

Porsche Engineering Magazin

FAST FORWARD

Wie Künstliche Intelligenz
neue Möglichkeiten erschließt



PORSCHE



NEUER ANTRIEB. GLEICHER DRIVE.

Erkennbar. Unverkennbar. Der vollelektrische Macan.

Macan 4 (WLTP): Stromverbrauch kombiniert: 21,1 – 17,9 kWh/100 km;
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km; CO₂-Klasse: A; Stand 09/2024



Dirk Lappe
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

wieder einmal befindet sich die Welt in einer Phase, in der die bestmögliche Deutung dessen, was vor uns liegt, schwierig und gleichermaßen essenziell für die Gestaltung unserer Zukunft ist. Insbesondere bei den Auswirkungen der Künstlichen Intelligenz betrachten wir häufig kurzfristige und offensichtliche Veränderungen, wie etwa Automatisierung und Effizienzsteigerungen. Eine ganzheitliche und proaktive Auseinandersetzung mit den möglichen langfristigen Konsequenzen finden Sie in einem spannenden Gespräch zwischen unserem CEO Markus-Christian Eberl und Dr. Matthias Peissner, Experte für Mensch-Technik-Interaktion am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.

Bei Porsche Engineering nutzen wir KI auf vielfältige Art und Weise. Mittels Reinforcement Learning optimieren wir beispielsweise Crash-Simulationen und die Fehlersuche bei Erprobungen. KI identifiziert in Videoaufnahmen von Versuchsfahrten seltene Corner Cases und optimiert die Objektivität der Fahrkomfortbewertung. Die genannten Beispiele sind lediglich ein kleiner Ausschnitt der Themen, an denen wir bereits heute arbeiten und die Sie in der aktuellen Ausgabe des Porsche Engineering Magazins erwarten.

Fest steht, dass KI weit mehr als nur ein weiteres Tool unseres Werkzeugkastens darstellt. Die Einführung von Large Language Models (LLMs) mit einem noch nie dagewesenen Potenzial, große Mengen an Daten schnell zu analysieren, Muster zu erkennen und daraus Schlussfolgerungen zu ziehen, leitet ein neues Zeitalter ein, in dem unsere Lebens- und Arbeitswelt in kürzester Zeit grundlegend revolutioniert wird.

Ungeachtet dieser neuen Fähigkeiten und Möglichkeiten der KI sollten wir eines jedoch niemals vergessen: Der Mensch ist und bleibt in dieser technologischen Landschaft unersetzlich. Ein großer Teil unseres Gehirns wird für Kommunikation mit unserer Umwelt und unseren Mitmenschen genutzt, wodurch sich Diskurs, Reflexion und Kreativität entwickeln. Die Begrenzungen des menschlichen Körpers und des Geistes zwingen uns dazu, kreative, intuitive Lösungen zu finden und oft auch ethische Entscheidungen zu treffen, die eine KI nicht auf gleiche Weise nachbilden kann. Diese Fähigkeiten werden in einer zunehmend von KI dominierten Welt von immer größerer Bedeutung sein.

Ein Blick in die Zukunft der Fahrzeugentwicklung unter Zuhilfenahme von KI zeigt den Beginn einer neuen Ära, in der KI, menschliches Urteilsvermögen und deterministische Systeme Hand in Hand gehen. Es liegt an uns, diese Technologie gewinnbringend zu nutzen, Chancen zu ergreifen und die Fahrzeugentwicklung auf ein bisher ungeahntes Niveau zu heben.

Lassen Sie uns diesen Weg gemeinsam beschreiten!

Dirk Lappe
CTO

—————> **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 Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Software-Entwicklerinnen und -Entwickler widmen sich neuesten Technologien, etwa in den Feldern hochautomatisierte Fahrfunktionen, E-Mobilität und Hochvoltsysteme, 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.

Perspektiven der KI: Dr. Matthias Peissner (links) und Markus-Christian Eberl sprechen über die Industrialisierung des Denkens.

Objektive Aussage: Sensoren messen während der Fahrt am Fahrzeug vertikale Beschleunigungen, eine KI bewertet daraufhin den Komfort.



INHALT 02/2024

PORSCHE
ENGINEERING
DIGITAL



TITEL FAST FORWARD – WIE KÜNSTLICHE INTELLIGENZ NEUE MÖGLICHKEITEN ERSCHLIESST

12
**Sprachmodelle mit
Ingenieurs-Know-how**
Porsche Engineering setzt Large Language Models in der Fahrzeugentwicklung ein und steigert so die Effizienz der Prozesse.

18
**KI-Agent auf
Crashkurs**
Reinforcement Learning unterstützt bei Porsche Engineering die Auslegung von Rückhaltesystemen im Bereich der passiven Sicherheit.

22
**Souverän
im Grenzfall**
Mit KI-Hilfe lassen sich Corner Cases im Straßenverkehr automatisch erkennen – eine wichtige Voraussetzung, um ADAS-Systeme weiter zu verbessern.

26
**ADAS-Validierung
mit dem Smartphone**
Die Kombination aus ComBox-App und Smartphone macht die ADAS-Validierung skalierbar.

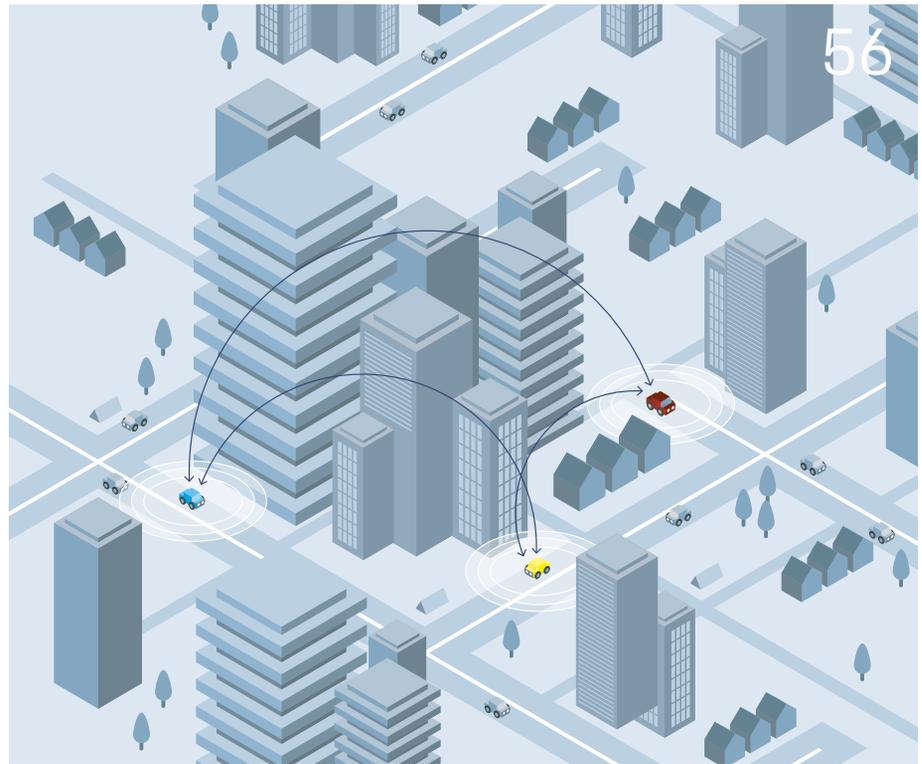
28
Objektiv komfortabel
Porsche Engineering hat eine KI-basierte Fahrkomfortbewertung entwickelt, die als Ergänzung zu den Bewertungen von menschlichen Experten objektive Resultate liefert.

32
**„Wir stehen an einer
großen Schwelle“**
Markus-Christian Eberl und Dr. Matthias Peissner sprechen im Interview über die Chancen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz.

Nah an der Realität: Im Fahrsimulator kann Tille Karoline Rupp neue digitale Funktionen erleben – ohne Versuchsfahrzeug.



Permanent vernetzt: Über V2X können Fahrzeuge aktuelle Daten austauschen und so beispielsweise Unfälle verhindern.



PERFORMANCE UND EXPERTISE

38

Aus DC mach AC

Die Wechselstrom-Batterie von Porsche Engineering vereint viele Komponenten in einem Bauteil.

42

Stabil wie Stahl

Tape-basierter Kohlefaserleichtbau (TABASKO) macht Fahrzeugkomponenten leichter und nachhaltiger.

46

Versuchsfahrt ohne Versuchsfahrzeug

Fahrsimulatoren liefern früh ein subjektives Feedback neuer digitaler Funktionen.

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

52

Die grosse Verschmelzung

Laut KI-Prophet Ray Kurzweil steht die „KI-Singularität“ kurz bevor: Computer übertreffen die menschliche Intelligenz.

56

Wir bleiben in Kontakt

Das Software-Team des Nardò Technical Centers hat drei prototypische V2X-Anwendungen entwickelt.

PORSCHE UND PRODUKT

60

Doppelt fährt besser

Der neue 911 Carrera GTS ist der erste straßenzugelassene Elfer, der mit einem besonders leichten Performance-Hybrid ausgestattet ist.

RUBRIKEN

03 Editorial

06 Meldungen

10 Auf den Punkt.

66 Nach gedacht

68 Rückblick

69 Impressum

MITWIRKENDE



Richard Backhaus ist Fachjournalist für Automobilthemen. Er hat den Artikel über Large Language Models geschrieben.



Annette Cardinale ist eine Fotografin aus Esslingen. Sie hat die Fahrsimulatoren von Porsche Engineering fotografiert.



Matt Murphy ist ein preisgekrönter britischer Illustrator mit Sitz in Dorset. Von ihm stammt das Cover dieser Ausgabe.



Virtuelle Verschmelzung:

Das VET kann Kameraaufnahmen mit CAD-Daten verschmelzen und hilft den Ingenieurinnen und Ingenieuren unter anderem dabei, Komponenten korrekt zu platzieren.

Visual Engineering Tool

DOPPELT SO SCHNELL ZUM ZIEL

Vor einem Crashtest müssen die Versuchsfahrzeuge manuell mit mehreren Hunderten Sensoren ausgerüstet werden. Keine leichte Aufgabe: Die Messtechnik muss an genau vorgegebenen Positionen platziert sein, und beim Einbau kann es immer wieder zu Fehlern kommen. Ingenieurinnen und Ingenieure haben bei dieser Aufgabe einen Helfer zur Seite: das Visual Engineering Tool (VET), das der Fachbereich Data Engineering & AI von Porsche Engineering entwickelt hat. Die Software kann reale Kameraaufnahmen mit CAD-Daten zu Augmented Reality (AR) verschmelzen. Sie ist für Tablets mit iOS-Betriebssystem sowie die Mixed-Reality-Brillen HoloLens 2 von Microsoft und Vision Pro von Apple erhältlich. Im Falle der Crashtest-Versuchsfahrzeuge zeigt das VET in einer Mixed-Reality-Brille beispielsweise an, wo genau die Ingenieurinnen und Ingenieure die Sensoren einbauen müssen – und dank der Brille haben sie dabei sogar beide Hände frei. Durch das Einscannen eines QR-Codes wird der Einbau automatisch erfasst, und ein Foto vom gerade installierten Sensor ergänzt die Dokumentation des Fahrzeugumbaus. Das steigert die Effizienz erheblich, denn die Vorbereitung der Versuchsfahrzeuge gelingt mit VET-Unterstützung doppelt so schnell wie zuvor. Das Tool eignet sich aber auch für Schulungen, zum Beispiel im Bereich After Sales. Statt Mitarbeitende mit Präsentationen zu schulen, lernen sie neue Produktfeatures nun zeitgemäß mit AR-Unterstützung kennen. Ursprünglicher Einsatzzweck des VET war die Visualisierung von Bauteiltoleranzen, ohne dafür ein reales Modell von Fahrzeugkomponenten bauen zu müssen. Im Laufe der letzten Jahre wurde das Tool für weitere Einsatzzwecke weiterentwickelt.

911 Carrera

Kraftstoffverbrauch kombiniert:
10,7 - 10,1 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
244 - 230 g/km
CO₂-Klasse: G

718 Cayman GTS 4.0

Kraftstoffverbrauch kombiniert:
10,9 - 10,1 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
247 - 230 g/km
CO₂-Klasse: G

Taycan 4S

Stromverbrauch kombiniert:
20,9 - 17,7 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
0 g/km
CO₂-Klasse: A



Bewährtes Tool: Das VET eignet sich für den Einsatz im Engineering ebenso wie für Schulungen im Bereich After Sales.



Lecce/Nardò Technical Center

EIN JAHR SOFTWARE-INNOVATIONEN AM NARDÒ TECHNICAL CENTER

Das Nardò Technical Center (NTC) in Italien agiert als Technologiepartner für die integrierte Entwicklung und Validierung künftiger Fahrzeuge. Im Juni 2024 feierte es das erste Jubiläum seines neuesten Bereichs, der auf die Softwareentwicklung für intelligente und vernetzte Fahrzeuge ausgerichtet ist. Zum Team gehören IT-Ingenieurinnen und -ingenieure, Softwarearchitektinnen und -architekten sowie Entwicklerinnen und Entwickler. Sie befassen sich mit einer ganzen Reihe von Technologien, von hochautomatisierten Fahrfunktionen über die Kommunikation

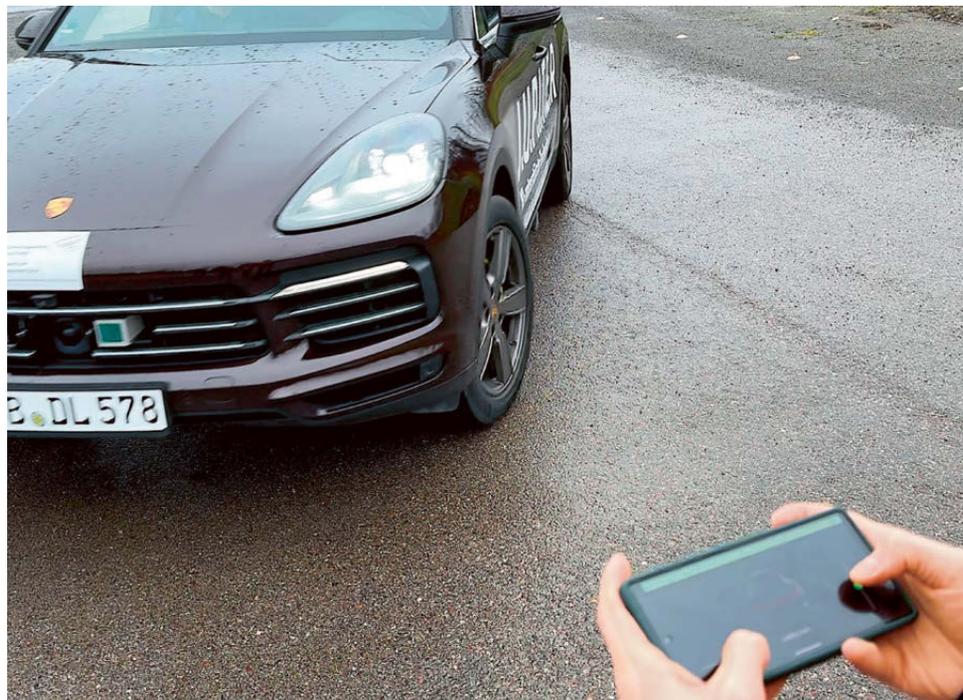


zwischen Fahrzeugen sowie der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur bis hin zur Fahrzeugkonnektivität und Systemen für die Auswertung großer Datenmengen in der Cloud. Die entwickelten Lösungen werden direkt auf den Teststrecken des NTC erprobt. Dadurch kann das NTC seinen Kunden End-to-End-Entwicklungs- und Validierungsdienstleistungen für Softwaredefinierte Mobilität direkt vor Ort anbieten. Neben den Kundenprojekten gibt es auch eigene Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Dazu zählen die erfolgreiche Anwendung von Künstlicher Intelligenz im Bereich des autonomen Fahrens sowie die Entwicklung eines robusten Cybersicherheitskonzepts für die Vehicle-to-Everything-Kommunikation (V2X). Dabei setzt das NTC auf ein Talent- und Partnernetzwerk auf lokaler und nationaler Ebene, zum Beispiel eine Kooperationen mit der Universität Salento in Lecce.

Neue Möglichkeiten für Entwicklungsplattform

EINFACHER ZUGRIFF AUF FAHRZEUGFUNKTIONEN

Neue Fahrzeug-Apps für Smartphones schnell und einfach als Prototypen erlebbar machen: Das ermöglicht die Kombination der JUPITER-Versuchsfahrzeuge (Joint User Personalized Integrated Testing and Engineering Resource) von Porsche Engineering mit dem Framework SDV:os des Start-ups Veecla aus Berlin. Wie das in der Praxis aussehen kann, haben die beiden Unternehmen am Beispiel eines Entwicklungsfahrzeugs auf Basis des Porsche Cayenne demonstriert – mithilfe einer App, die auf einem Smartphone läuft. Mit dem linken Daumen lässt sich darüber aus der Ferne das Lenkrad des Entwicklungs-Cayenne kontrollieren, während der rechte Daumen die Geschwindigkeit der Vorwärts- und Rückwärtsfahrt vorgibt. Bei den bisherigen Fahrzeugarchitekturen war es nur mit großem Aufwand möglich, eine solche funktionale Brücke zu schlagen. In diesem Anwendungsfall vereinfacht die Kooperation mit Veecla diesen Prozess: Die Software verbindet unter anderem die Welt der Android-Endgeräte über das fahrzeugspezifische Betriebssystem Android Automotive mit der Steuerung in den JUPITER-Entwicklungsfahrzeugen – über die Ökosystemerweiterung von JUPITER können die Software-Entwicklerinnen und -Entwickler ganz einfach und selbst auf tiefster Ebene ins Fahrzeug eingreifen, um beispielsweise mit dem Smartphone das Steuer zu bedienen oder die Sitze zu verstellen. Damit erweitert Porsche Engineering die Nutzungsmöglichkeiten der JUPITER-Entwicklungs- und Versuchplattform im Sinne eines Software Defined Vehicles bis hin zur Integration mit smarten Endgeräten. Zusätzlich haben Drittanbieter dadurch die Möglichkeit, Funktionalitäten ihrer Apps in kürzester Zeit am Fahrzeug erlebbar zu machen.



Einfacher Zugriff: Dank der Middleware Veecla lassen sich neue Fahrzeug-Apps in Kombination mit JUPITER-Versuchsfahrzeugen schnell und einfach als Prototypen erlebbar machen.

Cayenne

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



Mehr als 30 Jahre Engagement in China

10-JÄHRIGES JUBILÄUM DER TOCHTERGESELLSCHAFT IN SHANGHAI

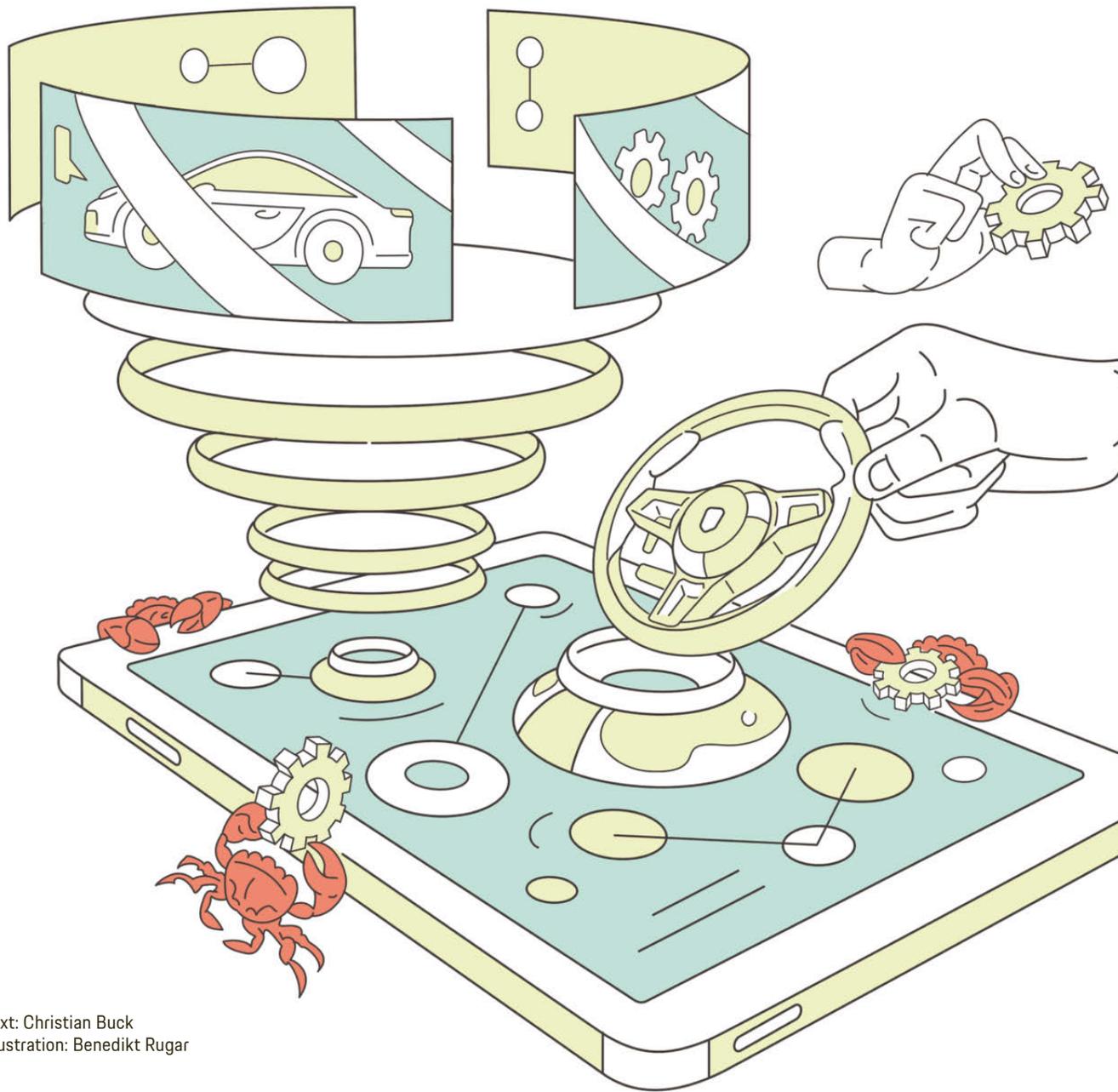
Bereits seit mehr als 30 Jahren ist die Kundenentwicklung von Porsche im chinesischen Markt aufgrund seiner prägenden Rolle für globale industrielle und technologische Veränderungen aktiv. Im Jahr 2014 ging Porsche Engineering den nächsten Schritt und gründete eine Tochtergesellschaft als lokalen Stützpunkt in Shanghai. Im Jahr 2024 jährt sich diese Gründung somit zum zehnten Mal. Um dem stetig wachsenden Lokalisierungsbedarf und den spezifischen Anforderungen des Marktes gerecht zu werden – insbesondere im Hinblick auf hochautomatisiertes Fahren, Konnektivität und Infotainment –, kam 2022 ein weiterer Standort in Peking hinzu. Im selben Jahr übernahm der heutige CEO Uwe Pichler-Necek die Geschäfte. Er setzt die Erfolgsgeschichte von Kurt Schwaiger fort, der den Standort in Shanghai in Bezug auf technologische Kompetenzen und Kapazitäten auf- und ausbaute. Im Jahr 2023 erreichte Porsche Engineering China einen weiteren Meilenstein mit 200 Vollzeitmitarbeitenden, die in unmittelbarer Nähe zu wichtigen Kunden und Partnern in China arbeiten. Mit Blick auf die Zukunft wird das Engagement für technische Exzellenz, Innovation und kundenorientierte Lösungen Porsche Engineering China weiterhin leiten. Schwerpunkte der Arbeit sind die Weiterentwicklung von ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), Konnektivität und Infotainment-Technologien. So gestaltet Porsche Engineering China für seine Kunden und Partner in der Automobilbranche eine intelligenter, stärker vernetzte und immersive Zukunft.



Jubiläum: Vor zehn Jahren gründete Porsche Engineering die Tochtergesellschaft in Shanghai. 2022 kam ein weiterer Standort in Peking hinzu. Schwerpunkte der dortigen Arbeit sind ADAS, Konnektivität und Infotainment.

AUF DEN PUNKT.

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



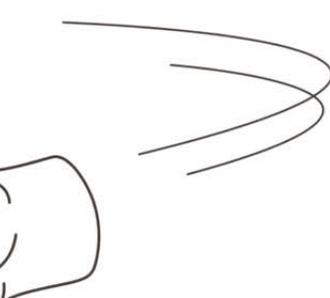
Text: Christian Buck
Illustration: Benedikt Rugar

Alles andere als eingerostet

Die Programmiersprache Rust kombiniert die Sicherheit und den Komfort moderner Sprachen, ohne dabei auf die Leistung traditioneller Systemsprachen wie C und C++ zu verzichten. Gemeinsam mit dem Einsatz von LLMs in klassischen Sprachen steht der Automobilentwicklung so weiteres Effizienzpotenzial zur Verfügung.

Krustentier am Steuer:

Die Krabbe „Ferris“ ist das Maskottchen der Rust-Community. Dank seiner technischen Vorzüge könnte Rust in Zukunft auch im Fahrzeug immer mehr Steuerungsaufgaben übernehmen.



Rust ist eine Programmiersprache, die seit 2009 entwickelt wird und 2010 erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt wurde. Seitdem hat Rust stark an Popularität gewonnen und ist in den letzten fünf Jahren von allen Programmiersprachen am stärksten gewachsen, wobei die Kombination aus Leistung und Sicherheit von Entwicklerinnen und Entwicklern besonders geschätzt wird. Rund um die Sprache hat sich eine schnell wachsende Community und ein Ökosystem mit zahlreichen Bibliotheken und Werkzeugen entwickelt. Große Technologieunternehmen wie Google, Mozilla, Microsoft, Amazon und Facebook setzen Rust in verschiedenen Projekten ein, unter anderem in sicherheitskritischen Anwendungen und für Systemsoftware.

Ein Grund für die Popularität von Rust ist die erhöhte Sicherheit im Vergleich zu C oder C++, insbesondere durch die Vermeidung von Fehlern bei Speicherzugriffen. Rust eliminiert diese Probleme durch ein „Ownership-System“, das strenge Regeln für den Speicherzugriff festlegt. Jede Variable in Rust besitzt beispielsweise einen bestimmten, ihr zugewiesenen Speicherbereich – den sie auch wieder freigeben muss, wenn er

nicht mehr benötigt wird. Das geschieht automatisch, wenn die Variable ihren Gültigkeitsbereich (Scope) verlässt. Auch beim Einsatz von Referenzen auf Speicherbereiche steigt die Sicherheit: Sie sind in Rust mit Lifetimes (Lebensdauern) versehen. Das soll sicherstellen, dass Referenzen nie auf ungültige Speicherbereiche zeigen. Race Conditions (Wettrennen um den Zugriff auf Ressourcen) zwischen verschiedenen Ausführungs-Threads eines Programmes werden durch das Ownership-System ebenfalls vermieden – hier lautet das Stichwort „Concurrency-Sicherheit“.

Trotz der erhöhten Sicherheit müssen Entwicklerinnen und Entwickler bei Rust keine Abstriche bei der Performance machen. Die Programmiersprache kann in vielen Fällen mit der Geschwindigkeit von C und C++ mithalten. Diese Kombination aus Sicherheit und Leistung macht Rust besonders attraktiv für die Entwicklung von Systemsoftware, Echtzeitanwendungen und andere Projekte mit hohen Leistungsanforderungen.

Ein weiterer Vorteil der Programmiersprache ist die ausgereifte Rust-Toolchain. Das integrierte Paketverwaltungssystem „Cargo“ und das robuste Testsystem machen die Softwareentwicklung effizient. Entwicklerinnen und Entwickler können schnell und einfach neue Projekte starten, Abhängigkeiten verwalten und umfangreiche Tests durchführen. Das erleichtert die Zusammenarbeit in Teams und fördert eine saubere, strukturierte Codebasis. Wie hoch das Ansehen von Rust mittlerweile ist, zeigt auch sein Einsatz als Programmiersprache für den Kern des Linux-Betriebssystems, bei dem Leistung und Sicherheit eine Schlüsselrolle spielen und der bislang in C programmiert wurde.

