

# Porsche Engineering Magazin



## NEUE HORIZONTE

Mit High-Tech-Kompetenz und  
KI-getriebenen Tools neue Räume erschließen

# Trends kommen wieder. Manche waren nie weg.

DER NEUE 911 SPIRIT 70.



PORSCHE

911 Spirit 70 (WLTP): Kraftstoffverbrauch kombiniert: 10,9 – 10,7 l/100 km; CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert: 246 – 242 g/km; CO<sub>2</sub>-Klasse: G; Stand: 05/2025



**Markus-Christian Eberl**  
CEO von Porsche Engineering

## Liebe Leserinnen und Leser,

seit der letzten Ausgabe des Porsche Engineering Magazins ist ein knappes Jahr vergangen – ein Jahr, in dem sich die Rahmenbedingungen unserer Branche weiterhin schnell verändert haben. Ein aktives, vorwärtsgerichtetes Zukunftsmanagement mit dem „Ohr nah am Markt und am Kunden“ bleibt – gepaart mit einer hohen Beweglichkeit – besonders wichtig.

Schon seit Längerem beobachten wir zwei zentrale Trends, die sich weiter fortsetzen: eine steigende Geschwindigkeit in der Entwicklung und beim technischen Fortschritt sowie eine zunehmende Komplexität mit immer längeren End-to-End-Ketten.

Um diesen Entwicklungen aktiv zu begegnen, braucht es technische Antworten – diese bilden den Kerninhalt dieses Magazins. Darüber hinaus sind wir uns bewusst, dass es neben hoher technischer Kompetenz einer weiteren „Zutat“ bedarf, um in dieser schnellen und komplexen Welt unseren Kunden weiterhin unsere geschätzte Gesamtlösungskompetenz zu bieten: eine den Anforderungen entsprechende Führungs- und Organisationskultur. Deshalb investieren wir bei Porsche Engineering in gleichem Maße in diese Fähigkeiten wie in neue technische Kompetenzen.

Das „Push the Boundaries“-Konzept wenden wir umfassend an – nicht nur bezogen auf Technologien, sondern auch auf die Bearbeitungsstruktur und -methodik von Projekten. Wir erschließen uns permanent neue Wege im Spannungsfeld zwischen Innovation, Standardisierung, Geschwindigkeit, Qualität, Pragmatismus, Planbarkeit, Agilität und Kosten. Diesbezüglich haben wir in jüngerer Zeit positives Feedback von internationalen Kunden erhalten, was uns weiter anspornt und in unserem Vorgehen bestärkt.

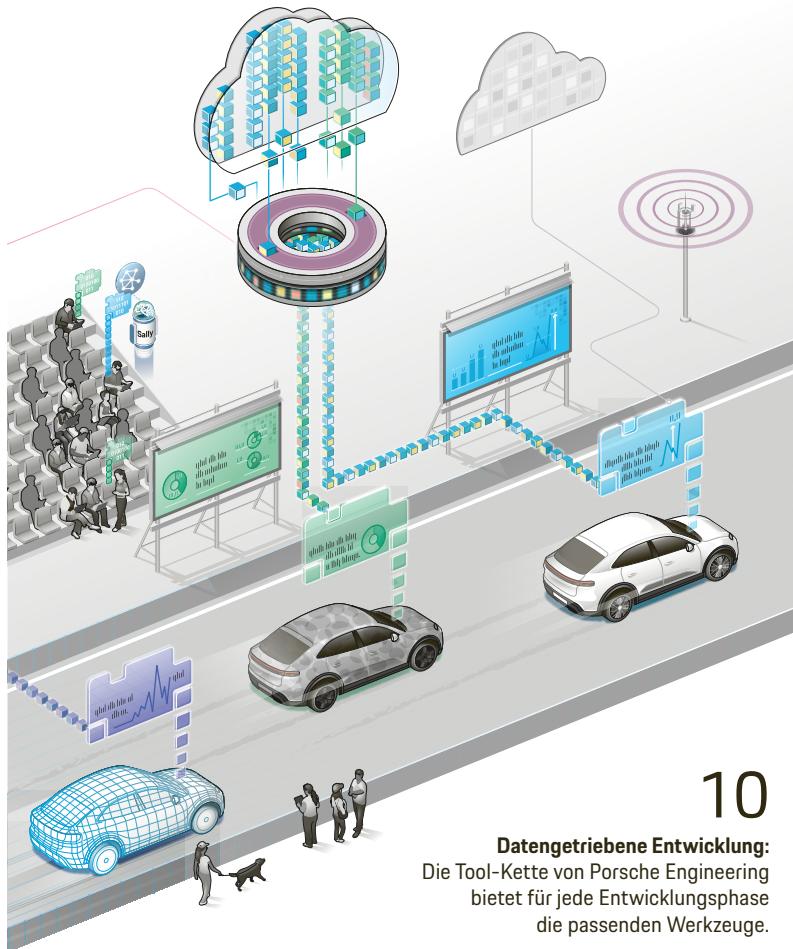
Die systematische Ausweitung von Grenzen betrifft auch die Erweiterung unseres Horizontes: Wir schauen über den Tellerrand und widmen uns Themen, die über den Automotive-Bereich hinausgehen – von der Straße über das Wasser bis ins All. Lesen Sie dazu das Interview, das mein Kollege Dr. Christoph Roggendorf mit dem ESA-Astronauten Dr. Matthias Maurer geführt hat. Flexibilität, ohne das große Ganze einer Tool-Kette aus den Augen zu verlieren, illustrieren wir mit einem modularen Baukasten für die datengetriebene Entwicklung. Auch darüber berichten wir in dieser Ausgabe des Porsche Engineering Magazins.

Eines bleibt trotz aller Veränderungen der Technik und der Methoden aber immer gleich: Die Zufriedenheit unserer Kunden ist unser Maßstab und höchstes Ziel.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre!

Ihr Markus-Christian Eberl

→ **ÜBER PORSCHE ENGINEERING:** Die Porsche Engineering Group GmbH ist ein internationaler Technologiepartner für die Automobilbranche und darüber hinaus. Das Tochterunternehmen der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG fokussiert sich auf die Entwicklung und Integration von System-, Hardware-, Funktions- und Softwarelösungen für seine B2B-Kunden. Etwa 2.000 Konzeptexperten, Ingenieure sowie Softwarearchitekten und -entwickler widmen sich den neuesten Technologien, beispielsweise in den Bereichen hochautomatisierte Fahrfunktionen, Elektromobilität und Hochvoltsysteme, Konnektivität und Künstliche Intelligenz. Ihr Ziel ist es, die Tradition des 1931 von Ferdinand Porsche gegründeten Konstruktionsbüros fortzuführen und innovative Lösungen für die zentralen technologischen Herausforderungen ihrer Industriekunden zu entwickeln und zu integrieren. Dabei vereinen sie umfassendes Fahrzeug- und Systemwissen mit Digital- und Softwarekompetenz.



**Grenzen erweitern:** ESA-Astronaut Dr. Matthias Maurer (links) und Dr. Christoph Roggendorf trafen sich im ESA-Ausbildungszentrum in Köln zum Interview.



# INHALT 01/2025

PORSCHE ENGINEERING  
DIGITAL



## TITEL HIGH-TECH-LÖSUNGEN UND KI-GETRIEBENE KOMPETENZ

10

### Baukasten zum Erfolg

Die modulare Tool-Kette für die datengetriebene Entwicklung von Porsche Engineering lässt sich an die individuellen Bedürfnisse jedes Kunden anpassen.

16

### Intelligent (ge)laden

Porsche Engineering bietet seinen Kunden die komplette Entwicklung und Absicherung von Hochvolt-Lademanagementsystemen an.

22

### Im selben Orbit

ESA-Astronaut Dr. Matthias Maurer und Dr. Christoph Roggendorf von Porsche Engineering sprechen im Interview über die Gemeinsamkeiten von Automobilentwicklung und Raumfahrt.

30

### Auswertung auf Knopfdruck

Die ComBox-App ist der digitale Assistent von Fahrerinnen und Fahren von Entwicklungsfahrzeugen. Auswertungen erfolgen teilweise direkt live mit KI-Hilfe.

36

### Komplexität beherrschen

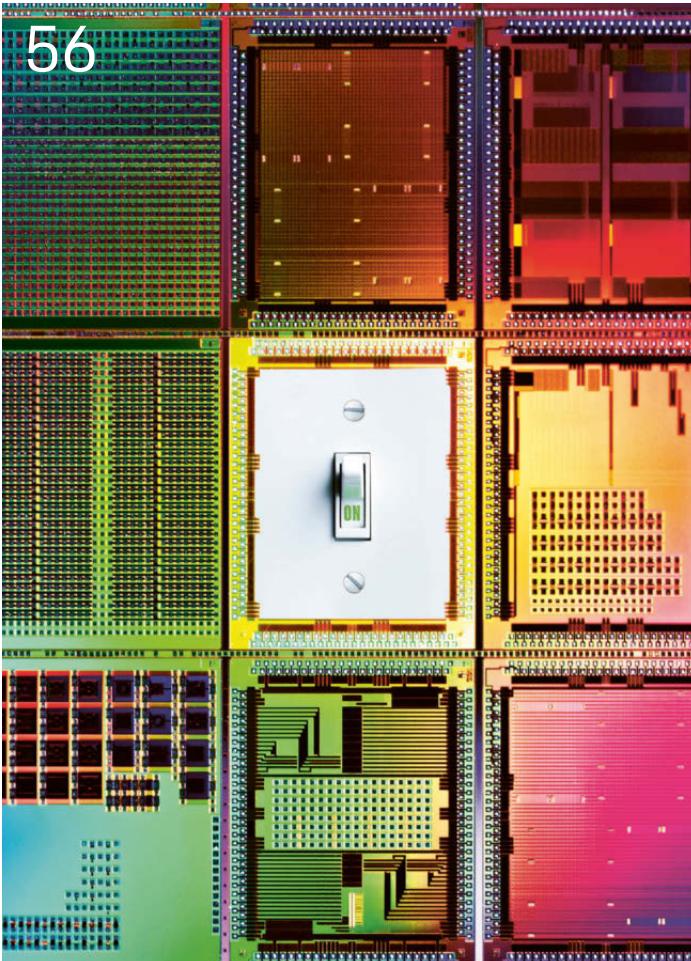
Fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme und das autonome Fahren führen zu immer höheren Anforderungen an die Funktionale Sicherheit und die Sicherheit der beabsichtigten Funktion.

**Technologietransfer:** Das E-Boot „850 Fantom Air“ von Frauscher zeigt, wie sich Komponenten aus E-Fahrzeugen in anderen Bereichen nutzen lassen.



44

**Sanftes Schalten:**  
Porsche Engineering nutzt KI, um Leistungstransistoren in E-Fahrzeugen intelligent anzusteuern.



56

## PERFORMANCE UND EXPERTISE

44

### Wasserkraft aus Strom

Vom SUV ins elektrische Sportboot: Die „850 Fantom Air“ von Frauscher wird von Serienkomponenten aus dem Porsche Macan angetrieben.

50

### Schwingungen unter der Lupe

Auf dem neuen Fahrbahnsimulationsprüfstand von Porsche können reale Straßen präzise nachgebildet werden – um Fahreigenschaften schon früh zu optimieren.

56

### Schaltzentrale mit KI

Durch intelligentes „Soft Switching“ lassen sich Schaltverluste in Wechselrichtern um bis zu 95 Prozent verringern. Das steigert die Reichweite von E-Fahrzeugen.

## PORSCHE UND PRODUKT

60

### Icon of Cool

Mit dem 911 Spirit 70 lässt Porsche den Geist der 1970er- und frühen 1980er-Jahre wiederaufleben. Bei der Technik ist das Sammlerstück auf dem neuesten Stand.

## RUBRIKEN

- 03 Editorial
- 06 Meldungen
- 42 Noch Fragen?
- 66 Nachgedacht
- 68 Rückblick
- 69 Impressum

## MITWIRKENDE



**Max Brunnert**

ist ein Porträt- und Reportagefotograf aus Düsseldorf. Von ihm stammen die Bilder zum Doppelinterview.



**Heike Hientzsch**

ist eine freie Journalistin aus Wiesbaden. Sie sprach mit Dr. Matthias Maurer und Dr. Christoph Roggendorf.



**Andrew Timmins**

ist ein Infografiker aus Hamburg. Er hat die Illustrationen zum Modular Data Driven Development erstellt.



50  
Jahre Nardò Technical Center

## GESTALTUNG DER MOBILITÄT VON MORGEN

Das Testgelände Nardò Technical Center (NTC) von Porsche Engineering feiert in diesem Jahr sein 50-jähriges Bestehen und blickt auf eine beeindruckende Geschichte zurück, geprägt von Innovation, technologischem Pioniergeist und historischen Rekorden. Seit seiner Eröffnung im Jahr 1975 wurde das NTC stetig modernisiert und entwickelte sich vom süditalienischen Apulien aus zu einem führenden Testzentrum für die internationale Automobilindustrie, in welchem zukunftsweisende Mobilitätstechnologien vorangetrieben werden. Im Jahr

2012 erwarb Porsche das Nardò Technical Center. Seither ist es ein integraler Bestandteil des internationalen Netzwerks und der Entwicklungs- und Testing-Möglichkeiten von Porsche Engineering.

Mit hochqualifizierten Experten und modernsten Einrichtungen unterstützt das NTC im ganzjährigen Betrieb seine globalen Kunden bei der integrierten Entwicklung und Erprobung von Fahrzeugen. Das NTC ist ein zentraler Standort für Hochleistungstests und die Erprobung intelligenter, vernetzter und sicherer Fahrzeuge der Zukunft. Auf

700 Hektar erstrecken sich 20 Teststrecken und -Einrichtungen, darunter eine weltweit einzigartige 12,5 Kilometer lange Ringbahn, ein 6,2 Kilometer langer Handlingkurs sowie moderne Simulationsmöglichkeiten. Seit 2023 erweitert eine Software-Einheit im nahe gelegenen Lecce die technologischen Kompetenzen in Südalitalien.

Mit seinem 50. Jubiläum feiert das NTC einen weiteren bedeutenden Meilenstein und setzt gleichzeitig einen klaren Fokus auf die Zukunft und seine Schlüsselrolle in der Entwicklung der Mobilität von morgen.

Fünf Jahre am Innovationscampus

## HIGHTECH-ENTWICKLUNG IN OSTRAVA

**Mut zur Innovation:** Mit seinem Team realisiert Dr. Miloš Polášek innovative Lösungen für die Kunden von Porsche Engineering.

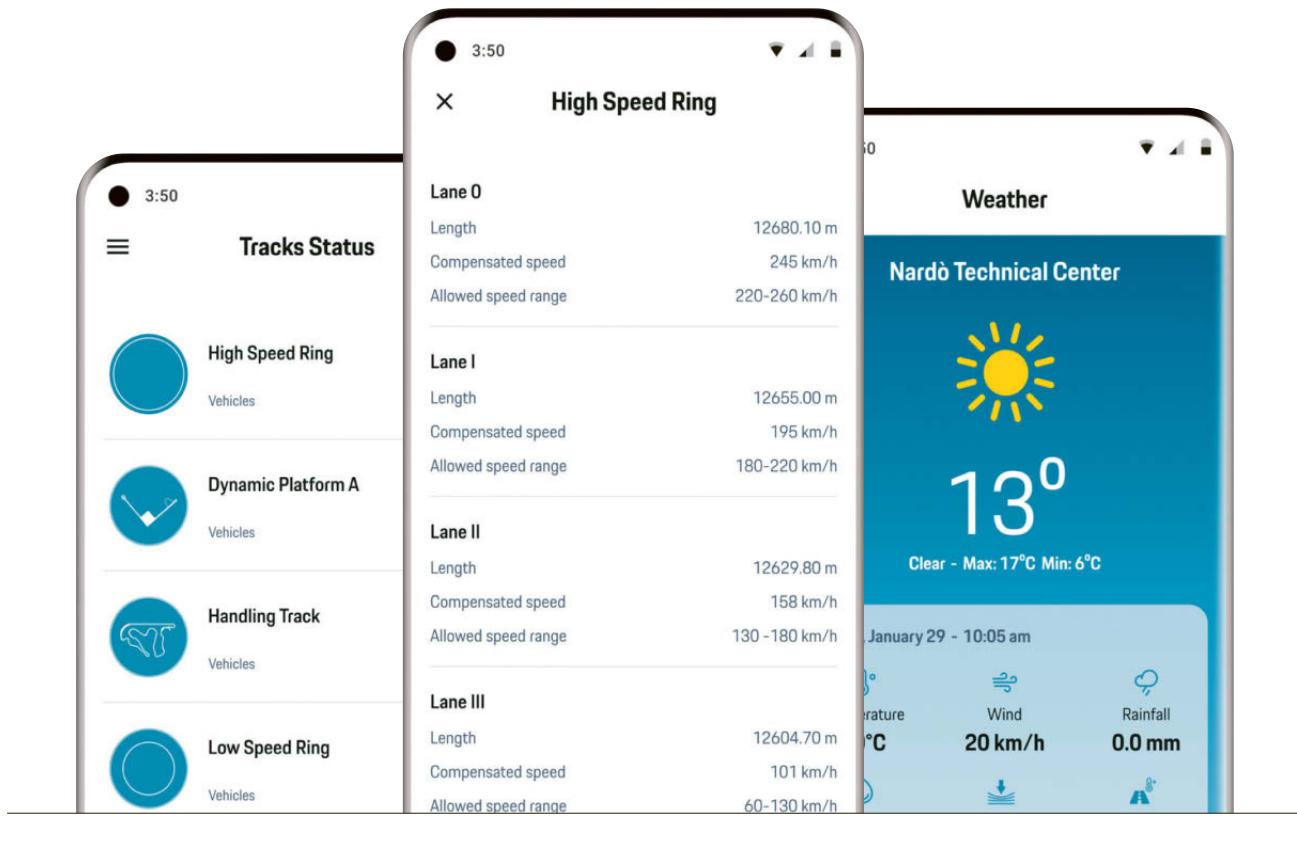


Im Juni 2025 feierte Porsche Engineering Services s.r.o. das fünfjährige Bestehen seines Standorts am Innovationscampus in Ostrava. Am zweiten tschechischen Standort von Porsche Engineering neben Prag wurde vor sieben Jahren die Tätigkeit aufgenommen, bevor kurz darauf der Umzug auf den High-Tech-Campus erfolgte. Ostrava spielt eine wesentliche Rolle im internationalen Entwicklungsnetzwerk von Porsche Engineering und fokussiert sich auf zukunftsweisende E/E-Architekturen, Hochvoltsysteme und vernetzte Mobilität. In Ostrava arbeiten die Entwicklungsteams mit künstlicher Intelligenz, cloudbasierten Plattformen und fortschrittlichen Simulationsumgebungen, um eine schnelle, skalierbare und zuverlässige Systemintegration zu gewährleisten. „Mit einem hochqualifizierten und motivierten Team, starken regionalen Partnerschaften und dem Mut zur Innovation gestalten wir die Technologien von morgen schon heute“, erklärt Dr. Miloš Polášek, Geschäftsführer von Porsche Engineering Services s.r.o. „Unsere Arbeit geht über einzelne Projekte hinaus. Wir transformieren zukunftsweisende Ideen in robuste Lösungen, die die langfristigen strategischen Ziele unserer Kunden unterstützen – sei es auf der Straße oder im Weltraum.“ Die Region Mähren-Schlesien, in der Ostrava liegt, bietet dank ihrer starken industriellen Tradition, führender technischer Universitäten, qualifizierter Arbeitskräfte und der Nähe zu wichtigen Automobilstandorten in Mittel- und Osteuropa viele Vorteile.



