangenheit und an Kräfte, die versuchen, Einfluss auf die Entwicklung der Stadt zu nehmen.

**Disco Elysium**  
discoelysium.com

1994



**Flexible Lösung:** Das von Porsche Engineering entwickelte Sitzkonzept Flex7 ermöglichte es, die hinteren beiden Sitze vollständig im Fahrzeugboden zu versenken und die mittlere Sitzreihe zusammengeklappt nach vorne zu schieben. So bot der Kompaktvan für bis zu sieben Personen Platz und die Ladefläche ließ sich je nach Bedarf im Handumdrehen vergrößern.

## Neuartiges Sitzkonzept

### Opel Zafira Kompaktvan

gebaut

1995–2019

**I**n den 1990er-Jahren beschloss die Adam Opel AG, auf Basis des Opel Astra einen siebensitzigen Kompaktvan zu entwickeln: den Opel Zafira. Der Auftrag dafür ging 1994 an die Porsche-Kundenentwicklung, wo sich die Ingenieure unter anderem mit dem Entwurf der Rohkarosserie und der Entwicklung des Interieurs beschäftigten. Aber auch die grundlegende technische Plattform musste überarbeitet werden: So war neben der Adaption von Motoren und Antriebsstrang sowie der Vorder- und Hinterachse des Opel Astra auch die komplette Neuentwicklung der Motorperipherie und der Fahrzeugelektrik erforderlich.

Ein weiterer Teil des Auftrags war der Prototypenbau und die Fertigung von Pilotserienfahrzeugen. Außerdem übernahm Porsche Engineering alle Ver-

suchsumfänge, inklusive Crashtests und Fahrversuchen. Aber auch den Produktionsanlauf unterstützten die Experten aus Weissach: Im Vorfeld des Serienstarts betreuten sie das Fertigungs-, Qualitäts- und Logistikmanagement der neuen Opel-Baureihe.

Im April 1999 war es dann so weit: Opel führte die erste Generation des Zafira ein, die zu einem großen Verkaufserfolg wurde. Zu den Besonderheiten des Kompaktvans gehörte das damals neuartige und von Porsche Engineering entwickelte Sitzkonzept Flex7: Es ermöglichte, die hinteren beiden Sitze vollständig im Fahrzeugboden zu versenken und die mittlere Sitzreihe zusammengeklappt nach vorne zu schieben. So ließ sich der Innenraum des Opel Zafira sehr flexibel und ohne großen Aufwand umgestalten – von der vollen siebensitzigen Bestuhlung bis zu einer 1,80 Meter langen und 1,11 Meter breiten ebenen Ladefläche war alles möglich. Und zwar, ohne die Sitze dafür ausbauen zu müssen.

Die erste Generation des Opel Zafira wurde zwischen 1999 und 2005 in Bochum gebaut. Weitere Produktionsstätten gab es in Thailand und Brasilien. Im Ausland war der Opel Zafira als Vauxhall Zefira, Chevrolet Zafira, Chevrolet Nabira, Holden Zafira und Subaru Traviq erhältlich. Nach der dritten Generation endete seine Karriere als Kompaktvan. Heute bietet Opel unter dem Namen Zafira Life einen Van an. ●



# Porsche Engineering Magazin

## Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH

## Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

## Projektleitung

Annemarie Eggers

## Redaktion

Axel Springer Corporate Solutions GmbH & Co. KG, Berlin

Chefredaktion: Christian Buck

Projektmanagement: Boris Benesch

Bildredaktion: Bettina Andersen

## Autoren

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 9110

Fax +49 711 9118999

Internet: [www.porscheengineering.com](http://www.porscheengineering.com)

## Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

## Druck

optimal media GmbH

Glienholzweg 7

17207 Röbel/Müritz

## 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](mailto:magazin@porsche-engineering.de)



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

S. 1 Cover: Adobe Stock; S. 4–5 Fotos: Női Crew, Illustrationen: Getty Images, Romina Birzer; S. 6–7 Fotos: Hackathon (3), Istockphoto [M];  
S. 8 Foto: Getty Images; S. 10–11 Illustration: Supertotto; S. 12 Illustration: Getty Images; S. 18–25 Fotos: Női Crew; S. 26–29 Illustration: Getty Images;  
S. 38–39 Illustration: Julien Pacaud; S. 44–51 Fotos: Női Crew; S. 56–59 Foto: @KIT

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.

# PORSCHE DESIGN



## Rebirth of an icon. Born in 1972. Redefined in 2022.

### CHRONOGRAPH 1 – ALL BLACK NUMBERED EDITION.

Das erste Porsche Design Produkt. Die weltweit erste gänzlich schwarze Armbanduhr. Der erste Chronograph mit Porsche DNA, der den Anspruch und die Qualitätsanforderungen von Porsche erfüllt. 1972 von Ferdinand Alexander Porsche, dem Designer des legendären Porsche 911 und Gründer von Porsche Design, entworfen und 2022 neu aufgelegt: der Chronograph 1 – All Black Numbered Edition. Eine Ikone der nächsten Generation.

[porsche-design.com/Chronograph1AllBlack](https://porsche-design.com/Chronograph1AllBlack)