WACHSENDES INTERESSE

In der Automobilindustrie wächst das Interesse an Rust kontinuierlich, denn durch die Kombination aus Speichersicherheit, Effizienz und Concurrency-Sicherheit ist die Programmiersprache gut für den Einsatz in sicherheitskritischen eingebetteten Systemen für Fahrzeuge geeignet. Porsche Engineering hat bereits Erfahrungen damit gesammelt: „Wir haben im Januar ein erstes Projekt mit Rust gestartet: Wir programmieren damit den Kern eines Datensammler-Frameworks, das wir als Software-as-a-Service Dritten anbieten wollen“, berichtet Dr. Heiko Helble, Fachprojektleiter für ADAS-Softwareentwicklung bei

Porsche Engineering. „Cybersecurity spielt dabei eine wichtige Rolle für uns – und genau darum haben wir uns für Rust entschieden.“ Wie viele andere Expertinnen und Experten schätzt auch Helble an der Programmiersprache, dass sie typische Probleme wie unerlaubte Speicherzugriffe behebt und durch ihre Datentypen für die konsistente Verwendung von physikalischen Einheiten sorgt – es ist also beispielsweise nicht möglich, die Geschwindigkeit an einer Stelle in Metern pro Sekunde und an einer anderen Stelle in Kilometern pro Stunde zu erfassen. „Das erhöht den Programmieraufwand nur minimal, beschleunigt das Testing und die Fehlersuche aber deutlich“, so Helble.

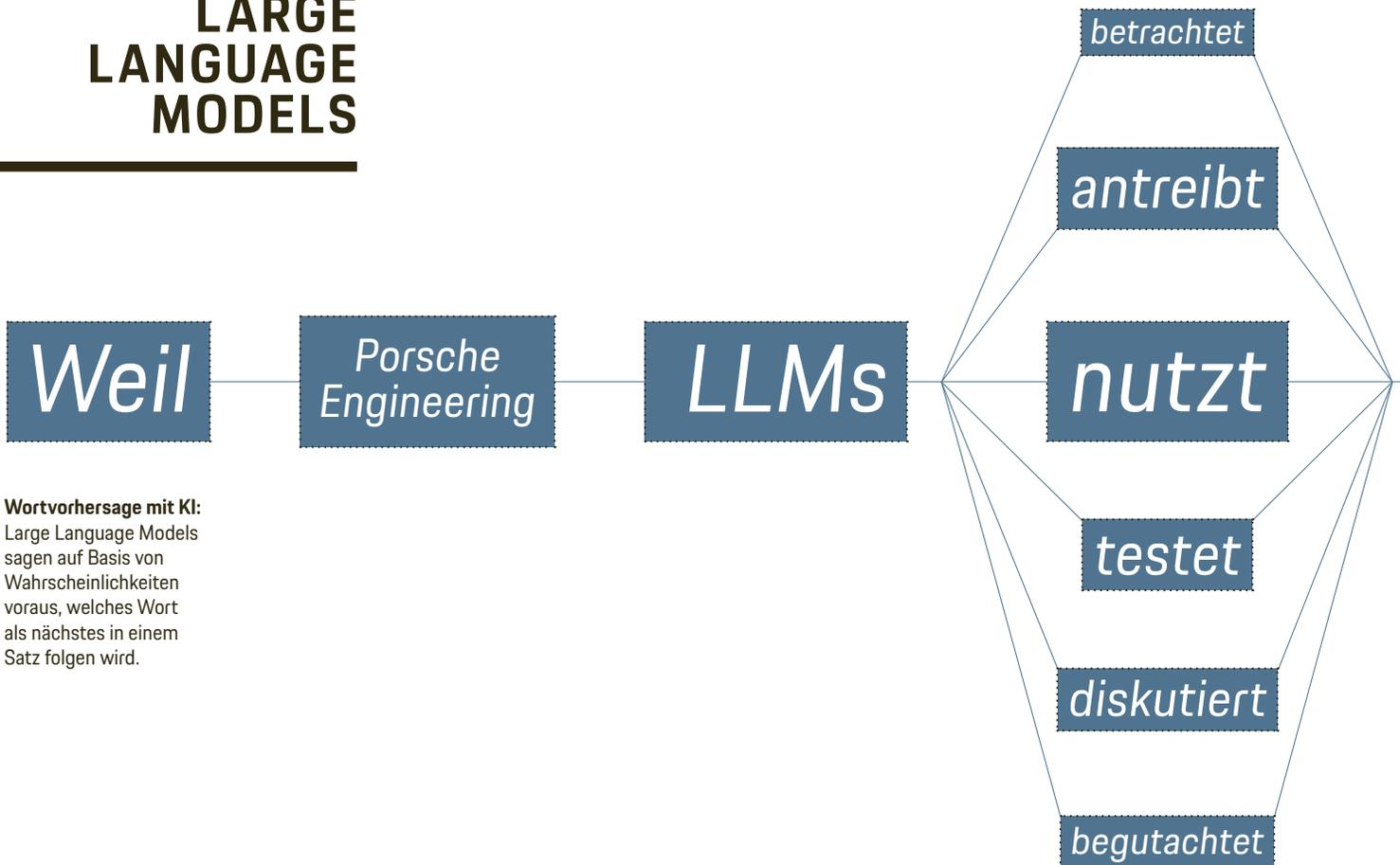
KOMBINATION MIT EINEM LLM

Ein relativ neuer Trend in der Softwareentwicklung ist die Kombination von manueller und KI-unterstützter Programmierung, zum Beispiel mithilfe von Large Language Models (LLMs). Dabei gibt die Programmiererin oder der Programmierer einem LLM eine Teilaufgabe vor, und die KI liefert daraufhin den Quellcode. Prinzipiell ist das mit jeder Programmiersprache möglich, sofern das KI-Modell mit genügend Beispielen trainiert wurde. „Obwohl Rust viel jünger ist als C und es darum auch viel weniger Trainingsdaten gibt, funktioniert das bereits sehr gut“, berichtet Helble. „Ich habe mit einem LLM in 20 Minuten eine sehr komplexe Aufgabe auf Anhieb gelöst, für die ich normalerweise mehrere Stunden gebraucht hätte. Die Software war sofort lauffähig.“

Diese Art der KI-unterstützten Programmierung in Sprachen wie C oder C++ ist bereits heute bei Porsche Engineering erfolgreich im Einsatz. „LLMs bieten uns wertvolle Unterstützung bei der Lösung von Teilaufgaben“, berichtet Jonas Brandstetter, Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering. „Das könnte zum Beispiel die Kommunikation mit Peripherie-Hardware über bestimmte Schnittstellen sein. In Zukunft könnten wir aber bei den Anforderungen des Kunden starten, daraus die Aufgaben für das LLM generieren und so schließlich zum Code kommen.“ Entscheidend beim LLM-Einsatz in der Softwareentwicklung ist der Schutz vertraulicher Daten. Aus diesem Grund nutzt Porsche Engineering intern zugängliche Lösungen, die auf LLMs basieren, aber alle Datenschutzanforderungen erfüllen. ●

TITEL

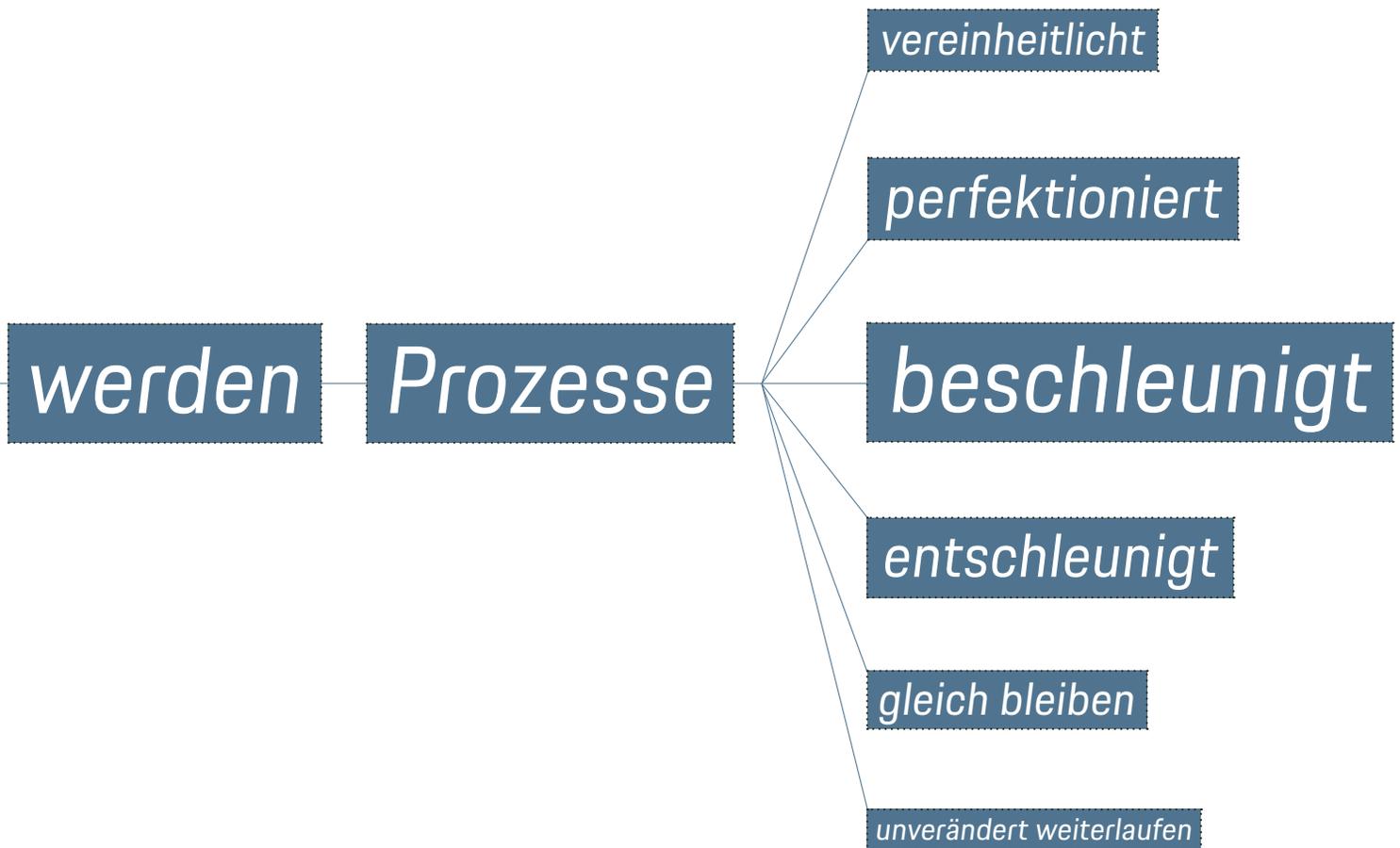
LARGE LANGUAGE MODELS

**Wortvorhersage mit KI:**

Large Language Models sagen auf Basis von Wahrscheinlichkeiten voraus, welches Wort als nächstes in einem Satz folgen wird.

Large Language Models (LLMs) können dank Künstlicher Intelligenz natürliche Sprache verstehen und Aufgaben wie Texterzeugung, Beantwortung von Fragen oder auch Übersetzungen übernehmen. Porsche Engineering setzt LLMs auch in der Fahrzeugentwicklung ein und steigert so die Effizienz im Entwicklungsprozess.

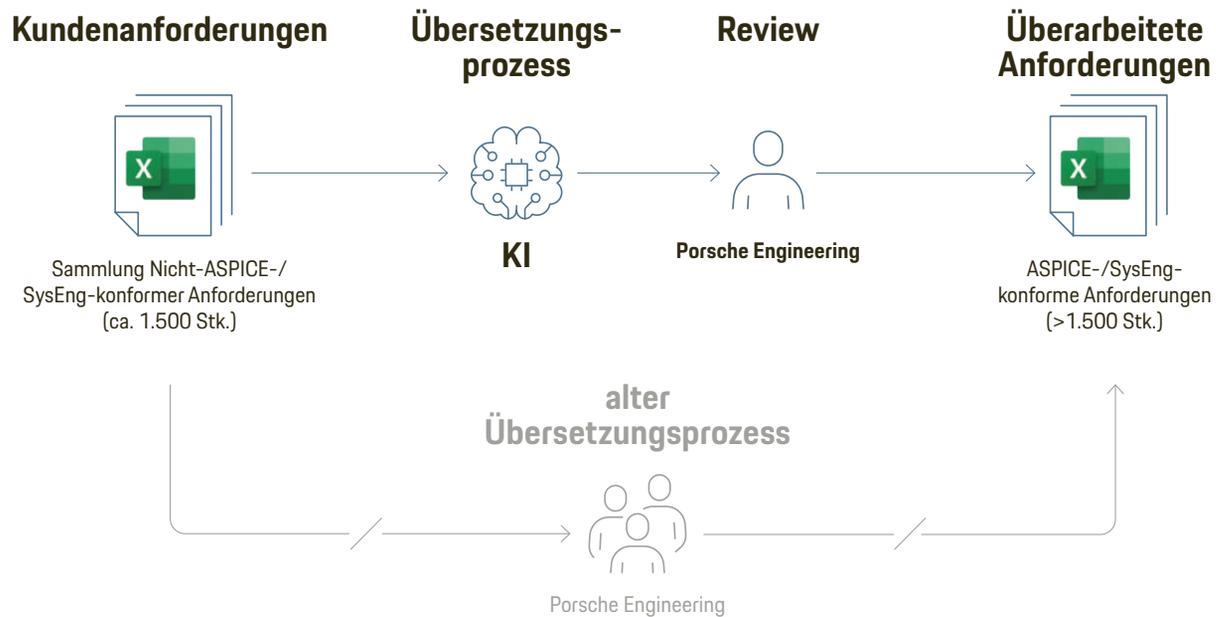
Text: Richard Backhaus



Der 1799 entdeckte Rosetta-Stein gilt als Meilenstein zur Entzifferung der ägyptischen Schriften. Er enthält ein auf 196 v. Chr. datierbares Priesterdekret aus der altgriechisch-makedonisch-ptolemäischen Dynastie in drei verschiedenen Sprachen. Durch den Vergleich der Texte und Schriftzeichen bot er einen Hebel zur Entschlüsselung der bis ins 19. Jahrhundert nicht entzifferbaren ägyptischen Hieroglyphen. Seit dieser Zeit wird der Begriff „Rosetta-Stein“ verwendet, um auf einen wesentlichen Hinweis bei Entschlüsselungsaufgaben zu verweisen.

Heute gelten KI-basierte Sprachmodelle, sogenannte Large Language Models (LLMs), als Rosetta-Stein der Zukunft. „Ein Large Language Model basiert auf neuronalen Netzen und ist in der Lage, die Bedeutung natürlicher Sprache im Kontext zu entschlüsseln und maschinell aufzubereiten. LLMs können Sprache verstehen, verarbeiten und übersetzen, aber auch neue Texte generieren“, erklärt Dr. Joachim Schaper, Leiter Fachdisziplin KI und Big Data bei Porsche Engineering. Porsche Engineering setzt LLMs ein, um die Effizienz im Entwicklungsprozess weiter zu erhöhen. Das

MEHR ZEIT FÜR KREATIVE AUFGABEN DOKUMENTEN-ÜBERSETZUNG MIT KI



Für die automatisierte Übersetzung von Kundenanforderungen in ASPICE-konforme Dokumente nutzt Porsche Engineering als Ausgangspunkt das **Large Language Modell LLaMA** (Large Language Model Meta AI) von Meta. Um es an die spezifischen Anforderungen der Automobilentwicklung im Bereich der Hochvoltsysteme anzupassen, wurde es mit fachspezifischen Inhalten trainiert. Rund **1.500 Kundenanforderungen** sowie die entsprechenden ASPICE-konformen Dokumente dienten dabei als Trainingsdaten.

Wie in diesem Bereich üblich, erhält das LLM sowohl den Input als auch den gewünschten Output in Form von Excel-Tabellen, in denen sich Listen mit Anforderungen besonders gut darstellen lassen.

Nach dem Training ist das LLM in der Lage, die Übersetzung in das ASPICE-konforme Format eigenständig und in hoher Qualität durchzuführen. Zur **Qualitätssicherung** überprüfen Expertinnen und Experten von Porsche Engineering jedes

Dokument manuell, um Fehler in dieser frühen Entwicklungsphase zu vermeiden. Zeit wird durch den LLM-Einsatz dennoch gespart – denn die Kontrolle erfordert wesentlich weniger Arbeitszeit als die manuelle Übersetzung. Derzeit kann der Aufwand durch den Einsatz des LLM um bis zu 50 Prozent verringert werden, Ziel ist eine Verringerung um 85 Prozent. Dadurch können sich die menschlichen Expertinnen und Experten stärker in die Erstellung der System-spezifikationen einbringen.

Unternehmen bedient sich dabei kommerziell verfügbarer LLM-Tools wie ChatGPT von OpenAI oder LLaMa von Meta. „Diese Modelle sind durch sehr große Datenmengen aus dem Internet vortrainiert und decken Aufgaben wie die Texterstellung über Standardthemen sehr gut ab. Für die Anwendung in der Entwicklung benötigen wir jedoch ein LLM, das zusätzlich unser Ingenieurs-Know-how berücksichtigt“, so Schaper. Das fachliche Wissen von Porsche Engineering wird der KI durch eigene Datensätze aus abgeschlossenen Entwicklungsprojekten antrainiert.

Ein Anwendungsgebiet von LLMs ist die Überarbeitung von Kundenlastenheften. Je nach Projekt,

Auftraggeber und Entwicklungsteam sind deren Inhalte in ganz unterschiedlicher Form verfasst. Soll ein bestehendes System im Rahmen einer Weiterentwicklung technisch aktualisiert werden, erhält Porsche Engineering oftmals von Kunden die Anforderungen aus vorhandenen Lastenheften und die Änderungsumfänge. Bevor die eigentliche Entwicklungsaufgabe startet, müssen die Entwickler die Kundenvorgaben komplett durcharbeiten und die dort enthaltenen Informationen in konkrete technische Spezifikationen überführen, um Entwicklungsfehler durch missverständliche Vorgaben zu vermeiden. Seit Kurzem verwendet Porsche Engineering bei der Überarbeitung

von Lastenheftanforderungen vorgefertigte Satzschablonen: Ein Grundprinzip des Requirements Engineering zur standardisierten und qualitativen Erstellung von Anforderungen.

Mithilfe dieser Methodik werden die Informationen so dargestellt, dass sie eindeutig, konsistent, überprüfbar, korrekt und verständlich sind. „Die Überarbeitung des Lastenhefts müssen unsere Ingenieurinnen und Ingenieure heute als manuelle Tätigkeit erledigen. Das bindet Ressourcen in der Entwicklung und ist eine eintönige Tätigkeit für die Mitarbeitenden“, meint Volker Reber, Leiter Fachdisziplin High Voltage System Development bei Porsche Engineering.

DEN SINNZUSAMMENHANG VERSTEHEN

Mit klassischen Algorithmen kann diese Aufgabe nicht automatisiert werden. Denn oftmals sind die Formulierungen im Lastenheft nicht eindeutig – dann muss aus dem Sinnzusammenhang interpretiert werden, welche Information gemeint ist. Konventionelle Softwareprogramme können diesen intellektuellen Schritt nicht leisten, wohl aber die KI. Künftig unterstützen daher LLMs die Überarbeitung der Lastenhefte. „Als Demonstrationsprojekt haben wir den Anforderungskatalog einer Komponente eines Fahrzeugs überarbeitet“, berichtet Reber.

Für das Training des LLMs reichte ein Datensatz mit einigen Hundert Informationen aus, um es auf die neue Aufgabe vorzubereiten. Das Modell lernte dabei, mit unterschiedlichen semantischen Formen in den Ursprungstexten umzugehen, und eignete sich zudem die Textmuster für die Ausgabe an. „Das aus einigen Tausend Einzelinformationen bestehende Lastenheft konnte nach diesem Schritt erheblich schneller als bei manueller Bearbeitung in das Standardformat überführt werden“, so Reber.

Als Erweiterung des Projekts wird das trainierte LLM für zusätzliche Aufgaben im Bereich der Lastenheft-Überarbeitung eingesetzt, wie die Kontrolle auf Vollständigkeit und Konsistenz im Hinblick auf die darin beschriebenen Anforderungen unterschiedlicher Systeme des Fahrzeugs. Die Ingenieurinnen und



„Das aus einigen Tausend Einzelinformationen bestehende Lastenheft konnte erheblich schneller als bei manueller Bearbeitung in das Standardformat überführt werden.“

Volker Reber

Leiter Fachdisziplin High Voltage System Development bei Porsche Engineering



Um rund

50

Prozent ist der Aufwand für die Lastenheftüberarbeitung durch den Einsatz von LLMs gesunken.

Ingenieure müssen das Ergebnis des LLM „nur“ noch prüfen, und auch damit werden sie im Laufe der Zeit immer weniger Aufwand haben. „Da die KI durch eine Rückkopplung der Ergebnisse weitertrainiert wird, nimmt die Qualität des LLM bei jedem Projekt kontinuierlich zu. Künftig wird sie nicht nur schnellere, sondern auch wesentlich bessere Umsetzungen liefern, als es ein Mensch jemals könnte“, meint Schaper.

Bereits beim ersten Testeinsatz hat das LLM den Aufwand um rund 50 Prozent verringert. Darüber hinaus gibt es schon Ideen für weitere Optimierungen, sodass sich dieser Wert noch deutlich steigern lässt. Trotzdem wird das menschliche Fachwissen bei diesen



„Dank der frühzeitigen Adaption in unseren Projekten erhöhen wir die Effizienz im Entwicklungsprozess durch die Integration von LLM-Tools bereits jetzt signifikant.“

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

Aufgabenstellungen auch zukünftig benötigt. Für Porsche Engineering hat die Kombination von spezifisch konzipierten und trainierten KI-Systemen und menschlichem Know-how eine strategische Bedeutung. Viele ingenieurtechnische Aufgaben bestehen aus Teilbereichen, die unterschiedliche Grade an Expertise, Erfahrung und Einschätzung benötigen. Einige Unternehmen setzen für bestimmte Tätigkeitsbereiche bereits auf Regionen mit der besten Personalkostenstruktur. Porsche Engineering setzt für vergleichbare Tätigkeiten auf die Nutzung von Werkzeugen wie KI und verfolgt weiterhin eine Hochkompetenzstrategie bei den Mitarbeitenden. Die Fachexperten können ihre

wertvolle Arbeitszeit dann auf den Hochkompetenzanteil der Aufgabenstellung konzentrieren.

Auch in anderen Bereichen der Fahrzeugentwicklung bieten LLMs Potenziale zur Effizienzsteigerung. Ein Beispiel ist das Datenmanagement bei Testfahrten mit neuen Fahrzeugen oder Systemen. Stellen die Testfahrerinnen oder Testfahrer während der Versuche eine Fehlfunktion fest, protokollieren sie diese und speisen sie in ein zentrales Datenbanksystem ein. „Heute haben wir die Herausforderung, dass unerwartete Systemreaktionen oftmals nicht als schon erfasstes Phänomen identifiziert und mehrfach in das System eingegeben werden“, erklärt Dr. Fabian Hinder, Fachprojektgenieur bei Porsche Engineering. Das erschwert die systematische Fehlersuche, da die Auswertung der Datenbankinformationen mit erheblichem manuellem Aufwand verknüpft ist.

RÜCKMELDUNG IN ECHTZEIT

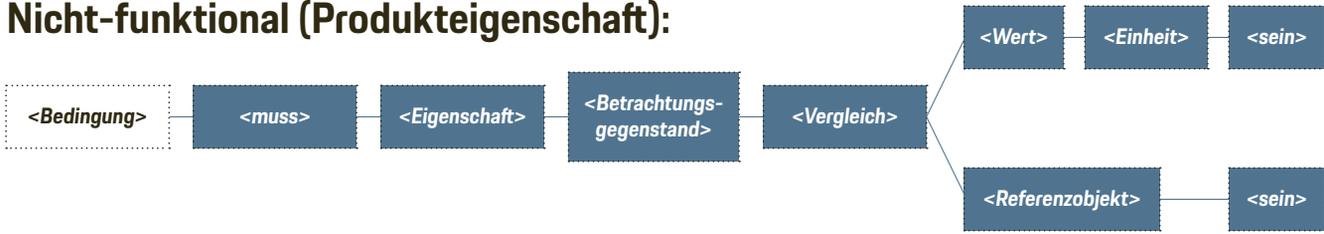
Ähnlich wie bei der Lastenhefterstellung werden auch hier LLM-Werkzeuge Aufgaben wie die Umwandlung der Eingabedaten in vorgefertigte Semantikmuster und den Abgleich mit vorhandenen Datenbankeinträgen übernehmen. Das Potenzial des Ansatzes hat ein Team von Porsche Engineering im Rahmen eines Projekts im Bereich der Fahrzeug-Konnektivität nachgewiesen. „Die Testingenieurin oder der Testingenieur gibt noch während der laufenden Tests die Information zu seinem Problem in das System ein, und die KI gibt in Echtzeit eine Rückmeldung, welche ähnlichen Fehler bekannt sind“, so Hinder. Die Person entscheidet dann, ob eines der gespeicherten Muster zu ihrem oder seinem Eintrag passt oder ob ein neuer Datenbankeintrag erstellt werden soll. Fehler können somit konzernweit identifiziert und über mehrere Fahrzeugmodelle und -plattformen hinweg zugeordnet werden.

Ein weiteres LLM-Projekt führt Porsche Engineering derzeit unter der Leitung des Innovations-Managements von Porsche durch. Auch hier soll eine alltägliche Arbeitshandlung vereinfacht und beschleunigt werden. „Entwicklerinnen und Entwickler müssen die im Unternehmen aggregierten Daten zu einer Problemstellung heute händisch in der zentralen Datenbank abfragen. In unserem Leuchtturmprojekt erstellen wir ein Konzept,

EXAKT DEFINIERTES OUTPUT-FORMAT

KUNDEN-INPUT WIRD ZU EINDEUTIGEN ANFORDERUNGEN

Nicht-funktional (Produkteigenschaft):

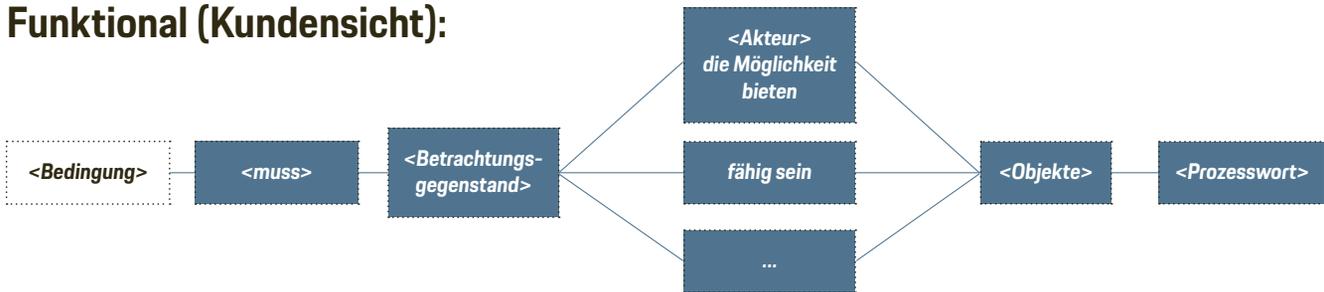


Beispiel für eine nicht-funktionale Anforderung:

Kunden-Input: Bei einer Außentemperatur von mehr als -10°C soll die Reichweite ≥ 400 km betragen.

Übersetzung: Falls die Außentemperatur größer -10°C ist, muss die Reichweite des Fahrzeugs größer/gleich 400 km sein.

Funktional (Kundensicht):



Beispiel für eine funktionale Anforderung:

Kunden-Input: Die Reichweite soll während der Fahrt angezeigt werden.

Übersetzung: Solange die Fahrt andauert, muss das Fahrzeug der Fahrerin oder dem Fahrer die Möglichkeit bieten, die verbleibende Reichweite einzusehen.

ASPICE legt exakt fest, wie **standardkonforme Anforderungen** strukturiert sein müssen. Kunden formulieren ihre Wünsche hingegen meist relativ frei in ihren Lastenheften. Die zwei Beispiele zeigen, wie das LLM mögliche

Kundenanforderungen übersetzt – einmal für eine nicht-funktionale Anforderung, die das **System** beschreibt, und einmal für eine funktionale Anforderung, die das Produkt aus **Kundensicht** beschreibt. Durch das Training mit

bereits vorhandenen Kundenanforderungen und den dazugehörigen ASPICE-konformen Outputs hat die KI gelernt, die Übersetzung zwischen unscharf formulierten Lastenheften und dem exakten ASPICE-Format vorzunehmen.

mit dem das LLM künftig diese Tätigkeit ausführt“, sagt Antoon Versteeg, Innovationsmanager bei Porsche und verantwortlich für das Innovationsportfolio Intelligent Enterprise. „Im Unterschied zu den anderen LLM-Anwendungen haben wir es dabei allerdings mit einer sehr großen Anzahl an komplexen numerischen Daten zu tun, die verarbeitet und abgeglichen werden müssten.“

Daher wenden die Softwareentwicklerinnen und -entwickler mehrere Kniffe an, bei denen mehrere Verfahren der klassischen numerischen Methoden und der KI kombiniert werden. Die Expertinnen und Experten erhalten so schon nach wenigen Sekunden Ergebnisse. „Bei der Nutzung von LLMs steht die Automobilbran-

che erst am Anfang, dank der frühzeitigen Adaption in unseren Projekten erhöhen wir die Effizienz im Entwicklungsprozess durch die Integration von LLM-Tools bereits jetzt signifikant“, so Schaper.