**Zentrum der High-Tech-Entwicklung:**

Die Region Mähren-Schlesien hat eine starke industrielle Tradition und verfügt über führende technische Universitäten.



NTC Teststrecken-App

## TESTAKTIVITÄTEN AUF EIN NEUES LEVEL BRINGEN

Seit Januar 2025 steht den Kunden des Nardò Technical Centers (NTC) eine mehrsprachige App (Italienisch, Englisch und Deutsch) zur Verfügung, die aktuelle Informationen zum Testbetrieb liefert. Nutzer können jederzeit über das Smartphone einsehen, welche Teststrecken – wie zum Beispiel der High- und Low-Speed-Ring, die dynamischen Plattformen A und B oder der Handling Track – belegt oder für den Testbetrieb geöffnet sind. Zusätzlich bietet die App einen Belegungsplan für alle Teststrecken mit einer Vorausplanung von vier Wochen.

Ergänzt wird das Angebot durch umfassende Wetterdaten und -vorhersagen, darunter Asphalttemperaturen, Windstärke und Luftdruck sowie Prognosen für die nächsten fünf Tage. Diese tragen zur effektiven Planung und Auswertung der Testaktivitäten bei. Ein integriertes Ticket-System ermöglicht schnelle und effiziente Unterstützung bei verschiedenen Anliegen, etwa während Arbeiten in den von ihnen genutzten NTC-Werkstätten, mit zeitnahen Antworten per Push-Nachricht. In der zweiten Jahreshälfte erfolgt die Einführung eines neuen Features: Echtzeit-Informationen zur Verfügbarkeit der NTC-Ladestationen. Über die Feedback-Funktion können Nutzer bereits jetzt Rückmeldungen zur App geben und neue Funktionen vorschlagen.

Die App wird seit 2024 von Porsche Engineering Rumänien entwickelt und regelmäßig aktualisiert. Sie ist für iOS- und Android-Geräte verfügbar und kann von berechtigten Nutzern in den öffentlichen App Stores oder im Porsche App Store heruntergeladen werden.



Apple  
App Store

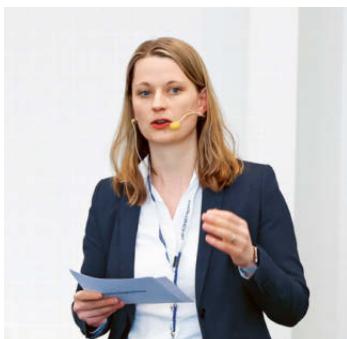


Google Play  
App Store

## AUSTAUSCH ÜBER ZUKUNFTSWEISENDE TECHNOLOGIEN

Unter dem Motto „Innovate to Lead, Integrate to Succeed“ fand am 19. März 2025 in Shanghai das Porsche Engineering Forum 2025 statt. Mehr als 100 führende Branchenexpertinnen und -experten von über 30 chinesischen B2B-Firmen und Technologieunternehmen kamen im Porsche Experience Center zu einem inspirierenden Austausch zusammen. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie innovative Entwicklungslösungen in einer technisch heterogenen Welt nahtlos über verschiedene Regionen hinweg implementiert werden können, um unterschiedlichen Kundenbedürfnissen, Marktanforderungen und uneinheitlichen

Regularien gerecht zu werden. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden von Uwe Pichler-Necek, CEO von Porsche Engineering China, und Markus-Christian Eberl, CEO von Porsche Engineering, begrüßt, die beide eine strategische Einordnung vornahmen. Danach gab Dirk Lappe, CTO von Porsche Engineering, einen Überblick über aktuelle Trends, Anforderungen und Lösungen für die internationale Automobilentwicklung. Im Anschluss referierten Fachexpertinnen und Fachexperten von Porsche Engineering über Themen wie hochintegrierte Batteriesysteme, fortschrittliches Thermomanagement, automatisierte Fahrfunktionen und hochentwickelte Fahrdynamik-Technologien. Auch führende chinesische Automobilhersteller waren vertreten und gaben exklusive Einblicke in ihre Arbeit.



**Inspirierende Veranstaltung:**  
Im Porsche Experience Center trafen sich die Teilnehmenden für Diskussionen. Ebenfalls auf dem Programm standen reale Fahrten auf der Teststrecke.

# BAUKASTEN ZUM ERFOLG

Porsche Engineering setzt auf datengetriebene Entwicklung – und nutzt dafür entlang des gesamten Entwicklungszyklus eine ganze Palette an modularen Tools. Sie lassen sich flexibel an die individuellen Anforderungen jedes Projektes anpassen. Industrikunden profitieren von deutlich kürzeren Entwicklungszyklen, insbesondere bei einer gesamtheitlichen Nutzung der Tool-Palette.

Text: Christian Buck  
Illustrationen: Andrew Timmins

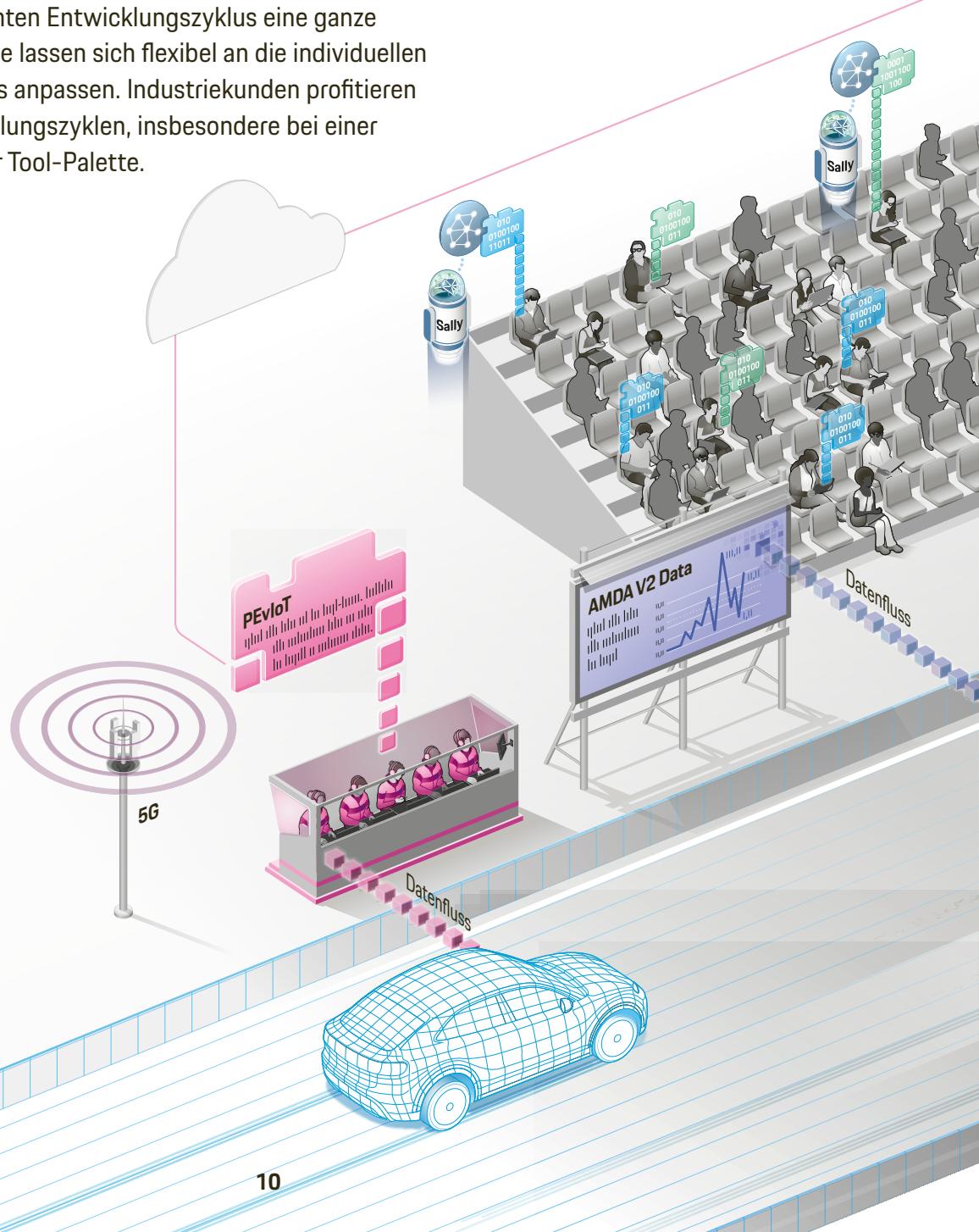
---

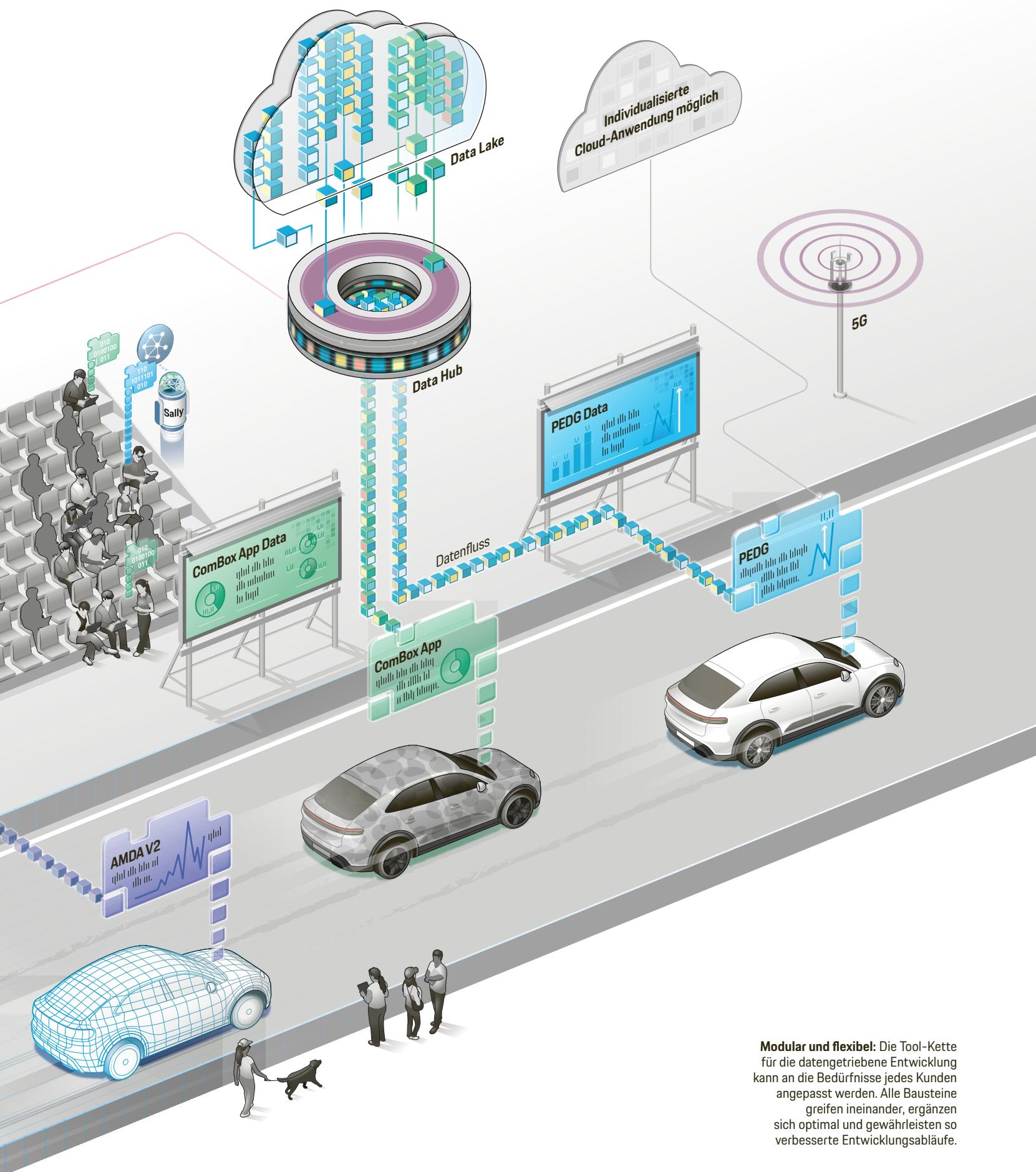
## TITEL

---

### MODULAR DATA-DRIVEN DEVELOPMENT ECOSYSTEM

---





**Modular und flexibel:** Die Tool-Kette für die datengetriebene Entwicklung kann an die Bedürfnisse jedes Kunden angepasst werden. Alle Bausteine greifen ineinander, ergänzen sich optimal und gewährleisten so verbesserte Entwicklungsabläufe.

# D

aten sind das neue Gold: Dieser vielzitierte Satz trifft für die Fahrzeugentwicklung ganz besonders zu. Denn Datenanalysen und die darauf basierende datengetriebene Entwicklung gewinnen hier immer mehr an Bedeutung. Kein Wunder, erhalten die Ingenieurinnen und Ingenieure auf diese Weise schneller Einblicke in die aktuelle Performance neuer Fahrzeugfunktionen – und können so bereits in frühen Phasen Rückschlüsse ziehen und erkennen, was funktioniert und wo es noch Probleme gibt. „Mithilfe der datengetriebenen Entwicklung sind wir heute in der Lage, neue Funktionen deutlich schneller zu optimieren und zur Marktreife zu bringen“, berichtet Leon David Lange, Projektleiter ADAS-Datenanalyse bei Porsche Engineering. „Besonders komplexe Fahrzeugfeatures ließen sich ohne diese Beschleunigung überhaupt nicht in vertretbarer Zeit realisieren.“

Doch die schnellen Feedbackschleifen aus der Entwicklung oder der Erprobung setzen eine möglichst durchgängige Tool-Kette voraus. „Die Vorteile der datengetriebenen Entwicklung sind in vollem Umfang nutzbar, wenn man entlang der gesamten Entwick-



**„Mithilfe der datengetriebenen Entwicklung sind wir heute in der Lage, neue Funktionen schneller zu optimieren und zur Marktreife zu bringen.“**

**Leon David Lange**  
Projektleiter ADAS-  
Datenanalyse bei  
Porsche Engineering

lungskette über die nötigen Werkzeuge verfügt“, erklärt Dr. Hagen Stübing, Leiter der Fachdisziplin Software Engineering bei Porsche Engineering. „Daher haben mehrere Fachdisziplinen von Porsche Engineering ein durchgängiges modulares Set an Tools für unterschiedliche Entwicklungsphasen entwickelt, welche sowohl als einzelnes Tool als auch als gesamte Tool-Palette den Entwicklungsprozess optimieren – von der Aufzeichnung und Auswertung der Daten im Fahrzeug über ihren Transport ins Backend, die Speicherung und Analyse in der Cloud bis hin zur Übertragung neuer Software-Stände zurück ins Fahrzeug.“

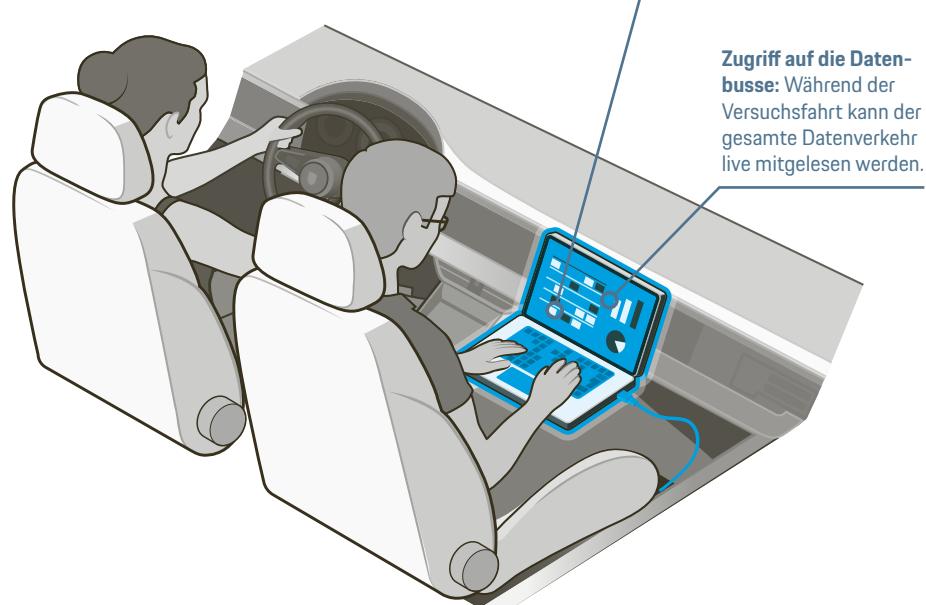
Die Tool-Kette ist modular aufgebaut und kann dadurch flexibel an die individuellen Bedürfnisse jedes Industriekunden angepasst werden. „Manche Kunden brauchen die Werkzeuge nur während der Entwicklung, andere wollen sie Ende-zu-Ende nutzen – also über den gesamten Lebenszyklus eines neuen Fahrzeugs“, so Dr. Heiko Helble, Projektleiter Datensammler bei Porsche Engineering. „Dank der Modularisierung können wir uns auf jeden Wunsch einstellen.“

## AUTOMATISIERTE MESSDATENAUSWERTUNG AMDA V2

AMDA V2 (Automatisiertes Messdatenauswertetool Version 2) ist eine Software für die automatisierte Messdatenauswertung direkt am Entstehungsort. Sie hat Zugriff auf die Datenbusse des Versuchsfahrzeugs und kann dadurch live den gesamten Datenverkehr mitlesen und relevante Signale sofort während der Fahrt analysieren. Auf diese Weise ist AMDA V2 in der Lage, bestimmte Fahrszenarien zu erkennen, beispielsweise das Einscheren eines vorausfahrenden Fahrzeugs. Zugleich zeichnet AMDA V2 die Reaktion der Fahrzeugfunktionen auf – in diesem Beispiel also die Antwort des Adaptive-Cruise-Control-Längsreglers auf den einscherenden Verkehrsteilnehmer. Mithilfe von Key Performance Indicators (KPIs) auf Basis von Fahrzeugdaten bewertet das Tool dann objektiv, ob das System die Situation gut oder schlecht gemeistert hat.

Durch die Analyse direkt im Versuchsfahrzeug mithilfe von AMDA V2 müssen keine großen Datenmengen zur Auswertung in die Cloud übertragen werden. Das führt nicht nur zu einer Entlastung in der Entwicklung, sondern trägt auch zu effizienteren Testabläufen sowie zur Erhöhung der objektiven Bewertbarkeit einer Funktion bei.

**Auswertung im Fahrzeug:**  
Die Analyse der Daten erfolgt direkt im Fahrzeug – ohne dass große Datenmengen in die Cloud gesendet werden müssen.



Porsche Engineering hat die Tool-Kette in Eigenleistung entwickelt, die von den ersten Entwicklungsschritten über den Dauerlauf bis hin zur Serie zum Einsatz kommt. Dadurch steigt die Schnelligkeit, mit der auf Änderungen auf dem Markt reagiert werden kann – mit den passgenauen Tools zur richtigen Zeit.

## PORTFOLIO AUS SECHS TOOLS

Derzeit umfasst das Portfolio von Porsche Engineering sechs Tools für die datengetriebene Entwicklung: Für die automatisierte Messdatenauswertung direkt im Fahrzeug wurde das Automatisierte Messdatenauswertetool (AMDA V2) entwickelt. Es kommt in den frühen Entwicklungssphasen zum Einsatz. In Seriennähe wird dann der Porsche Engineering Data Gatherer (PEDG) als Datensammler im Fahrzeug eingesetzt. Bei der Datenbereitstellung und Validierung von Erprobungsfahrten unterstützt die ComBox-App, die auf einem gewöhnlichen Android-Smartphone läuft (siehe den ausführlichen Bericht ab Seite 30). Auf den

Einsatz in der Fahrzeugentwicklung spezialisiert ist die LLM-Service-Plattform SALLY. Sie unterstützt die Entwicklerinnen und Entwickler als digitaler Assistent. Die Verwaltung von Geräten wie etwa der Messtechnik via 5G aus der Cloud übernimmt die PE IoT Edge Platform (PEvIoT). Die Integration läuft auf einem PC im Fahrzeug. Die PEvIoT-Plattform überträgt alle aufgezeichneten Daten in einen „Data Lake“ in der Cloud: den Porsche Engineering Data Hub (PEDH).

„In unsere Tools sind die Erfahrungen aus vielen Jahren Fahrzeugentwicklung bei Porsche Engineering eingeflossen“, sagt Daniel Schumacher, Spezialist Cloud-Architektur bei Porsche Engineering. „Wir können die Tools weiterentwickeln, anpassen und als Entwicklungsdienstleister auch in die Anwendung bringen, denn sie wurden komplett inhouse entwickelt.“ Porsche Engineering nutzt die Tool-Kette in Entwicklungsprojekten, bietet sie Industriekunden aber auch als „Software as a Product“ über eine Lizenzierung an. Alle Tools können modular gebucht werden, allerdings ist der Nutzen im Gesamtpaket besonders hoch. — ●



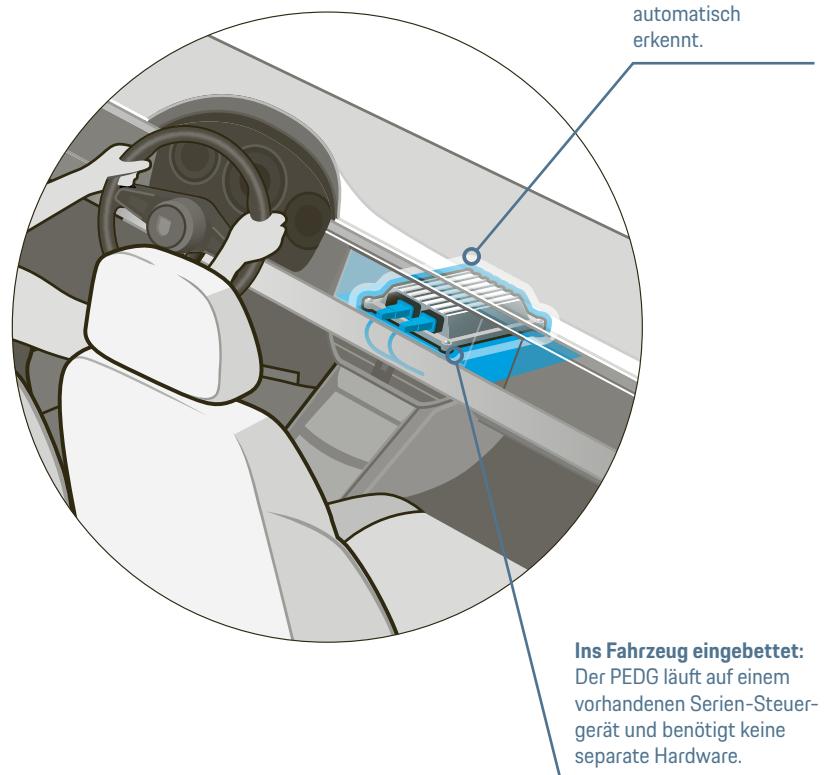
**„Die Vorteile der datengetriebenen Entwicklung sind in vollem Umfang nutzbar, wenn man entlang der gesamten Entwicklungskette über die nötigen Werkzeuge verfügt.“**

**Dr. Hagen Stübing**  
Leiter der Fachdisziplin Software Engineering bei Porsche Engineering

## DATENSAMMLER IN SERIENFAHRZEUGEN PEDG

Der Porsche Engineering Data Gatherer (PEDG) ist ein Datensammler, der für den Serieneinsatz konzipiert ist. Im Gegensatz zu AMDA V2 läuft das Tool nicht auf einer separaten Hardware (PC im Fahrzeug oder Notebook), sondern kann in ein vorhandenes Serien-Steuergerät eingebettet werden. Darum kommt der PEDG erst in späteren Entwicklungsphasen und nach dem Start der Serienfertigung zum Einsatz.

Der PEDG lässt sich aus der Ferne per Mobilfunk (Over-the-Air) so einstellen, dass er bestimmte Vorgänge automatisch erkennt – zum Beispiel das Einschalten eines Fahrzeugsystems oder die Notfallhandhabung einer Situation. In diesem Fall zeichnet das Tool automatisch alle relevanten Signale auf und spielt sie selbstständig zurück in ein Backend, wo dann weitere Analysen durchgeführt werden können. Der große Vorteil des PEDG besteht darin, dass man in Serienflotten Daten aufzeichnen kann, ohne dass dafür ein physikalischer Zugriff auf die Fahrzeuge erforderlich ist, etwa durch das Aufsuchen einer Werkstatt.





**„Dank der Modularisierung können wir uns auf jeden Wunsch einstellen.“**

**Dr. Heiko Helble**  
Projektleiter  
Datensammler bei  
Porsche Engineering

## LLM-SERVICE-PLATTFORM FÜR DIE ENTWICKLUNG SALLY

SALLY ist eine Plattform in der Cloud, auf die Software-Entwicklerinnen und -Entwickler über ihren Computer Zugriff haben und die als digitaler Assistent bei der täglichen Arbeit unterstützt. Über einen Prompt in natürlicher Sprache können die Nutzerinnen und Nutzer zum Beispiel Informationen über den aktuellen Stand von Tickets zu bestimmten Ereignissen abrufen und sich bei ihrer Arbeit an neuen Software-Funktionen unterstützen lassen.

Im Gegensatz zu allgemein bekannten LLM-Plattformen (Large Language Model) wie ChatGPT oder Deep Seek hat SALLY Zugang zu Domänenwissen aus der Entwicklung von fortschrittlichen Fahrerassistenzsystemen (ADAS), weiteres Domänenwissen ist andockbar. Dadurch kann SALLY beispielsweise bei der Entwicklung von ACC-Funktionen genutzt werden – einerseits, um effizient Wissen aus den Anforderungen abzufragen, andererseits, um direkt bei der Software-Entwicklung zu unterstützen. So kann das Tool beispielsweise Code-Schnipsel erstellen, Code korrigieren und Dokumentationen aus bestehendem Code erstellen.



**Digitaler Assistent:** Das Large Language Model bietet Prompting in natürlicher Sprache und hat Domänenwissen aus der ADAS-Entwicklung.

werden – einerseits, um effizient Wissen aus den Anforderungen abzufragen, andererseits, um direkt bei der Software-Entwicklung zu unterstützen. So kann das Tool beispielsweise Code-Schnipsel erstellen, Code korrigieren und Dokumentationen aus bestehendem Code erstellen.

Dadurch lassen sich neue Software-Funktionen schneller erstellen, analysieren und testen. Insbesondere die Zeit für die Fehlerbehebung und das anschließende Aufspielen auf Versuchsfahrzeuge werden deutlich reduziert. Das macht SALLY zu einem „Entwicklungsbeschleuniger“ im Bereich neuer ADAS-Funktionen. Die SALLY-Plattform hat ein Application Programming Interface (API), durch die weitere KI-App-Lösungen aufgebaut und bestehende Services integriert werden können.

**Schneller zu neuen Software-Funktionen:** SALLY kann unter anderem bei der Erstellung und der Korrektur von Code unterstützen.



## DIGITALER ASSISTENT FÜR VERSUCHSFÄHREREN COMBOX-APP

Die ComBox-App ist eine Software, die auf einem Smartphone läuft und als digitaler Assistent für die Versuchsfahrerin oder den Versuchsfahrer dient. Sie greift während der Versuchsfahrten automatisch oder nach einem manuellen Trigger auf die Fahrzeugdaten vom Datenlogger zu, die danach über das Mobilfunknetz in die Cloud übertragen werden – teilweise mithilfe von KI vorverarbeitet. Derzeit bietet die ComBox-App sechs unterschiedliche Modi: Basisdienst, Verkehrszeichenerkennung, Szenenerkennung, Akustische Beanstandungen, Infotainment-Aufzeichnung sowie Automatisierte Schicht- und Erprobungsberichte.

→ Die ComBox-App stellen wir ab Seite 30 genauer vor.

**Penibler Protokollant:**  
Die ComBox-App zeichnet nach einem Trigger Fahrzeugdaten auf und schickt sie in die Cloud.

## DATA LAKE IN DER CLOUD

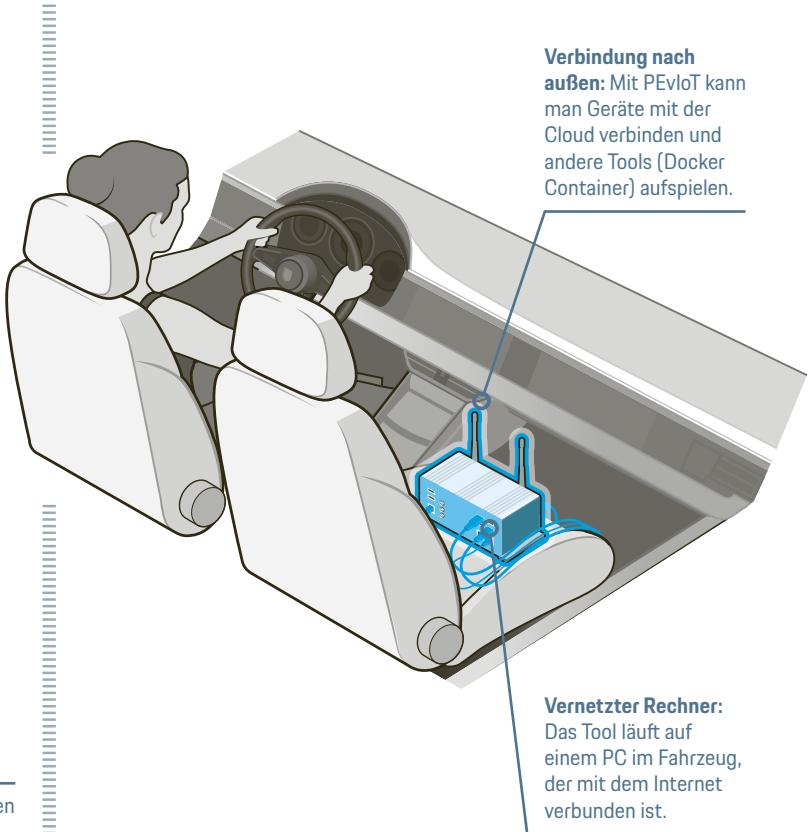
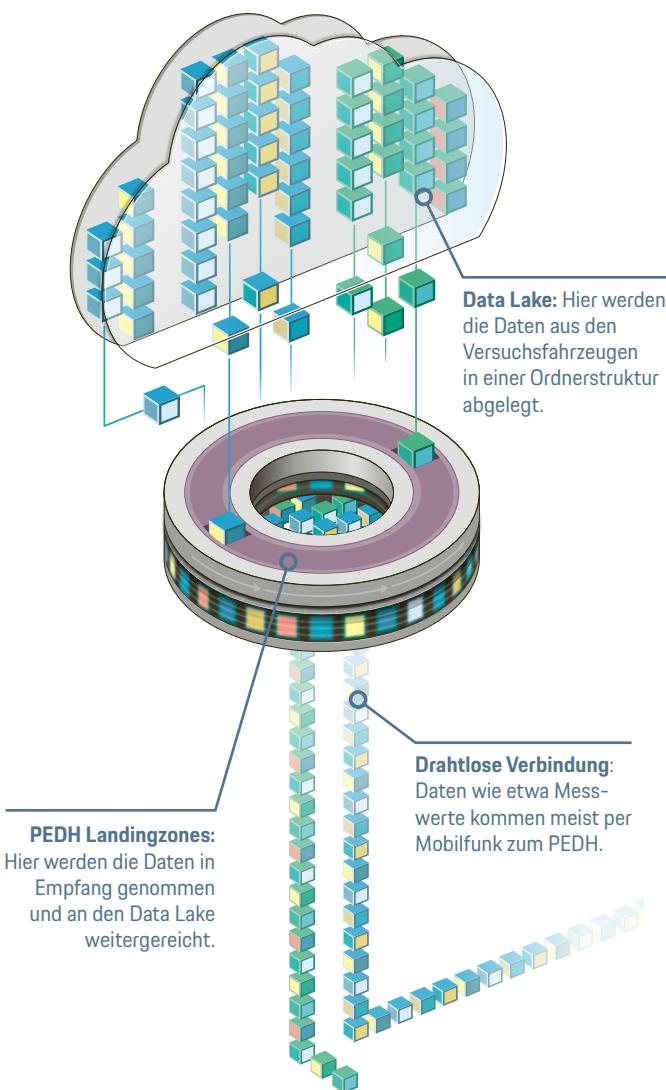
### PEDH

Der Porsche Engineering Data Hub (PEDH) ist eine weitere Cloud-Plattform von Porsche Engineering, die alle aufgezeichneten Daten aus den Versuchsfahrzeugen in einem „Data Lake“ aufnehmen und in einer Ordnerstruktur ablegen kann – vergleichbar mit dem Datei-Explorer auf einem PC, nur skalierbar auf eine gesamte Flotte von Entwicklungsfahrzeugen. Entwickler im Porsche-Netzwerk können darauf zugreifen, wobei eine Indexierung der Metadaten zu den hochgeladenen Dateien das effiziente Filtern und Suchen erlaubt. Man erkennt dadurch unter anderem sofort, welches Fahrzeug die Daten hochgeladen hat, welche Tools für ihre Aufzeichnung genutzt worden sind und welche Software-Version auf den Steuergeräten aufgespielt war.



„In unsere Tools sind die Erfahrungen aus vielen Jahren Fahrzeugentwicklung bei Porsche Engineering eingeflossen.“

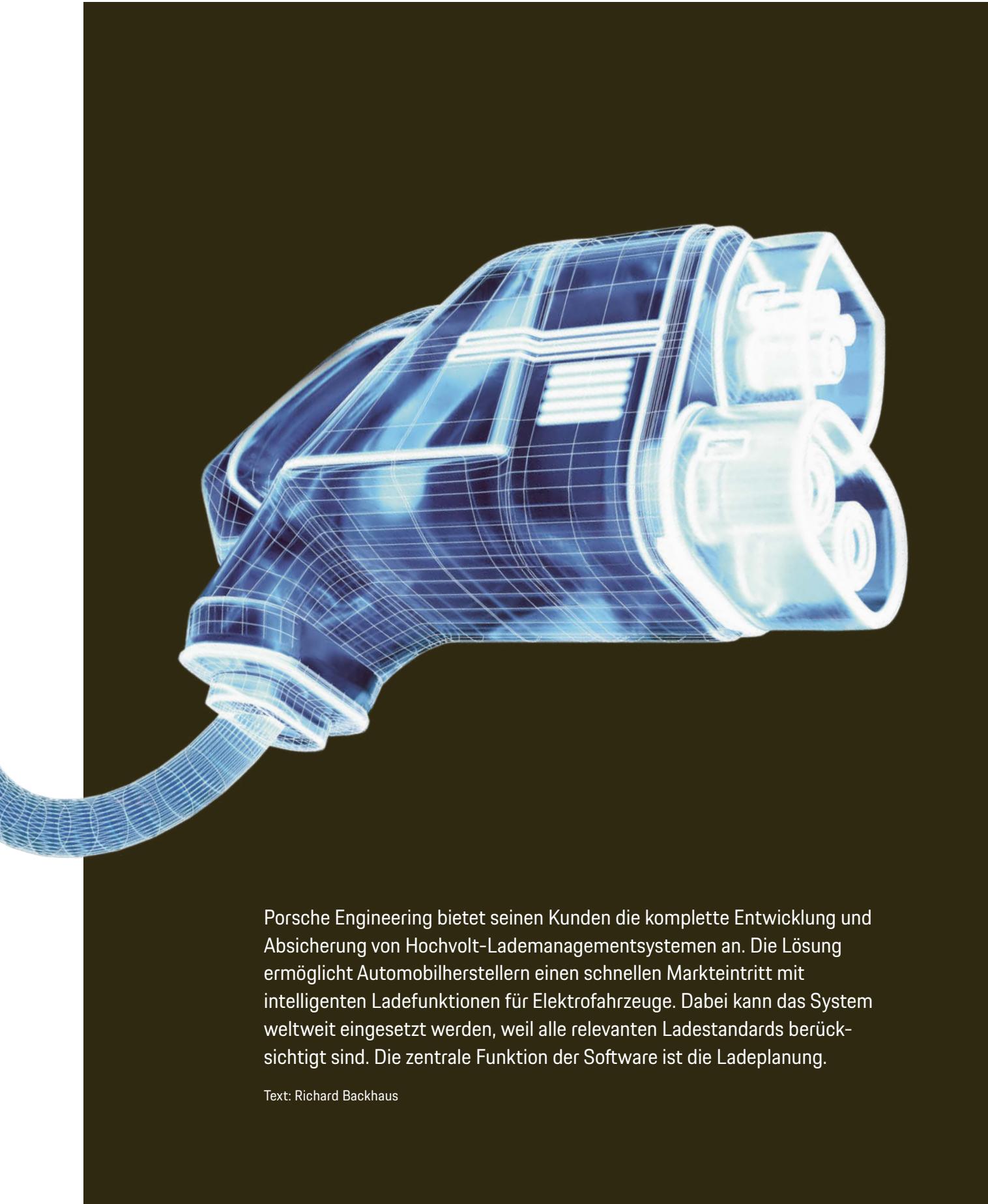
Daniel Schumacher  
Spezialist Cloud-Architektur bei Porsche Engineering



## VERBINDUNG MIT DER CLOUD PEVIO T

Die PE Vehicle IoT Edge Platform (PEVIoT) verbindet Geräte mit der Cloud, zum Beispiel die Messtechnik des Fahrzeugs oder die PCs von HiL-Prüfständen (Hardware-in-the-Loop). Sie läuft auf einem PC im Fahrzeug, der (etwa über 5G) mit dem Internet verbunden ist. Über PEVIoT können nicht nur Messwerte übertragen werden – es ist auch möglich, andere Tools wie AMDA V2 einfach und vollautomatisiert auf das Fahrzeug aufzuspielen oder zu aktualisieren. Für deren Versand kommen Docker-Container zum Einsatz, die Software gemeinsam mit allen Abhängigkeiten wie Betriebssystem-Bibliotheken, Software-Frameworks oder Datenbanken verpacken. Dadurch ist eine problemlose Ausführung in den unterschiedlichsten Computer-Umgebungen sichergestellt.