„Die datengetriebene Entwicklung ist bei uns in der Porsche AG ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Zukunft. Hierbei kann durch den Einsatz von KI die erforderliche Effizienz im Entwicklungsprozess sichergestellt werden“, erklärt Dr. Bruno Kistner, Abteilungsleiter Datengetriebene Entwicklung bei Porsche. „Dies setzen wir bereits heute sehr erfolgreich ein und bauen dies kontinuierlich mit unseren Partnern wie Porsche Engineering aus.“ ●



ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering nutzt LLMs vor allem als Tool, um die Fahrzeugentwicklung produktiver zu machen. Hier schafft die KI Freiräume für Entwicklerinnen und Entwickler, etwa durch die Übernahme manueller Tätigkeiten.

Porsche Engineering hat bereits in mehreren Projekten die Potenziale von KI zur Zeit- und Kostenreduktion im Entwicklungsprozess aufgezeigt und nachgewiesen. Im Bereich der passiven Sicherheit finden nun die ersten Schritte zur Überführung in die Serienentwicklung statt.

Text: Richard Backhaus

Die Künstliche Intelligenz hält Einzug in immer mehr Bereiche des Lebens. Dabei gilt eine einfache Formel: Je komplexer eine Aufgabe ist, desto größer ist das Potenzial, das durch den gezielten Einsatz von KI gehoben werden kann. „Bei Porsche Engineering haben wir schon sehr früh mit der Integration von KI-Anwendungen in unsere Entwicklungsprozesse begonnen. So konnten wir uns durch Pilotprojekte von den großen Potenzialen überzeugen, die sich ergeben, wenn wir klassische Entwicklungsmethoden mit moderner KI verknüpfen“, erklärt Dr. Joachim Schaper, Leiter Fachdisziplin KI und Big Data bei Porsche Engineering.

Erfahrungen mit der Integration moderner KI-Anwendungen in den Entwicklungsprozess hat Porsche Engineering unter anderem bei einer universellen Applikationsstrategie für Verbrennungsmotoren (siehe Ausgabe 1/2021), für die Schwingungsdämpfung im Antriebsstrang eines E-Fahrzeugs (siehe Ausgabe 1/2024) und bei der Entwicklung der Crash-Struktur eines Seitenschwellers (siehe Ausgabe 1/2022) gesammelt. Bei diesen Projekten bedienten sich die Entwicklerinnen und Entwickler des KI-Verfahrens Reinforcement Learning (RL). Dabei interagiert ein virtueller Agent mit einer Umgebung und lernt durch Feedback permanent hinzu – indem er für Aktionen, die zu einem guten Ergebnis führen, mit Bonuspunkten belohnt und bei Misserfolgen mit Abzügen bestraft wird. Das in der Trainingsphase notwendige Feedback für den RL-Agenten liefert ein neuronales Netz. „Aufgrund der hervorragenden Ergebnisse mit den KI-Methoden – die Ergebnisse liegen in der Regel nach wenigen Sekunden vor, im Gegensatz zu Stunden bei einer klassischen Simulation – arbeiten wir daran, KI künftig in der Breite einzusetzen und als festen Baustein in



80 %

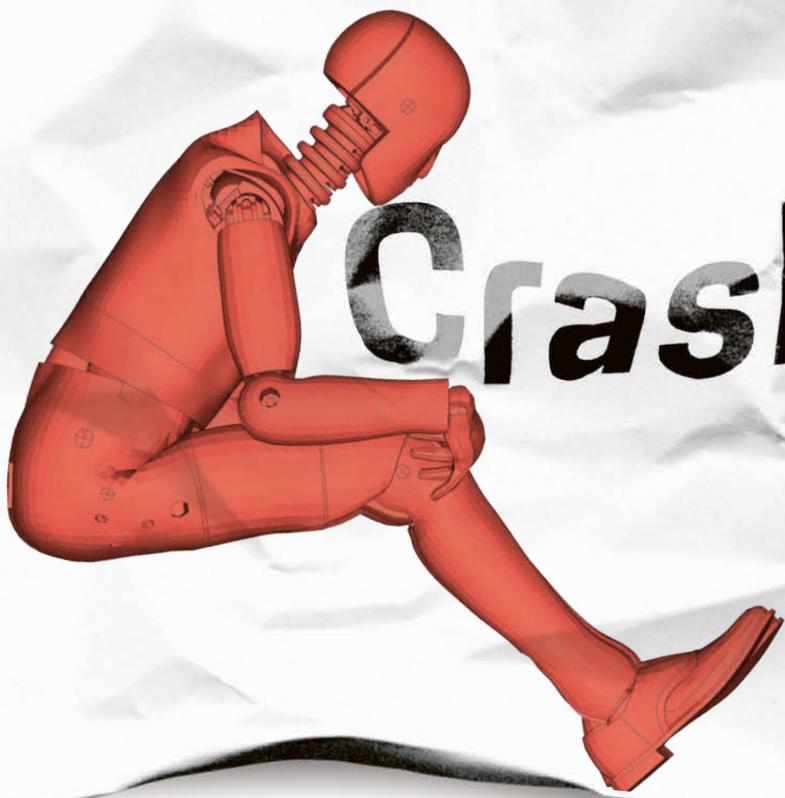
der FEM-Berechnungen konnten durch den Einsatz von Reinforcement Learning eingespart werden.

unseren Entwicklungsprozessen weiter zu etablieren“, sagt Schaper.

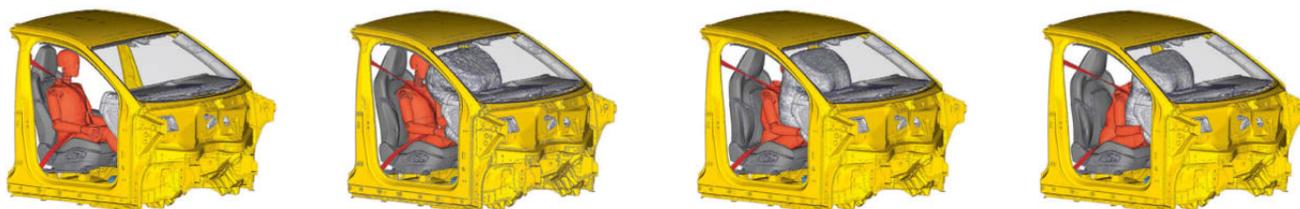
Ein weiteres Beispiel für die KI-Offensive bei Porsche Engineering ist die Auslegung von Rückhaltesystemen im Bereich der passiven Sicherheit. Bei einem Crash müssen diese Komponenten optimal auf das Fahrzeug abgestimmt sein. Nur so können sie die maximale Schutzwirkung für die Insassinnen und Insassen entfalten. Dazu werden beispielsweise die Rückhaltekräfte des Gurtes mit der Wirkung des Airbags abgestimmt. „Alle Komponenten stehen in Wechselwirkung zueinander und müssen bei einer Optimierung im Gesamtsystem betrachtet werden. Außerdem ist eine große Anzahl von Lastfällen zu berücksichtigen. Das macht die Entwicklung der passiven Sicherheit äußerst komplex und aufwendig“, erklärt Michael Di Roberto, Leiter CAE und Fahrzeugsicherheit bei Porsche Engineering.

Die schon bei der Seitenschweller-Optimierung bewährte KI-Methode wurde für die Auslegung der Rückhaltesysteme weiterentwickelt. „Beim ersten Projekt stand das Training des Agenten im Vordergrund, wobei sich das große Potenzial der angewandten Methodik zeigte. Daher soll die KI nun künftig im Serienentwicklungsprozess für Rückhaltesysteme eingesetzt werden“, so Schaper. Um dies zu erreichen, wurde der Agent nach dem erfolgreich abgeschlossenen Training mit einem klassischen Simulationswerkzeug verknüpft. Dieses basiert auf der Finite-Elemente-Methode (FEM), die zwar genaue Ergebnisse liefert, deren Nutzung jedoch sehr zeitaufwendig ist: Eine Crash-Simulation mit den heutigen Modellgrößen kann bis zu 72 Stunden dauern. Dank der vorgelagerten Selektion des RL-Agenten werden erheblich weniger FEM-Rech-

**KI-Agent
auf
Crashkurs**



VIRTUELLER FRONTALAUFPRALL DAS FEM-SCHLITTENMODELL EINES FAHRZEUGS



Die Bilder zeigen, wie sich der Gurt und der Airbag bei einem Crash verhalten. In der **FEM-Simulation** werden die Kräfte berechnet, die bei einem Unfall auf eine Insassin oder einen Insassen einwirken würden. Sie können durch ein optimiertes Zusammenspiel von Gurt und Airbag noch weiter reduziert werden. Der Gesetzgeber legt für die Belastungen Grenzwerte fest.

Solche FEM-Simulationen eines Crashes sind trotz der Reduktion von einem Gesamtfahrzeug zum Schlittenmodell sehr aufwendig und können fast einen Tag dauern. Hier kommt die Künstliche Intelligenz ins Spiel: Durch den Einsatz des **RL-Agenten** lassen sich viele FEM-Berechnungen vermeiden, sodass die Entwicklerinnen und Entwickler effizienter zum Ziel kommen.

nungen benötigt, um zum passenden Ergebnis zu kommen, was die Kosten und den Zeitaufwand verringert. „Bei einer konkret durchgespielten Entwicklungsaufgabe konnten wir die Anzahl der notwendigen FEM-Rechenschleifen um 80 Prozent reduzieren“, sagt Janis Mathieu, Doktorand bei Porsche Engineering. „Unsere Vision: In Zukunft sollen effiziente und automatisierbare Konzepte, bei denen Ingenieurinnen und Ingenieure mehrere Agenten lediglich überwachen müssen, den Entwicklungsprozess nachhaltig beschleunigen.“ Der Systemreifegrad steigt infolgedessen insgesamt an, sodass die Anzahl aufwendiger physischer Crashtests reduziert wird und sich die Zahl der benötigten Prototypenfahrzeuge verringern lässt.

„Langfristig werden wir noch weitere Effizienzpotenziale heben können, da künftige Produktgenerationen auf Basis der vorangegangenen Generationen optimiert werden“, sagt Di Roberto. Die einmal erlernte Entscheidungsstrategie des RL-Agenten lässt sich flexibel auf neue Modellvarianten übertragen, solange die Grundaufgabenstellung vergleichbar ist. „Neben der Zeit für den Lernprozess könnte so in Zukunft auch der Aufbau ganzer FEM-Submodelle eingespart werden.“

Einen weiteren Zeitgewinn bei der Entwicklung passiver Sicherheitssysteme bewirkt die Nutzung Künstlicher Intelligenz bei der Aufbereitung von Simulationsdaten im sogenannten Post-Processing. „Moderne Simulationswerkzeuge berechnen einen Crash mit einem sehr hohen Detailgrad. Dabei fallen allerdings auch sehr viele Daten an, die von den Ingenieurinnen und Ingenieuren interpretiert werden müssen“, so Di Roberto. War die Künstliche Intelligenz bei den bis-

her von Porsche Engineering verfolgten KI-Projekten den Simulationsschritten vorgelagert, so wird sie beim Post-Processing erst nach der Simulation eingesetzt.

Dabei kommt ein sogenannter Explainable-AI-Algorithmus zum Einsatz. Dieser hat die Aufgabe, komplexe Zusammenhänge in einem Datensatz zu erkennen und der Entwicklerin oder dem Entwickler sichtbar zu machen. Abhängigkeiten können lokal (auf Simulations-) und global (auf Datensatzebene) bestimmt werden. Damit gibt die KI den Entwicklungsingenieurinnen und



„In Zukunft sollen effiziente und automatisierbare Konzepte, bei denen Ingenieurinnen und Ingenieure mehrere Agenten lediglich überwachen müssen, den Entwicklungsprozess nachhaltig beschleunigen.“

Janis Mathieu
Doktorand bei Porsche Engineering

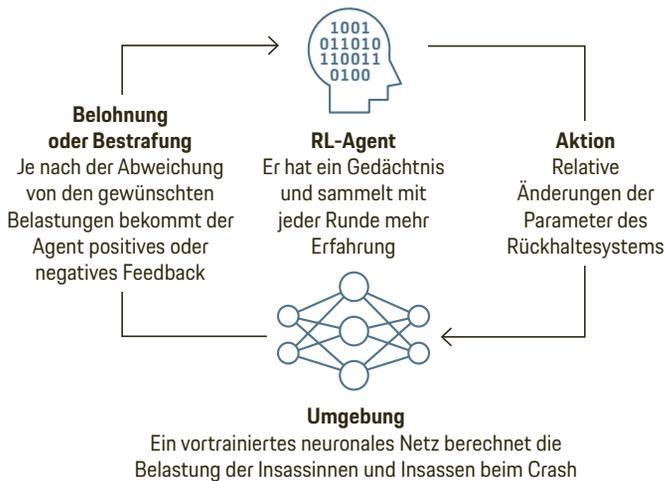


„Langfristig werden wir noch weitere Effizienzpotenziale heben können, da künftige Produktgenerationen auf Basis der vorangegangenen Generationen optimiert werden.“

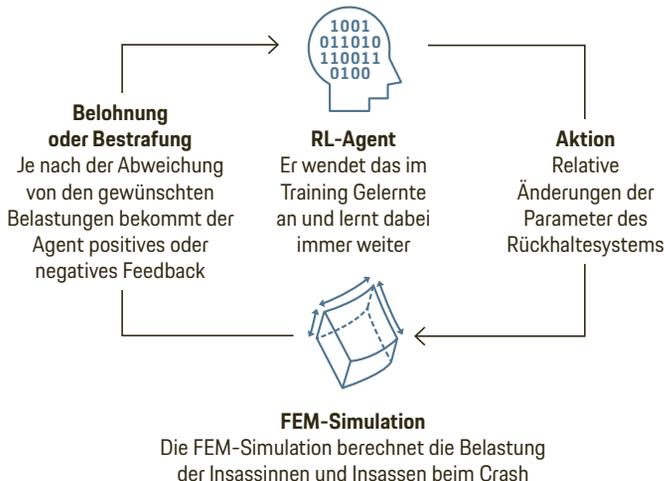
Michael Di Roberto
Leiter CAE und Fahrzeugsicherheit bei Porsche Engineering

VOM TRAINING ZUR ANWENDUNG SO LERNT DER RL-AGENT

Optimierung der Belastungen – Trainingsphase



Optimierung der Belastungen – Anwendungsphase



Entwicklungsingenieuren eine Hilfestellung bei der Interpretation der Simulationsergebnisse. „Durch den Einsatz von Explainable AI erhält die Ingenieurin oder der Ingenieur einen Kompass in die Hand, mit dem er sich im immer komplexeren und umfangreicheren Datensatz moderner Simulationen zurechtfinden kann“, erklärt Mathieu.

Ein Beispiel, wo eine solche Datenmenge anfällt, sind Robustheitsuntersuchungen in der passiven Fahrzeugsicherheit. Stefan Kronwiter, Doktorand bei der Porsche AG im Bereich Entwicklung Karosseriesystem, Schwerpunkt Fahrzeugsicherheit, forscht mit Janis Mathieu an dem Einsatz von Explainable-AI-Methoden zur Analyse von Crash-Simulationen. „Durch Explainable AI lassen sich in kurzer Zeit diejenigen Einflussgrößen bestimmen, die innerhalb einzelner Simulationen auffälliges Verhalten verursachen“, sagt Kronwiter.

ERGÄNZUNG ZU FEM-SIMULATIONEN

Eine erste Version der Explainable-AI-basierten Analyse wird zum aktuellen Zeitpunkt bei Porsche Engineering in die Serienprozesse der Crash-Berechnung integriert, weitere Einsätze sollen folgen. „Mit Explainable AI wird die Voraussetzung für die Optimierung aller Systeme geschaffen, für die ein tiefes Systemverständnis notwendig ist, neben der passiven Sicherheit sind das beispielsweise auch Parameterstudien für Leichtbau oder Fahrdynamik“, sagt Schaper.

Trotz aller Fortschritte im Bereich KI gilt aber: FEM-Simulationen werden auch in Zukunft essenzieller Bestandteil des Entwicklungsprozesses bleiben. Durch die Digitalisierung der Prozesse und die Komplexität der Systeme wird mehr und genauer simuliert, was die Unterstützung durch KI auch an dieser Stelle unausweichlich macht. „Porsche Engineering hat ein tiefes Verständnis für Serienentwicklungsprozesse und -methoden und beschäftigt sich schon seit vielen Jahren mit der Entwicklung und Anwendung von KI-Methoden“, erklärt Schaper.





Verwechslungsgefahr:
Das rückwärts transportierte Auto könnte vom Fahrerassistenzsystem als entgegenkommendes Fahrzeug missverstanden werden – ein Corner Case.

Souverän im Grenzfall

Fahrerassistenzsysteme machen den Straßenverkehr sicherer, decken aber bislang vor allem Standardsituationen ab. Porsche Engineering arbeitet mithilfe von Künstlicher Intelligenz daran, auch seltener auftretende Verkehrssituationen, sogenannte Corner Cases, besser und verlässlicher erkennbar zu machen. Ziel ist die Verbesserung der ADAS-Systeme.

Text: Claudius Lüder

Eine Autobahn, irgendwann in den frühen Morgenstunden. Die Sonne steht tief, der Berufsverkehr steigt an. Ein Pkw fährt auf der mittleren Spur und schert rechts hinter einem Tieflader ein. Dieser hat ein Fahrzeug geladen, das rückwärts auf der Ladefläche steht und dessen Frontseite nach hinten zeigt. Die Kamerasensoren des einscheren Pkws interpretieren die Fracht als entgegenkommendes Fahrzeug, das Notbremsystem will eingreifen. Verkehrssituationen wie diese sind zwar sehr selten, aber nicht unmöglich. Fahrerassistenzsysteme (ADAS)

müssen deshalb auch auf diese unwahrscheinlichen Ereignisse trainiert werden.

„Selten auftretende Fälle wie ein solcher Fahrzeugtransport sind ein klassischer Corner Case“, sagt Arsen Sagoian, Fachprojektleiter im Bereich AI und Big Data bei Porsche Engineering. Unter dem Begriff werden ungewöhnliche und eher selten auftretende Verkehrssituationen verstanden. Dazu zählen auch Fußgängerinnen und Fußgänger oder Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer auf der Autobahn, durch Schnee nicht mehr erkennbare Fahrbahnbegrenzungen oder

Straßen, die es durch ihre Beschaffenheit den Systemen erschweren, eine eindeutige Fahrspur zu erkennen.

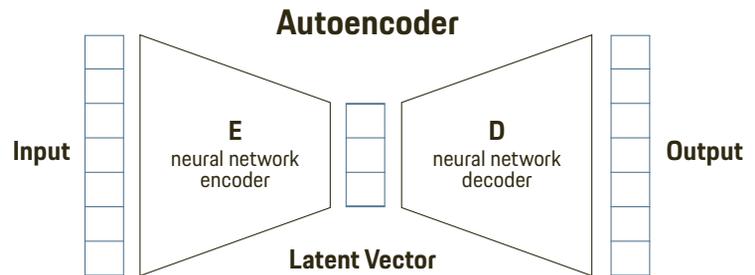
Deswegen müssen die Entwicklerinnen und Entwickler Fahrerassistenzsysteme permanent mit Corner Cases trainieren, um sie weiter zu verbessern. Das Problem dabei: In der Regel sind die meisten der bei normalen Fahrten auf Video aufgezeichneten Szenarien aus technischer Sicht ähnlich und tragen darum nur wenig zur Optimierung von ADAS-Systemen bei. Im Laufe der Zeit wächst die Datenbank an Corner Cases weiter an, sodass außergewöhnliche Situationen in neuen Versuchsfahrten tendenziell immer seltener werden. Die Herausforderung besteht darin, mit möglichst wenig Aufwand die verbliebenen, noch nicht berücksichtigten Corner Cases in den Aufzeichnungen zu identifizieren – vergleichbar mit der Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Eine „manuelle Suche“ im Videodatenmaterial ist aufgrund des Zeitaufwandes und der damit verbundenen Kosten nicht für einen großflächigen Einsatz geeignet.

KI FINDET CORNER CASES

Im Projekt „AI-based Corner Case Detection“ nutzt Porsche Engineering stattdessen Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), um Videodaten oder Zeitreihen mit vorverarbeiteten Sensordaten und Bussignalen automatisch nach den begehrten Ausnahmesituationen zu durchsuchen. Ein Variational Autoencoder (VAE) analysiert die Video- und Zeitreihendaten, die während Versuchsfahrten aufgezeichnet wurden, um relevante Situationen sowie deren Dauer und Zeitpunkt herauszufinden (siehe Kasten). Die Methode wurde bisher vor allem für Gesichtserkennung genutzt. Ihr Einsatz für die Verbesserung von ADAS-Lösungen ist neu. Da es sich bei VAE um ein nicht-überwachtes Lernverfahren handelt, lassen sich Trainingsdaten einfacher erstellen. Hinzu kommt eine geringere Laufzeit, sodass die Algorithmen auch direkt im Fahrzeug laufen können. Dadurch werden nur Daten aufgezeichnet, die relevant sind.

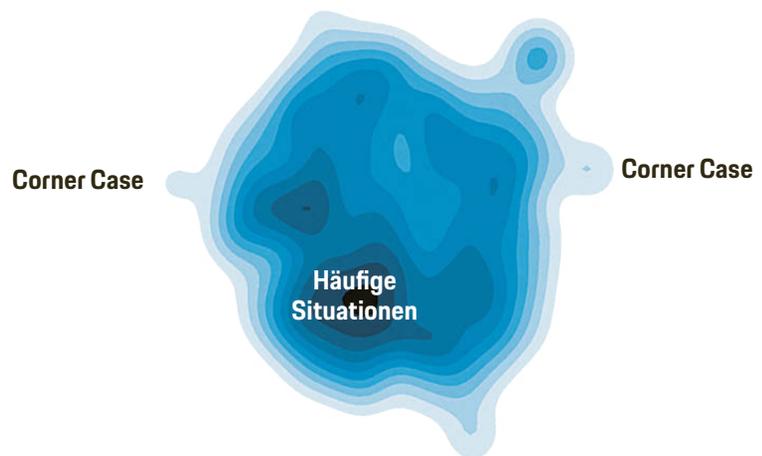
Die mit KI-Hilfe gesammelten Corner Cases werden dann als neue Testfälle an die Teams weitergeleitet, die für Funktionen wie etwa die Fahrspurerkennung verantwortlich sind. „Wir hatten zum Beispiel den Fall, dass

REDUKTION AUFS WESENTLICHE: AUTOENCODER, VAE UND LATENT SPACE



Ein **Autoencoder** ist ein spezielles neuronales Netz (NN), das Eingabedaten schrittweise komprimiert, um sie auf ihre wesentlichen Merkmale zu reduzieren. Sie durchlaufen zunächst das NN des Encoders, das aus mehreren Schichten mit immer weniger Knoten (künstlichen Neuronen) besteht. So werden die Eingabedaten zunehmend komprimiert – ein Prozess, der seinen Höhepunkt im Bottleneck erreicht, wo ein latenter Vektor entsteht. Hier werden die Eingabedaten durch eine Reihe von „latenten Werten“ charakterisiert (siehe unten). Im anschließenden Decoder nimmt die Anzahl der Knoten des NN von Schicht zu Schicht wieder zu, bis am Ende die ursprüngliche Anzahl erreicht wird. Auf diese Weise können z. B. Gesichter anhand ihrer wesentlichen Merkmale erkannt werden.

Latent Space



Ein **Variational Autoencoder (VAE)** basiert auf dem Grundprinzip des Autoencoders. Er wird hauptsächlich dazu verwendet, neue Datenpunkte zu erzeugen, die der Verteilung der Trainingsdaten ähneln. Im Gegensatz zum Autoencoder codiert ein VAE die wesentlichen Merkmale der Eingabedaten, indem er ihnen einen Mittelwert und eine Standardabweichung als latente Werte zuordnet – die Codierung ist statistisch und nicht deterministisch wie beim Autoencoder. Angewandt auf Fahrscenarien, lernt der VAE allgemeine und spezifische Aspekte des Fahrens. Anschließend komprimiert er diese in tausend latente Vektoren, die zusammen den **Latent Space** bilden. Die Software analysiert diesen, um eine Karte zu erstellen, die die Dichte der latenten Vektoren im Latent Space zeigt. Gebiete mit vielen Vektoren weisen eine hohe Dichte auf und repräsentieren häufig auftretende Fahrmanöver. Im Gegensatz dazu werden abgelegene Gebiete mit wenigen Vektoren als interessante Gebiete betrachtet, die Corner Cases darstellen.



„Im Vergleich zu einer händischen Auswertung sparen wir dank KI weit mehr als 99 Prozent an menschlicher Arbeitszeit ein.“

Arsen Sagoian

Fachprojektleiter im Bereich AI und Big Data
bei Porsche Engineering

eine Schneekante im Rahmen der Systemgrenze als Fahrbahnbegrenzung interpretiert wurde. Dadurch kam es zu einer unkomfortablen Querführung des Fahrzeugs“, erläutert Daniel Slieter, Tech Lead Verification, Validation & Data Analytics für die Fahrfunktionen bei CARIAD. In der räumlichen Tiefe werden diejenigen Datenpunkte im „Active Lane Departure Warning“ (ALDW) hervorgehoben, bei denen es sich um relevante Corner Cases der Schneekante handelt. Die Entwicklerinnen und Entwickler können auf diese Weise die Funktionalität des Spurhalteassistenten an diesen Corner Case anpassen – mit der Folge, dass das Fahrassistenzsystem sich bei einem vergleichbaren Szenario im Rahmen der Systemgrenzen nicht mehr so stark von einer Schneekante irritieren lässt.

Beim Suchprozess nach solchen Szenarien ist die KI dem Menschen haushoch überlegen: Für die Analyse von Daten zu rund 10.000 Kilometern Fahrstrecke braucht sie nur wenige Minuten und findet dabei ungefähr fünf Corner Cases. Dabei spielen die Qualität des Algorithmus und die definierten Schwellenwerte eine bedeutende Rolle. Die manuelle Auswertung der aufgezeichneten Kilometer aus Versuchsfahrten sinkt durch den KI-Einsatz auf ein Minimum. „Im Vergleich zu einer händischen Auswertung sparen wir dank KI weit mehr als 99 Prozent an menschlicher Arbeitszeit ein, Tendenz steil steigend“, so Sagoian. „Wir bezeichnen das

↓
5

Corner Cases findet die KI im Schnitt pro 10.000 Kilometer Fahrstrecke. Dafür benötigt sie nur wenige Minuten.

als ‚exponentielle Effizienzsteigerung‘. Die Ingenieurinnen und Ingenieure können sich so auf die eigentliche Funktionsentwicklung konzentrieren.“

ANALYSE IN ECHTZEIT

Bisher werden alle aufgezeichneten Daten in die Cloud geladen, um dann analysiert zu werden. Das muss aber nicht so bleiben: „Die Corner Case Detection könnte künftig in Echtzeit im aktiven Fahrzeugbetrieb durchgeführt werden, denn bei unserem neuronalen Netzwerk handelt es sich um ein kleines Netz mit einer guten Performance“, erklärt Slieter. „Dann würden wir statt der Rohdaten nur noch die erkannten Corner Cases in die Cloud laden und könnten die übertragenen Datenmengen auf diese Weise deutlich reduzieren.“

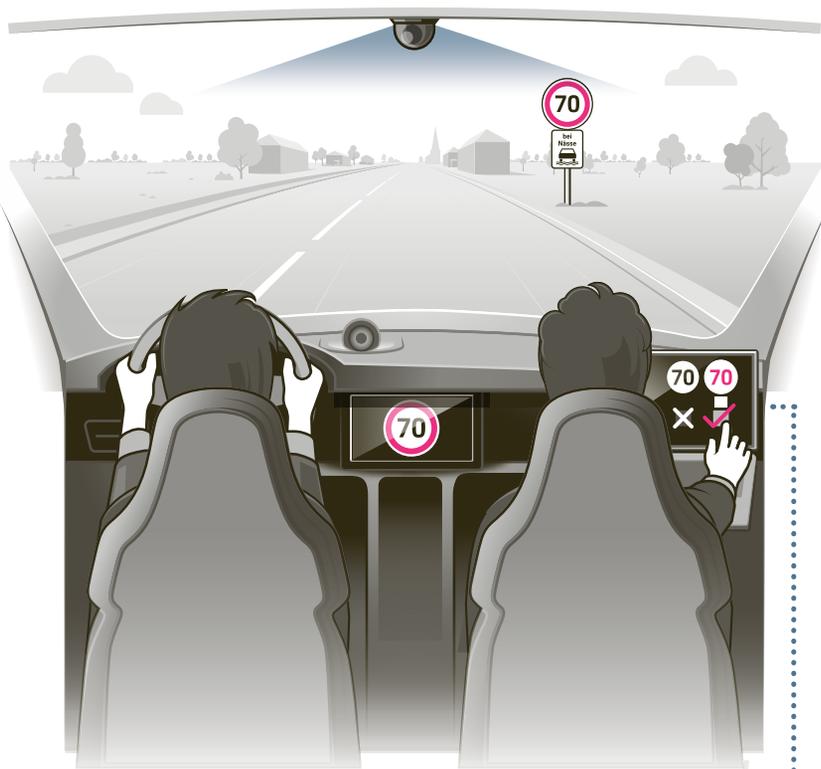
Ein weiterer Vorteil der neuen Methode: Die KI wird durch die permanente Analyse von Daten nicht nur immer präziser, sie lässt auch immer weiter reichende Rückschlüsse zu. Basis dafür ist der sogenannte Latent Space – ein abstrakter Raum, in dem die KI die Daten nach Vorlagen und Referenzbildern durchsucht und sich so permanent verbessert (siehe Kasten). Mithilfe des Latent Space können die Entwicklerinnen und Entwickler zudem bei der Verteilung der Corner Cases Ähnlichkeiten zwischen Ländern feststellen. Außerdem lässt sich aus der Ähnlichkeit neuer Datenpunkte zu bekannten Corner Cases ableiten, ob eine für die Absicherung ausreichende Anzahl an Datenpunkten aufgezeichnet wurde. „Zusammenfassend könnte man sagen, dass der VAE sich die Bilder ansieht und der Latent Space dafür sorgt, dass sie richtig analysiert und bewertet werden“, sagt Slieter.