PEVIoT ermöglicht dadurch die Nutzung verschiedener Tools im Fahrzeug und reduziert die Zeit für deren Inbetriebnahme massiv. Gleichzeitig lassen sich Updates flexibel verteilen und so ganze Fahrzeugflotten aus der Ferne komfortabel verwalten.



Porsche Engineering bietet seinen Kunden die komplette Entwicklung und Absicherung von Hochvolt-Lademanagementsystemen an. Die Lösung ermöglicht Automobilherstellern einen schnellen Markteintritt mit intelligenten Ladefunktionen für Elektrofahrzeuge. Dabei kann das System weltweit eingesetzt werden, weil alle relevanten Ladestandards berücksichtigt sind. Die zentrale Funktion der Software ist die Ladeplanung.

Text: Richard Backhaus

# Intelligent (ge)laden

**D**as Hochvolt-Lademanagement (HV-Lademanagement) ist ein Schlüsselkriterium für die Kundenzufriedenheit bei Plug-in-Hybrid- und Elektrofahrzeugen. Es erkennt die Ladeleistung, verifiziert das Fahrzeug gegenüber der Ladesäule, kommuniziert mit der Infrastruktur, steuert die Ladeklappe und liefert die Daten für das mobile Endgerät des Kunden, wo die geladene Energie in einer App angezeigt wird. So stellt es sicher, dass sich der Ladevorgang für die Nutzerin oder den Nutzer komfortabel gestaltet und unter allen Alltags- und Umweltbedingungen verlässlich funktioniert.

Porsche Engineering entwickelt schon seit 2011 fortschrittliche Lademanagementkonzepte und hat sich in dieser Zeit eine umfangreiche Entwicklungs- und Absicherungsexpertise erarbeitet. „Wir decken bei

der Entwicklung der Lademanagement-Software alle Aufgaben längs des V-Modells ab – von der Anforderungserhebung bis hin zur Validierung. Das ermöglicht unseren Kunden einen schnellen und kostengünstigen Markteintritt“, erklärt Dominik Langen, stellvertretender Projektleiter Ladesysteme bei Porsche Engineering.

Im Volkswagen-Konzern unterstützt Porsche Engineering auf diese Weise die Entwicklung von Pkw mit Plug-in- oder Elektroantrieb – als zentraler Entwicklungspartner für das Hochvolt-Lademanagement. „Unser Team bearbeitet von der Festlegung der Anforderungen über die Konzeption der Softwarearchitektur, Modellierung der Softwarefunktionen, Schreiben der Software und ihre Integration ins Steuergerät bis hin zu den Prüfstandstests alle Schritte“, so Langen.

## Fortschrittliches Lademanagement:



**Zuverlässig geladen:**  
Das HV-Lademanagement stellt sicher, dass das Laden komfortabel und zuverlässig funktioniert.



**Vorfahrt für die Sonne:**  
Falls möglich, nutzt die Ladesoftware kostenlose Energie aus der heimischen Solaranlage.



**Weltweit laden:**  
Die Software unterstützt alle Ladestandards, sodass sich die E-Fahrzeuge global nutzen lassen.



**Temperatur im Blick:**  
Selbst bei sehr hohen und tiefen Temperaturen ist die Ladeplanung sehr genau.



**Kosten sparen:**  
Das prognosebasierte Verfahren trägt dazu bei, die Ladekosten zu minimieren.

## „Wir decken bei der Entwicklung der Lademanagement-Software alle Aufgaben längs des V-Modells ab.“

**Dominik Langen**

Stellvertretender Projektleiter Ladesysteme  
bei Porsche Engineering

Bis heute wurden schon 13 Fahrzeugvarianten diverser Plattformen des Volkswagen-Konzerns mit jeweils individuell abgestimmten Lademanagement-Lösungen versehen. Die Basis bildet dabei immer ein einziges Softwaresystem, das flexibel an das jeweilige Fahrzeugmodell und den Zielmarkt angepasst wird. Die Programmierung ins Steuergerät erfolgt einfach und zuverlässig über einstellbare Softwareparameter. „Das erleichtert den Automobilherstellern das Variantenmanagement, da für alle Elektro- und Plug-in-Fahrzeuge dieselbe Software auf die Ladegerätesteuerung geladen wird. Erst bei der Fahrzeugfertigung nimmt die Mitarbeiterin oder der Mitarbeiter die Adaption vor, indem sie oder er spezifische Parameter setzt“, sagt Langen. Ein weiterer Vorteil des Konzepts ist die effiziente Umsetzung von Softwareaktualisierungen: Ein neuer Programmcode muss für alle Modelle nur einmal entwickelt, getestet und freigegeben werden.

Das Softwaresystem selbst ist modular aufgebaut und besteht aus sechs Programmbausteinen, die jeweils definierte Aufgaben übernehmen: High-Voltage-Lademanagement (HVLM), Intelligent Charging Function (ILF), High Level Communication (HLC), Bedien- und Anzeigeprotokoll (BAP), Charge Management Safety Function (CMSF) und die Value Added Services (VAS). „Durch die Modularisierung berücksichtigen wir in der Entwicklung die zahlreichen Anforderungen an das Lademanagement und können diese jeweils optimal aufeinander abstimmen“, so Narendra Kumar Boorlagada, Projektleiter Ladesysteme bei Porsche Engineering.

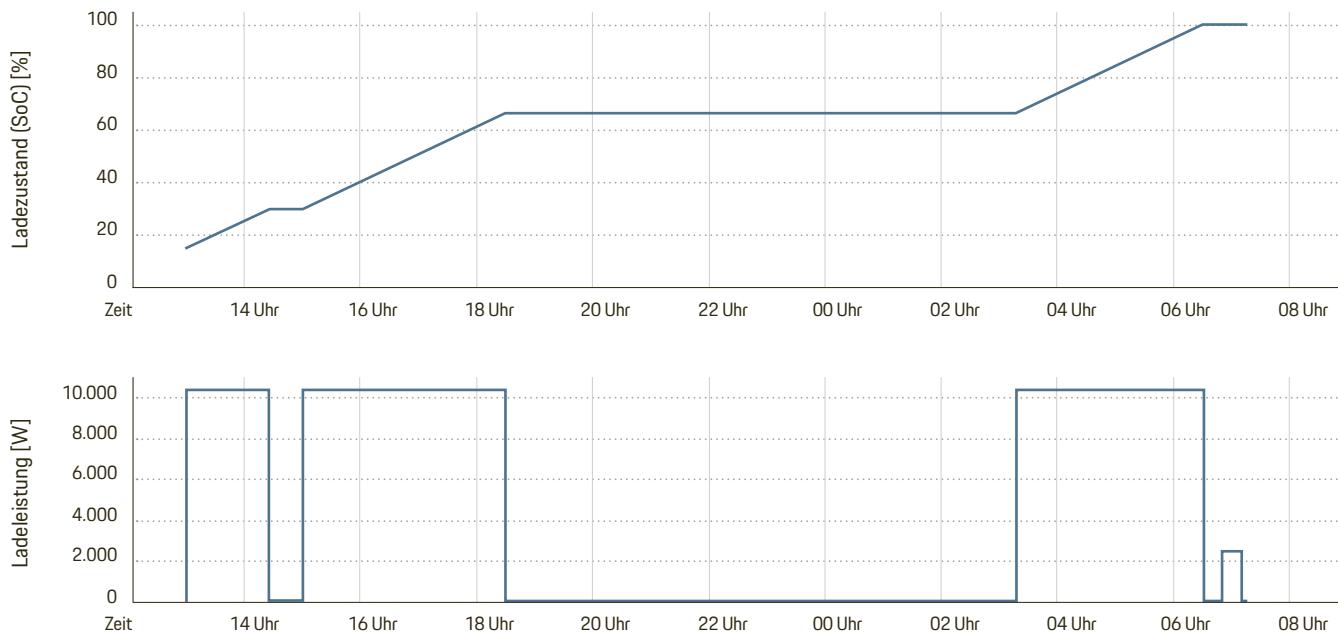
Die Anforderungen sind teilweise durch die technischen Hardwarekomponenten vorgegeben. So hat der Zustand der Batterie – beispielsweise deren Temperatur und Restkapazität beim Start des Ladens – erhebliche Auswirkungen auf die einspeicherbare Energie und damit den Verlauf des Ladevorgangs. Vereinfacht gilt, dass sich der Energiefluss bei einer zu kalten oder warmen oder einer fast vollgeladenen Batterie verlangsamt. Zudem bietet das Lademanagement Funktionen, die dem Endkunden das Laden erleichtern und das Kundenerlebnis verbessern. So öffnet der Programmabaustein HVLM beispielsweise die Ladeklappe, damit die Fahrerin oder der Fahrer das Ladekabel einstecken kann. Zudem schaltet es die Fahrzeugelektronik zum Laden frei. Für die Autorisierung an der Ladesäule benötigen Kunden keine Kreditkarte mehr, denn die sichere automatische Identifizierung erfolgt mithilfe des Programmabausteins HLC durch die Funktion „Plug & Charge“.

### IM DIALOG MIT DER INFRASTRUKTUR

Beim Laden erkennt das System die maximal verfügbare Ladeleistung, tauscht Informationen mit der Infrastruktur aus und liefert über den Programmabaustein BAP die Daten für das mobile Endgerät des Kunden, über das dieser sich in einer App Informationen wie den Ladezustand der Batterie und die geplante Ladedauer anzeigen lassen kann. Die mögliche Lade-Performance des Systems umfasst das Wechselstromladen mit einer geringen Leistung sowie das Laden an der

# MASSGESCHNEIDERTER PROZESS

## WALLBOX- UND SCHNELLADEN IM VERGLEICH

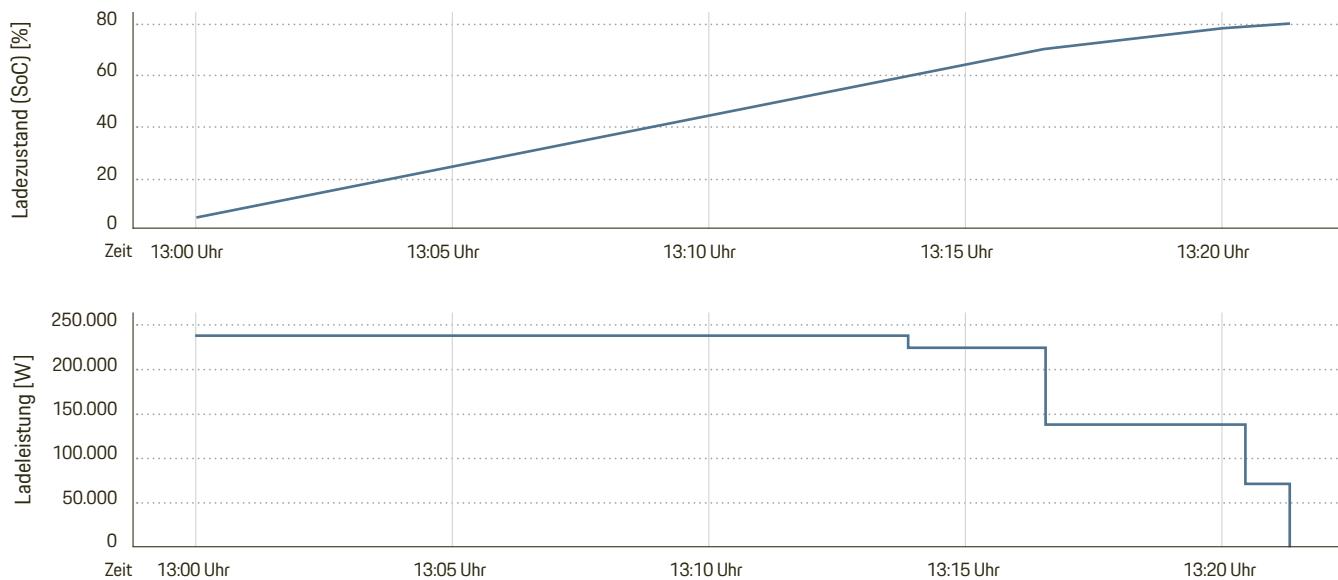


### Wallboxladen

Zu Beginn wird die Batterie schnellstmöglich auf ein **Mindest-SoC** geladen, damit das Fahrzeug für unvorhergesehene Fahrten bereit ist. Die zweite Phase startet, wenn das **bevorzugte**

**Zeitfenster** erreicht ist – zum Beispiel eine Zeit mit besonders günstigen Stromtarifen. Erst kurz vor dem geplanten Ladeende wird die Batterie voll aufgeladen. **Nebenverbraucher** wie die

Klimaanlage werden ebenfalls aus dem Stromnetz versorgt. Da das Heimnetz nur geringe Leistungen liefern kann, erfolgt das Aufladen immer mit dem **Maximalwert** (hier 10 kW).



### Schnellladen

Beim Schnellladen kommt es darauf an, in kürzester Zeit **so viel Energie wie möglich** in die Batterie zu bekommen – ohne sie zu beschädigen. Darum passt das HV-Lademanagement die Leis-

tung permanent an die Charakteristik der Batterie an. Grundsätzlich gilt: Je höher der Ladezustand, desto geringer die zulässige Ladeleistung. Wo genau das aktuelle Maximum liegt, berechnet

das **Batteriemanagementsystem**, unter anderem auf Basis der Temperatur der Batterie. In diesem Beispiel sinkt die Ladeleistung stufenweise von 250 auf zuletzt nur noch 75 kW.



**Keine Netzüberlastung:**  
Die Ladesoftware berücksichtigt die aktuelle Netzauslastung und verhindert Überlastungen.



**Volle Transparenz:**  
Das Lademanagement liefert Daten an mobile Endgeräte, etwa zur geladenen Energie.



**Identität an Bord:**  
Die Software verifiziert das E-Fahrzeug automatisch an der Ladesäule (PnC).



**Modularer Ansatz:**  
Die Software lässt sich flexibel an das Fahrzeugmodell und den Zielmarkt anpassen.

Gleichspannungs-Ladesäule bis hin zum Ultraschnell-laden mit mehreren Hundert Kilowatt Leistung. Wird das Fahrzeug zu Hause an der Wallbox geladen, stellt ein automatischer Datenaustausch zwischen HLC und heimischem Energiesystem sicher, dass der Hausanschluss nicht überlastet wird.

„Hohe Flexibilität beim Ladeanschluss war eines unserer wichtigsten Entwicklungsziele. Der Programmabaustein HLC unterstützt alle Ladestandards weltweit wie GBT, GBT+, Chaoji, Chademo, ISO 15118 oder DIN EN 62196 und ermöglicht es den Kundinnen und Kunden, ihr Elektrofahrzeug in allen Regionen rund um den Globus zu nutzen“, erläutert Boorlagada. Eine Entwicklungsherausforderung sind dabei ungenaue Spezifikationen einiger Ladenormen, die bei der technischen Umsetzung Interpretationsspielraum offenlassen. Boorlagada: „In Einzelfällen kommt es vor, dass das Ladesystem zwar der Norm entspricht, die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur dennoch nicht reibungslos funktioniert. Diese Fälle sichern wir mit einem Kompatibilitätsmodus ab, der die Grundfunktion des Ladens gewährleistet.“ Sollte es beim Laden zu einer Fehlfunktion kommen, erkennt der Programmabaustein CMSF diese und schaltet das System in einen sicheren Zustand. VAS bietet Funktionen wie ein Interface zum In-Cable-Control-and-Protection-Device (ICCPD), mit dem das Fahrzeug an einer handelsüblichen Haushaltssteckdose geladen werden kann.

Der zentrale Baustein des Lademanagements von Porsche Engineering ist die Erstellung des Ladeplans. Er legt den zeitlichen Verlauf der Energieeinspeiche-

rung in die Batterie innerhalb der Gesamtladezeit fest. Standardmäßig lädt das Lademanagement die Fahrzeughilfsbatterie nach Anschluss an die Ladestation schnellstmöglich auf einen Mindest-SoC („State of Charge“) von 25 Prozent, sodass eine ausreichende Energiemenge für unvorhersehbare Fahrten vorgehalten wird. „Danach kommt unser Prognosewerkzeug für die Erstellung des Ladeplans zum Zug. Er besteht aus einzelnen Zeitabschnitten, für die jeweils eine elektrische Ladeleistung festgelegt wird. Durch Aneinanderreihung der einzelnen Abschnitte ergibt sich der Gesamtladeplan“, erklärt Norbert Melinat, Fachprojektleiter Ladeplanung bei Porsche Engineering. Dabei muss das Lademanagement sicherstellen, dass einerseits der günstigste Stromtarif genutzt wird und andererseits das Fahrzeug zum gewünschten Zeitpunkt vollgeladen ist.