Die Leistungsfähigkeit der Methode wird derzeit weltweit getestet. „Wir können dadurch ganz verschiedene Arten von Corner Cases identifizieren und auch Rückschlüsse ziehen, inwieweit sich die Ergebnisse von einem Land auf ein anderes übertragen lassen“, sagt Sagoian. Besonders viele Corner Cases habe das System in Schweden und Finnland identifiziert, was unter anderem auf außergewöhnliche Verkehrssituationen infolge von Schnee zurückzuführen sei. Aber auch Begegnungen von Fahrzeugen und Tieren kämen in diesen Ländern häufiger vor. —●

ADAS-Validierung mit dem Smartphone

Porsche Engineering macht die ADAS-Validierung skalierbar: Durch die selbst entwickelte ComBox-App in Kombination mit der KI-Objekterkennung von Peregrine.ai könnte künftig jedes Versuchsfahrzeug zur Validierung der Verkehrszeichenerkennung beitragen.

Text: Christian Buck
Illustrationen: Andrew Timmins



Fehler wird manuell erkannt

Die Beifahrerin oder der Beifahrer erkennt, dass das Fahrzeug den Zusatz „Bei Nässe“ nicht erkannt hat. Darum tippt er auf das entsprechende Feld auf dem Touchscreen seines Notebooks. Daraufhin werden der Fehler und die zugehörigen Messdaten auf einer Festplatte gespeichert.



Für die Validierung von ADAS-Fahrfunktionen (Advanced Driver Assistance System) benötigen Entwicklerinnen und Entwickler möglichst viele Messdaten aus Versuchsfahrten – denn nur so ist gewährleistet, dass das System mit vielen Grenzfällen wie etwa Baustellen oder seltenen Verkehrszeichen konfrontiert wurde. Doch das Messequipment dafür ist teuer und daher eine Skalierbarkeit auf große Fahrzeugflotten kostenintensiv. Zudem ist die Validierung üblicherweise mit einem großen Aufwand verbunden, wie das Beispiel Verkehrszeichenerkennung zeigt: Eine Entwicklerin oder ein Entwickler auf dem Beifahrersitz vergleicht bei Straßentests, ob das ADAS-System ein Verkehrszeichen korrekt erkannt hat. Im Fall eines Fehlers hält sie oder er die Abweichung manuell fest. Zusätzlich werden die zugehörigen Messdaten des Fahrzeugs auf einer Festplatte aufgezeichnet.

Porsche Engineering will den manuellen Aufwand für die Validierung von ADAS-Funktionen verringern und setzt dafür auf den Einsatz von Smartphones, die mit einer Software für die Verkehrszeichenerkennung des Berliner Start-ups Peregrine.ai ausgestattet sind. Während Porsche Engineering

Optimierung der Verkehrszeichenerkennung

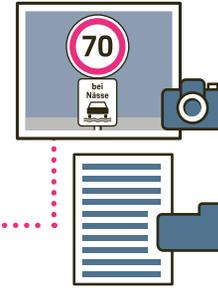
Die fehlerhaften Erkennungen von zahlreichen Versuchsfahrzeugen werden in der Cloud gesammelt und sind die Grundlage dafür, die ADAS-Funktionen zu verbessern.



Datentransfer

Die Fotos des Smartphones und die Messdaten des Fahrzeuges werden via Mobilfunk in die Cloud übertragen.

Smartphone mit ComBox-App und Peregrine.ai-Verkehrszeichenerkennung



Fehler wird automatisch erkannt: optimierte Validierung mit ComBox-App

Auf dem Smartphone laufen die ComBox-App von Porsche Engineering und die Bilderkennung von Peregrine.ai. Letztere erkennt das Verkehrszeichen inklusive Zusatz, während das Versuchsfahrzeug im Beispiel nur die Geschwindigkeitsbegrenzung registriert. Daraufhin macht das Smartphone ein Foto und weist zugleich den Datenlogger an, die zugehörigen Messdaten des

Fahrzeugs aufzuzeichnen. Die ComBox-App bildet dabei die Schnittstelle zwischen Fahrzeug, Backend und der Bilderkennung von Peregrine.ai – sie ist damit die wichtigste Voraussetzung für den neuen Validierungs-Ansatz.

die Schnittstelle zu einem Datenlogger, die Verbindungseinheit und die Kamera-Hardware bereitstellt, integriert Peregrine.ai seine KI-gestützte Objekterkennung.

Die Idee dahinter: Bei jedem neuen Verkehrszeichen vergleicht das Smartphone, ob das Fahrzeug und die KI-basierte Objekterkennung von Peregrine.ai das gleiche Ergebnis liefern. Kommt es zu Abweichungen, fotografiert das Smartphone das Verkehrszeichen und weist den Datenlogger an, die zugehörigen Messdaten des Fahrzeuges aufzuzeichnen. Dank der ComBox-App kann Porsche Engineering Daten von im Fahrzeug befindlichen Systemen empfangen – die aufgezeichneten Messdaten können in die Cloud geladen und miteinander verglichen

werden, was den ADAS-Ingenieurinnen und -Ingenieuren bei der Optimierung der Funktionen zugutekommt.

Durch die neue Methode entfällt also nicht nur der hohe manuelle Aufwand für die Erfassung und Beschreibung der Fehler, sondern die Optimierung der Verkehrszeichenerkennung kann außerdem kostengünstig von einer größeren Zahl von Versuchsfahrzeugen durchgeführt werden. Denn künftig kann prinzipiell in sämtlichen Versuchsfahrzeugen ein Smartphone an der Windschutzscheibe Fehler erkennen und aufzeichnen – nicht nur in denjenigen, die speziell für die ADAS-Optimierung vorgesehen sind. Dadurch können die Entwicklerinnen und Entwickler mehr Grenzfälle erfassen und so die Qualität der

ADAS-Funktionen verbessern – insbesondere in Ländern wie etwa Australien mit speziellen Verkehrsregeln wie Linksverkehr und regionalen Verkehrszeichen, aus denen es wegen der geringen Zahl an Versuchsfahrzeugen bisher nur wenige Daten gibt.

Der neue Ansatz zur Validierung der Verkehrszeichenerkennung wurde bei der Entwicklung des neuen Porsche Macan bereits erfolgreich getestet und könnte schon bald in der Serienentwicklung zum Einsatz kommen. Er ist auch nicht auf die Verkehrszeichenerkennung beschränkt: In Zukunft sollen weitere ADAS-Features optimiert werden, darunter die Spurerkennung sowie die Erkennung von Ampelphasen und von Schlaglöchern. ●

Objektive Messung des Fahrkomforts

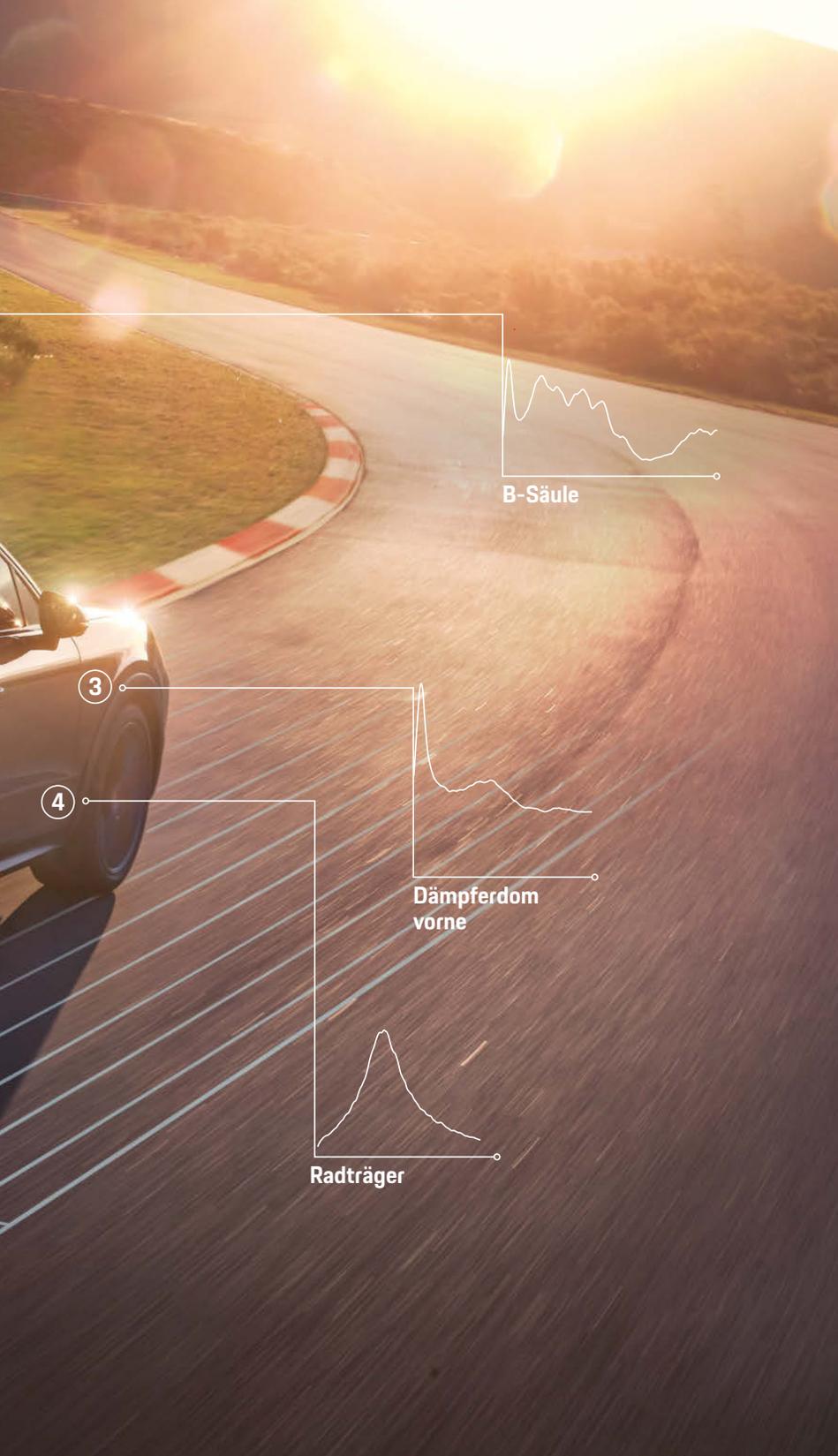
Wenn ein Fahrzeug über ein Hindernis fährt, wird es zu Schwingungen angeregt. Vier Sensoren an der Schiene des Fahrersitzes, der B-Säule, am Dämpferdom vorne und am Radträger messen die vertikalen Beschleunigungen. Aus ihnen lässt sich der Fahrkomfort mithilfe von Künstlicher Intelligenz objektiv bestimmen.



Schiene des Fahrersitzes



Objektiv komfortabel



Viele Kriterien machen ein gutes Auto aus. Der Fahrkomfort spielt dabei eine Schlüsselrolle – denn von ihm hängen sowohl die Kaufentscheidung für ein bestimmtes Modell als auch die spätere Kundenzufriedenheit unter anderem entscheidend ab. Vor der Markteinführung eines neuen Fahrzeugs führen die Hersteller aus diesem Grund zahlreiche Fahrkomfort-Untersuchungen durch. Auch Porsche Engineering unternimmt im Auftrag von OEMs Versuchs- und Abstimmfahrten, bei denen die verantwortlichen Fahrdynamikingenieurinnen und -ingenieure die Fahrzeuge entsprechend den Herstellervorgaben abstimmen. „Dabei verfolgen wir das Ziel, bestimmte Eigenschaften wie Komfort oder Sportlichkeit zu optimieren und auf ein mit unserem Kunden abgestimmtes Niveau zu bringen“, berichtet Martin Reichenecker, Leiter Fachdisziplin Fahrdynamik & Absicherung bei Porsche Engineering.

Zu bestimmten Meilensteinen finden gemeinsame Abnahmefahrten statt, bei denen Projektverantwortliche sowie weitere, nicht direkt an der Fahrwerkentwicklung beteiligte Mitarbeitende am Steuer sitzen und sich ein Bild des aktuellen Standes machen. Dazu zählen beispielsweise Baureihen- beziehungsweise Projektleiterinnen und -leiter oder Managerinnen und Manager des Kunden. Dabei werden Eigenschaften wie Schwingungen der Karosserie, das Wankverhalten des Fahrzeugs, die Reaktion beim Überfahren einer Kante sowie Zittern und Schütteln bewertet. Vor allem Fahrwerk-Schwingungen unterhalb von 35 Hertz sind für das Komfortempfinden relevant.

Allerdings fallen die Bewertungen je nach fahrender Person und deren Fachkenntnissen immer etwas unterschiedlich aus, da die persönlichen Präferenzen und Erfahrungen stark voneinander abweichen können. „Die eine Person bevorzugt möglicherweise eine straffe Abstimmung, während eine andere ein weiches

Porsche Engineering hat eine KI-basierte Fahrkomfortbewertung entwickelt, die als Ergänzung zu den Bewertungen von menschlichen Experten objektive Resultate liefert und die Entwicklungszeit beschleunigt. Zudem lässt sie sich künftig auch in Serienfahrzeugen einsetzen, um während der Laufzeit Informationen zur Fahrwerk-Performance zu liefern.

Text: Christian Buck

Fahrwerk-Schwingungen bis
35
 Hertz sind für das
 Komfortempfinden
 im Fahrzeug
 relevant

Fahrwerk schätzt. Aus diesem Grund haben wir einen KI-basierten Fahrkomfortbewerter entwickelt, der uns bei der Vorbereitung von Abnahmefahrten unterstützen kann", erklärt Emmanuel Bogner, Fahrtechnik-Experte bei Porsche Engineering. „Er kann Bewertungen über den aktuellen Stand des Fahrwerks-Setups abgeben, die wir mit den vorgegebenen Zielen unseres Kunden vergleichen können.“

Zu Beginn des Projektes untersuchten Bogner und sein Team, ob eine KI überhaupt in der Lage ist, den Fahrkomfort in ähnlicher Weise, wie ein Mensch dies tun würde, zu bewerten. Die Herausforderung dabei: In das menschliche Empfinden des Fahrkomforts fließen viele Faktoren ein, und es gilt, diese subjektive Bewertung mit objektiven Messdaten zu verknüpfen.

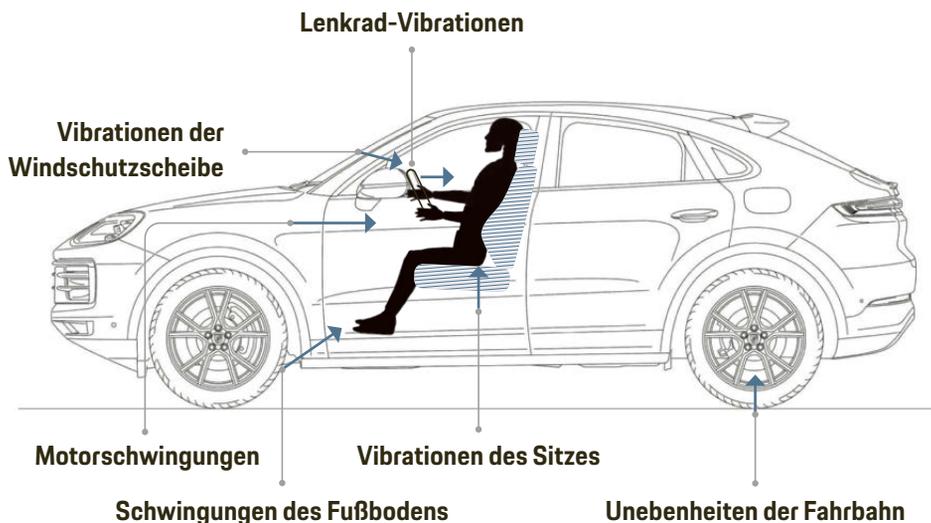
Im ersten Schritt statteten die Entwicklerinnen und Entwickler ein Fahrzeug mit sechs Präzisionsbeschleunigungssensoren aus, die das Schwingungsverhalten des Fahrwerks während zahlreicher Versuchsfahrten auf der 850 Meter langen Komfortstrecke des Testgeländes von Porsche in Weissach aufzeichneten. Die Strecke bietet viele unterschiedliche Straßenbeschaffenheits-Szenarien und erlaubt es dadurch, eine große Varianz in den Messdaten zu erreichen. „Dort treten langwellige und kurzweilige Anregungen durch die Fahrbahn auf, sodass bei den Versuchsfahrten sowohl niedrige als auch hohe Frequenzen gemessen werden konnten“, so Bogner. „Parallel zu den Sensoren habe ich den Fahrkomfort aus meiner persönlichen Sicht bewertet.“

Die Messwerte plus die Bewertungen Bogners dienen als Grundlage für das Training eines neuronalen Netzes. Zunächst wurden die Beschleunigungsmesswerte der Sensoren mithilfe einer Fourier-Transformation in ein Frequenzspektrum überführt. So war klar erkennbar, in welchen Bereichen während der Fahrt besonders große Schwingungen aufgetreten waren. Dieses Frequenzspektrum diente dann als Eingangssignal für das neuronale Netz. In zahlreichen Trainingsschleifen lernte es, zwischen den Mustern an seinem Eingang und den Einschätzungen Bogners einen immer besseren Zusammenhang herzustellen. „Die KI war nach dem Training tatsächlich in der Lage, den Fahrkomfort zu bewerten“, berichtet Bogner.

OPTIMIERTES SENSOR-SET-UP

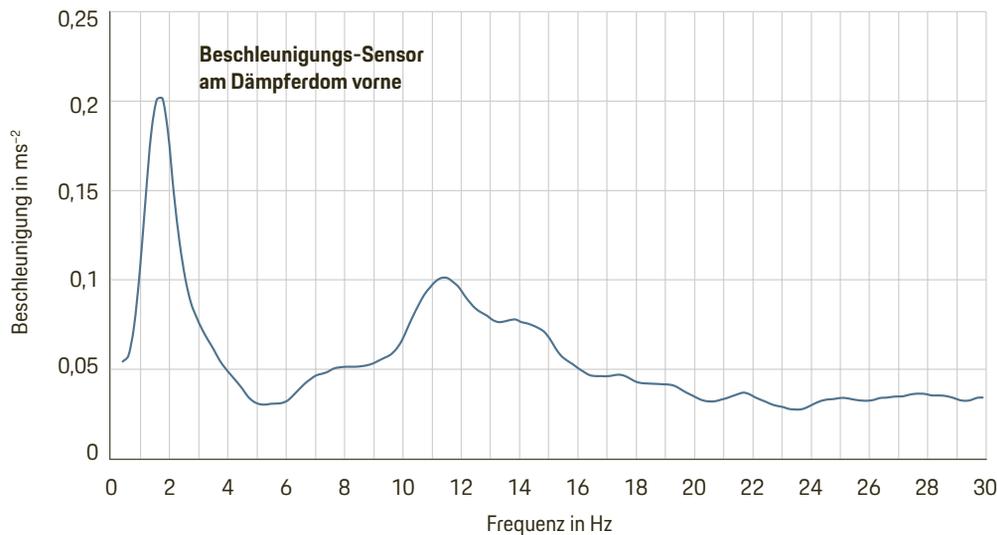
Danach begannen Bogner und sein Team damit, das Messtechnik-Set-up zu optimieren, um die Geschwindigkeit und Effizienz der Messungen weiter zu erhöhen. Die ursprünglich eingesetzten Präzisionsensoren ließen sich nur mit großem Aufwand ins Fahrzeug integrieren und erforderten eine langwierige Kalibrierung. Zudem sind diese Art von Sensoren auch für hochfrequente Akustikmessungen einsetzbar: Ihr Messbereich erstreckte sich auf eine Frequenz bis 100.000 Hertz, während bei der Fahrkomfortbewertung Schwingungen unterhalb von 35 Hertz betrachtet werden. Als Alternative setzte das Team preiswertere

WAS MACHT DEN FAHRKOMFORT AUS?



In einem fahrenden Fahrzeug treten unterschiedliche Schwingungen auf. Ihre Wirkung auf die Insassen bestimmt deren subjektives Komfortempfinden. Die wichtigsten Schwingungsquellen sind: der Motor, der Boden im Fußraum, der Sitz, Unebenheiten der Fahrbahn sowie Vibrationen des Lenkrads und der Windschutzscheibe. Den größten Einfluss auf das subjektive Komfortempfinden haben Schwingungen des Sitzes. Objektiv lässt sich der Fahrkomfort messen, indem man mit Sensoren die vertikale Beschleunigung bestimmt und als Indikator verwendet.

AUF DIE FREQUENZEN KOMMT ES AN!



Durch eine schnelle Fourier-Transformation (FFT) werden die Schwingungen in ihre Frequenzanteile zerlegt. Dieses Spektrum erlaubt die objektive Bewertung des Fahrkomforts: Bei kleinen Frequenzen mit hoher Amplitude zwischen 1 und 4 Hertz spricht man vom **Fahrkomfort erster Ordnung** (Heben, Nicken, Wanken und Gieren des Fahrzeugaufbaus im Bereich seiner Eigenfrequenz). Der Frequenzbereich von 4 bis 15 Hertz bestimmt den **Fahrkomfort zweiter Ordnung**. Diese Schwingungen mit geringer Amplitude entstehen, wenn der Fahrzeugaufbau durch Risse oder Fugen in der Fahrbahn angeregt wird.

Sensoren aus dem Motorsport ein und prüfte, ob die Ergebnisse immer noch gut genug für die Fahrkomfortbewertung waren. „Wir kamen mit vier Sensoren aus, angebracht an der Sitzschiene des Fahrers, der B-Säule, dem Dämpferdom und dem Radträger“, erklärt Bogner. „Neue Versuchsfahrten zeigten: Das optimierte Set-up lieferte tatsächlich ausreichend gute Messdaten für die KI-basierte Fahrkomfortbewertung.“

Derzeit erhält das neuronale Netz zwölf Eingangswerte von den Schwingungssensoren und liefert als Ergebnis eine Tabelle mit zehn Parametern, die das Verhalten des Fahrwerks beschreiben. „Der KI-basierte Fahrkomfortbewerter läuft auf einem normalen PC, man benötigt keinen Hochleistungsrechner“, so Bogner. „Das Training dauert maximal einen Tag, während die Auswertung einer Versuchsfahrt schon nach einigen Minuten abgeschlossen ist.“ Bislang lieferte nur Bogner als menschlicher Bewerter Trainingsdaten für das neuronale Netz, in Zukunft sollen weitere erfahrene Mitarbeitende ihren Input zusammen mit Messdaten aus anderen Fahrzeugen beisteuern, um das Netz weiter zu trainieren und die Ergebnisse zu verbessern. „Anders als bei den Abnahmefahrten sollte es dabei nur zu wenigen Abweichungen bei den subjektiven Bewertungen kommen, weil sich die Meinungen der Profis meistens decken“, sagt Bogner.

Neben der Vorbereitung von Abnahmefahrten haben Bogner und sein Team ein weiteres Ziel: Fahrzeuge sollen sich in Zukunft mithilfe des KI-basierten Fahrkomfortbewerter selbst kalibrieren. „Man könnte sie auf einen Prüfstand stellen und immer wieder die gleiche Strecke abfahren“, erklärt Reichenecker. „In einem iterativen Prozess ließen sich dann die Fahrwerk-Parameter so lange optimieren, bis der mit dem KI-basierten Fahrkomfortbewerter gemessene Komfort mit den



„Der KI-basierte Fahrkomfortbewerter läuft auf einem normalen PC, man benötigt keinen Hochleistungsrechner.“

Emmanuel Bogner

Fahrdynamik-Experte bei Porsche Engineering

Kundenvorgaben übereinstimmt. Das könnte komplett automatisch und ohne eine Fahrerin oder einen Fahrer erfolgen.“

Eine weitere Neuheit wäre der Einsatz des KI-basierten Fahrkomfortbewerter in Serienfahrzeugen. Dort könnte er den Komfort und die Performance des Fahrwerks über die Laufzeit kontinuierlich überwachen. So ließe sich der KI-basierte Fahrkomfortbewerter nicht nur als Entwicklungswerkzeug nutzen, um schneller die finale Applikation des Fahrwerks zu erreichen – er wäre auch ein intelligenter Beifahrer des Endkunden, der für ein gleichbleibend hohes Komfortniveau und mehr Sicherheit auf der Straße sorgt. — ●

Cayenne Turbo E-Hybrid Coupé mit GT-Paket

Kraftstoffverbrauch gewichtet kombiniert: 1,9–1,8 l/100 km
Kraftstoffverbrauch bei entladener Batterie kombiniert: 11,9–11,5 l/100 km
Stromverbrauch gewichtet kombiniert: 31,1–30,3 kWh/100 km
CO₂-Emission gewichtet kombiniert: 43–41 g/km
CO₂-Klasse gewichtet kombiniert: B
CO₂-Klasse bei entladener Batterie: G

„Wir stehen an einer großen Schwelle“

Künstliche Intelligenz verändert alle Lebensbereiche massiv, auch die Entwicklung. Über die Chancen und Grenzen der neuen Technologie sprechen im Interview Markus-Christian Eberl, CEO von Porsche Engineering, und Dr. Matthias Peissner, Leiter des Forschungsbereichs Mensch-Technik-Interaktion am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart.

Text: Constantin Gillies
Fotos: NOICREW



Entwicklung trifft Forschung:
Markus-Christian Eberl (links)
und Dr. Matthias Peissner trafen
sich im futuristischen Gebäude
des Fraunhofer-Instituts für
Arbeitswirtschaft und Organisation
IAO in Stuttgart zum Interview.

Derzeit gibt es einen großen Hype um Künstliche Intelligenz. Bringt die Technologie wirklich die erwarteten fundamentalen Umbrüche in Gesellschaft und Industrie? Ähnlich wie das Aufkommen des Internets zur Jahrtausendwende?

- **PEISSNER:** In den Medien lässt sich definitiv ein gewisser Hype beobachten. Der erste Schub kam im Herbst 2022 mit ChatGPT, und es werden vermutlich weitere Hypes – und Enttäuschungen – folgen. Langfristig ist der Weg jedoch klar vorgezeichnet: KI erreicht in den nächsten Jahren ein Niveau, das bis vor kurzem unvorstellbar war. Schauen Sie sich an, wie viele Produkte menschlicher Intelligenz uns umgeben. Und stellen Sie sich jetzt vor, dass all diese Dinge in Zukunft auf einer künstlichen Intelligenz basieren, die der menschlichen ebenbürtig oder in Teilen sogar überlegen ist. Das wird massive Veränderungen mit sich bringen. Wir stehen definitiv an einer großen Schwelle.
- **EBERL:** Aus meiner Sicht geht der Vergleich mit dem Aufkommen des Internets zur Jahrtausendwende nicht weit genug. Wenn man sich die Technikgeschichte anschaut, fand ein wesentlicher Teil der industriellen Entwicklung in den letzten 2000 Jahren – bildlich gesprochen – unterhalb des Halses statt. Die Innovationen von der Wasserkraft über die Dampfmaschine bis hin zur vollautomatisierten Produktion zielten im Wesentlichen darauf ab, die Muskelkraft des Menschen und seine Geschicklichkeit zu „maschinisieren“. Wenn jetzt der Teil oberhalb des Halses, also die Intelligenz, „maschiniert“ wird, ist mit großen Veränderungen zu rechnen – in Unternehmen und in der Gesellschaft.

Wir stehen also vor der Industrialisierung des Denkens?