## ÜBERSCHÜSSIGE ENERGIE NUTZEN

Die Ladeplanung berücksichtigt dafür verschiedene Faktoren wie die aktuelle Netzauslastung, die Verfügbarkeit von beispielsweise umweltfreundlicher Energie aus der heimischen Solaranlage sowie die Ladeanforderungen des Fahrzeugs. So kann in einem konkreten Beispiel überschüssige Energie aus der Solaranlage bei vorhandenen Kapazitäten im Fahrzeug übertragen und somit gespeichert werden. Aktuelle Informationen zu dynamischen Stromtarifen erhält das Lademanagement über die Kommunikation mit der Infrastruktur. Durch den Einsatz intelligenter Algorithmen und



**„Hohe Flexibilität beim Ladeanschluss war eines unserer wichtigsten Entwicklungsziele.“**

**Narendra Kumar Boorlagada**  
Projektleiter Ladesysteme bei Porsche Engineering



## „Das prognosebasierte Verfahren trägt dazu bei, die Ladekosten zu minimieren und gleichzeitig die Netzbelastung zu reduzieren.“

**Norbert Melinat**  
Fachprojektleiter Ladeplanung  
bei Porsche Engineering

Echtzeitdaten wird aus dieser Matrix ein dynamischer Ladeplan erstellt, der flexibel auf Änderungen reagieren kann – etwa, wenn die Infrastruktur kurzfristig weniger Energie als prognostiziert zur Verfügung stellen kann. Dem Nutzer werden der kalkulierte Ladeverlauf und die voraussichtliche Ladedauer über eine Smartphone-App angezeigt. „Das prognosebasierte Verfahren trägt dazu bei, die Ladekosten zu minimieren und gleichzeitig die Netzbelastung zu reduzieren, was das Lademanagement allerdings auch sehr komplex macht“, so Melinat.

### HOHE PLANUNGSGÜTE BEIM LADEN

Eine besondere Herausforderung ist die Berechnung von genauen Ladeplänen bei sehr niedrigen oder hohen Außentemperaturen, da die chemischen Reaktionen in der Batterie unter diesen Bedingungen besonders schwankend ablaufen. Abgedeckt wird dies bei der Ladeplanausführung über eine Überwachungsfunktion, die parallel zur eigentlichen Ladeplanung weitere Berechnungsläufe startet und die Ergebnisse abgleicht. „Dadurch erhöht sich die Planungsgüte über den Ladeverlauf, und die Ladezeitangaben werden sukzessive präziser“, sagt Melinat. Wie die praktischen Erfahrungen bei der Entwicklung des Lademanagements zudem gezeigt haben, ist die Fokussierung auf eine einzelne optimierte Ladeplanung nicht sinnvoll, da unter Umständen die Ladestrategie während des Ladens angepasst werden muss.

Wenn die Nutzerin oder der Nutzer beim sogenannten „Timer-Laden“ eine feste Abfahrtszeit angegeben

hat, muss das Lademanagement sicherstellen, dass die Fahrzeughinterie den gewünschten Ladezustand im vordefinierten Zeitraum unter allen Umständen erreicht. In diesem Fall wird die Gesamtladezeit daher in Teilphasen unterteilt. Die Hauptphase besteht aus der regulären Ladeplanung. Das Ende dieser Phase ist durch die von der Nutzerin oder dem Nutzer vorgegebene Abfahrtszeit begrenzt, abzüglich eines Zeitpuffers von typischerweise 30 bis 60 Minuten. Dieser dient als zusätzliche Ladezeit für den Fall, dass das Ladeziel nicht innerhalb der Hauptphase erreicht werden konnte. In der sich anschließenden dritten Phase erfolgt die Vorklimatisierung des Fahrzeugs. Die Ladeplanung kalkuliert in dieser Phase mit einer reduzierten Ladeleistung, da das Ladesystem parallel den erforderlichen Energiebedarf für die Klimatisierung decken muss.

Für die Validierung wurden eigens Hardware-in-the-Loop(HiL)-Prüfstände errichtet, auf denen die Software automatisiert getestet wird. „Unser bewährtes internationales Team hat von 2021 bis 2024 auch die nächste Meilenstein-Entwicklung des Lademanagements umgesetzt: das komplette Re-Design der Software“, sagt Boorlagada.

Während die alte Softwarestruktur über Jahre gewachsen und sukzessive erweitert worden war, sind im neuen Code alle Funktionen des Lademanagements einschließlich der Ladeplanung kompakt zusammengefasst, sodass der ohnehin schon geringe Speicherbedarf auf dem Steuergerät des On-Board-Laders sowie die Rechengeschwindigkeit nochmals minimiert werden konnten.

### ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering verfügt über eine umfassende Expertise bei der Entwicklung und Absicherung von HV-Lademanagementsystemen, was Fahrzeugherstellern einen schnellen und kostengünstigen Markteintritt ermöglicht. Die intelligente Ladeplanung nutzt immer die günstigsten Stromtarife und stellt zugleich sicher, dass das Fahrzeug zum gewünschten Zeitpunkt zuverlässig vollgeladen ist.

# Im selben Orbit





Wie können Automobil-Entwicklungsdiensleister und Raumfahrt voneinander profitieren? Im Interview sprechen ESA-Astronaut Dr. Matthias Maurer und Dr. Christoph Roggendorf von Porsche Engineering über Materialforschung, autonome Systeme und virtuelle Testmethoden.

Text: Heike Hientzsch  
Fotos: Max Brunnert

**Kollegiale Atmosphäre:**  
Dr. Christoph Roggendorf (links)  
und Dr. Matthias Maurer  
treffen sich am Columbus-Modul  
im Europäischen Astronauten-  
zentrum der ESA in Köln.



**Herr Maurer, Sie sind leidenschaftlicher Wissenschaftler und haben 2021/2022 mit der Mission Cosmic Kiss ein halbes Jahr lang auf der Internationalen Raumstation ISS geforscht – inklusive Außenbordeinsatz. Jetzt sind Sie federführend beim Aufbau der LUNA Analog Facility in Köln, der Simulationsanlage von ESA und DLR für künftige Mondmissionen. Sind Sie zufrieden mit dem Tempo dieser Mondannäherung?**

— MM: Ich bin sehr zufrieden mit unserer LUNA-Mondtrainingsanlage – ich würde so weit gehen, zu sagen, dass wir damit weltweit am fortschrittlichsten aufgestellt sind. Sogar die NASA war vor Kurzem bei uns in Köln, um hier Messungen durchzuführen. Sie haben hier einen neuen Fotoapparat getestet, der auf dem Mond zum Einsatz kommen soll – diesen durfte ich dann entsprechend unter den hier simulierten Extrembedingungen testen. Das macht uns schon sehr stolz. Hinzu kommt, dass wir hier bald eine neue Mondstation testen werden. Darunter



**Dr. Matthias Maurer**  
flog als zweiter deutscher Astronaut der ESA im Rahmen des Commercial Crew Program der NASA im Herbst 2021 zur ISS. Während der 177 Tage im Orbit führte er mit Forscherinnen und Forschern sowie Partnern auf der ganzen Welt zahlreiche wissenschaftliche Experimente durch.

können Sie sich einen Hightech-Container vorstellen, in dem wir wochenlang unter realistischen Bedingungen leben werden. Ein Tunnel wird diesen Container dann mit der LUNA-Trainingsanlage verbinden. Was auch bedeutet, dass wir während des simulierten Einsatzes diese verbundenen Bereiche nicht verlassen werden – und somit auch keine Sonne sehen. Auf der Mondoberfläche haben wir es mit sehr abrasivem Vulkanstaub zu tun. Gestein auf dem Mond unterliegt kaum Bewegung, da es kein Wasser und wegen der fehlenden Atmosphäre auch keinen Wind gibt. Deshalb sind die Sandkörner scharfkantig und zudem ist der Sand sehr klebrig, etwa wie Mehl. Hinzu kommen Krater, deren Tiefe sich schlecht abschätzen lassen, und eisige Temperaturen bis minus 150 Grad. In den schattigen Bereichen des Mondes, in den tief liegenden Kratern, in die nie Sonnenlicht eindringt, kann es auch bis zu minus 250 Grad kalt werden. Eine Herausforderung ist auch die tief stehende Sonne, die tückische Schatten wirft. Das erwartet uns im Polargebiet des Mondes – und genau dort wollen wir hin.

**Das klingt alles schon sehr konkret – wo liegen noch Herausforderungen?**

— MM: Was uns dazu derzeit noch fehlt, ist eine eigene Rakete inklusive Kapsel. Hierbei ist die Herausforderung, dass sowohl die Rakete als auch die Kapsel zertifiziert sein müssen für den Transport von Menschen. Die Besonderheit hieran ist, dass die Kapsel irgendwann wieder zurückkehren muss – und beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre nicht verglühen darf. Das ist bedingt durch die große Geschwindigkeit und die Reibungswärme, die dabei entsteht. Hier haben wir uns in der Vergangenheit sehr auf internationale Ingenieurskunst und Partnerschaften verlassen. Doch es ist an der Zeit, Europa diesbezüglich resilient aufzustellen – das gilt sicherlich für mehrere Bereiche, doch die Raumfahrt ist ein Schlüsselbereich.

**Herr Roggendorf, Sie kommen aus der Welt der Mobilitätssysteme – doch Sie arbeiten längst in sämtlichen Domänen: von der Straße bis ins All. Wie gelingt es, als Entwicklungsdienstleister mit einem so breiten Spektrum umzugehen – zumal bei visionären Projekten mit vielen Unbekannten?**

— CR: Dieses breite Spektrum ist genau das, was uns als Ingenieure und Ingenieurinnen antreibt und begeistert. In unseren interdisziplinären Teams hat zum Beispiel ein hoher Anteil der Entwicklerinnen und Entwickler einen Background aus der Luft- und Raumfahrttechnik. Diese Kompetenzen helfen uns bei vielfältigen technischen Herausforderungen unterschiedlichster Branchen. Aktuell entwickeln wir ein komplettes Energiesystem für Satellitenanwendungen. Dabei sind die Anforderungen im Low-Earth-Orbit jenen im Automobilbereich sehr ähnlich, etwa bezüglich der Temperaturprofile oder auch der Vibrationen bei einem Raketenstart.

**Herr Maurer, die ESA ist eine Raumfahrtagentur und ganz anders aufgestellt als kommerzielle Unternehmen. Welche Denk- und Arbeitsweisen sind entscheidend, damit Menschen eines Tages tatsächlich auf dem Mond leben und arbeiten können?**

— MM: Die ESA arbeitet mit Steuergeldern, was bedeutet, dass wir mit diesen Geldern sehr verantwortungsvoll umgehen. Es bedeutet aber auch, dass wir auf recht viel Bürokratie stoßen und mit Verzögerungen umgehen müssen, die Privatunternehmen in der Industrie nicht in dem Ausmaß haben. Bei uns heißt es oft: Lass uns eine Studie machen – und eine zweite und auch eine dritte. Das hat das Ziel, rechtliche Vorgaben zu erfüllen und sehr korrekt vorzugehen. Die Hauptaufgabe der ESA liegt darin, die Richtung vorzugeben, Programme zu definieren und an die Industrie auszulagern. Wenn die Industrie selbst Ziele definieren und mit eigenem Risiko und Kapital angehen könnte, unterstützt durch die ESA als zuverlässigen Ankerkunden, würde das sicherlich mehr Geschwindigkeit und Agilität reinbringen. Und an dieser Stelle brauchen wir auch mehr Akteure.

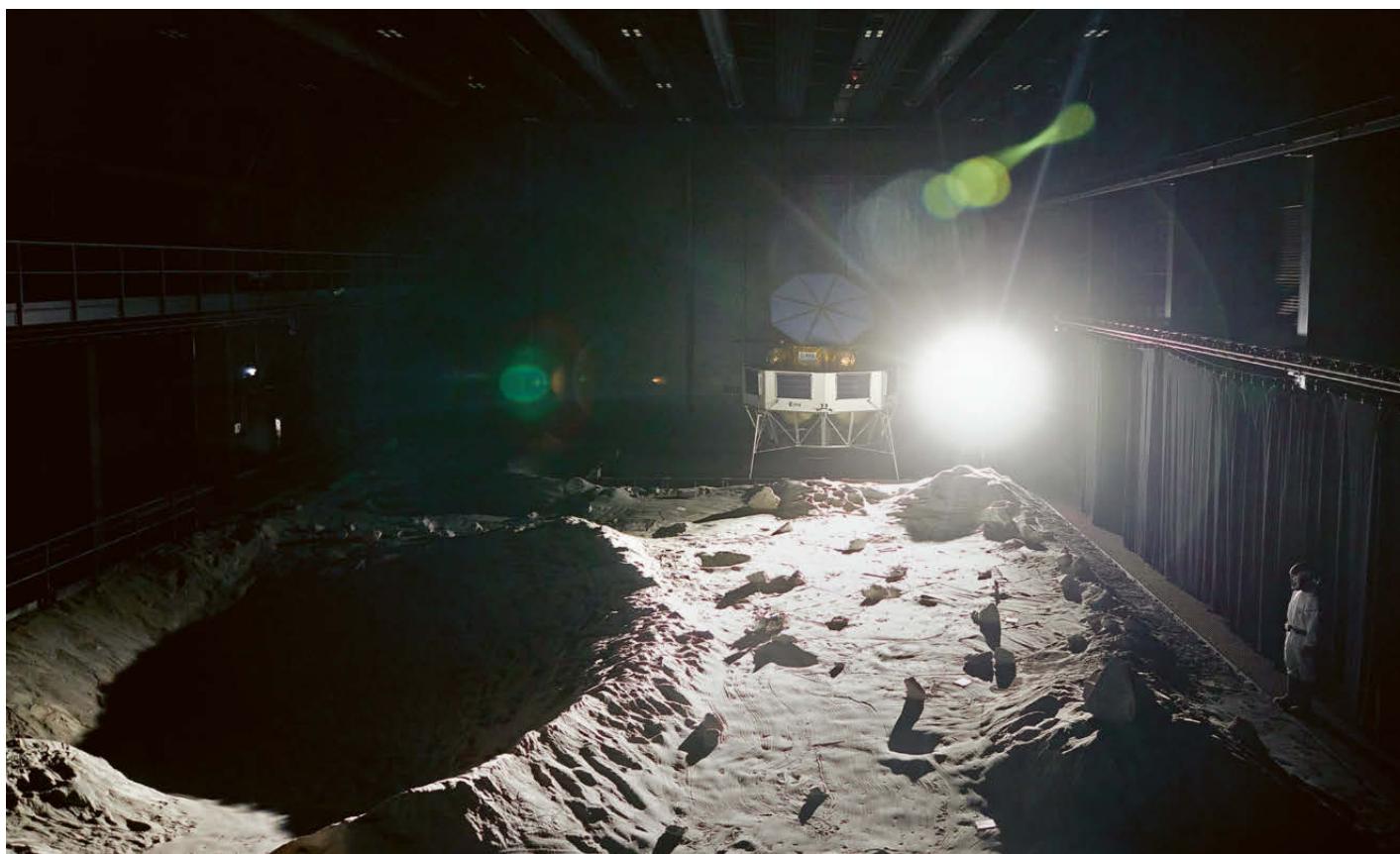
**Herr Roggendorf, wie blicken Sie diesbezüglich in die Zukunft?**

## „Sogar die NASA war vor Kurzem bei uns in Köln, um hier Messungen durchzuführen.“

**Dr. Matthias Maurer**

Astronaut bei der Europäischen Weltraumorganisation (ESA)

— CR: Wir hatten schon immer den Antrieb, über die Automobilbranche hinaus in andere Branchen hineinzugehen. Für uns ist es spannend, Wissen aus verschiedenen Branchen miteinander zu verknüpfen und mit unseren Ingenieurdienstleistungen einen Beitrag zu leisten. Prozessual effizient – vom Proof of Concept über das Ausloten physikalischer Grenzen im frühen Stadium bis hin zur möglichst raschen Annäherung zu einer serienreifen Lösung.



**Schwieriges Gelände:** Auf dem Mond gibt es scharfkantigen Sand und tückische Schatten – detailgetreu nachgebildet in der LUNA-Trainingsanlage in Köln.

**Dabei kommen Forschung und Fortschritt sicherlich nicht ohne Fehlschläge aus. Wie gehen Sie als Entwicklungsdienstleister mit dem Scheitern um? Wie gelingt es, mutig neue Technologien zu entwickeln und gleichzeitig für Kunden Prozesse abzusichern?**

— CR: Das hängt ganz von der Phase der Entwicklung und von der Kundenerwartung ab. Hier lässt sich Ferry Porsche sehr gut zitieren: „Wir haben keine Angst vor Fehlschlägen. Ganz im Gegenteil, wir erwarten sie. Wenn man nicht ab und zu mal scheitert, dann hat man sich nicht wirklich herausgefordert.“ Das ist das Motto, nach dem wir tagtäglich arbeiten. Gerade in Vorentwicklungsphasen muss und will ich als Ingenieur ausprobieren, die Grenzen des technisch Machbaren ausloten. Wenn immer alles glatt durchläuft, dann habe ich zu wenig gelernt. Hier müssen wir eine Fehlerkultur fördern, die in diesen Phasen Fehler zulässt. In der Serienphase ist das natürlich anders. Dann geht es um ein absolut funktionssicheres, fehlerfreies und hochwertiges Produkt.

**Herr Maurer, gerade in der bemannten Raumfahrt entscheidet die Zuverlässigkeit einer Entwicklung über Leben oder Tod. Wie gelingt da die Balance zwischen „better safe than sorry“ und dem Mut zum Risiko?**

— MM: Bislang haben die Raumfahrtagenturen immer extrem viele Tests durchgeführt, um vor einem Raketenstart möglichst jeden Fehler auszuschließen – das ist natürlich sehr zeitaufwendig. Und dabei kann man viel lernen, gerade wenn etwas schiefgeht. Mittlerweile ist unter Einfluss der Industrie eine neue Fehlerkultur in die Raumfahrt eingezogen: „fail early, fail often“. Das passiert teilweise in Großraketenprojekten – da explodiert eine Rakete und die Mitarbeitenden jubeln, da sie von Anfang an nicht mit einem vollumfänglichen Erfolg gerechnet haben. Das kann ich mir bei der ESA schwer vorstellen – dennoch ist es eine Richtung, die wir einschlagen müssen. Natürlich nur, solange in diesen Raketen keine Menschen sitzen und auch am Boden niemand zu Schaden kommt. Sobald wir von bemannter Raumfahrt sprechen, müssen wir eine absolute Null-Fehler-Politik haben – und ein zuverlässiges Rückfallsystem. Hat eine Rakete ein Problem, werden die Astronautinnen und Astronauten in der Kapsel hinausgesprengt und kommen mit dem Fallschirm zurück zur Erde. Und dieses Rückfallsystem wurde tatsächlich schon benötigt – mit dem Ergebnis, dass die Astronautinnen und Astronauten sicher gelandet sind.