- **EBERL:** Das ist zwar sehr plakativ zusammengefasst, aber man könnte es so ausdrücken. Die Größenordnung der anstehenden Veränderungen darf durchaus mit der industriellen Revolution verglichen werden. In Unternehmen wirkt KI gleich in mehrere Richtungen: Sie macht Prozesse effizienter, was die Geschwindigkeit erhöht und für Kostenvorteile sorgt. Zugleich können wir die Leistung und Effektivität unserer Produkte erhöhen, etwa in Form neuer, innovativer Features oder einer Verbesserung der Produktqualität. Wir können mittels KI also schneller, günstiger und besser sein.
- **PEISSNER:** Erhöhte Wirtschaftlichkeit und Qualität sind sicher zentrale Wirkungsrichtungen von KI. Darüber hinaus könnte KI uns aber auch helfen, komplexe Themen beherrschbar zu machen. Vielleicht bekommen wir so die großen wirtschaftlichen Probleme unserer Zeit in den Griff – Fachkräftemangel, Energie- und Ressourcenknappheit, Nachhaltigkeit.

Wo könnten die Risiken liegen?

- **PEISSNER:** Es besteht natürlich die Gefahr, dass wir mit KI unsere Probleme noch verschärfen – man denke an die gewaltigen Energiemengen, die das Training großer Sprachmodelle verschlingt. Zudem



„Die Größenordnung der anstehenden Veränderungen darf durchaus mit der industriellen Revolution verglichen werden.“

Markus-Christian Eberl
CEO von Porsche Engineering

könnte KI neue Ungleichheiten erzeugen oder bestehende verstärken. Beim Blick auf die Weltkarte deutet sich das schon an: Alle großen KI-Hotspots befinden sich im Norden, wo auch das Training der Modelle stattfindet. Im globalen Süden dagegen werden sie nur genutzt – und ein Großteil der Erde ist derzeit komplette „KI-Wüste“.

— **EBERL:** Jede neue Technologie birgt zugleich Risiken und Chancen. Gleichzeitig steht fest, dass solche starke Technologien nicht ignoriert werden können. Für Wirtschaftsunternehmen besteht die Notwendigkeit, die Technologie verantwortungsvoll nutzbar zu machen, und zwar möglichst schnell. Denn derzeit erleben wir, wie die technologische Halbwertszeit immer weiter sinkt. Zur Zeit unserer Großväter umfassten Technologiezyklen noch ein halbes Menschenleben, zu meiner Studentenzeit war es vielleicht noch eine Dekade. Mittlerweile dauern Technologiezyklen nur noch ein oder zwei Jahre – und sind zum Teil kürzer als die typischen Anpassungszeiträume von Unternehmen. Das bringt Chancen für neue Spieler und fordert gleichzeitig die etablierten heraus. Unternehmen, deren Stärke auf Erfahrung oder einem über Jahrzehnte aufgebauten USP basiert, sollten diesen Zug keinesfalls



verpassen. Eine extrem mächtige Technologie und ein extrem hohes Veränderungstempo kommen zusammen – das ist schon eine besondere Mischung.

Wie setzt Porsche Engineering KI bereits ein?

- **EBERL:** Eines von vielen Beispielen ist die Nutzung von KI im Absicherungsprozess von automatisierten Fahrfunktionen. Diese Systeme müssen nicht nur in Standardsituationen zuverlässig reagieren, sondern auch in Sonderverkehrssituationen. Stellen Sie sich etwa eine reich geschmückte Kuh vor, die beim Almbetrieb auf der Straße läuft. Obwohl es sich um eine außergewöhnliche Verkehrsbeeinträchtigung handelt, muss das Tier vom System sicher erkannt werden. Zahlreiche Fahrzeuge sind jeden Tag viele Kilometer unterwegs, um möglichst viel „Anschauungsmaterial“ zur Absicherung der automatisierten Fahrfunktionen in unterschiedlichsten Situationen zu sammeln. Dabei gleicht die Identifikation der seltenen Fälle in den Sensor- und Videodaten der Fahrten, wie etwa der geschmückten Kuh vom Almbetrieb, der Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Unter Umständen sind nur 0,0001 Prozent einer Aufnahme relevant. Deshalb haben wir eine

↓

Markus-Christian Eberl ist Vorsitzender der Geschäftsführung von Porsche Engineering. Bevor er 2023 zu Porsche Engineering kam, war er bei der Porsche AG als Leiter Technische Konformität sowie in weiteren Leitungsfunktionen tätig. Der Diplom-Ingenieur hat an der Universität Stuttgart Luft- und Raumfahrtstechnik studiert.

KI darauf trainiert, solche sogenannten Corner Cases zu identifizieren und zu extrahieren – und erhöhen damit die Effizienz im Entwicklungs- und Absicherungsprozess in hohem Maße. Ein anderes Praxisbeispiel für die Anwendung von KI sind große Sprachmodelle (Large Language Models), die wir bereits in der Softwareentwicklung einsetzen, um beispielsweise die Effizienz des sogenannten Codings von Software zu erhöhen. Wenn ich ein Problem ausreichend gut beschreibe, kann ein gut trainiertes LLM den entsprechenden Code auf Entwicklungsstufe 1 sehr effizient generieren. Das heißt, das bisher von Expertinnen und Experten durchgeführte Coding einer Funktion wird KI-maschinell in guter Qualität erledigt. Die weiteren Optimierungs- und Integrationsschritte dieses Codes sind aktuell überwiegend noch Expertenaufgabe, allerdings entwickeln sich die diesbezüglichen KI-Fähigkeiten derzeit rasant.

Ein LLM gibt unter Umständen jeden Tag eine leicht unterschiedliche Antwort. Wie verträgt sich das mit klassischer Ingenieurwissenschaft, wo es auf Verlässlichkeit und Präzision ankommt?

- **EBERL:** Hier ist tatsächlich ein Umdenken gefragt. Bisher war das Ingenieurstudium darauf ausgelegt, naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten zu lernen und auf technische Probleme anwenden zu können. Auch die im Ingenieursalltag angewendeten elektronischen Verfahren beruhen vorwiegend auf mathematischen und empirischen Methoden, die mit hinreichendem Aufwand von der Expertin oder dem Experten selbstständig und eindeutig durchgeführt oder zumindest nachvollzogen werden konnten. Mit KI kommt jetzt eine völlig neue Methodik rein, die auf einem Training mit großen Datensätzen basiert. Dieser grundlegende Unterschied sollte sowohl bei der Gesamtabsicherungsstrategie als auch bei der darauf aufbauenden Freigabe berücksichtigt werden, denn selbst wenn die Ingenieurin oder der Ingenieur nicht mehr jeden Schritt „durchdringen“ kann, muss die Verlässlichkeit des Ergebnisses am Schluss garantiert sein. Ansätze wie „Explainable AI“ zielen darauf ab, dass die Ergebnisse der KI inhaltlich nachvollziehbar bleiben. Andere Absicherungsverfahren kombinieren klassische und KI-basierte Methoden.
- **PEISSNER:** Maschinelles Lernen stellt den großen Paradigmenwechsel dar. Wie diese Systeme zu ihrem Ergebnis kommen, ist zunächst nicht zu erkennen. Insofern gilt der Spruch aus der Luftfahrt „Wenn du

Paradigmenwechsel: KI ist eine völlig neue Methodik, die auf einem Training mit großen Datensätzen basiert – Herausforderung und Chance für Forschung und Entwicklung.





Ungewisse Zukunft: Noch ist schwer vorherzusehen, wie viel KI genau verändern wird – aber es muss sichergestellt sein, dass sie allen dient.

nicht mehr versteht, was das System macht, schalte es ab“ nicht mehr. Aber wir können durch diese neue Art des Arbeitens auch neue Erkenntnisse gewinnen. In der Medizin etwa wird schon länger ein Verfahren eingesetzt, das verschiedene Arten von Hautkrebs erkennt und klassifiziert. Aus so einem System lassen sich auch neue Indikatoren für gute menschliche Entscheidungen ableiten.

Muss die Ingenieurin oder der Ingenieur von morgen die deterministischen Modelle überhaupt noch beherrschen?

— **PEISSNER:** Natürlich, sonst sind wir der KI völlig ausgeliefert! Es braucht jemanden, der prüft, ob das, was die KI liefert, auch valide ist. Außerdem ist ja auch der Weg zum Ergebnis mitunter wichtig. Wenn ich zum Beispiel im Internet etwas recherchiere, stolpere ich oft über Artikel, die ich vielleicht nur durchscanne. Aber dabei lerne ich neue Dinge und erweitere meinen Horizont. Wenn ich die Recherche dagegen mit ChatGPT mache, bekomme ich ein Ergebnis, das ich sofort verwenden kann, aber mir fehlt dieser Prozess – das Links- und Rechtsgucken. Doch genau darauf basieren viele Innovationen.

— **EBERL:** Hinzu kommt ja, dass KI das menschliche Gehirn bei simpleren Aufgaben entlastet, wie bei der Aufbereitung von Daten. So gewinnt man Zeit für kreativere Aufgaben. Man nutzt die KI als Werkzeug und sieht sie nicht als Konkurrent.

Wie können Unternehmen ihre Belegschaften auf diese neue Art des Arbeitens vorbereiten?

— **EBERL:** Das Ziel sollte die „Demokratisierung von KI“ sein: Das Thema muss bis in alle Endknoten des Unternehmens getragen werden, sodass jede oder jeder die Chancen der neuen Technologie sieht und auch ergreift. Weil uns das Thema so wichtig ist, haben wir bei Porsche Engineering einen eigenen Hauptbereich für Big Data und AI etabliert. Das ist unser Nukleus. Doch für eine erfolgreiche „Demokratisierung von KI“ braucht es einen größeren Change-Management-Ansatz. Wir müssen zusätzlich pragmatische Lösungen zeigen und Leuchtturmprojekte vorantreiben, an denen die positiven Aspekte der neuen Methoden sichtbar werden. Wenn uns das gelingt, bekommt das Thema eine Eigendynamik. Man braucht „Push“ vom Zentralbereich – plus „Pull“ aus allen Teilen der Organisation.



Matthias Peissner leitet seit 2017 den Forschungsbereich Mensch-Technik-Interaktion am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart. Daneben koordiniert der Psychologe das KI-Fortschrittszentrum „Lernende Systeme und Kognitive Robotik“.

Bei KI kann Europa bisher nur eine Pionierleistung vorweisen: Mit dem AI Act haben wir die Technologie als Erste reguliert. Wo steht Europa im weltweiten KI-Wettlauf?

- **EBERL:** Mit dem Thema KI wird in den unterschiedlichen Regionen der Welt unterschiedlich umgegangen: In Europa neigen wir zu einer eher risikoorientierten Sicht. Wir versuchen, Probleme zu antizipieren und zu vermeiden. In anderen Teilen der Welt dominiert eine chancenorientierte Sicht. Es liegt in der Natur der Sache, dass gewisse Entwicklungen dort schneller vollzogen werden. Für uns als Unternehmen ist es wichtig, dass wir durch unsere Präsenz in allen Regionen der Welt die lokalen Unterschiede in Forschung und Entwicklung, Anwendung und Regulierung von KI kennen. So haben wir einen umfassenden Blick auf KI in der Welt gewonnen und können unseren Kunden passgenaue Lösungen anbieten.
- **PEISSNER:** Ich finde generell, wir sollten uns in Deutschland mehr auf unsere Stärken konzentrieren! Wir sind in der Forschung gut aufgestellt, und über die KI-Strategie der Bundesregierung wurden viele Mittel gut eingesetzt. Was uns im Vergleich mit den USA fehlt, ist das private Investment. Deshalb sind wir auch nicht konkurrenzfähig, wenn es darum geht, große Sprachmodelle zu entwickeln. Aber vielleicht ist das auch nicht notwendig. KI ist schließlich eine Allzwecktechnologie – im Prinzip wie Elektrizität. Es geht nicht darum, wer sie erfindet, sondern wer sie schnell effizient einsetzt. In diesem Rennen haben wir noch nicht verloren. Wir müssen die Prozesse komplett neu denken, gerade auch mithilfe der Mitarbeitenden. Diese Tradition der Mitgestaltung ist eine Stärke, die wir in Deutschland zu wenig ausspielen.

In Technologiekreisen wird schon über Artificial General Intelligence (AGI) gesprochen, also eine generalistische KI, die dem Menschen überlegen ist. Kommt eine solche Technologie auf lange Sicht?

- **EBERL:** Wenn Sie zum Beispiel Volta oder Edison gefragt hätten, was Elektrizität heutzutage alles möglich macht – sie hätten unsere moderne Realität vermutlich nicht sehr gut vorhergesagt. Prognosen über so lange Zeiträume sind schwierig. Ich denke, momentan ist relevant, die Bedeutung der Technologie zu erfassen und ein adäquates Change Management zu etablieren. Grundsätzlich neigen wir Menschen dazu, Entwicklungen linear fortzudenken. Aber die neue Technologie KI wird – wenn sie erst mal Fuß gefasst hat – ganz neue Möglichkeiten eröffnen und exponentielle Effekte haben. Sie zu prognostizieren, dürfte eher eine Aufgabe für Philosophinnen und Philosophen sein.
- **PEISSNER:** Ich glaube wirklich, dass wir in Zukunft über eine Künstliche Intelligenz verfügen, die der menschlichen in einigen Aspekten überlegen ist. Vielleicht passiert das sogar noch in diesem Jahrzehnt. Aber die Frage wird doch sein: Können 90 Prozent der Bevölkerung diese Fortschritte noch verstehen – oder wird KI zu einem Thema für eine kleine Elite? Ich denke, hier liegt eine wichtige Aufgabe für die Zukunft: Wir müssen sicherstellen, dass die Technologie allen dient. —●

„Ich glaube wirklich, dass wir in Zukunft über eine Künstliche Intelligenz verfügen, die der menschlichen in einigen Aspekten überlegen ist.“

Dr. Matthias Peissner

Leiter des Forschungsbereichs Mensch-Technik-Interaktion am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart



PERFORMANCE
UND
EXPERTISE

MODULARER MULTI-
LEVEL-INVERTER



Innovatives Konzept:
Die neue Fahrzeugbatterie liefert dank leistungsfähiger Elektronik und Software direkt Wechsellspannung für die Ansteuerung der elektrischen Antriebsmaschine.

AUS DC MACH AC

Porsche Engineering hat das Konzept einer „Wechselstrom-Batterie“ für Elektrofahrzeuge entwickelt, die zahlreiche Komponenten in einem Bauteil vereint. Gesteuert wird sie von einem vereinheitlichten Steuergerätekonzept mit einer besonders leistungs- und echtzeitfähigen Rechnerplattform. Das System wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie entwickelt, am Prüfstand erprobt und in einem Fahrzeug demonstriert.

Text: Richard Backhaus

Das Antriebssystem von Elektrofahrzeugen besteht in der Regel aus getrennten Komponenten: einer Hochvoltbatterie mit Batteriemanagementsystem, einer Leistungselektronik zur Steuerung des Elektromotors und einem On-Board-Charger für das Laden mit Wechselstrom. Die Leistungselektronik wandelt die Gleichspannung der Hochvoltbatterie mithilfe eines Pulswechselrichters in die sinusförmige dreiphasige Wechselspannung für den Traktionsmotor um.

Dieser Aufbau hat sich in aktuellen Fahrzeugen bewährt, könnte sich aber künftig weiter verbessern lassen. „Der Trend in der Automobilindustrie geht in Richtung Hochintegration von Komponenten“, so Thomas Wenka, Fachprojektleiter bei Porsche Engineering. „Das eröffnet uns neue Möglichkeiten hinsichtlich Gehäusegröße, Gewichts- und Kostenreduzierung, Zuverlässigkeit und Effizienz.“ Das Entwicklerteam von Porsche Engineering hat die Hochintegration von Komponenten genutzt, um im Rahmen einer Machbarkeitsstudie ein Wechselstrom-Batteriesystem zu entwickeln. Es integriert die normalerweise getrennten Funktionen des Batteriemangement-Systems, des Pulswechselrichters und des On-Board-Laders in einer einzigen Komponente.

Für die Studie haben die Entwickler von Porsche Engineering die Hochvoltbatterie des Elektroantriebs in 18 einzelne Batteriemodule, verteilt über drei Phasen, gegliedert. Diese lassen sich mithilfe von Leistungs-Halbleiterschaltern einzeln ansteuern. Die

flexible Zusammenschaltung der einzelnen Batteriemodule zu einem Modularen Multilevel Series Parallel Converter (MMSPC) als verteiltes Echtzeitsystem ermöglicht eine dynamische Modellierung des Spannungsverlaufs, sodass die sinusförmige dreiphasige Wechselspannung für den Motor direkt aus der Gleichspannung der Batteriemodule erzeugt werden kann. „Mit dem MMSPC ist sowohl die direkte Ansteuerung des Elektro-Antriebsmotors beim Fahren als auch die direkte Anbindung ans Wechselstromnetz zum Laden der Batterie möglich“, erklärt Daniel Simon, Fachprojektleiter bei Porsche Engineering.

ZAHLEICHE TECHNISCHE VORTEILE

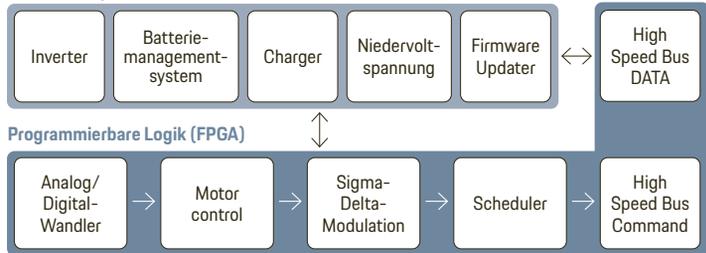
Weitere Vorteile sind die einfachere Skalierbarkeit auf verschiedene Antriebsderivate sowie eine sicherere Handhabung der stromführenden Bauteile beim Service oder bei einem Unfall. „Dann wird der MMSPC ausgeschaltet, und das System fällt quasi auf seine Einzelmodule zurück, das heißt, es kann nur noch die Modulspannung gemessen werden“, so Wenka. Zudem steigt der Ausfallschutz bei einem möglichen Defekt einzelner Batteriezellen, da die intelligente Steuerung das betroffene Batteriemodul überbrückt. Somit ist die Realisierung einer sogenannten Limp-Home-Funktion zur nächstgelegenen Werkstatt mit reduzierter Leistung möglich. Mit einer konventionellen Batterie hätte dies das Liegenbleiben des Fahrzeugs zur Folge.

HETEROGENE MULTIPROZESSOR-PLATTFORM KOMBINATION AUS PROZESSOREN UND FPGA

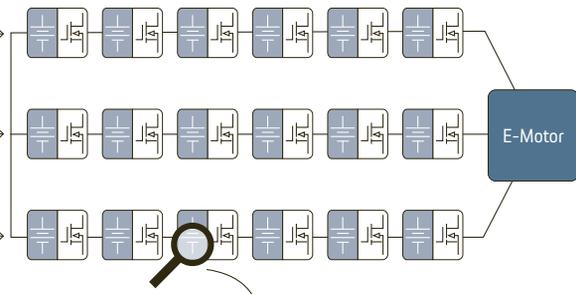
Wechselstrom-Batterie

① Zentrales Steuergerät

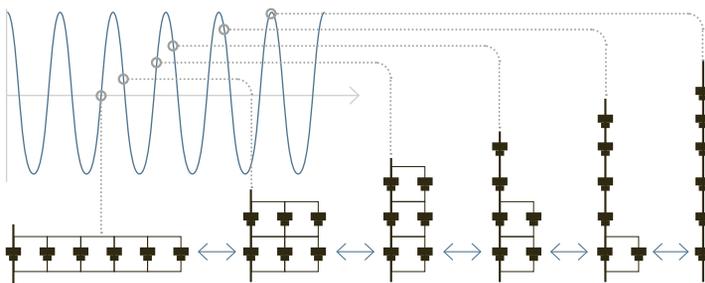
Prozessor-System



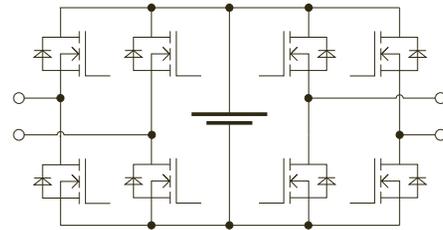
② Je sechs Module für die drei Phasen der Spannung



③ Funktionsprinzip zur Generierung der Wechselspannung



④ Mikrotopologie eines Zellmoduls



Die Wechselstrom-Batterie wurde durch **Hochintegration auf Systemebene** zum Software-definierten Antriebsstrang. Die Besonderheit dieses Ansatzes: Klassische Hardware-Funktionen wie etwa der Pulswechselrichter, das Batteriemanagementsystem oder der On-Board-Lader im zentralen Steuergerät werden mit einem Prozessor-System softwareseitig umgesetzt (1). Die zusätzliche programmierbare Logik ist **als FPGA implementiert**. Das ermöglicht die Hardware-Beschleunigung des Algorithmus und gewährleistet die **harte Echtzeitfähigkeit**.

Die einzelnen Batteriemodule sind jeweils mit einer **Leistungselektronik** bestückt und **in drei Phasen zur E-Maschine** angeordnet (2).

Um aus einer Gleich- eine Wechselspannung zu erzeugen, werden die einzelnen Zellmodule der Batterie mithilfe der bestückten Leistungselektronik **unterschiedlich verschaltet** (3). Liegen alle Module parallel, ist die Spannung am geringsten (links). Sind sie hingegen alle in Reihe geschaltet (rechts), erreicht die Spannung ihren Maximalwert. Werte dazwischen werden durch unterschiedliche Kombinationen aus Parallel-

und Serienschaltungen der Module erreicht (vereinfachte Darstellung). Die Ansteuerung der Module muss aus Sicherheits- und Effizienzgründen zeitsynchron erfolgen.

Ein Modul besteht aus Batteriezellen und der Leistungselektronik (4). Die Leistungselektronik besteht aus **acht Leistungs-MOSFETs** (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors) je Zellmodul und ermöglicht durch die Architektur unterschiedliche Verschaltungskonfigurationen wie Parallel-, Reihen-, Bypass- und passive Schaltung.



„Der Trend in der Automobilindustrie geht in Richtung Hochintegration von Komponenten.“

Thomas Wenka
Fachprojektleiter bei Porsche Engineering

Auch bietet das Konzept der Wechselstrom-Batterie technisch das Potenzial einer höheren Schnellladefähigkeit durch gepulstes Laden.

Eine große Herausforderung bei der Umsetzung des Wechselstrom-Batteriekonzepts war die Entwicklung eines leistungsfähigen und schnellen Zentral-Steuergeräts, das die einzelnen Batteriemodule exakt ansteuern kann. „Die dynamische Rekonfiguration der Batteriemodule beim Modellieren der Sinus-schwingung wird durch das zugrundeliegende verteilte System ermöglicht, das unter allen Umständen Echtzeit-Anforderungen erfüllen muss“, sagt Simon. „Denn ein Zeitverzug beim Schalten der Module würde zu Defekten an den Batteriepacks und den zugehörigen Leistungselektroniken führen.“

ECHTZEITFÄHIGE RECHNERPLATTFORM

Parallel zum Konzept der Wechselstrom-Batterie haben die Elektronikexperten von Porsche Engineering ein Steuergerät mit einer besonders leistungs- und echtzeitfähigen, einheitlichen und hochintegrierten Rechnerplattform entwickelt. Die einzelnen Funktionen der Wechselstrom-Batterie wie Motor- und Batteriemanagement sowie die Ladefunktion laufen auf ihr parallel. Die Steuergeräte-Plattform besteht aus zwei Elementen, einem projektspezifischen sogenannten Baseboard und einer projektunabhängigen Recheneinheit in Form eines System-on-Modules mit einheitlicher Schnittstelle zum Baseboard. „Die Recheneinheit stellt eine heterogene Multiprozessor-Plattform dar und ist als einzelner System-on-Chip ausgeführt. Darauf sind ein Field Programmable Gate Array (FPGA) – ein integrierter Schaltkreis mit programmierbarer Hardware – für die Datensteuerung und Überwachung im Hinblick auf die Echtzeitfähigkeit des Systems und ein leistungsstarker Multi-Core-Prozessor für die Verarbeitung großer Datenmengen in einer Komponente zusammengefasst“, erklärt Simon. „Der FPGA kann aufwendige Berechnungen übernehmen, um den Prozessor zu entlasten, sowie fehlende Peripherie ergänzen, was wesentliche Vorteile hinsichtlich Skalierbarkeit und Flexibilität gegenüber der sonst üblichen reinen Mikrocontroller-Lösungen sind. Und über die Auswahl des Derivats innerhalb der System-on-Chip-Familie lässt sich die Leistungsfähigkeit von einfachen Steuergeräteeinheiten – etwa I/O-getrieben, Kommunikation-Gateway oder Leistungselektronik – bis hin zu komplexen ADAS-Systemen mit zusätzlicher GPU- und Video-Codec-Anforderung skalieren.“

Eine Besonderheit des Ansatzes ist die software-fokussierte Umsetzung der Steuergeräte-Funktionen. „Ein Teil läuft auf einem Prozessor, welcher den FPGA für die schnelle Regelung sowie die optimale Schaltstrategie nutzt und schlussendlich alle Module synchron ansteuert. Dadurch wird die dynamische Rekonfiguration durch Software ermöglicht; damit das aber funktioniert, muss die Leistungselektronik auf den Modulen diese Schaltstrategie umsetzen“, so Simon.



„Über den System-on-Chip-Ansatz mit CPU und FPGA ermöglichen wir die harte Echtzeitfähigkeit.“

Daniel Simon
Fachprojektleiter bei Porsche Engineering



144

Leistungs-MOSFETs erzeugen durch die unterschiedliche Verschaltung von 18 Zellmodulen aus einer Gleich- eine Dreiphasenwechselspannung.

„Über den System-on-Chip-Ansatz mit CPU und FPGA ermöglichen wir die harte Echtzeitfähigkeit, die sich mit normalen Mikrocontrollern nicht realisieren lässt.“

Porsche Engineering hat das Konzept der Wechselstrom-Batterie zusammen mit der neuen Steuergeräte-Plattform in verschiedenen Prototypen umgesetzt und erfolgreich am Prüfstand getestet. Auch wurde das System in ein Testfahrzeug integriert, um die grundlegende Funktionsfähigkeit zu demonstrieren. „Für die Wechselstrom-Batterie war die Entwicklung der neuen Steuergeräte-Plattform zwingend notwendig. Da sie sich aber flexibel anpassen lässt, wurde daraus ein eigenständiges Projekt, das fortgeführt wird“, sagt Wenka. Bei neuen Projekten kann das System-on-Module und ein Teil der zugehörigen Software weiterverwendet und die Funktionalität des Baseboards einfach um die benötigten Hardwarefunktionen und Schnittstellen erweitert werden. Das Steuergerät lässt sich so flexibel an neue Anforderungen anpassen und eignet sich daher für alle Einsatzfälle, bei denen hohe Rechenleistung und Echtzeitfähigkeit benötigt werden und sich die Anforderungen während des laufenden Projekts noch ändern können. „Die projektunabhängige Kombination von System-on-Chip auf dem System-on-Module des Steuergeräts kommt dadurch auch mit anderen komplexen Aufgaben gut zurecht, was es als Funktionsprototypen-Plattform zu einer guten Wahl für die Prototypenentwicklung macht“, erklärt Simon.