**Inwieweit kann die Raumfahrt von industriellen und kommerziellen Errungenschaften hinsichtlich kostengünstiger Fertigung und profitablen Entwicklungszeiträumen profitieren? Und was kann die Weltraum-Forschung konkret für Unternehmen leisten?**

## „Gerade in Vorentwicklungsphasen muss und will ich als Ingenieur ausprobieren.“

**Dr. Christoph Roggendorf**  
Leiter Energiesysteme bei Porsche Engineering



**Wie auf dem Mond:** Dr. Christoph Roggendorf lässt den Sand in der LUNA-Trainingsanlage durch seine Finger gleiten.

**Weltraum-Arbeitsplatz:**  
Dr. Matthias Maurer und  
Dr. Christoph Roggendorf  
begutachten das Innere  
des Columbus-Moduls.



**Dr. Christoph Roggendorf**  
leitet seit 2023 bei Porsche  
Engineering den Bereich  
Energiesysteme. Zu seinen  
Tätigkeitsschwerpunkten  
gehören Elektromobilität,  
Ladeinfrastruktur und  
HV-Systeme, wie z.B.  
Batteriespeicher und  
leistungselektronische  
Komponenten.



— **MM:** Ich setze sehr stark auf die Idee des „Spin-in“. Also darauf, dass wir industrielle Kompetenzen und Innovationen in Raumfahrtprojekte einweben. In der Automobilindustrie ist man so innovativ und so schnell in der Entwicklung, dass dort unglaublich viel Technologie entweder schon im Einsatz, beinahe serienreif ist oder mindestens in der Schublade liegt. Ich träume davon, dass wir diese Schublade mal aufmachen und ihren Inhalt in die Raumfahrt kippen. Voraussetzung dafür ist, dass wir diese beiden Welten in einen Austausch bringen. Denn bei den Innovationstreibern hat sich etwas verschoben. Für die Apollo-Mission musste in der Vergangenheit erst mal die ganze IT entwickelt werden. Das war ein Innovationstreiber, wenn man sich auch die Patente anschaut, die daraus entstanden sind. Doch mittlerweile leben wir in der Raumfahrt sehr etablierte Prozesse und verwenden sehr viel Heritage. Neue Technologien einzusetzen bedeutet, neue Hürden zu überwinden – zudem müssen die Technologien zertifiziert werden. Als Konsequenz daraus verwenden wir auf der ISS sehr alte Systeme

und auch ältere Computer. Ich wünsche mir, dass wir vermehrt neue Technik einbringen – und dafür ist ein Austausch, wie zum Beispiel heute zwischen uns beiden, essenziell.

**Herr Roggendorf, inwiefern kann die Industrie und können Sie als Entwicklungsdienstleister von Raumfahrtprogrammen profitieren?**

— **CR:** Sehr spannend ist für uns immer das Thema Materialforschung, das ist ja auch ein Steckenpferd von Herrn Maurer. Historisch sind viele High-End-Materialien aus der Raumfahrt gekommen, von denen die Industrie profitiert hat. Und genau dort wachsen diese beiden Welten zusammen. Es entstehen Geschäftsfelder – so engagieren wir uns ja jetzt auch im Satellitenbereich. Traditionell war praktisch jeder Satellit ein Einzelstück. Es gilt zu prüfen, wie solche Systeme vereinheitlicht und modular aufgebaut werden können. So können wir mit unseren Erfahrungen in der Industrialisierung von Produkten unterstützen und somit unseren Kunden ermöglichen, in den neuen Geschäftsfeldern zu skalieren.



**Intensiver Austausch:**  
Die beiden Technik-experten unterhalten sich in der Eingangshalle des LUNA-Gebäudes, dessen Plan hinter ihnen an der Wand hängt.

- **MM:** Auch autonome Systeme sind ein großes gemeinsames Thema. Auf der Erde geht es um autonomes Fahren mit Künstlicher Intelligenz. Im All erreichen wir inzwischen auch eine Verkehrsdichte, in der einzelne Menschen die ganzen Satelliten bald nicht mehr steuern können. Aktuell fliegen mehr als 12.000 Satelliten umher, wovon einige gar nicht mehr aktiv und somit nicht mehr steuerbar sind. Ergo sind im All viele – sagen wir Geisterfahrer – unterwegs, denen wir entweder ausweichen oder die wir einfangen müssen. Diese Satelliten wurden von Menschen auf der Erde gesteuert, doch das wird angesichts der schieren Menge an Satelliten nicht mehr möglich sein. Diese Steuerung muss durch Künstliche Intelligenz ersetzt werden – die Satelliten müssen darüber autonom agieren. Da gehen die Herausforderungen und Fragestellungen irdisch und kosmisch in die gleiche Richtung. Nur den Rückwärtsgang brauchen wir im All nicht. (lacht)
- **CR:** Wenn wir über autonom gesteuerte Satelliten nachdenken, stellt sich auch die Frage der Präzision. Und da bringen wir viel Erfahrung mit. In der Automobilbranche reden wir hier über Zentimeter – bei Satelliten über viele Kilometer. Die Mechanismen des Eingreifens sind aber vergleichbar. Und wir können eben auch beim Flottenmanagement – also bei steigenden Zahlen – mit unseren Methoden und Tools in der Steuerung und Automatisierung bis hin zu Künstlicher Intelligenz einen wertvollen Beitrag leisten.
- Bleiben wir beim Thema: Herr Roggendorf, wie lässt sich dieses Wissen – etwa zu Entwicklungsprozessen, virtuellen Testmethoden oder Hochintegration – in Raumfahrtprojekte übertragen?**
- **CR:** Ich glaube, gerade diese Methoden braucht es in der Raumfahrt. Virtuelle Testmethoden sind ein super Beispiel. Wir arbeiten an digitalen Zwillingen

## „Raumfahrt ist etwas so Großes, das kann kein einzelnes Land in Europa alleine stemmen.“

**Dr. Matthias Maurer**  
Astronaut bei der Europäischen Weltraumorganisation (ESA)

gesamter Systeme. Nehmen wir exemplarisch mal eine Fahrzeugbatterie. Durch einen digitalen Zwilling und die Live-Daten-Übermittlung lernen wir das System in der Entwicklung ganz genau kennen und verstehen. Ich kann das Optimum herausholen und die Lebensdauer der Batterie verlängern. Solche virtuellen Methoden und Prozesse sind natürlich im Weltraum von noch viel größerer Bedeutung. Denn da kann ich nicht so einfach reparieren oder nachtanken. Jedes Gramm Treibstoff und alles, was ich hochbringen muss, kostet immens viel Geld.

— **MM:** Tatsächlich nutzen wir hier in der Mond-Trainingsanlage auch VR-Technologie mit Zwillingsmodellen, weil wir nicht jedes Gerät als physikalisches Modell nachbauen können. Stattdessen tragen wir eine VR-Brille in unserem Raumanzug und blenden verschiedene Geräte, Messinstrumente oder eine andere Raumstation ein, um damit zu interagieren.

— **CR:** Wenn man bezüglich der Methoden weiterdenkt, investieren wir sehr viel Aufwand darin, End-to-End-Lösungen anzubieten – das heißt von der Produktdefinition über die Automatisierung der Requirements und die Generierung von Testcases mit Unterstützung von KI bis hin zur effizienten Auswertung von Live-Analysedaten. Gerade bei sehr stark individualisierten Produkten, wo diese Entwicklungsphasen extrem viel Zeit kosten, können wir mit einer End-to-End-Toolchain deutlich schneller werden.

**Eine weitere Gemeinsamkeit Ihrer beiden Betätigungsfelder liegt in der globalen Ausrichtung. Wie wichtig ist das internationale Netzwerk?**

— **MM:** Raumfahrt ist etwas so Großes, das kann kein einzelnes Land in Europa alleine stemmen. Wie schon angesprochen, wir sind als Gesamteuropa

noch nicht in der Lage, eigene Astronautinnen und Astronauten zu fliegen. Wir könnten das vom Inhalt her, aber die Finanzierung ist offen. Wir haben eine unglaubliche Stärke durch den riesigen Erfahrungsschatz verschiedener europäischer Kulturen und unterschiedlicher Ingenieurexpertisen. Hieraus können wir Potenziale generieren – und diese Potenziale können wir noch deutlich erweitern, indem wir die Türen öffnen und mit Kompetenzträgern zusammenarbeiten, die von außerhalb der Raumfahrt kommen. Damit können wir Europa in die Pole-Position bringen.

— **CR:** Für uns als Porsche Engineering ist die Internationalisierung sehr wichtig und ein Schlüsselfaktor für unseren Erfolg. In Europa sind wir an verschiedenen Standorten vertreten: neben Deutschland vor allem in Tschechien und Rumänien sowie in einer großen Test-Facility und einem Engineering-Hub in Italien. Unser Asset sind die Ingenieurinnen und Ingenieure, die Köpfe in der Firma. Um die besten Talente, die motiviertesten und bestausgebildeten Ingenieurinnen und Ingenieure zu gewinnen, sind Kooperationen mit Hochschulen in verschiedenen Regionen der Welt extrem wichtig. Auch in den USA und in China sind wir mit Entwicklungsstandorten vertreten. Vor allem, weil dort ganz andere Anforderungen an Fahrzeuge herrschen als in Europa. Durch unsere lokalen Präsenzen verstehen wir viel besser, was der spezifische Markt braucht. Allein in der Konnektivität haben wir es mit komplett anderen Ökosystemen zu tun, eigenen App-Welten auf Smartphones, insbesondere in China. Dort nutzt man Fahrzeuge einfach anders. Auf die dafür passenden Ideen kommt man nicht, wenn man in Deutschland im Büro sitzt. Neben der rein technischen Seite ist die interkulturelle Zusammenarbeit hinsichtlich anderer Arbeitsweisen äußerst lehrreich und befriedigend.

#### Zum Schluss noch die persönliche Frage an Sie beide: Was treibt Sie an?

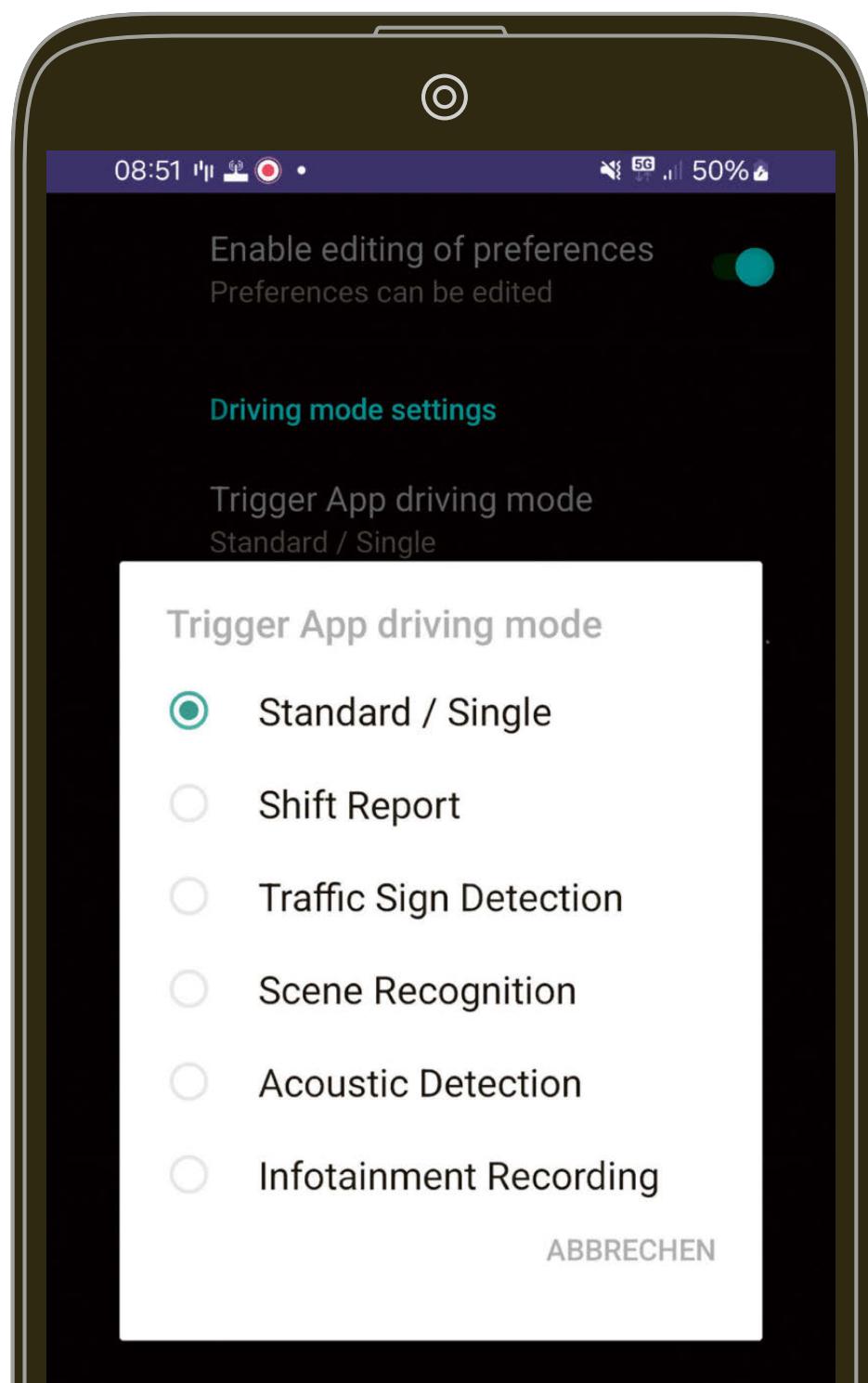
— **CR:** Für mich war früh klar: Ich werde Ingenieur aus Technikbegeisterung. Ich liebe es, Sachen auszuprobieren, weiterzuentwickeln, Innovationen voranzutreiben. Und das spaltet mich jeden Tag an. Wir haben ein hochmotiviertes Team, um zusammen wirklich neue Themen anzugehen und umzusetzen. Ursprünglich komme ich aus der Energiebranche. Es ging immer darum, zunächst erneuerbare Energien in die Netze zu integrieren und schließlich die heutige Elektromobilität zu ermöglichen. Neue Technologien für unseren Planeten voranzutreiben, das ist mein Fokus. Da schaue ich auch auf meine Kinder, denen es später noch gut gehen soll. Dafür stehe ich jeden Tag auf und gehe gerne ins Büro.

— **MM:** Als Astronaut ist man natürlich jemand, der von seinen Träumen geleitet wird. Dazu brauche ich nur jeden Abend in den Nachthimmel zu schauen und zu bestaunen, wie viel es dort draußen noch zu

entdecken gibt. Es gibt so viele Ziele, wo ich gerne hin möchte und wo ich etwas lernen möchte. Ganz grundlegend ist dabei die Frage: Wie ist das alles entstanden, was es da draußen gibt? Wie ist das Leben auf die Erde gekommen und wie ist unser Sonnensystem entstanden? Sind wir alleine im Universum oder gibt es da draußen noch andere intelligente Wesen? Und wie würden die wohl leben? Diese Fragen haben ganz viel mit Träumen, aber auch mit Abenteuerlust und mit Entdeckerdrang zu tun. Neben meiner Technikbegeisterung als Ingenieur fasziniert mich wissenschaftlich, dass ich im Weltall jeden Tag neue Experimente machen und den besten Forscherinnen und Forschern der Welt über die Schulter schauen darf. Das gibt mir so viel Energie. Hinzu kommt der Traum, selbst zum Mond zu fliegen. Wir schauen hier durch die Glasscheibe auf eine Apollo-Situation – da möchte ich hin. Und ein weiterer Antrieb ist, Wissen zu teilen und die nächste Generation zu inspirieren. ●



# Auswertung auf Knopfdruck



Die ComBox-App von Porsche Engineering erfasst in Versuchsfahrzeugen relevante Messwerte, wertet sie mit KI-Hilfe teilweise direkt aus und sendet die Ergebnisse sowie die Messdaten automatisch in die Cloud. Das verringert den manuellen Aufwand der Testfahrerinnen und -fahrer und steigert die Effizienz von Entwicklung und Validierung neuer Fahrzeugfunktionen.

Text: Christian Buck

**D**ie Fahrerinnen und Fahrer in Entwicklungsfahrzeugen haben alle Hände voll damit zu tun, während ihrer Versuchsfahrten technische Auffälligkeiten neuer Fahrzeugfunktionen zu erkennen, zu dokumentieren und an die jeweiligen Entwicklungsabteilungen zurückzumelden. „Hier ist jede Arbeitserleichterung willkommen, vor allem bei ADAS- und Antriebsthemen, deren Validierung besonders aufwendig ist“, berichtet Jan Wörner, Projektleiter im Bereich Data Driven Testing & Fahrzeugfunktionen bei Porsche Engineering. „Genau darum haben wir die ComBox-App entwickelt: Sie ist der Begleiter der Ingenieurin oder des Ingenieurs und dient während der Erprobung als eine Art digitaler Assistent. Außerdem führt sie viele Berechnungen direkt im Fahrzeug aus und erkennt wichtige Szenarien in den Messdaten, ohne dass die Fahrerin oder der Fahrer aktiv werden muss. Durch dieses Edge-Computing müssen wir deutlich weniger Daten zur Auswertung in die Cloud senden.“

## SECHS MODI ZUR AUSWAHL

Als Plattform für die ComBox-App dient ein handelsübliches High-End-Smartphone, dessen Compute-

### Basisdienst:

Ein Druck auf den Button genügt, um eine Messung auszulösen. Alle Fahrzeugdaten in einem Zeitfenster von sechs Minuten werden in die Cloud geladen – zum Beispiel von drei Minuten vor bis drei Minuten nach der Auslösung.



Ressourcen im Wesentlichen der von Porsche Engineering entwickelten Assistenzsoftware zur Verfügung stehen. Nach dem Start können die Nutzerin oder der Nutzer eine Auswahl aus derzeit sechs unterschiedlichen Modi treffen: Mit dem „Basisdienst“ lässt sich jederzeit eine Messung von Fahrzeugsteuergerätedaten triggern, um diese Messdaten aufzuzeichnen und in die Cloud hochzuladen. Die „Szenenerkennung“ kann allgemeine Verkehrsszenarien aufnehmen, die beispielsweise für ADAS-Funktionen relevant sind. Der Modus „Akustische Beanstandungen“ findet mit KI-Hilfe störende Geräusche, während die „Infotainment-Aufzeichnung“ bei der Behebung von Anzeigeproblemen unterstützt. „Diese vier Modi haben eines gemeinsam: Nach einem manuellen oder automatischen Trigger zeichnen sie Muster beziehungsweise Fehler auf und

senden die entsprechenden Daten in die Cloud“, so Wörner. Der Modus „Automatisierte Schicht- und Erprobungsberichte“ kommt nach den Versuchsfahrten zum Einsatz und reduziert den Aufwand für die Protokollierung. „Alle Modi reduzieren den manuellen Aufwand, steigern dadurch die Effizienz und reduzieren menschliche Fehler im Erprobungs- und Fehlerabstellprozess“, erklärt Wörner.

## ZUGRIFF AUF DIE FAHRZEUGBUSSE

Voraussetzung dafür ist der Zugriff aller Modi auf die relevanten Fahrzeugbusse und -daten. Diese bezieht die ComBox-App von einem Datenlogger im Versuchsfahrzeug, beispielsweise der Car Data Box von Porsche Engineering. „Der Datenlogger hat vollen Zugriff auf alle Bussysteme wie CAN, LIN, FlexRay oder Automotive Ethernet und stellt damit Informationen über den aktuellen Zustand sämtlicher Fahrzeugsysteme bereit“, erklärt Wörner. „Er leitet diese Daten an das Smartphone mit der ComBox-App weiter – entweder per Kabel über einen Ethernet-zu-USB-Adapter oder über WiFi, falls

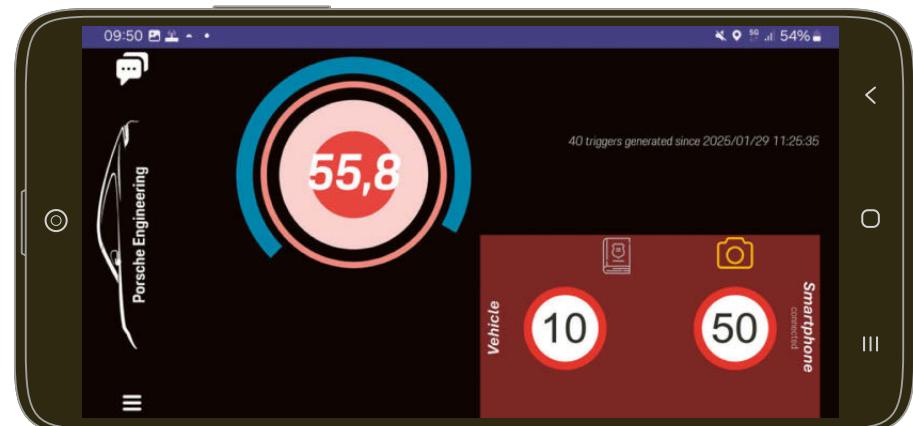
es im Fahrzeug einen drahtlosen Zugangspunkt gibt, der an den Datenlogger angeschlossen ist.“

Mit dem Basisdienst der ComBox-App können die Fahrerin oder der Fahrer beim Auftreten einer beliebigen Auffälligkeit manuell eine Messung triggern. „Dadurch werden alle Messdaten des Fahrzeugs innerhalb eines definierten Zeitfensters rund um den Triggerzeitpunkt erfasst und in die Cloud geladen – zum Beispiel von drei Minuten vor dem Triggerzeitpunkt bis drei Minuten danach“, sagt Wörner. „Die Fahrerin oder der Fahrer können zudem eine Erläuterung ins Smartphone sprechen, die automatisch in einen Text umgewandelt und gemeinsam mit den Messwerten über ein 5G-Netz in die Cloud geschickt wird. Mit dieser Methode lassen sich ausführliche Zusatzinformationen sofort aufzeichnen und dadurch ohne Zeitverzug für die nachgelagerte Fehleranalyse zur Verfügung stellen. Diese Möglichkeit bieten auch die anderen Modi.“

Der Modus „Akustische Beanstandung“ identifiziert automatisch bestimmte unerwünschte Störgeräusche im Fahrzeug und unterstützt bei der Ursachenidentifikation unter bestimmten Rahmenbedingungen. „Die



**Verkehrszeichen korrekt erkannt:**  
Grüne Flächen signalisieren, dass die Ergebnisse des Fahrzeugs und der ComBox-App übereinstimmen.

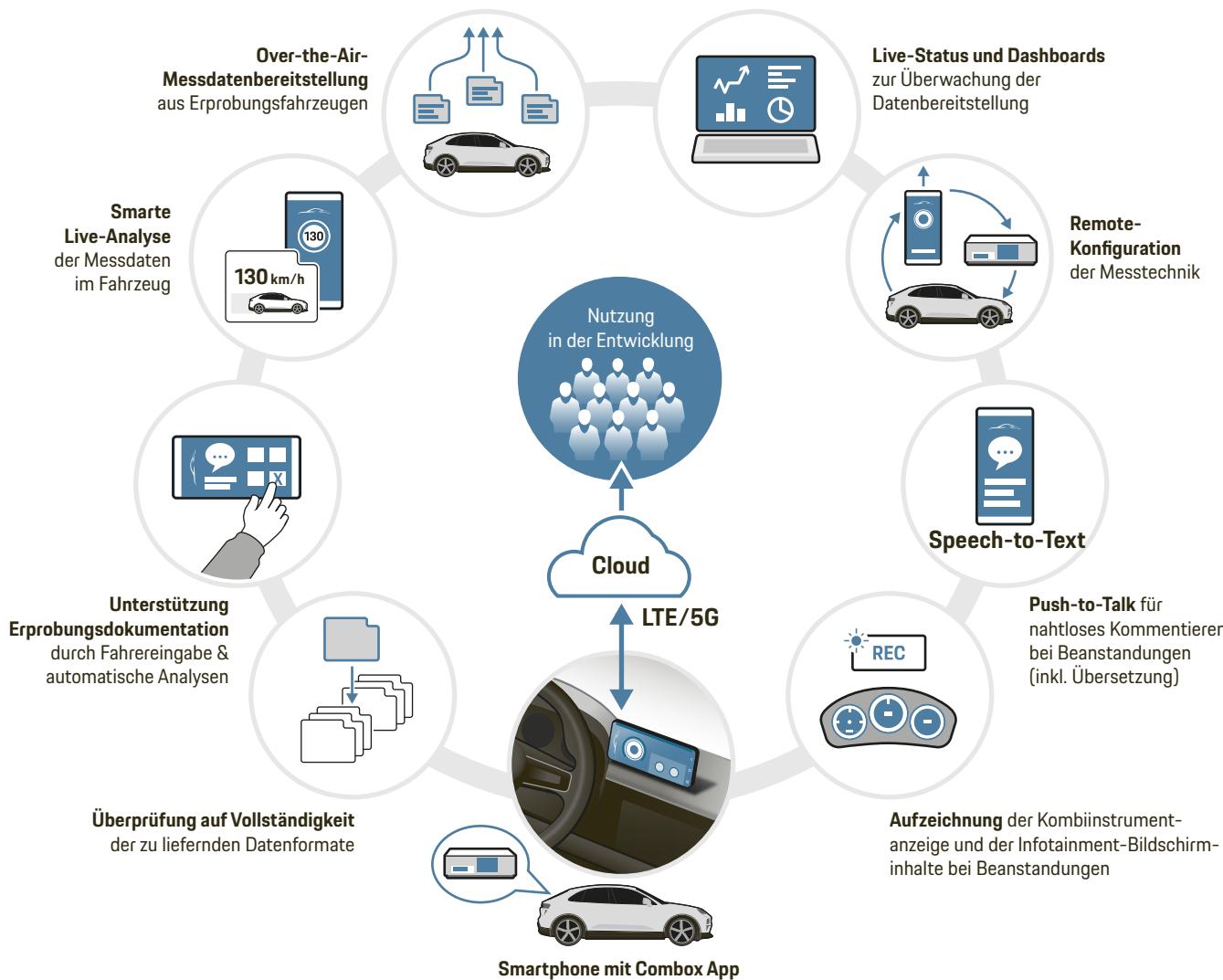


### Verkehrszeichen falsch erkannt:

Stimmen die Ergebnisse nicht überein, wechselt die Farbe zu Rot. Zudem werden die Messdaten in die Cloud übertragen.

# ZWISCHEN MESSTECHNIK UND CLOUD

## DIE COMBOX-APP IST DER DIGITALE ASSISTENT FÜR VERSUCHSFAHRTEN



Über einen **Datenlogger** hat die ComBox-App Zugriff auf die Fahrzeugbusse. Ihre **sechs Modi** nutzen diese Daten, um beispielsweise **Auffälligkeiten zu erkennen**. Diese werden gemeinsam mit den zugehörigen Messwerten in

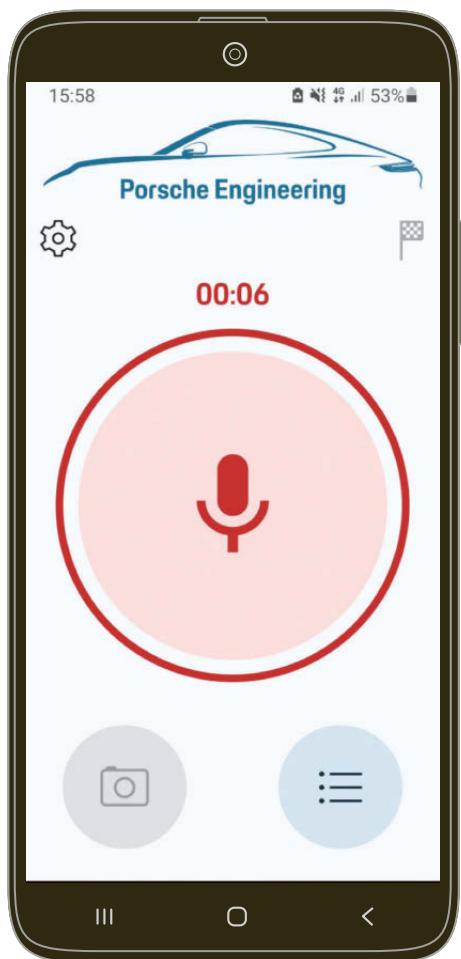
die **Cloud** übertragen und können zusätzlich per **Speech-to-Text** kommentiert werden. Umgekehrt lässt sich über die ComBox-App auch die **Konfiguration der Messtechnik** im Versuchsfahrzeug vornehmen.

ComBox-App nutzt zur Erfassung der Geräuschkulisse das hochwertige Mikrofon des Smartphones. Das ermöglicht eine zuverlässige Erfassung, die ebenso kostengünstig wie platzsparend ist – und das ohne zusätzliches Equipment. Wer möchte, kann dennoch Spezialmikrofontechnik anschließen“, erklärt Wörner. „Für die Analyse der Audioaufnahme direkt im Fahrzeug kommt Künstliche Intelligenz zum Einsatz: Wir nutzen ein neuronales Netz, das wir mit den Mustern von Störgeräuschen trainiert haben.“ Hat die ComBox-App

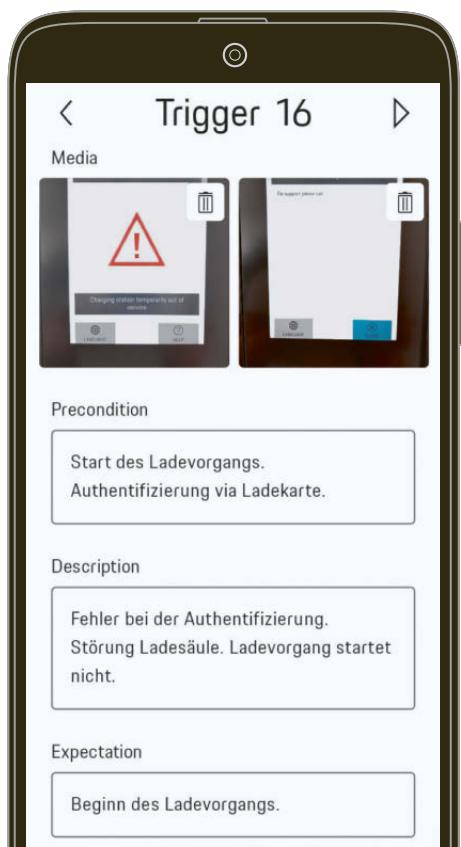
ein unerwünschtes Muster erkannt, erzeugt sie automatisch eine entsprechende Nachricht und lädt diese gemeinsam mit dem zugehörigen Audiofile in die Cloud. Ebenfalls übermittelt werden weitere Messdaten wie die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs, der eingelegte Gang und die Drehzahl des Motors. Durch diese weitgehende Automatisierung sinkt der Aufwand erheblich.

Beispielsweise kann der Modus „Akustische Beanstandung“ das sogenannte „Heulen“ von Turboladern

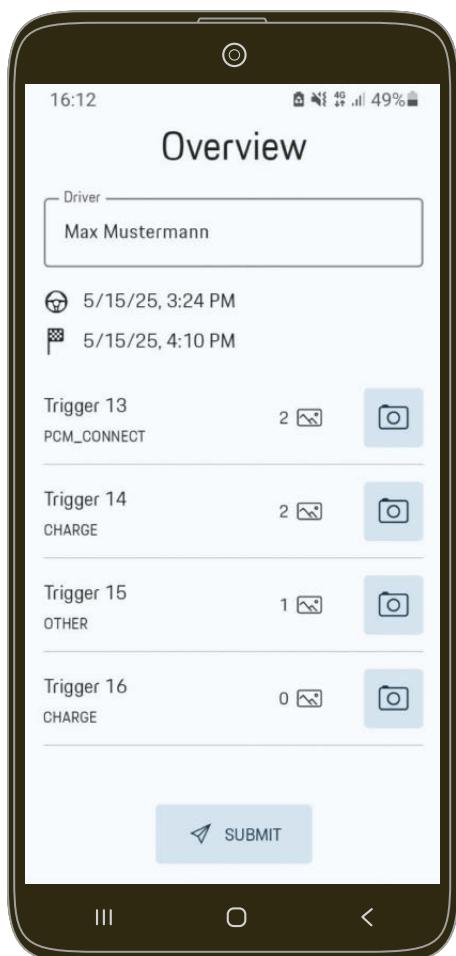
**Automatische Erprobungsberichte:**  
Während und nach der Versuchsfahrt unterstützt die ComBox-App beim Erstellen der Berichte. Ein Druck auf den Mikrofon-Button reicht, um Anmerkungen per Speech-to-Text einzugeben. Es ist ebenfalls möglich, Fotos oder Videos aufzunehmen sowie eine Liste aller Beanstandungen anzeigen zu lassen.



**Bericht ausfüllen:**  
Ein Druck auf den Zielfahne-Button führt zu einer Liste aller Beanstandungen, die man mit Kommentaren und Fotos ergänzen kann.



sowie bestimmte störende Windgeräusche automatisch erkennen. Die Liste automatisch identifizierbarer Störgeräusche wird in Zukunft um weitere Geräuschkategorien erweitert werden. Zudem hat das neuronale Netz als Referenz auch gelernt, wie der normale Fahrbetrieb klingt. Durch den Einsatz der ComBox-App lässt sich der Aufwand bei der Erkennung und Analyse akustischer Probleme erheblich verringern. „Früher hatte man oft kein passendes Messequipment im Fahrzeug, wenn solche Auffälligkeiten aufgetreten sind“, berichtet Wörner. „Wir mussten darum zuerst ein Fahrzeug mit der Messtechnik ausstatten und dann den Fehler gezielt neu einfahren. Das war sehr aufwendig und mit hohen Kosten verbunden.“



**Auswertung abgeschlossen:**  
Am Ende zeigt die ComBox-App die Liste aller erfassten Beanstandungen an und ermöglicht es, den Bericht mit dem „Submit“-Button abzuschicken.

Auch Auffälligkeiten im Infotainment lassen sich mit der ComBox-App protokollieren. Dafür kommt der Modus „Infotainment-Aufzeichnung“ zum Einsatz, der während der Fahrt den Inhalt der Bildschirme (Fahrer-, Zentral- und Beifahrer-Display) aufzeichnet. Bemerkt die Versuchsfahrerin oder der Versuchsfahrer ein Problem, reicht der Druck auf einen Button der App, um automatisch ein kurzes Video in die Cloud zu laden. „Es enthält auch die Bildschirminhalte einige Sekunden vor dem Auslösen“, so Wörner. „Auffälligkeiten wie ein verschobener Text, ein falsch platziertes Icon im Navigationssystem oder eine fehlerhafte Einblendung dauern meist nur wenige Sekunden, weswegen wir sie früher oft nicht rechtzeitig erfassen konnten. Der Modus „Infotainment-Aufzeichnung“ verschafft uns deutlich mehr Luft, solche Probleme zu erkennen und zu markieren.“

## AUTOMATISCHE SZENENERKENNUNG

Noch in der Entwicklung ist der Modus „Szenenerkennung“. Er soll automatisch typische Verkehrsszenarien erkennen, die beispielsweise für den Test einer neuen ADAS-Funktion relevant sind – etwa das Einscheren eines vorausfahrenden Fahrzeugs, worauf zum Beispiel die ACC-Funktion gegebenenfalls mit einer Verzögerung des Fahrzeugs reagieren muss. Beschrieben werden solche Szenarien durch die dabei auftretenden Signale im Fahrzeug und deren Reihenfolge. Dazu gehören unter anderem die aktuelle Geschwindigkeit, der Bremsdruck und der Abstand zum vorausfahrenden Verkehrsteilnehmenden. Durch das Edge-Computing direkt in der App können so intelligent auch komplexe Szenarien und Testzyklen automatisiert erkannt werden, ohne dass die Fahrerin oder der Fahrer aktiv werden muss.