Vorteile gegenüber konventionellen Prototyp-Steuergeräten ergeben sich beispielsweise durch die schnellere Funktionsentwicklung: Die Hardware stellt hohe Rechenreserven zur Verfügung, außerdem kann bei einer Steuergeräteentwicklung bereits auf die Basissoftware und bestehende Software-Blöcke als sehr gute Abprungbasis aufgesetzt werden. „Derzeit ist geplant, die neue Steuergeräte-Plattform zunächst für die Prototypenentwicklung bei Porsche Engineering einzusetzen“, berichtet Wenka. „Grundsätzlich eignet sich das Konzept in leicht abgewandelter Form jedoch auch für Serienapplikationen.“

PERFORMANCE
UND
EXPERTISE

TABASKO



STA

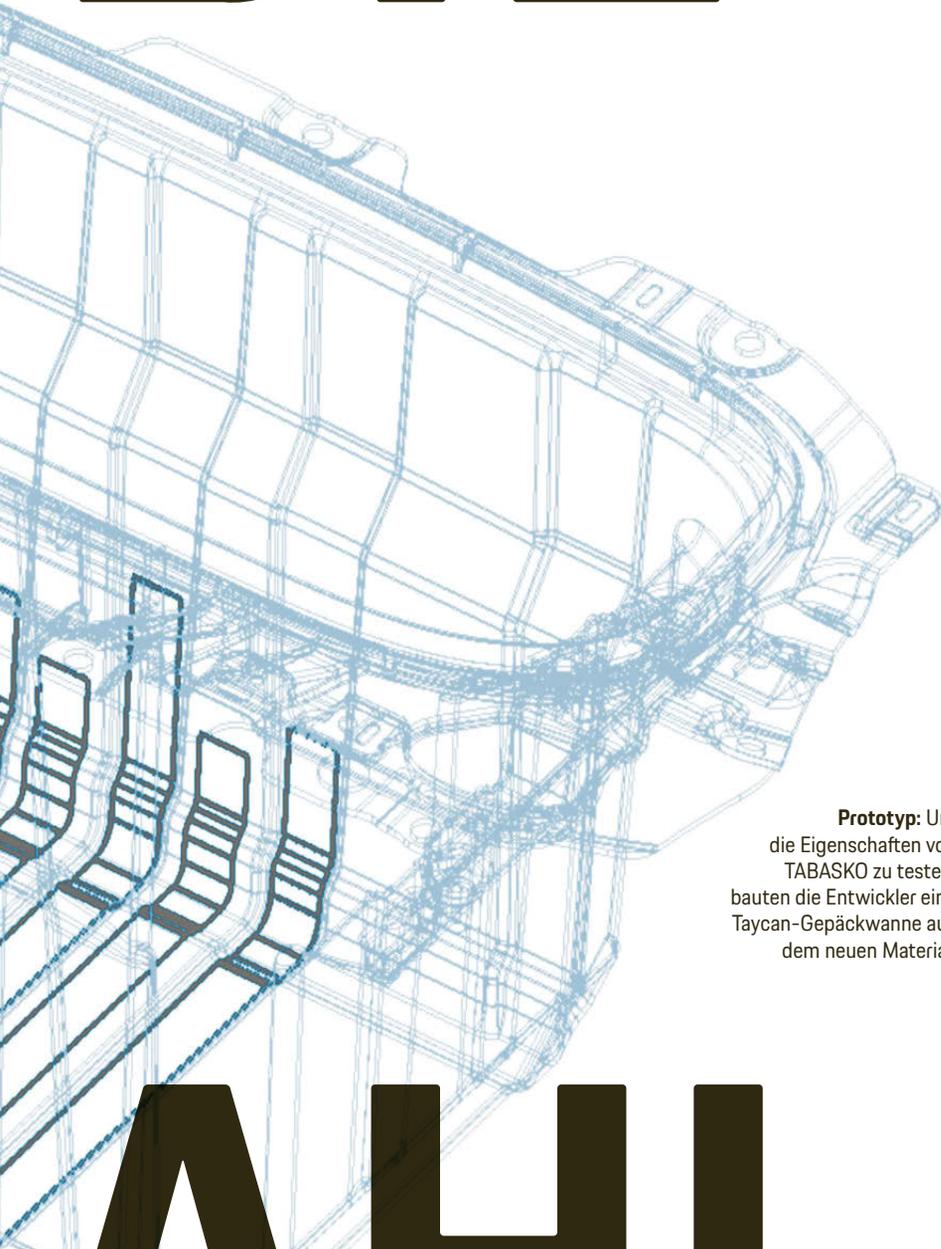
WIE

Mit TABASKO (Tape-basierter Kohlefaserleichtbau) lässt sich der Kunststoff-Materialeinsatz verringern, zudem erlaubt das von Porsche Engineering entwickelte Verfahren den Einsatz von Post-Consumer-Rezyklat. So macht es den Fahrzeugbau wieder ein Stück nachhaltiger.

Text: Mirko Heinemann

ST

BIL



Prototyp: Um die Eigenschaften von TABASKO zu testen, bauten die Entwickler eine Taycan-Gepäckwanne aus dem neuen Material.

AHHL

Leichtbau wird zunehmend wichtiger, weil Sicherheitstechnik, Elektronik sowie die steigenden Ansprüche an den Komfort das Gewicht von Fahrzeugen tendenziell erhöhen. Hinzu kommt die Umstellung auf E-Autos, die in der Regel schwerer sind als Fahrzeuge mit einem Verbrennungsmotor. Um an anderer Stelle Gewicht zu reduzieren, wird im Interieur meist der Kunststoff Polypropylen eingesetzt, auch „PP“ genannt. Er ist vergleichsweise preiswert, leicht zu verarbeiten und lässt sich auch relativ gut wiederverwerten. Er hat aber auch Nachteile: „Steifigkeit und Wärmebeständigkeit zählen nicht zu den positiven Eigenschaften von PP-Kunststoff“, erklärt Michael Johann, Fachprojekteiter Entwicklung Karosseriesystem. „Um sie zu verbessern, wird in der Regel Glasfaser hinzugefügt.“ Dieser glasfaserverstärkte Kunststoff wird PP-GFx genannt. Aus ihm bestehen viele Bauteile von Porsche-Fahrzeugen.

Johann ist fasziniert vom Thema Leichtbau. Bei Porsche Engineering entwickelt er zusammen mit seinem Team Serien-Kunststoffbauteile, beispielsweise für den Dachhimmel des Porsche Cayenne sowie für Verkleidungen von Säulen und Türen. Dabei bewerten er und seine Kollegen ständig neue Konstruktionsprinzipien, mit deren Hilfe sich maximale Festigkeit und minimales Gewicht kombinieren lassen. So kam es zur Geburt von TABASKO, was für „Tape-basierter Kohlenfaserleichtbau“ steht.

Die Vision von Michael Johann: bessere Materialeigenschaften bei geringerem Gewicht erreichen. Infrage kam dafür Carbon: Carbonfasern bestehen aus fast reinem Kohlenstoff, sind fest wie Stahl, dabei aber bis zu 80 Prozent leichter. Allerdings ist das Material sehr teuer.

BEREIT FÜR DIE SERIE: DIE TABASKO-PRODUKTION



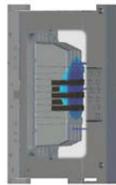
Einlegen
von fünf
Füllstreifen



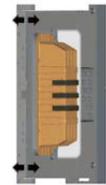
Schließen
des
Werkzeugs



Übertragung
der drei
Untergurte



Füllprozess: Die
Obergurte
werden mit Kunst-
stoff bedeckt



Expansionshub und
Aufschäumen.
Die Untergurte
liegen außen



Entnahme des
fertigen Bauteils
aus TABASKO

Patentiertes Herstellungsverfahren

Bauteile aus TABASKO lassen sich mit gängigen Verfahren vollautomatisiert herstellen. Handling-Geräte legen die Tapes in die Formen für die Spritzgussmaschine. Vakuum-Kanäle halten sie fest, sodass sie problemlos an der Ober beziehungsweise Unterseite der Komponente angebracht werden können.

↓
Carbonfasern
sind bis zu
80 %
leichter als Stahl,
aber ebenso steif.
Sie bestehen aus fast
reinem Kohlenstoff.

Eingebettet in einen dünnen Polypropylenfilm wird daraus ein außergewöhnlicher Werkstoff: das Carbonfasertape, das völlig neue Möglichkeiten eröffnet. Johanns Hypothese lautete: Wenn man das bisher verwendete PP mit wenigen durchgängigen Carbonfasertapes verstärken würde, ließen sich im Gegenzug die Wandstärken von Bauteilen verringern, ohne dadurch an Stabilität zu verlieren. Und das eingesparte PP-GF_x könnte die Mehrkosten von Carbon ausgleichen. Berechnungen belegten seine These. Um das Wirkprinzip zu veranschaulichen, bügelte Johann kurzerhand Carbonfasertapes auf PP-GF_x-Probekörper und führte erste Biegeversuche mit einem Faustlingshammer als Gewicht durch. Der erste grobe Test war damit bestanden.

Im nächsten Schritt machte Johann sich auf die Suche nach Partnern für die Umsetzung seiner Idee. Dabei kam ihm die enge Zusammenarbeit von Porsche

Engineering und Porsche AG zugute: Werkstoffexperte Frank Häusler war genau der richtige Ansprechpartner – und angetan von dem Konzept. Über Häuslers Tisch gehen viele Ideen, und seine Aufgabe ist es, ihr Potenzial für eine mögliche Serienproduktion einzuschätzen. „Leider halten die meisten Vorschläge unseren Ansprüchen nicht stand“, sagt Häusler. „Hier war es anders: Das Konzept machte einen ausgereiften Eindruck. Es war gut durchdacht, mit Zahlen hinterlegt und plausibel.“

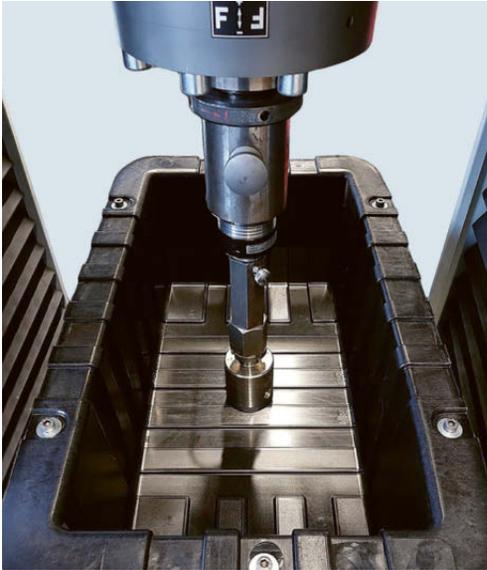
Unterstützung erhielten Johann und Häusler dabei von Dr. Hubert Stadtfeld, Projektleiter Leichtbau in der Produktionsentwicklung für strategische Produkt- und Prozessgestaltung bei der Porsche AG, der auch die Schirmherrschaft für das Konzept übernahm. Um für dieses Konzept auch ein Budget zur prototypischen Umsetzung und Validierung zu beschaffen, wurde im Produktionsressort ein Innovationsprojekt angemeldet.

ERFOLGREICHE TESTS MIT PROTOTYP

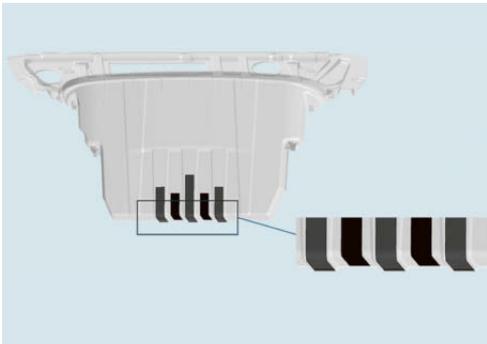
Auf der Suche nach einem geeigneten Bauteil für einen Prototyp stießen die Entwicklerinnen und Entwickler auf die Gepäckwanne des Porsche Taycan. Sie besteht serienmäßig aus glasfaserverstärktem Kunststoff und wird im Spritzgussverfahren hergestellt. Das Serienbauteil weist eine Größe von 65 Zentimetern Länge, 120 Zentimetern Breite und 52 Zentimetern Höhe auf und ist damit vergleichsweise groß. „Sind Tests bei einem großen Bauteil erfolgreich, dann sind die Ergebnisse auch auf kleinere Bauteile übertragbar“, erläutert Johann. Nun musste sich TABASKO unter professionellen Bedingungen bewähren: Häusler und Johann fertigten eine Gepäckwanne aus 1,8 Millimeter starkem PP-GF_x, verstärkt mit 0,2 Millimeter dünnem Carbonfasertape. Die Besonderheit: Der Gewichtsanteil des Carbons beträgt hier lediglich ein Prozent, weil die Endlosfasern genau an jenen Stellen platziert sind, wo sie den größten Effekt erzielen.

Mit den Prototypen wurden drei Tests durchgeführt: zuerst ein vergleichender Stempeldruckversuch, einerseits mit einer aktuellen Serien-Gepäckwanne, andererseits mit dem aus dem TABASKO-Material gefertigten Pendant. Dabei drückte ein Stempel von oben mit zunehmender Kraft auf den Boden der Wanne, um deren Biegung messen zu können. Ergebnis: Bei TABASKO war eine um 66 Prozent höhere Druckkraft nötig, um die gleiche maximal zulässige Durchbiegung zu erreichen – und dabei war die Gepäckwanne um 15 Prozent leichter als die Serien-Gepäckwanne.

Als zweiter Test folgte eine Versuchsreihe aus sogenannten Vier-Punkt-Biegeprüfungen. Hierzu schnitten die Entwicklerinnen und Entwickler rechteckige Streifen aus der Bodenfläche der Gepäckwanne. Anschließend wurden sie von allen Seiten gebogen, jeweils bei Raumtemperatur und bei 90 Grad Celsius.



Stempelprüfung: Die Prüfmaschine drückt einen Stempel mit immer stärkerer Kraft auf den Wannensboden und misst, wie weit er sich durchbiegt. Bezogen auf das Materialgewicht schneidet TABASKO besser ab als die Serienwanne.



Schnitt durch den Wannensboden: Die Tapes werden im Bauteil abwechselnd als Ober- und Untergurte platziert, sodass sie einen virtuellen Sandwich bilden. Durch den Abstand in den Randlagen wird eine hohe Biegesteifigkeit bei geringem Tape-Einsatz ermöglicht.



Erhöhte Steifigkeit: Draufsicht auf die nur 0,2 Millimeter dünnen Tapestreifen. Die Carbonfaser-Filamente laufen ohne Unterbrechung in Längsrichtung, wodurch sich die Steifigkeit gegenüber PP-GF_x um den Faktor 20 erhöht.

„Deutlich sichtbar wurde eine um den Faktor 2,5 bis 2,8 höhere Steifigkeit der tapeverstärkten Proben“, erläutert Häusler.

Der dritte Test bestimmte die Schlagzähigkeit. Er ist angebracht, wenn Schaumspritzguss verwendet wird, wie bei der Herstellung des TABASKO-Materials. „Denn dabei entstehen Schaumstrukturen, die dazu führen könnten, dass die Schlagzähigkeit des Grundwerkstoffs leidet“, so Johann. Dieser Test zeigte: In Verbindung mit Tape auf der Zugseite ergibt sich eine um etwa den Faktor fünf bessere Schlagzähigkeit. TABASKO bewies auch hier seine Überlegenheit.

„Nun kam der wichtigste Schritt: die Überführung in die Serienfertigung“, berichtet Häusler. „Die Frage lautete: Wie kann man bis zu 80.000 Teile im Jahr herstellen – vollautomatisiert und kostenneutral im Vergleich mit dem heutigen Verfahren?“ Johann, Häusler und Stadtfeld arbeiteten dafür mit einem Lieferanten zusammen und schafften es, einen Fertigungsprozess mit gängigen automatisierten Spritzgussmaschinen zu entwickeln. „Die Tapes werden in die Formwerkzeuge mittels Handling-Gerät eingelegt und mithilfe von Vakuumkanälen entweder an der Ober- oder der Unterseite des Bauteils angebracht“, erklärt Johann. „Neue Maschinen oder Verfahren sind dafür prinzipiell nicht erforderlich – extrem vorteilhaft für die Produktionskosten.“

Inzwischen sind sechs Patente für TABASKO angemeldet, für den Materialaufbau, die Herstellungsweise, die Werkzeugtechnik und den Prozessablauf in der Serienfertigung. Das Projekt hat bewiesen: Dank TABASKO können Bauteile signifikant an Gewicht und somit auch Ressourcen einsparen. Zudem eignen sich recycelte Kunststoffe für ihre Produktion. Das ist wichtig, denn laut einem Gesetzesvorhaben der EU sollen ab 2031 in allen Fahrzeugtypen mindestens 25 Prozent Post-Consumer-Rezyklat (PCR) zum Einsatz kommen. Recycelter PP-Kunststoff wird aus alten Rohren, Möbeln oder Flaschen gewonnen. Das Rezyklat ist aber längst nicht so steif wie das Ausgangsmaterial. „Diese verminderte Steifigkeit ließe sich ausgleichen, indem wir den Anteil an Carbonfasern entsprechend erhöhen“, erläutert Johann. Der große Vorteil von TABASKO: Solche Anpassungen ließen sich problemlos in den industriellen Fertigungsprozess integrieren.

Die Vorentwicklung des neuen Werkstoffs ist mittlerweile abgeschlossen. Der Fachbereich, der für die Gepäckwannen zuständig ist, hat bereits Interesse an einer Serienfertigung in künftigen Fahrzeugen signalisiert. Derzeit laufen Gespräche mit den Kunststofflieferanten. „Es ist wie bei einem Kind, das man in die Selbstständigkeit entlässt“, sagt Johann. „Mehr kann man als Vorentwickler nicht leisten.“ Und wie ein Kind steht auch TABASKO erst am Anfang seiner Entwicklungsmöglichkeiten. ●



„Neue Maschinen oder Verfahren sind prinzipiell nicht erforderlich – extrem vorteilhaft für die Produktionskosten.“

Michael Johann
Fachprojektleiter Entwicklung
Karoseriesystem bei
Porsche Engineering



„Das Konzept machte einen ausgereiften Eindruck. Es war gut durchdacht, mit Zahlen hinterlegt und plausibel.“

Frank Häusler
Werkstoffexperte Porsche AG



Versuchsfahrt ohne Versuchsfahrzeug

Porsche Engineering baut sein Engagement im Bereich Fahrsimulatoren aus. Ziel ist es, frühzeitig ein subjektives Feedback neuer digitaler Funktionen einzuholen. Auch die Porsche AG erweitert derzeit ihre Infrastruktur und plant ein Virtual Validation Center in Weissach.

Text: Christian Buck

Fahrzeuge und ihre Regelsysteme werden immer komplexer, gleichzeitig nimmt die Zahl der zur Verfügung stehenden Prototypenfahrzeuge weiter ab. Die Entwicklerinnen und Entwickler setzen darum zunehmend auf virtuelle und hybride Tests unter Verwendung fortschrittlicher Simulationsmethoden wie Software in the Loop, Model in the Loop, Hardware in the Loop und anderer Methoden, mit dem Ziel, Testaktivitäten möglichst früh im Entwicklungsprozess anzugehen. Diese Simulationen sind längst zum Standard für die objektive Bewertung von Fahrzeugkomponenten, mechanischen Systemen und Fahrfunktionen geworden. Sie erlauben jedoch keine menschliche Interaktion oder subjektive Bewertung.

Hier kommen Versuche mit Fahrsimulatoren ins Spiel – sie beziehen auch die Perspektive des Menschen mit ein. „Durch die Kombination von Fahrsimulatoren mit HiL-Systemen sowie die konsequente Nutzung und stetige Erweiterung des eigens entwickelten Simulations-Frameworks auf dem Fahrsimulator können wir früh im Entwicklungsprozess ein subjektives Feedback neuer digitaler Funktionen einholen – lange bevor erste Prototypen dafür zur Verfügung stehen“, erklärt Tille Karoline Rupp, Leiterin Fachdisziplin

Simulation bei Porsche Engineering. „Durch dieses ‚Frontloading‘ sind die Funktionen viel ausgereifter, wenn sie später erstmals in einem Versuchsfahrzeug zum Einsatz kommen.“ Zudem sind Versuche mit Fahrsimulatoren eine kostengünstige Ergänzung von Realerprobungen. Sie ermöglichen nicht nur, riskante Tests in einer sicheren Umgebung zu absolvieren, sondern auch Tests unter stark variierenden Wetterbedingungen auf virtuellen und somit ideal an das jeweilige Problem angepassten Teststrecken umzusetzen. Weiterer Vorteil: Die Testsituationen sind exakt reproduzierbar. So lässt sich beispielsweise der Umgebungsverkehr genau vorgeben und beliebig wiederholen, was in der Realität kaum möglich ist.

In einem aktuellen Projekt nutzen die Entwicklerinnen und Entwickler Fahrsimulatoren für die Applikation der Parameter der Bremsregelsystem-Software an spezifische Fahrzeugtypen. Das Porsche Stability Management (PSM), auch Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) genannt, besteht aus zwei wesentlichen Bausteinen: dem Antiblockiersystem (ABS) und dem Fahrzeugregler (FZR). Das ABS kann beim Verzögern durch die Fahrerin oder den Fahrer den hydraulischen Druck auf die einzelnen Radbremmen dosieren. Droht

Maximal flexibel:

Im Fahrsimulator können beliebige digitale Streckenmodelle abgefahren werden – zum Beispiel mit heißen oder vereisten Fahrbahnen, im Flachland oder im Gebirge.



„Durch das ‚Frontloading‘ sind die Funktionen viel ausgereifter, wenn sie später erstmals in einem Versuchsfahrzeug zum Einsatz kommen.“

Tille Karoline Rupp
Leiterin Fachdisziplin Simulation
bei Porsche Engineering

in einer Kurve Instabilität, werden einzelne Räder abgebremst, sodass ein Schleudern verhindert wird. „Je nach Feuchtigkeit und Temperatur sowie Fahrbahn- und Bremsbelagzustand verhalten sich die Bremsen völlig unterschiedlich“, sagt Martin Reichenecker, Leiter Fachdisziplin Fahrdynamik & Absicherung bei Porsche Engineering. „Das ESP muss diese Schwankungen ausgleichen – ebenso wie den Unterschied zwischen Sommer- und Winterreifen.“

Die Software für das ESP-Steuergerät stammt von Tier-1-Zulieferern und wird mit einem Satz an Standard-Parametern ausgeliefert. Diese Parameter müssen von den Entwicklerinnen und Entwicklern im Rahmen der Applikation optimal auf die verschiedenen Fahrzeugderivate abgestimmt werden. Die Herausforderung: In frühen Phasen des Entwicklungsprozesses stehen dafür noch keine Versuchsfahrzeuge mit ausreichendem Reifegrad der Komponenten zur Verfügung. Für die subjektive Beurteilung der ESP-Funktionen will Porsche Engineering deshalb verstärkt Fahrsimulatoren einsetzen. „Hierfür verwenden wir eine umfassende Integration von Fahrzeug- und Streckenmodellierung, einem realen Steuergerät samt zugehöriger Software sowie einer Benutzerschnittstelle, die mittels Lenkrad und Pedalerie eine direkte Interaktion der Fahrerin oder des Fahrers ermöglicht“, berichtet Reichenecker. „So können wir die Fahrt in Echtzeit unter möglichst realistischen Bedingungen durchführen.“

AUTHENTISCHES FAHRERLEBNIS

Die realitätsnahe Nachbildung der Fahrphysik in Echtzeit gewährleistet in Kombination mit einer passenden virtuellen Teststrecke ein authentisches Fahrerlebnis im Fahrsimulator. Die Fahrerin oder der Fahrer spürt

das Lenkrad-Moment und erfährt im virtuellen Fahrversuch am Simulator, ob das Fahrzeug beispielsweise beim Bremsen ausbricht. Mithilfe der so gewonnenen Erkenntnisse können die Entwicklerinnen und Entwickler frühzeitig mit der Applikation der ESP-Funktion für ein spezifisches Fahrzeug beginnen, wodurch sich die Entwicklungszeit deutlich verkürzt. Seit rund einem Jahr arbeiten Rupp, Reichenecker sowie ihre Kolleginnen und Kollegen an der neuen Methode. Die Erwartungen an das Frontloading haben sich erfüllt, die ersten Versuchsfahrten für die ESP-Applikation sind Ende 2024 oder Anfang 2025 geplant. Bereits heute haben die Entwicklerinnen und Entwickler ein virtuelles Prüfgelände fertiggestellt, mit der alle relevanten Streckenpassagen für die ESP-Entwicklung mit unterschiedlichen Reibwerten oder Wetterbedingungen in einer Umgebung getestet werden können.

Der Einsatz von Fahrsimulatoren für die Applikation wird durch mehrere Alleinstellungsmerkmale von Porsche Engineering begünstigt. Die Entwicklerinnen und Entwickler können beispielsweise beliebige digitale Streckenmodelle (siehe Porsche Engineering Magazin 1/2024) erzeugen, etwa mit heißen oder vereisten Fahrbahnen, im Flachland oder im Gebirge. Mithilfe der Erkenntnisse aus dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Forschungsprojekt AVEAS (Absicherungsrelevante Verkehrssituationen erheben, analysieren, simulieren), an dem Porsche Engineering neben weiteren 20 Partnern wesentlich beteiligt ist, lassen sich zudem kritische Situationen während realer Versuchsfahrten



„Wir verwenden eine umfassende Integration von Fahrzeug- und Streckenmodellierung, einem realen Steuergerät sowie einer Benutzerschnittstelle, die eine direkte Interaktion der Fahrerin oder des Fahrers ermöglicht.“

Martin Reichenecker
Leiter Fachdisziplin Fahrdynamik & Absicherung
bei Porsche Engineering



**„Wir nutzen Fahr-
simulatoren vor allem in
Probandenstudien,
in denen Teammitglieder,
Testpersonen oder
Entscheiderinnen und
Entscheider zum Beispiel
neue Fahrfunktionen
bewerten sollen.“**

Ingo Kreams
Gesamtleiter VVC bei Porsche

Virtuelle Erlebbarkeit: Porsche will in seinem neuen Virtual Validation Center (VVC) in Weissach den Einsatz von Fahr simulatoren deutlich erweitern. In der finalen Ausbaustufe sind vier bis fünf Simulatoren geplant, von denen jeder spezielle Anforderungen aus der Fahrzeugentwicklung abdeckt – zum Beispiel aus den Bereichen Ergonomie, HMI, Fahrkomfort und Fahrdynamik.

RISIKOMINIMIERUNG: ADAS-FAHRTRAININGS



Fahr simulatoren dienen bei Porsche Engineering nicht nur als Entwicklungswerkzeuge: Einer der spielebasierten Fahr simulatoren des Unternehmens ist für das Training von ADAS-Entwicklerinnen und Entwicklern im Einsatz. Sie müssen nicht zügig auf dem Nürburgring fahren oder auf rutschiger Fahrbahn die Fahrzeugkontrolle behalten – stattdessen kommt es bei ihnen darauf an, dass sie bei Versuchsfahrten und dem unerwarteten Ausfall einer Funktion das Steuer schnell wieder übernehmen oder die Funktion bei Fehlverhalten rechtzeitig deaktivieren können. Solche Versuchsfahrten mit neuen ADAS-Fahr funktio nen finden meist auf öffentlichen Straßen statt, weswegen die Risikominimierung mithilfe von Fahr trainings auf Fahr simulatoren für Porsche Engineering höchste Priorität hat.

identifizieren und in die Simulation überführen. Die so erzeugten Streckenmodelle und Verkehrssituationen werden zudem variiert, um mehr Testfälle für die virtuelle Absicherung zu erzeugen. „Wir bringen unsere komplette Bandbreite an Modellierungsaktivitäten ein und können dadurch kundenspezifische Lösungen anbieten – inklusive der Physik und der Visualisierung des Gesamtfahrzeugmodells sowie aller Strecken und Szenarien“, sagt Rupp. „So wird es möglich, im Fahr simulator in kurzer Zeit einmal durch Europa mit all seinen unterschiedlichen Klimazonen und Gelände profilen zu fahren.“

Porsche Engineering betreibt momentan in China, Italien (Nardò Technical Center), Tschechien und Deutschland vier statische Echtzeit-Fahr simulatoren und zwei spielbasierte Fahr simulatoren. Alle Standorte arbeiten bei ihrem Einsatz und ihrer Weiterentwicklung zusammen, etwa im Bereich der Streckenmodellierung, der Weiterentwicklung des Simulations-Frameworks, der Modellintegration und der HiL-Anbindung. Einer der spielbasierten Fahr simulatoren wird genutzt, um Entwicklerinnen und Entwickler auf Versuchsfahrten vorzubereiten (siehe Kasten).

Auch die Porsche AG setzt schon seit Jahren auf Fahr simulatoren. Diese werden unter anderem in den Bereichen Fahrzeugfunktionen, HMI (Human Machine Interface), Ergonomie und Fahrkomfort eingesetzt. „Wir nutzen Fahr simulatoren vor allem in Probandenstudien, in denen Teammitglieder, Testpersonen oder Entscheiderinnen und Entscheider zum Beispiel neue Fahr funktio nen bewerten sollen“, erklärt Ingo Krems, Gesamtprojektleiter des neu entstehenden Virtual Validation Centers (VVC) bei Porsche. „Im Rahmen der virtuellen Gesamtfahrzeugerprobung können die Teilnehmerinnen und Teilnehmer zum Beispiel die Anzeige- und Bedienelemente, ADAS-Funktionen, die Ergonomie sowie den

Fahrkomfort von neuen Fahrzeugen validieren, erfahren und bewerten.“ Die Rückmeldungen der Probandinnen und Probanden fließen direkt in die Weiterentwicklung der neuen Fahrzeuge ein.

Aktuell betreibt die Porsche AG in Weissach in der Serienfahrzeugentwicklung einen Fahr simulator mit Bewegungsplattform und High-End-Visualisierungssystem sowie mehrere kleine statische Simulatoren (unter anderem mit VR-Brille), um Fahrzeuge virtuell erlebbar zu machen. Diese Infrastruktur wird im Zuge des VVC-Projekts derzeit weiter ausgebaut. „Wir werden zwei zusätzliche Fahr simulatoren mit Bewegungsplattformen aufbauen“, so Krems. „Der erste, das sogenannte VFP.NVH-Lab, wird Ende des Jahres den Betrieb aufnehmen. Er wird den Anwendungsfokus auf Fahrkomfort und Akustik haben. Der zweite folgt Ende 2026 zeitgleich mit der Eröffnung des VVC. Dieser Simulator ermöglicht es, durch sein neuartiges Bewegungssystem, deutlich dynamischere Fahrzustände, aber auch urbane Fahr situationen besser als bisher abzubilden.“

MODERNE TRIFFT TRADITION

Das VVC entsteht im Herzen des Entwicklungszentrums Weissach und wird eine Gesamtfläche von 2.100 Quadratmetern haben. Alle Großsimulatoren, die in der Serienfahrzeugentwicklung verwendet werden, werden am neuen Standort in einem Gebäudekomplex zusammengeführt. Dort entstehen ebenfalls neue Mini-Simulatoren, die als Vorbereitungsplätze helfen, kostbare Versuchszeit in den Simulatoren mit Bewegungssystemen effektiver zu nutzen. Das Center wird in ein bestehendes Gebäude eingebaut. „Wir haben uns gegen einen Neubau entschieden, um durch nachhaltiges Bauen CO₂ zu sparen und die wertvollen Flächen



Virtuell trainieren, real meistern: Neben der Entwicklung werden Simulatoren auch für Fahrtrainings genutzt.



im Entwicklungszentrum effizient zu nutzen“, berichtet Krens. „Die neue Technik wird in einem der ältesten Gebäude des Entwicklungszentrums installiert – ganz nach der Devise: ‚Moderne trifft Tradition‘.“

Porsche Engineering und die Porsche AG nutzen das gleiche Fahr Simulator-Framework für die Entwicklung. „Dadurch ergeben sich vielversprechende Möglichkeiten für eine Zusammenarbeit beider Unternehmen“, sagt Rupp. „Wir könnten beispielsweise das benötigte Modell-Set-up mit den virtuellen Strecken, dem Umgebungsverkehr, dem Gesamtfahrzeug und der Fahrodynamik erzeugen und integriert erste Versuche mit unseren eigenen statischen Fahr Simulatoren durchführen. Basierend auf diesen Ergebnissen könnten die Entwicklerinnen und Entwickler später nahtlos zu den beweglichen Fahr Simulatoren von Porsche übergehen, um das dynamische Verhalten neuer Funktionen unmittelbar erlebbar zu machen. Zudem wären erweiterte

Versuche in Sitzkisten mit realer Ergonomie möglich, um Erkenntnisse in noch realistischeren Prototypen zu gewinnen.“ Reichenecker ergänzt: „Mit unseren statischen Fahr Simulatoren können wir den größten Teil der Applikation schlank und schnell durchführen, und mit den dynamischen Fahr Simulationen im VVC kommen wir den realen Prototypen sehr nahe.“

Von Fahr Simulatoren sollen in Zukunft viele Entwicklungsbereiche profitieren. „Für uns sind die Fahr Simulatoren neben SiL- und HiL-Tests ein entwicklungsbegleitendes, zusätzliches ‚Tool‘ in unserem Werkzeugkasten, aber kein Ersatz für die bestehenden Methoden“, fasst Rupp zusammen. „Dank unserer Kompetenz bei der Streckenmodellierung und der Fahrzeugsimulation sowie der Berücksichtigung des Umgebungsverkehrs und der realistischen Interaktion bieten wir unseren Kunden modulare Lösungen, die sich optimal an die jeweilige Anwendung anpassen lassen.“ ●



ZUSAMMENGEFASST

Mithilfe von Fahr Simulatoren lässt sich früh im Entwicklungsprozess ein subjektives Feedback neuer digitaler Funktionen einholen – lange bevor dafür erste Prototypen zur Verfügung stehen. Porsche Engineering baut sein Engagement in diesem Bereich derzeit stark aus. Parallel plant die Porsche AG in Weissach ein „Virtual Validation Center“ (VVC), um seine Simulatoren-Infrastruktur zu erweitern.

DIE GROSSE VERSCHMELZUNG

Der Futurist und KI-Prophet Ray Kurzweil sagt voraus, dass Computer schon bald menschliche Intelligenz erreichen. Danach sollen sie mit dem Menschen zu einer unsterblichen Super-Intelligenz verschmelzen. Andere KI-Forscher sind deutlich skeptischer – obwohl GPT-4 gerade beim Turing-Test gegläntzt hat.

Text: Hilmar Pogantz

↓

Rund
11.200
-mal mehr
Rechenleistung pro Dollar
bekommt man heute
im Vergleich zu 2005.

Ende Juni 2024 saß der Erfinder und Visionär Ray Kurzweil an einem Fenster des Bostoner Four-Seasons-Hotels und hielt ein Blatt Papier hoch. Darauf zeigte er einem Reporter der New York Times eine steile Wachstumskurve: Wie viel Rechenkraft konnte man 1938 für einen Dollar erwerben, und wie viel vorgestern? Die neongrüne Kurve in seiner Hand sollte unterstreichen, warum der 76-Jährige gerade ein neues Buch herausgebracht hat: „The Singularity Is Nearer“ ist der Nachfolger von „The Singularity Is Near“, seinem Bestseller von 2005.

Die technologische Singularität, zu Deutsch „Einzigartigkeit“, steht für einen möglichen Zeitpunkt in der Zukunft, an dem Künstliche Intelligenz (KI) die menschliche Intelligenz übertrifft und sich dann rasant selbst weiterentwickelt. Dadurch würde, so die Annahme, der technische Fortschritt unaufhaltbar und nicht mehr vom Menschen gesteuert werden. Kurzweil geht dabei einen Schritt weiter und stellt

sich einen Moment vor, in dem wir unsere Gehirne mit virtuellen Neuronen in der Cloud erweitern und so „mit KI verschmelzen und uns mit der millionenfachen Rechenleistung unserer ursprünglichen Biologie selbst verbessern“.

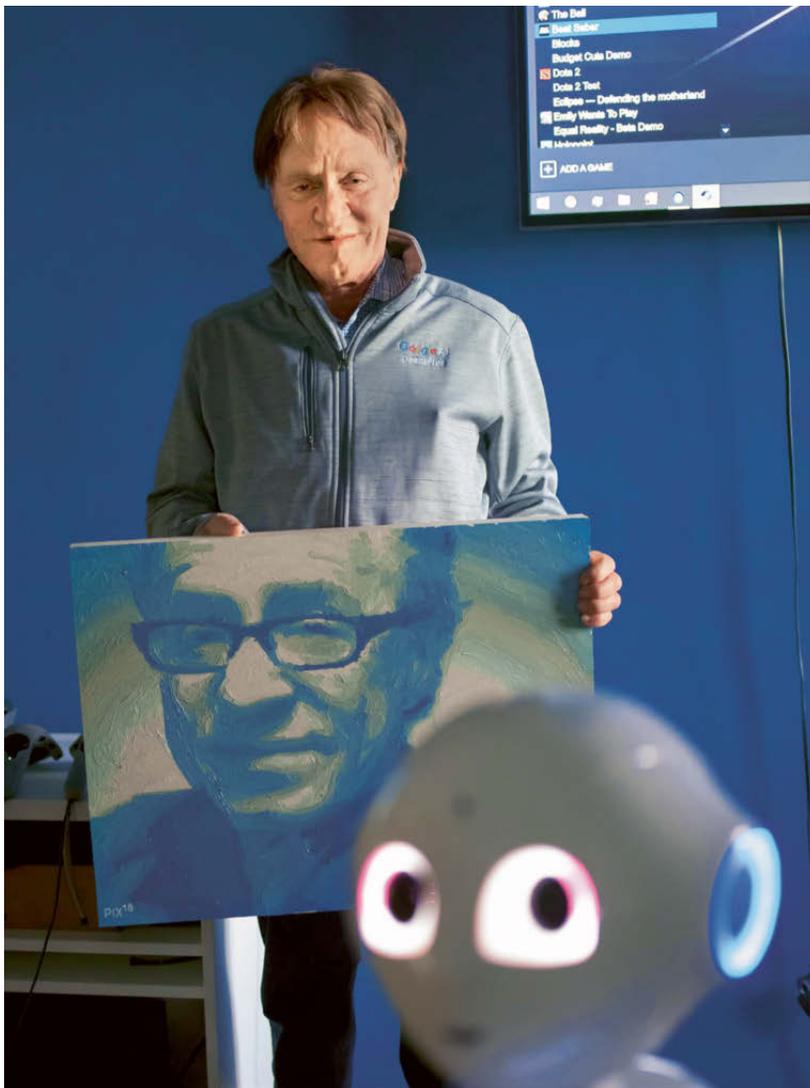
Kurzweils Glaube an die Singularität basiert auf dem, was seine grüne Grafik ausdrückt. Sie ähnelt der exponentiellen Wachstumskurve der Rechenleistung von Computerchips, die „Moore's Law“ 1965 vorhergesagt hatte. Kurzweil macht daraus das „Gesetz der sich beschleunigenden Erträge“. Es postuliert, dass technologische Entwicklungen Rückkopplungsschleifen erzeugen, die Innovationen auch in anderen Bereichen beschleunigen. Diese Entwicklung habe rasant zugenommen, seitdem er 2005 sein erstes Singularitäts-Buch herausbrachte: „Für einen Dollar bekommt man heute rund 11.200-mal mehr Computerleistung“, rechnet er vor. Das führe zu enormen Sprüngen in Bio- und Nanotechnologie.



TRENDS UND TECHNOLOGIEN

KI-SINGULARITÄT

Rasanter Fortschritt:
Laut Kurzweil schreitet die
technologische Entwicklung
exponentiell voran und
führt bald zur Singularität.



**„Bis 2045
werden wir
das Leben
auf der Erde
tiefgreifend
zum Besseren
verändern.“**

VITA RAY KURZWEIL

1948: geboren am 12. Februar in New York. Kurzweils Eltern hatten Österreich vor Beginn des Zweiten Weltkrieges verlassen.

1970: Bachelor-Abschluss am MIT. Kurzweil hatte dort Literatur und Informatik studiert.

1983: Gründung von Kurzweil Music Systems. Ziel war die Entwicklung von Synthesizern. Der 1984 vorgestellte K250 wurde unter anderem von Stevie Wonder, Keith Emerson und Chick Corea gespielt.

2005: Veröffentlichung von „The Singularity Is Near“. Darin sagt Kurzweil voraus, dass die Singularität 2045 eintritt.

2008: Gründung der „Singularity University“. Sie beschäftigt sich mit disruptiven Technologien wie Künstlicher Intelligenz und Robotik.

2024: Veröffentlichung von „The Singularity Is Nearer“. Darin sagt Kurzweil voraus, dass KI im Jahr 2029 menschliches Niveau erreichen wird.

Und natürlich bei Computern selbst: Kognitionswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler der University of California haben jüngst in einem Test knapp 500 Teilnehmende mit echten Menschen und verschiedenen großen Sprachmodellen chatten lassen. Dabei hielten 54 Prozent der Probandinnen und Probanden das KI-Modell GPT-4 für einen Menschen. Damit hat laut den Forscherinnen und Forschern erstmals eine Maschine den Turing-Test bestanden. 1950 hatte der Informatik-Pionier Alan Turing vorgeschlagen, anhand eines „Imitationsspiels“ zu messen, ob ein Computer ähnlich wie ein Mensch denken kann. Sobald eine Maschine diesen Test bestünde, könne man von maschineller (Künstlicher) Intelligenz ausgehen. Turing rechnete damit für das Jahr 2000, am Ende geschah es im Juni 2024. In naher Zukunft werden Sprachmodelle dem Menschen also immer ähnlicher. Die kalifornischen Kognitionsforscherinnen und -forscher warnten umgehend, solche Bots würden „weitreichende wirtschaftliche und soziale Folgen haben“.

Mit dieser Warnung sind sie nicht allein. Bereits im März 2023 hatten mehr als 1.000 Expertinnen und Experten aus Technologie und Forschung eine sechsmonatige Entwicklungspause für KI-Modelle gefordert. Statt Programme so rasant weiterzuentwickeln, dass selbst ihre Entwicklerinnen und Entwickler sie nicht mehr verstehen oder kontrollieren könnten, brauche es zunächst neue Sicherheitsstandards. Auch wenn es weiterhin an konkreten Maßnahmen fehlt, war die Debatte damit eröffnet. Kurzweil hatte mit seinen Aussagen zur Singularität offenbar einen Nerv getroffen: Die Entwicklung Künstlicher Intelligenz schreitet inzwischen so schnell voran, dass die Folgen kaum mehr absehbar sind.

SCHWACHE UND STARKE KI

Allerdings kommt es hier sehr aufs Detail an. „Es gibt zwei Arten von KI: schwache KI als individuelle Fähigkeit – etwa zum Chatten, Schachspielen oder Autofahren – und starke KI im Sinne einer Artificial General Intelligence (AGI), die mit menschenähnlicher Kreativität Probleme löst, für die sie nicht speziell programmiert wurde“, erläutert Raúl Rojas. Der Informatikprofessor hat lange an der FU Berlin zu neuronalen Netzen, Robotern und selbstfahrenden Autos geforscht und lehrt heute Mathematik an der University of Nevada. Tatsächlich habe es in den letzten 20 Jahren große Fortschritte bei der schwachen KI gegeben, die den Menschen bei vielen individuellen Aufgaben längst übertreffe.

Den Übergang zu einer AGI oder Superintelligenz sieht Rojas jedoch noch in weiter Ferne: „Kurzweils Verschmelzung von Hirn und KI ist pure Science-Fiction.“ Und der Soziologe Thomas Wagner wirft ein: „Unter Singularität kann man Verschiedenes verstehen. Für Kurzweil ist der Unsterblichkeitsgedanke sehr wichtig, verbunden mit der Idee, dass der Mensch körperlich mit KI verschmilzt und ein neues Superwesen entsteht.“

Selbst wenn es noch keine Mensch-Maschine-Kombinationen sein sollten: „Denkende Computer“ könnten schon in den nächsten zwei bis drei Jahren Realität werden, prognostiziert Simon Hegelich. Der Political Data Scientist von der TU München forscht selbst an einer eigenen Allgemeinen KI. „Leider sind wir auf diesen Bruch in der Menschheitsgeschichte kein Stück vorbereitet“, warnt Hegelich.

Kurzweils Singularitätsthese ist für ihn so spannend wie widersprüchlich. Vor allem, weil niemand im Silicon Valley genau wisse, wie eine Super-KI samt Bewusstsein überhaupt entstehen könnte. „Man geht davon

AGI

steht für „Artificial General Intelligence“. Der Begriff bezeichnet eine Form der Künstlichen Intelligenz, die in der Lage ist, Aufgaben in unterschiedlichen Bereichen ebenso gut zu lösen wie ein Mensch. Im Gegensatz zu spezialisierter KI kann AGI lernen, sich an neue Situationen anpassen und eigenständig kreative Lösungen finden.

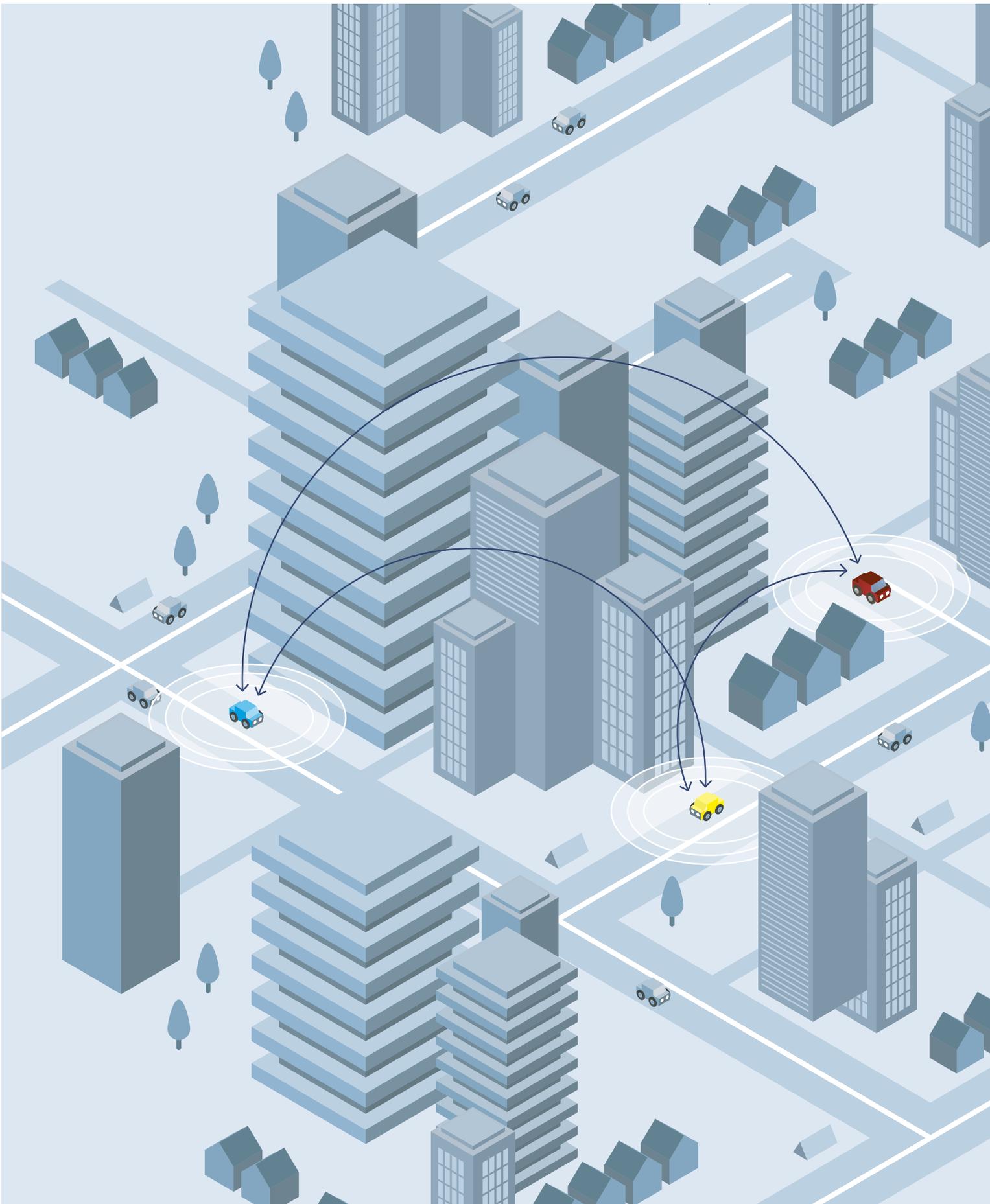
aus, dass man nur immer mehr Daten füttern muss, und die AGI dann plötzlich durch einen magischen Funken von selbst entsteht – das halte ich für falsch.“ Da führe auch ein bestandener Turing-Test nicht weiter: „Einen Computer so zu programmieren, dass er den Menschen austrickst, ist schließlich keine echte Intelligenz. Wissen besteht nicht nur aus Daten und Lernen nicht bloß aus Algorithmen. Bekanntlich denken und entscheiden Menschen ja auch nicht binär in Nullen und Einsen, sondern oft genug widersprüchlich.“

Der Politologe Hegelich bezieht sich gern auf den Philosophen Georg Wilhelm Friedrich Hegel. Dieser hatte vor rund 200 Jahren in seiner Dialektik das Prinzip des durchzuhaltenden Widerspruchs formuliert. Beispielsweise kann ein Mensch einen anderen Menschen gleichzeitig hassen und lieben. Eine echte und damit auch ethische Super-Intelligenz müsste demnach so ähnlich „aufwachsen“ wie ein Menschenkind: „Jedes Baby hat die Veranlagung, intelligent zu sein.“ Hegelich zufolge müsste man daher einen Computer bauen, der von seinem grundlegenden Algorithmus – seiner „Veranlagung“ her – intelligent ist. Eine solche AGI würde automatisch selbst lernen und auch neues Wissen produzieren, statt nur bekanntes Wissen neu zu kombinieren. Sie würde eine Art Bewusstsein entwickeln, die dem biologischer Lebensformen ähnelt.

Ob diese Form der Singularität jemals verwirklicht wird, bleibt offen. Sicher ist: Die schnelle Entwicklung der KI wirft weiterhin viele Fragen auf, die wir Menschen zu beantworten haben. ●

54

Prozent der Probandinnen und Probanden haben bei einem Test der University of California das KI-Modell GPT-4 für einen Menschen gehalten.



Vernetzt im Verkehr: Über V2X kommunizieren Fahrzeuge untereinander und mit der sie umgebenden Infrastruktur.



Wir bleiben in Kontakt

Porsche Engineering hat in den vergangenen zwölf Monaten drei prototypische V2X-Anwendungen entwickelt. Eine Schlüsselrolle spielen dabei das Software-Team in Lecce und das Nardò Technical Center. Dort steht eine drahtlose Infrastruktur auf dem neuesten Stand der Technik zur Verfügung.

Text: Christian Buck

Die **V2X-Technologie** (Vehicle to Everything) ermöglicht es Fahrzeugen, direkt mit ihrer Umgebung zu kommunizieren – auch ohne aktive Internetverbindung. So können sie Informationen mit anderen Fahrzeugen, Fußgängern, Fahrrädern oder der Straßeninfrastruktur austauschen. „Diese direkte Kommunikation bietet eine Funkreichweite von bis zu 1.000 Metern sowie End-to-End-Latenzzeiten im Millisekunden-Bereich, was besonders für sicherheitskritische Anwendungen wichtig ist“, erklärt Sai Praneeth Reddy Animireddy, Function Owner V2X Development bei Porsche Engineering. „Durch den Einsatz standardisierter Nachrichten können Informationen zwischen den Fahrzeugen verschiedener Hersteller ausgetauscht werden. Das macht die V2X-Technologie zu einer wichtigen Komponente für aktuelle Fahrerassistenzsysteme und künftige autonome Fahrzeuge.“

Im Rahmen verschiedener Machbarkeitsstudien hat Porsche Engineering in den vergangenen zwölf Monaten gemeinsam mit der Porsche AG vielversprechende V2X-Anwendungen identifiziert, die derzeit als Prototypen umgesetzt werden. Eine davon hat das Ziel, den Fußgängerschutz weiter zu verbessern: Biegt ein Fahrzeug in der Stadt ab, kann die Fahrerin oder der Fahrer wegen eingeschränkter Sicht oft nicht erkennen, ob direkt hinter der Abzweigung gerade eine Fußgängerin oder ein Fußgänger die Straße überquert. Ein anderes Fahrzeug könnte hier eventuell wichtige Informationen beisteuern: Falls es über eine seiner Kameras eine bessere Sicht auf die Fußgängerin oder den Fußgänger hat, kann es dem abbiegenden Fahrer über V2X einen Hinweis schicken. Denkbar wäre auch, im Notfall das abbiegende Fahrzeug automatisch abzubremesen.

Eine weitere V2X-Anwendung könnte in Zukunft Auffahrunfälle verhindern: „Stellen wir uns beispielsweise drei Autos vor, die direkt hintereinanderfahren. Die Fahrerin oder der Fahrer des ersten Fahrzeugs tritt plötzlich das Bremspedal durch, weil ein Kind auf die Fahrbahn läuft“, sagt Animireddy. „Dann kann das Fahrzeug über V2X eine Nachricht an die beiden anderen Autos hinter sich senden, um sie zu warnen.“ Selbst wenn das vordere Fahrzeug nicht über V2X verfügen sollte, wäre eine Warnung an das letzte Fahrzeug noch möglich – wenn das mittlere Fahrzeug mit V2X ausgestattet ist: Es könnte das Aufleuchten der Bremslichter registrieren und daraufhin eine Warnung an die Fahrerin oder den Fahrer hinter sich senden.

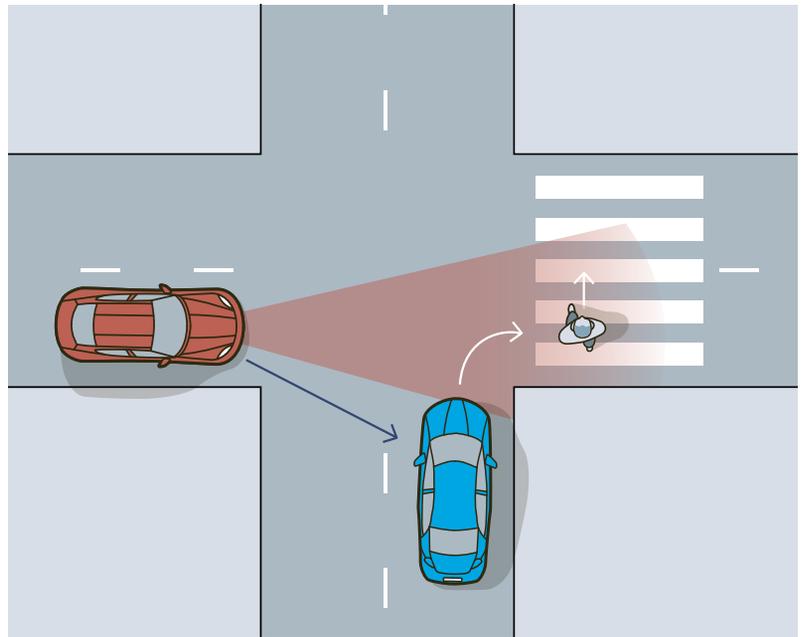
GAME-CHANGER FÜR DEN VERKEHR

Die Kommunikation von Fahrzeugen untereinander sowie mit der Infrastruktur könnte zum Game-Changer für den Verkehr werden – auch um autonome Fahrzeuge auf die Straßen zu bringen. „V2X-Kommunikation ist eine wichtige Ergänzung zur On-Board-Sensorik“, erklärt Florian Zeiner, Product Owner für V2X bei Porsche. Die größten Herausforderungen seien dabei die Marktdurchdringung und die in Europa vorherrschende Uneinigkeit hinsichtlich der Technologie.

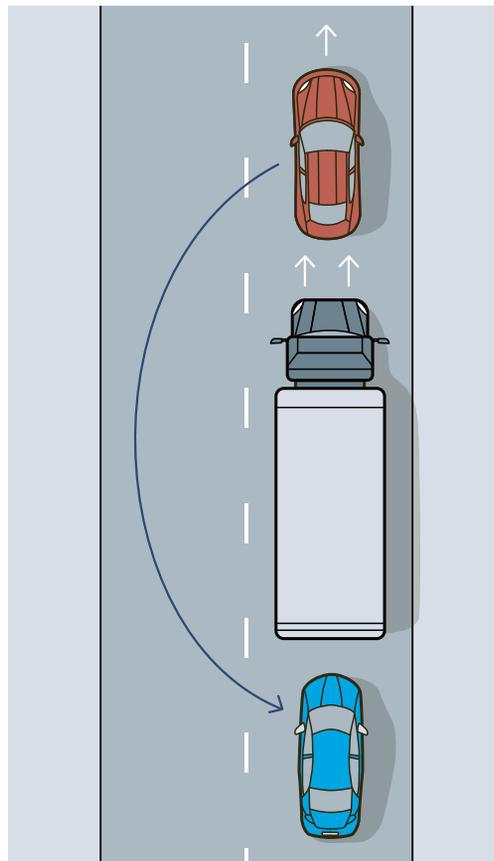
Die prototypischen V2X-Anwendungen wurden im süditalienischen Lecce entwickelt, wo das Nardò Technical Center (NTC) seit Anfang 2023 ein Team von Software-Ingenieurinnen und -Ingenieuren beschäftigt. Sie fokussieren sich auf fünf Schwerpunkte: Energie (vor allem Batteriemanagementsysteme), ADAS-Funktionen (Advanced Driver Assistance System) und autonomes Fahren, Big-Data-Analysen und Cloud-Infrastruktur, Softwarequalität und -validierung sowie Connectivity, wozu unter anderem die neuen V2X-Anwendungen gehören. „Durch die enge Zusammenarbeit mit den Universitäten in Lecce, Pavia und Turin haben wir Zugriff auf die neuesten technischen Entwicklungen und können viele Nachwuchstalente über Master- und Doktorarbeiten in unsere Projekte mit einbinden“, berichtet Matteo Longo, der das Team in Lecce leitet.

FAHRZEUGE IM GESPRÄCH MEHR VERKEHRSSICHERHEIT DURCH V2X

Szenario 1: Fußgängerschutz



Szenario 2: Auffahrunfälle verhindern



Im ersten Szenario biegt ein Fahrzeug rechts ab, gleichzeitig **überquert eine Fußgängerin oder ein Fußgänger die Straße** – die oder den die Fahrerin oder der Fahrer aber nicht sehen kann. Das andere Fahrzeug ist auf einer besseren Position und kann die die Fußgängerin oder den Fußgänger mit seiner Kamera erkennen. Es schickt eine Warnung an das erste Fahrzeug, damit es nicht zu einem Unfall kommt.

Im zweiten Szenario fahren **zwei Pkw und ein Lkw direkt hintereinander**. Der vordere Pkw bremst, was die Fahrerin oder der Fahrer ganz hinten aber nicht sehen kann. Der vordere Pkw schickt eine Nachricht an alle Fahrzeuge hinter sich und informiert sie über die Bremsung. So kann die Fahrerin oder der Fahrer ganz hinten trotz schlechter Sicht auch rechtzeitig bremsen.

„Ein weiterer großer Vorteil für die Entwicklung von V2X-Funktionen ist die Nähe zum NTC von Porsche Engineering. Dort können wir neue Anwendungen unter optimalen Bedingungen testen.“

Das zeigte sich besonders deutlich bei einem weiteren V2X-Projekt von Porsche Engineering, der „Follow-Me“-App. Die Idee dahinter: Mehrere Porsche-Fahrzeuge fahren in einer Kolonne, zum Beispiel im Rahmen eines gemeinsamen Ausflugs oder auf dem Weg zu einer Veranstaltung. Oder eine Gruppe von Entwicklerinnen und Entwicklern ist mit Versuchsfahrzeugen unterwegs. Über den V2X-Datenaustausch sehen alle Beteiligten auf ihren Displays die Position der anderen Fahrzeuge sowie weitere Informationen wie den gegenseitigen Abstand oder die beste Geschwindigkeit, um als Gruppe zusammenbleiben zu können. „Jede Person kann auch Nachrichten in die Gruppe senden, zum Beispiel um eine Kaffeepause oder einen Stopp für das Nachladen der Batterie vorzuschlagen“, so Animireddy.

MEHRERE KOMMUNIKATIONSKANÄLE

Technische Grundlage dafür ist die sogenannte „Sidelink-Kommunikation“, die die Fahrzeuge drahtlos auf einer Frequenz von 5,9 Gigahertz direkt miteinander verbindet. Sie vermeidet grundsätzlich den Umweg über das Mobilfunknetz, wo Kosten anfallen würden und in dem die Datenpakete deutlich länger unterwegs wären. Die zugrunde liegenden Standards sind ETSI Sidelink Messages (Europa), CN-SAE (China) beziehungsweise SAE (USA). In manchen Fällen ist der direkte Datenaustausch zwischen den Fahrzeugen aber nicht möglich – etwa weil die maximale Reichweite von rund 1.000 Metern überschritten ist oder ein Hindernis die Funkverbindung unterbricht. In diesem Fall schaltet die App automatisch um und greift auf das Mobilfunknetz zurück, um Nachrichten zu senden und zu empfangen. Dann beruht der Datenaustausch auf dem Standard Cellular-V2X.

„Das automatische Umschalten zwischen der Sidelink-Kommunikation und dem Datenaustausch über das Mobilfunknetz war eine der Herausforderungen bei diesem Projekt“, berichtet Longo. „In Smart Cities können die Fahrzeuge außerdem noch mit der intelligenten Infrastruktur kommunizieren, beispielsweise für die Parkplatzsuche. Dort müssen die V2X-Applikationen bis zu drei unterschiedliche Datenverbindungen beherrschen: den Sidelink mit anderen Fahrzeugen, V2X über Mobilfunk und die Kommunikation mit der Smart City.“ Insbesondere beim Testen des automatischen Umschaltens zwischen den unterschiedlichen Kommunikationskanälen hat das Team von der Nähe zum Nardò Technical Center profitiert. Dort stehen den Entwicklerinnen und Entwicklern neben einem privaten 5G-Netz auch Roadside-Units zur Verfügung, die die Infrastruktur einer Smart City nachbilden. „Auf den NTC-Teststrecken haben wir



„Wir haben eine Mischung aus Simulationen und Prototypentwicklung genutzt, um die Follow-Me-App zu realisieren.“

Sai Praneeth Reddy Animireddy
Function Owner V2X Development bei Porsche Engineering

↓

Bis zu

1.000

Meter lassen sich via Sidelink zwischen zwei Fahrzeugen für den Nachrichtenaustausch überbrücken.

↓

PKI

steht für „Public Key Infrastructure“. PKI nutzt ein System aus öffentlichen und privaten Schlüsseln, um Daten sicher zu verschlüsseln und die Identität von Personen oder Webseiten zu bestätigen. Digitale Zertifikate sorgen dafür, dass die Schlüssel echt sind und die Kommunikation geschützt bleibt.

die Follow-Me-App ausgiebig getestet, hinzu kamen später Versuchsfahrten auf öffentlichen Straßen in Deutschland und Italien“, sagt Longo.

Auch bei den Entwicklungsmethoden setzten die Ingenieurinnen und Ingenieure auf Vielfalt. „Wir haben eine Mischung aus Simulationen und Prototypentwicklung genutzt, um die Follow-Me-App zu realisieren und gleichzeitig die V2X-Nachrichtenstandards einzuhalten“, sagt Animireddy. „Außerdem war uns wichtig, dass die App so wenig wie möglich auf ein Backend zugreift. Denn nur dann ist ihre Funktionalität auch bei einer fehlenden Verbindung ins Internet gewährleistet.“ Unbefugten Zugriff auf die Daten verhindern eine Public Key Infrastructure (PKI) und die ETSI-ITS-Sicherheitsarchitektur. „Den Datenschutz stellen wir durch Anonymisierungs- und Pseudonymisierungstechniken sicher. Dadurch können personenbezogene Daten nicht direkt mit Einzelpersonen in Verbindung gebracht werden“, so Animireddy.

Porsche-Experte Zeiner ist mit dem Ergebnis zufrieden: „Die Follow-Me-App passt sehr gut zur Porsche-Community. Außerdem zeigt sie, welche Möglichkeiten V2X in Zukunft bieten wird. Das Software-Team in Lecce hat die Prototypen in kurzer Zeit umgesetzt – von der Entwicklung bis zum Test der neuen Funktionen.“ Grundlage für den Erfolg war die internationale Zusammenarbeit mehrerer Standorte über Landesgrenzen hinweg. „V2X ist die Basis für viele künftige Applikationen, weshalb fast alle OEMs in das Thema investieren“, fasst Longo zusammen. „Unsere Entwicklerinnen und Entwickler aus dem Bereich Connectivity in Lecce haben ihr Fachwissen zum Thema V2X stark erweitert, und unsere guten Ergebnisse sind hauptsächlich ihnen zu verdanken. Die Machbarkeitsstudien belegen, dass wir das dafür nötige Know-how und alle erforderlichen Tools besitzen. Kurz gesagt: Wir sind bereit für V2X.“ ●

DOPPELT FÄHRT BESSER

Porsche hat den 911 grundlegend weiterentwickelt. Der neue 911 Carrera GTS ist der erste straßenzugelassene Elfer, der mit einem besonders leichten Performance-Hybrid ausgestattet ist. Auch der 911 Carrera ist direkt zum Marktstart des neuen Modells verfügbar.

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



PORSCHE UND PRODUKT

911 CARRERA GTS
911 CARRERA



911 Carrera

Kraftstoffverbrauch kombiniert (WLTP) 10,7–10,1 l/100 km
CO₂-Emissionen* kombiniert (WLTP) 244–230 g/km
CO₂-Klasse G

911 Carrera GTS

Kraftstoffverbrauch kombiniert (WLTP) 11,0–10,5 l/100 km
CO₂-Emissionen* kombiniert (WLTP) 251–239 g/km
CO₂-Klasse G

911 Carrera GTS (2023)

Kraftstoffverbrauch kombiniert (WLTP) 11,4–10,4 l/100 km
CO₂-Emissionen* kombiniert (WLTP) 258–236 g/km
CO₂-Klasse G

911 Targa 4 GTS

Kraftstoffverbrauch kombiniert (WLTP) 11,0–10,8 l/100 km
CO₂-Emissionen* kombiniert (WLTP) 250–244 g/km
CO₂-Klasse G

Der neue 911 bietet neben einem überarbeiteten Design eine verbesserte Aerodynamik, ein frisches Interieur, eine aufgewertete Serienausstattung und erweiterte Konnektivität. Eine Premiere ist der innovative Performance-Hybrid-Antrieb im neuen 911 Carrera GTS: Sein Herzstück ist ein neu entwickelter 3,6-Liter-Boxermotor, der bereits ohne elektrische Unterstützung 357 kW (485 PS) Leistung und 570 Nm Drehmoment liefert – eine Leistungssteigerung um 45 kW (61 PS). Eine auf 97 Millimeter vergrößerte Bohrung und ein auf 81 Millimeter erhöhter Hub vergrößern den Hubraum gegenüber dem Vorgänger um 0,6 Liter. Der Motor verfügt über die Nockenwellenverstellung VarioCam und eine Ventilsteuerung mit Rollenschleppebeln. Er hält über das gesamte Kennfeld das ideale Mischungsverhältnis von Kraftstoff und Luft ein (Lambda gleich 1).

Zum Antriebsstrang gehört darüber hinaus eine permanenterregte Synchronmaschine, die in das neue Achtgang-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) integriert ist. Sie unterstützt den Boxermotor bereits

ab Leerlaufdrehzahl mit einem Antriebsmoment von bis zu 150 Nm und stellt eine Leistung von maximal 40 kW zur Verfügung, wodurch die Systemleistung auf 398 kW (541 PS) und 610 Nm steigt. Beide Elektromotoren koppelt Porsche an eine leichte und kompakte Hochvoltbatterie. Sie entspricht in Größe und Gewicht etwa einer konventionellen 12-Volt-Starterbatterie, speichert aber bis zu 1,9 kWh Energie (brutto) und arbeitet mit einer Spannung von 400 Volt. Geladen wird sie von einer integrierten E-Maschine im neu entwickelten elektrischen Abgasturbolader, platziert zwischen Verdichter- und Turbinenrad. Sie bringt den Lader in kürzester Zeit auf Drehzahl, kann aber auch als Generator arbeiten und bis zu 11 kW (15 PS) elektrische Leistung erzeugen.

Für die Konzeptauslegung des Hybridsystems haben die Porsche-Ingenieurinnen und -Ingenieure Erkenntnisse aus dem Motorsport genutzt. „Herausgekommen ist ein einzigartiger Antrieb, der sich in das Gesamtkonzept des 911 einfügt und die Performance deutlich steigert“, sagt Frank Moser, Leiter

„Ein einzigartiger Antrieb, der sich in das Gesamtkonzept des 911 einfügt und die Performance deutlich steigert.“

Frank Moser, Leiter Baureihen 911 und 718 bei der Porsche AG



Baureihen 911 und 718. Dadurch unterbietet der neue 911 Carrera GTS seinen Vorgänger vor allem in der Startphase: In nur drei Sekunden beschleunigt er von 0 auf 100 km/h und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 312 km/h. Gleichzeitig senkt der effiziente Performance-Hybrid den CO₂-Ausstoß bei deutlich geringerem Mehrgewicht gegenüber Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen. Der Gewichtszuwachs im Vergleich zum Vorgänger beträgt nur 50 Kilogramm.

HINTERACHSLENKUNG SERIENMÄSSIG

Auch das Fahrwerk des 911 Carrera GTS wurde umfassend überarbeitet. So gehört die Hinterachslenkung nun erstmals zur Serienausstattung. Sie erhöht die Stabilität bei hohen Geschwindigkeiten und reduziert den Wendekreis. Die Wankstabilisierung Porsche Dynamic Chassis Control (PDCC) hat Porsche in das Hochvoltsystem des Performance-Hybrid eingebunden. Dadurch wird der Einsatz einer elektrohydraulischen Steuerung möglich, wodurch das System noch flexibler

↓
Das leistet der Hybridantrieb im neuen 911 Carrera GTS

**357 kW
(485 PS)**
Leistung

↓
570
Nm Drehmoment

↓
312
km/h
Höchstgeschwindigkeit

↓
3
Sekunden
von 0 auf 100 km/h



Moderne Technologie: Zum ersten Mal verfügt der 911 über ein volldigitales Kombiinstrument mit bis zu sieben Ansichten.

und präziser arbeitet. Für das GTS-typische Fahrverhalten sorgen das Sportfahrwerk mit variablem Dämpfersystem (PASM) und 10 Millimeter Tieferlegung.

Im 911 Carrera arbeitet weiterhin ein 3,0-Liter-Boxermotor mit Biturbo-Aufladung, der ebenfalls umfassend überarbeitet wurde. Er erhielt unter anderem den Ladeluftkühler aus den Turbo-Modellen, der nun oberhalb des Motors direkt unter dem Heckdeckelgitter sitzt. Die Turbolader des neuen 911 Carrera waren beim Vorgänger noch den GTS-Modellen vorbehalten. Mit diesen Modifikationen erreicht Porsche eine Reduktion der Emissionen sowie eine Leistungssteigerung auf 290 kW (394 PS) und 450 Nm maximales Drehmoment. Das neue 911 Carrera Coupé sprintet dadurch in 4,1 Sekunden von 0 auf 100 km/h (3,9 Sekunden mit Sport Chrono Paket) und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 294 km/h.

VERBESSERTE AERODYNAMIK

Porsche hat das Exterieur-Design des 911 mit zahlreichen Maßnahmen gestrafft. Ein Großteil davon verbessert die Aerodynamik und die Performance des Sportwagens, zum Beispiel neue, modellspezifische Bugverkleidungen. Zudem integriert Porsche erstmals alle Lichtfunktionen in die nun serienmäßige Matrix

Starker Antrieb: Im 911 Carrera arbeitet weiterhin ein 3,0-Liter-Boxermotor mit Biturbo-Aufladung.



Das leistet der Boxermotor
im 911 Carrera

**290 kW
(394 PS)**

Leistung



450

Nm Drehmoment



**294
km/h**

Höchstgeschwindigkeit



**4,1
Sekunden**

von 0 auf 100 km/h

LED-Hauptscheinwerfer mit ihrer charakteristischen Vierpunkt-Optik. Dies ermöglicht den Entfall der Bugleuchten und schafft Platz für größere Kühlluftöffnungen. Bei den 911 Carrera GTS-Modellen verfügt das Bugteil über fünf von außen sichtbare, vertikal angeordnete, aktive Kühlluftklappen und eine weitere, nicht sichtbare Klappe pro Seite. Ergänzt werden sie um die erstmals im 911 verbauten adaptiven Frontdifusoren in der Unterbodenverkleidung, die gemeinsam mit den Kühlluftklappen gesteuert werden. Diese Elemente lenken den Luftstrom bedarfsgerecht: Bei geringer Leistungsanforderung optimieren geschlossene Klappen die Aerodynamik. Bei hoher Leistungsanforderung – etwa auf der Rundstrecke – lenken die Klappen große Luftmengen zu den Kühlern.

INTELLIGENTE SCHEINWERFER

Die Sensorik der Assistenzsysteme befindet sich nun hinter einer Hochglanzfläche unterhalb des Kennzeichens. Optional bietet Porsche die neuen Hauptscheinwerfer mit einer HD-Matrix-LED-Funktion mit mehr als 32.000 Lichtpunkten an. Dieses Hochleistungs-Fernlicht leuchtet die Fahrbahn mehr als 600 Meter weit aus. Darüber hinaus bietet es innovative Zusatzfunktionen wie beispielsweise ein fahrmodusabhängiges dynamisches Kurvenlicht, eine Fahrspuraufhellung, ein Baustellen- und Engstellenlicht sowie ein pixelgenaues, blendfreies Fernlicht.

Auch das Heck des 911 präsentiert sich in neuer Optik: Das neu gestaltete Leuchtenband mit integriertem Lichtbogen und „PORSCHE“-Schriftzug lässt es tiefer und breiter wirken. Ein ebenfalls neu gestaltetes Heckgitter mit fünf Lamellen pro Seite verbindet sich mit der Heckscheibe zu einer grafischen Einheit, die in den darunter liegenden, ausfahrbaren Spoiler übergeht.

Neue Optik fürs Heck: Das neu gestaltete Leuchtenband mit integriertem Lichtbogen und „PORSCHE“-Schriftzug lässt es tiefer und breiter wirken.





Das Kennzeichen ist höher positioniert, die Heckschürze klar gegliedert. Modellspezifische Abgasanlagen fügen sich nahtlos in die markanten Diffusorfinnen ein. Für die 911 Carrera-Modelle ist optional eine Sportabgasanlage verfügbar. Bei den 911 Carrera GTS-Modellen gehört eine GTS-spezifische Sportabgasanlage zur Serienausstattung.

Ein optionales Aerokit steigert die Performance des 911 Coupé zusätzlich. Es umfasst unter anderem eine markante SportDesign-Bugverkleidung mit eigenständigem Frontspoiler, passende Seitenschwellerverkleidungen und einen gewichtsreduzierten feststehenden Heckflügel. Diese Komponenten reduzieren den Auftrieb und verbessern die Bodenhaftung des Sportwagens.

Im Cockpit kombiniert Porsche die bekannte Designsprache des 911 mit modernster Technologie: Das Bedienkonzept Porsche Driver Experience stellt die Fahrerachse und eine intuitive, schnellere Bedienung in den Mittelpunkt. Wesentliche Bedienelemente sind direkt am oder um das Lenkrad herum angeordnet. Dazu gehören der serienmäßige Mode-Schalter, der überarbeitete Fahrerassistenzhebel und erstmals im 911 ein Startknopf – selbstverständlich links vom Lenkrad.

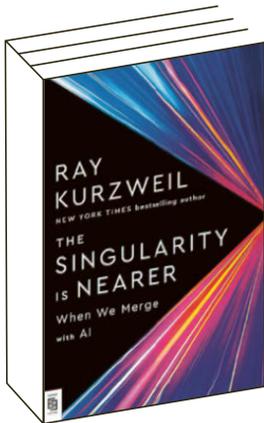
VOLLDIGITALES KOMBIINSTRUMENT

Zum ersten Mal verfügt der 911 über ein volldigitales Kombiinstrument. Das 12,6-Zoll Curved Display lässt sich umfangreich individualisieren: Es bietet bis zu sieben Ansichten, darunter eine exklusive Classic-Anzeige in Anlehnung an das historische 5-Tuben-Design mit zentralem Drehzahlmesser. Die Bedienung des Porsche Communication Management (PCM) erfolgt weiterhin über das hochauflösende Zentraldisplay mit 10,9 Zoll Diagonale. Die Individualisierbarkeit der Fahrmodi sowie die Bedienung der Fahrerassistenzsysteme wurden hingegen deutlich verbessert.

Zudem verfügt der aktualisierte 911 über neue Konnektivitätsfunktionen. Ein QR-Code vereinfacht das Anmelden im PCM mit der Porsche ID deutlich. Apple CarPlay® wird tiefer in das Fahrzeug integriert: Es zeigt auf Wunsch Informationen im Kombiinstrument an und ermöglicht die Bedienung von Fahrzeugfunktionen direkt im Apple®-Ökosystem, zum Beispiel über den Sprachassistenten Siri®. Erstmals ist optional während des Parkens auch Video-Streaming möglich. Apps wie Spotify® und Apple Music® können ohne verbundenes Smartphone als native Apps im PCM genutzt werden. ●



Wissen vertiefen

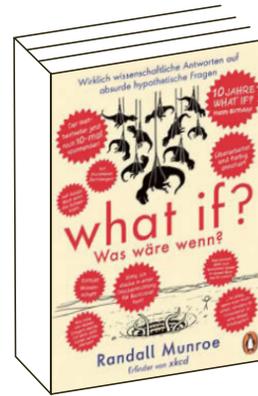


BUCH
Exponentielle Zukunft

Geht es nach Ray Kurzweil, verschmelzen wir bald mit KI und vergrößern unsere Intelligenz dadurch millionenfach.

The Singularity is Nearer
Ray Kurzweil
Viking

Über den Tellerrand



BUCH
Was wäre wenn?

Die Sonderausgabe zum 10-jährigen Jubiläum des Bestsellers von Randall Munroe beantwortet wieder absurd-hypothetische wissenschaftliche Fragen.

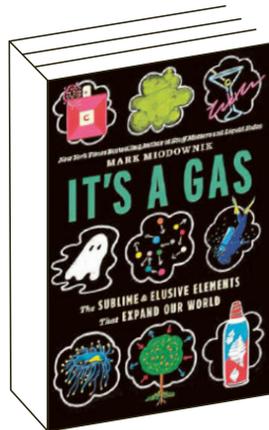
What if? Was wäre wenn?
Randall Munroe
Penguin

BUCH

Schwer zu fassen

Gase sind überall um uns herum. Das Buch berichtet über zwölf Gase und Technologien, die die Geschichte der Menschheit geprägt haben.

It's a Gas
Mark Miodownik
Mariner Books



PODCAST

Die Tagesschau blickt in die Zukunft

In diesem Podcast spielt die Tagesschau in Gedankenexperimenten durch, wie beispielsweise Flugtaxis oder das Metaverse unser Leben verändern würden.

Mal angenommen
<https://bit.ly/podcastzukunft>



PODCAST

Alle News rund um KI

Wie intelligent ist Künstliche Intelligenz? Welche Folgen hat generative KI für unsere Arbeit, unsere Freizeit und die Gesellschaft? Jeden Werktag informiert

dieser Podcast über die Entwicklungen im Bereich KI. Freitags kann man in einem Deep Dive tiefer in ein Thema eintauchen.

KI Update
www.heise.de/thema/KI-Update

BUCH

Philosophische Orientierung

Dieses Buch will dabei helfen, mithilfe von KI ein erfüllteres Leben zu führen – ohne dabei in die Irre geleitet zu werden.

Künstliche Intelligenz und echtes Leben
Christian Uhle
S. Fischer



Für das Kind in uns



GAME

Lächle, es ist fast vorbei

In diesem Partyspiel müssen Dinosaurier in einer gefährlichen Welt überleben. Sie können zum Beispiel in Lava versinken oder von Säbelzahn-Nagern angegriffen werden. Ziel ist es, zu überleben und viele Punkte zu sammeln.

Happy Little Dinosaurs
Unstable Games



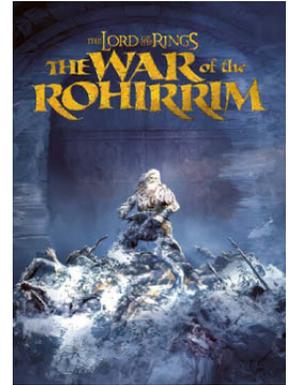
GAME

Lasst uns eine U-Bahn bauen!

In diesem Spiel geht es um nichts weniger, als ein komplett neues U-Bahn-Netz für London zu entwerfen. Allerdings dürfen sich die Linien niemals kreuzen. Hier heißt es: ruhig bleiben und sich nicht beirren lassen.

Next Station London
Blue Orange

Intelligent unterhalten

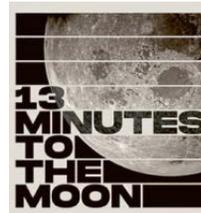


FILM

Legendäre Schlacht im Helms Klamm

In diesem Anime von Kenji Kamiyama baut der König von Rohan die Hornburg in der Bergschlucht von Helms Klamm. Eine blutige Schlacht steht bevor, die in die Geschichtsbücher Mittelalters eingehen wird.

Der Herr der Ringe: Die Schlacht der Rohirrim
Warner Bros.



PODCAST

"Houston, we've had a problem."

Staffel 1 dieses Podcasts erzählt die Geschichte der Menschen, die die Mondlandung mit Apollo 11 möglich gemacht haben. Staffel 2 beschäftigt sich mit der Mission Apollo 13, die fast in einer Katastrophe geendet hätte.

13 Minutes to the Moon
BBC News World Service



FILM

Kinds of Kindness

Drei Geschichten behandeln die Dynamik menschlicher Beziehungen. Ein starbesetzter Episodenfilm von Giorgos Lanthimos.

Kinds of Kindness
Bei ausgewählten Streaming-Dienstleistern

Feuerwehrfahrzeug-System

O.R.B.I.T.Optimierte **R**ettung und **B**randbekämpfung mit **I**ntegrierter **T**echnischer Hilfeleistung

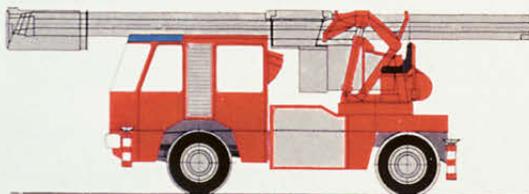
Basisfahrzeug



Ergänzungseinheit (Rüsten)



Gekoppeltes Fahrzeug



Hubrettungsgerät



Ergänzungseinheit (Löschen)



Gekoppeltes Fahrzeug

1978

Das Bundesministerium für Forschung und Technologie will verbesserte Feuerwehrfahrzeuge entwickeln lassen und wendet sich dafür an Porsche. Zwei Jahre später präsentieren die Ingenieurinnen und Ingenieure das modulare O.R.B.I.T.-Konzept.

Im Jahr 1976 gab das Bundesministerium für Forschung und Technologie die Studie „Grundlagenuntersuchung für die Entwicklung verbesserter Feuerwehrfahrzeuge zur Optimierung der Leistungsfähigkeit bei der Brandbekämpfung und anderen Einsätzen“ bei der Dr. Ing. h.c. Porsche AG in Auftrag. Ziel war es, den Freiwilligen- und Berufsfeuerwehren der damaligen Bundesrepublik eine Fahrzeugfamilie zur Verfügung zu stellen, mit der sie in möglichst kurzer Zeit die richtige Technik und ausreichend Personal zum Einsatzort bringen konnten.

Zu Beginn des Projektes verschafften sich die Verantwortlichen einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik und die praktischen Erfahrungen der Feuerwehrleute. Dazu verschickten sie an alle westdeutschen Feuerwehren und zehn freiwillige Feuerwehren einen Fragebogen zu den Einsätzen im Jahr 1976. Eines der Ergebnisse aus mehr als 100.000 ausgewerteten Einsätzen: Rund 90 Prozent der Brandopfer waren durch eine Kohlenmonoxid-Vergiftung ums Leben gekommen. Viele von ihnen hätten gerettet werden können, wenn sie früher medizinische Hilfe erhalten hätten.



Modulares Konzept: Das O.R.B.I.T.-Grundfahrzeug sollte sich mit verschiedenen Ergänzungseinheiten kombinieren lassen – darunter ein Teleskop-Hubrettungssystem mit Liftfunktion.

Um die Feuerwehreinsätze zu optimieren, präsentierten die Projektmitglieder im Juli 1978 O.R.B.I.T. (System zur Optimierten Rettung, Brandbekämpfung mit Integrierter Technischer Hilfeleistung). Es basierte auf einem Baukastensystem, das aus einem Grundfahrzeug mit Fahrgestell, Fahrerhaus und Aufbau sowie verschiedenen Ergänzungseinheiten bestehen sollte – darunter ein Teleskop-Hubrettungssystem mit Liftfunktion, ein Sprungrettungsgerät und ein funkgesteuertes Löschpumpensystem. Zur Erleichterung der Brandbekämpfung war auch ein Schutzhelm mit integriertem Atemgerät und Kommunikationssystem Teil von O.R.B.I.T.

„Zusammen mit der technischen Ausstattung der Fahrzeuge und der Trennung in Ergänzungs- und Basisfahrzeug kann somit jede sinnvolle Kombination von Personal und Technik zum Einsatz gebracht werden oder wieder abgezogen werden“, so die Ingenieurinnen und Ingenieure. Zum Bau von Prototypen kam es dennoch nicht – auch weil die angestrebte 50-Prozent-Beteiligung der Industrie nicht zustande kam. Möglicherweise war der fortschrittliche Ansatz der Porsche-Entwicklerinnen und Entwickler seiner Zeit einfach zu sehr voraus. ●

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: Katrin Mayer

Bildredaktion: Bettina Andersen

Autoren

Richard Backhaus, Constantin Gillies, Mirko Heinemann,
Claudius Lüder, Hilmar Poganatz

Art Direction

Christian Hruschka, Thomas Elmenhorst, Philipp Schubel

Übersetzung

RWS Group, Berlin

Kontakt

Porsche Engineering Group GmbH

Porschestraße 911

71287 Weissach

Tel. +49 711 9110

Fax +49 711 91188999

Internet: www.porsche-engineering.de

Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

Druck

optimal media GmbH

Glienholweg 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



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

S. 1 Cover: Matt Murphy; S. 3 Foto: Steffen Jahn; S. 4–5 Fotos: Annette Cardinale, NÓICREW, Getty Images, Illustrationen: Romina Birzer; S. 10 Illustration: Benedikt Rugar;
S. 22–23 Foto: Getty Images; S. 26–27 Illustration: Andrew Timmins; S. 30 Illustration: Alamy; S. 32–37 Fotos: NÓICREW; S. 46–51 Fotos: Annette Cardinale;
S. 53 Illustration: Christian Hruschka; S. 54 Foto: Gregory Halpern/Magnum Photos/Agentur Focus; S. 56–57 Illustration: Getty Images; S. 58 Illustration: Luka Schlage

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

Made for you.

CUSTOM-BUILT TIMEPIECES.
DER SPORTWAGEN FÜR IHR HANDGELENK.



911 Carrera GTS (WLTP): Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,0 – 10,5 l/100 km;
CO₂-Emissionen kombiniert: 251 – 239 g/km; CO₂-Klasse: G; Stand: 07/2024