„Das spezifische Szenenmuster, das den Ablauf und die Kombination von Signalen enthält, können wir aus der Cloud heraus an alle Fahrzeuge senden, die mit der ComBox-App ausgestattet sind“, sagt Wörner. „Sobald irgendwo das gesuchte Muster auftaucht, schickt die ComBox-App die aktuellen Messdaten in die Cloud. Dadurch können die Entwicklerinnen und Entwickler sehen, ob die neue Fahrzeugfunktion wie gewünscht reagiert hat.“ Der große Vorteil: Für die Suche nach den interessanten Mustern können in Zukunft alle Fahrzeuge einer Testflotte genutzt werden, falls in ihnen die ComBox-App läuft – und nicht nur diejenigen, die beispielsweise speziell für den Test einer neuen ADAS-Funktion unterwegs sind. „Das spart viel Zeit“, so Wörner. „Denn wir müssen bestimmte dedizierte Versuchsfahrten überhaupt nicht mehr separat durchführen. Sie werden von anderen Fahrzeugen sozusagen nebenbei erledigt.“

Eine große Arbeitserleichterung bei der Dokumentation von Versuchsfahrten und Messergebnissen ist



**„Die ComBox-App dient als zuverlässiger Assistent in der Erprobung und fungiert zugleich als zentrale Datenschnittstelle.“**

**Jan Wörner**

Projektleiter im Bereich Data Driven Testing & Fahrzeugfunktionen bei Porsche Engineering

der Modus „Automatisierte Schicht- und Erprobungsberichte“. Zur Qualitätssicherung finden mit neuen Fahrzeugen umfangreiche Dauerläufe statt, bei denen unter anderem viele Wiederholungen auf dem Programm stehen – zum Beispiel das mehrfache Öffnen des Kofferraums und des Schiebedachs oder das wiederholte Laden der Batterie. Der Modus nutzt Messsignale des Fahrzeugs, um die Berichte teilweise automatisch auszufüllen – etwa die Zahl der durchgeföhrten Wiederholungen. Die Berichte müssen nach der Fahrt nur noch überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Zudem können die Fahrerin oder der Fahrer alle auftretenden Fehler während der Fahrt direkt in der ComBox-App erfassen und bei Bedarf auch mit Fotos ergänzen. „Nach jeder Fahrt füllen die Fahrerin oder der Fahrer einen Bericht aus und geben darin an, wie oft sie beziehungsweise er welche Aktion durchgeführt hat“, erläutert Wörner. „Das manuelle Ausfüllen der Berichte bedeutet einen hohen Aufwand, außerdem kann es, wie bei jeder manuellen Tätigkeit, zu Arbeitsfehlern kommen. Hier leistet die App effektiv Abhilfe und wir steigern die Qualität der Berichte.“

Die sechs Modi der ComBox-App haben sich bereits in der Praxis bewährt und werden ständig weiterentwickelt. „Die ComBox-App dient damit als zuverlässiger Assistent in der Erprobung und fungiert zugleich als zentrale Datenschnittstelle“, fasst Wörner zusammen. „Ein weiterer Vorteil ist ihre nahtlose und flächendeckende Einsatzmöglichkeit für generell alle Fahrzeugderivate.“ In Zukunft plant Porsche Engineering, dieses Tool inklusive des Backends in der Cloud seinen Industriekunden als eigenständiges Produkt anzubieten, wobei sich die einzelnen Modi je nach individuellem Bedarf einzeln buchen lassen. ●



**Kombinatorische Explosion:**

Die Tiefe und Breite möglicher Betriebsszenarien automatisierter Fahrfunktionen ist die größte Herausforderung im Bereich SOTIF.

# Komplexität beherrschen

Funktionale Sicherheit und die Sicherheit der beabsichtigten Funktion sind wesentliche Säulen der sicheren Entwicklung moderner Fahrzeugsysteme. Durch immer komplexere Assistenzsysteme und das autonome Fahren gewinnen sie zunehmend an Bedeutung. Mit jahrelanger Erfahrung unterstützen die Expertinnen und Experten von Porsche Engineering Kunden bei der Entwicklung von modernen, sicherheitskonformen Systemen von der ersten Konzeption bis zur Freigabe.

Text: Ralf Bielefeldt

**D**as Verhältnis von Funktionaler Sicherheit (Functional Safety, FuSa) zur Sicherheit der beabsichtigten Funktion (Safety of the Intended Functionality, SOTIF) lässt sich wie die zwei Seiten einer Goldmedaille verstehen: Beides zusammen ergibt das wertvolle Ganze. Beide Seiten spielen bei modernen Fahrerassistenzsystemen, kurz ADAS (Advanced Driver Assistance System), sowie dem autonomen Fahren, kurz AD (Autonomous Driving), eine entscheidende Rolle.

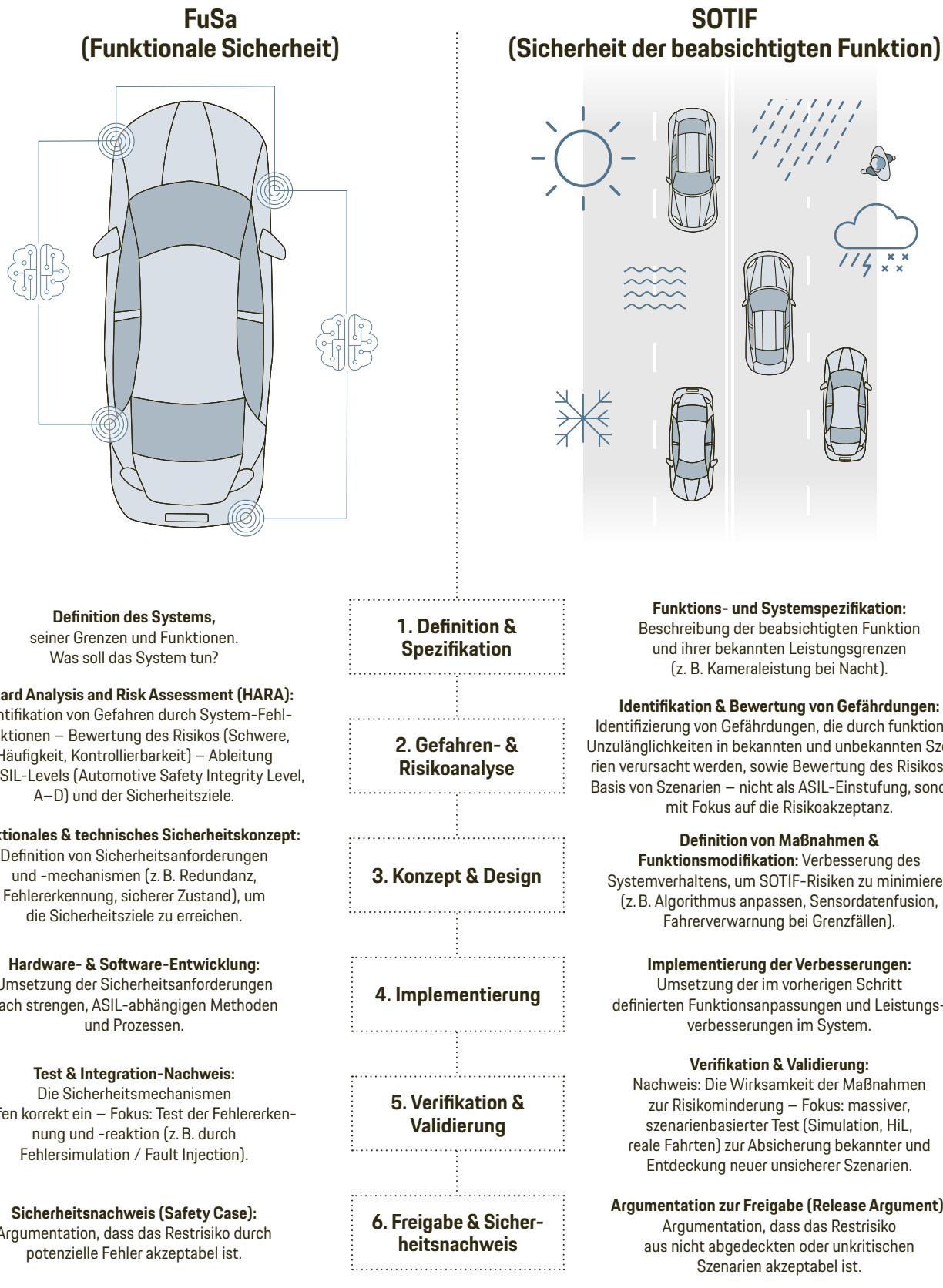
FuSa stellt dabei die klassische Frage: Was passiert, wenn eine Software- oder Hardware-Komponente ausfällt? Das Konzept der Funktionalen Sicherheit sorgt dafür, dass das System durch interne Fehler, wie beispielsweise einen Sensorausfall oder einen Software-Fehler, kein unvertretbares Risiko verursacht. Dahinter steht ein strukturierter Analyseprozess, bei dem alle relevanten Software- und Hardware-Fehler

auf Auswirkungen untersucht und bewertet werden. Als sicherheitskritisch bewertete Auswirkungen werden durch technische sowie prozessuale Maßnahmen gemindert. Hierbei werden die Methoden der Funktionalen Sicherheit durchgängig, das heißt sowohl in der Konzeptionsphase der Systemarchitektur als auch im Serienentwicklungsprozess angewendet.

SOTIF, die Sicherheit der beabsichtigten Funktion, stellt eine weitere, ebenso wichtige Frage: Was passiert, wenn das System zwar fehlerfrei funktioniert, aber eine reale Betriebssituation nicht beherrscht? Hier geht es um die Akzeptierbarkeit von Risiken, die durch die Grenzen der Funktion selbst entstehen, zum Beispiel wenn eine Fahrzeugkamera von der Sonne geblendet wird oder ein Algorithmus einen Radfahrer in einer komplexen Fahrszene nicht erkennt. SOTIF ist ein explorativer Entdeckungsprozess, bei dem Iterationen

# INTEGRIERTER SICHERHEITSPROZESS

## V-MODELL



das zentrale Werkzeug zur schrittweisen Verbesserung der Funktionsauslegung und Wissensgenerierung sind.

Zum Erreichen der Gesamtsicherheit des Systems sind FuSa und SOTIF systemisch miteinander verbunden und ergänzen sich. „FuSa stellt sicher, dass Hardware und Software zuverlässig arbeiten. SOTIF sorgt dafür, dass die Fähigkeiten dieser zuverlässigen Komponenten ausreichend spezifiziert und abgesichert sind, um in der realen Welt sicher zu agieren“, erklärt Marek Hudec, Leiter Fachdisziplin Systemsicherheit bei Porsche Engineering. „Denn: Ein System kann funktional sicher sein, aber aufgrund von Leistungsbeschränkungen dennoch nicht sicher genug im Sinne der SOTIF.“

## ITERATIVER ANSATZ BEI SOTIF

Trotz der Ähnlichkeit gibt es Unterschiede in den Prozessschritten zwischen FuSa und SOTIF, denn zum Erreichen von SOTIF wird in der Regel ein iterativer Ansatz bevorzugt mit explorativen Analyse- und Testmethoden (siehe Kasten Seite 38). „Das bedeutet: Die Entwicklerinnen und Entwickler spezifizieren, testen und überarbeiten die Auslegung des Systems so lange, bis ein vertretbares Restrisiko erreicht ist“, berichtet Dennis Müller, Entwicklungingenieur bei Porsche Engineering.

Um beispielsweise die komplexe Entwicklung und Absicherung von Fahrassistentensystemen und autonomen Fahrfunktionen zu bewältigen, bietet Porsche Engineering seinen Kunden ein umfassendes Lösungs-Portfolio, das beide Sicherheitsmethoden SOTIF und FuSa beinhaltet. „Wir unterstützen unsere Kunden unter anderem bei der Anwendung der relevanten Normen wie ISO 26262 (FuSa) und ISO 21448 (SOTIF). Dies umfasst die Implementierung in bestehende Entwicklungsprozesse, die Durchführung von Gefahren- und Risikoanalysen, die Erstellung von Sicherheitskonzepten und die Begleitung des gesamten Safety-Lifecycles“, erklärt Müller. „Bei Porsche Engineering gewährleisten wir die sicherheitskonforme Entwicklung nach FuSa und SOTIF durch klar definerte, integrierte Prozesse mit festgeschriebenen Verantwortlichkeiten. Das garantiert Normenkonformität und lückenlose Nachverfolgbarkeit.“

Porsche Engineering verfügt über langjährige Expertise entlang der gesamten Entwicklungskette: Von der Anforderungserstellung über die Simulation bis hin zur realen Fahrzeugerprobung werden modernste Simulations- und Testmethoden genutzt, unter anderem für die Entwicklung von Warnfunktionen, Parksystemen und (teil)autonomen Fahrfunktionen. Hierbei setzen die Experten-Teams unter anderem auf die modulare Softwarekomponente „Guardian“. Sie wurde entwickelt, um den Übergang von fortschrittlichen Level-2-Systemen zum hochautomatisierten Fahren gemäß Level 3 zu erleichtern. Sie bietet eine robuste, sichere und standardkonforme Lösung für die Implementierung von Sicherheitskomponenten für



**„Ein System kann funktional sicher sein, aber aufgrund von Leistungsbeschränkungen dennoch nicht sicher genug im Sinne der SOTIF.“**

Marek Hudec

Leiter Fachdisziplin Systemsicherheit bei Porsche Engineering

autonome Fahrsysteme. Durch die Analyse von realen Fahrdaten werden potenziell kritische Situationen und Grenzfälle, sogenannte „Corner Cases“ und „Edge Cases“, explorativ identifiziert und für die datengetriebene Szenarien-Generierung verwendet.

Mit steigender Verantwortlichkeit des Systems werden auch die Herausforderungen an das System immer größer. In puncto Funktionale Sicherheit bestehen sie vorrangig darin, dass sich Degradations- und Warnkonzepte nicht mehr allein auf die Fahrerin oder den Fahrer verlassen können, der beim assistierten Fahren (Level 1) und beim teilautomatisierten Fahren (Level 2) alleine die Verantwortung für alle Fahrzeugmanöver trägt. Dies ändert sich ab Level 3: Hier müssen die Systeme selbstständig mit Fehlern umgehen können, da die permanente Aufmerksamkeitspflicht der Fahrerin oder des Fahrers ab diesem Level entfällt. Nur wenn die Systeme an ihre Grenzen stoßen, muss nach einer angemessenen Vorwarnzeit eingegriffen werden können. Grundsätzlich muss also die sichere Betriebsfähigkeit beim Auftreten von Fehlerzuständen weiterhin gewährleistet werden, zumindest für eine gewisse Zeit – infolgedessen ist der Sprung von Level 2 zu Level 3 anspruchsvoll. Die Anzahl der Redundanzen in der Fahrzeugelektronik nimmt stark zu – und damit steigen auch der Entwicklungsaufwand und die -kosten.

Bezogen auf SOTIF besteht die Herausforderung in der Tiefe und Breite der Menge aller möglichen Betriebsszenarien, die die Funktion beherrschen soll. „Dazu zählen unter anderem die sich kontinuierlich ändernde Fahrzeugumgebung, das Verhalten der Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer sowie

unvorhersehbare Ereignisse, sogenannte Unknown Unsafe Scenarios", sagt Hudec. Um diese Komplexität zu beherrschen, werden Systeme zunächst für einen definierten Betriebsbereich (Operational Design Domain, ODD) ausgelegt. Somit werden die Absicherungsszenarien auf einen systematisch abgeleiteten Raum eingegrenzt, der durch ein Szenarienportfolio in diskrete Einzelszenarien aufgeteilt wird. Das System muss sicherstellen, dass die Annäherung an die Grenze dieses Bereichs frühzeitig erkannt wird, damit die Übergabe an die Fahrerin bzw. den Fahrer oder das sichere Anhalten des Fahrzeugs noch innerhalb des abgesicherten Auslegungsraums möglich ist. „Für die Fahrerassistenzentwicklung ist dieser Ansatz enorm wichtig: Je mehr Verantwortung ein System für das eigentliche Fahren übernimmt, desto kritischer wird die Betrachtung der Sicherheitsaspekte von FuSa und SOTIF“, erklärt Müller.

### MEHR SICHERHEIT DURCH REDUNDANZ

Ein konkretes Beispiel aus der Praxis, um die unterschiedlichen, aber komplementären Ansätze von FuSa und SOTIF zu verdeutlichen, ist eine SAE-Level-3-Situation für automatisiertes Fahren auf der Autobahn, bei dem die Fahrerin oder der Fahrer die Verantwortung vollständig abgibt. Geht es um die Beherrschung

von Hardware- oder Software-Ausfällen, ist die FuSa gefragt: Angenommen, der Radarsensor, der den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug misst, hat einen Hardware-Defekt und liefert keine Daten mehr. Dieser exemplarische Fehlerfall könnte dazu führen, dass sich die Funktion auf veraltete oder invalide Sensordaten verlässt und unter Umständen ein Auffahrungsfall droht. Die Expertinnen und Experten bei Porsche Engineering identifizieren daher solche Fehler durch deduktive und induktive Sicherheitsanalysen, die durch Sicherheitsmechanismen belegt werden müssen. In diesem konkreten Fall wäre beispielsweise eine Redundanz zielführend, damit dieser lokale Einzelfehler nicht zur „globalen Nichtverfügbarkeit“ der Sensordaten führt, zumindest bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Fahrerin oder der Fahrer wieder selbst die Fahrverantwortung übernimmt.

Geht es um die Beherrschung von Leistungsgrenzen beim automatisierten Fahren auf der Autobahn, greift SOTIF. Zum Beispiel muss die Fahrzeugerkennung so ausgelegt sein, dass alle anderen Fahrzeuge, die sich rund um das eigene Fahrzeug befinden oder sich ihm annähern, erkannt werden, also auch alle Motorräder. Aufgrund der generellen, technisch bedingten Leistungsgrenzen der benutzten Sensoren könnte es jedoch in der Praxis vorkommen, dass das Fahrzeug bestimmte schmale Silhouetten und Annährungstrajektorien unter ungünstigen Licht- oder Wetterbedingungen nicht korrekt erkennt. Obwohl die Hardware und die Software fehlerfrei arbeiten, könnte dies dazu führen, dass die Funktion einen Spurwechsel einleiten möchte, der ein Kollisionsrisiko mit einem überholenden Motorrad zur Folge haben könnte. In diesem Fall sehen die SOTIF-Prozesse vor, dass die Auslegung über alle Betriebsszenarien analysiert und validiert wird und die erkannten Schwächen mit der nächsten Auslegungsschleife (Update der Spezifikation und somit auch Umsetzung) behoben werden. Dabei könnten beispielsweise zusätzliche Kameras und Lidar-Sensoren im Hinterwagen eingebaut oder die Algorithmen der Sensorfusion optimiert werden.

„Die größte Herausforderung liegt nicht mehr nur im System selbst, sondern in der fast unendlichen Komplexität der Realität. Man kann nicht jede denkbare Situation vorab testen, muss aber eine ausreichende Abdeckung des Betriebsbereichs erreichen. Entsprechend aufwendig ist der Entwicklungsprozess. SOTIF stellt das Leitwerk, um die Grenzen des Systems zu verstehen und sicher zu gestalten, auch wenn alle Systemkomponenten perfekt funktionieren“, erläutert Müller.

Den qualitativen und quantitativen Nachweis zu führen, dass ein System sicher ist, erfordert große



**„Je mehr Verantwortung ein System für das eigentliche Fahren übernimmt, desto kritischer wird die Betrachtung der Sicherheitsaspekte von FuSa und SOTIF.“**

Dennis Müller  
Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering



## SOTIF: Beherrschung von Leistungsgrenzen

In seltenen **Grenzfällen** kann es dazu kommen, dass selbst eine korrekt implementierte Fahrfunktion fehlerhaft arbeitet. In diesem Beispiel nähert sich eine Motorradfahrerin oder ein Motorradfahrer dem Fahrzeug von hinten. In den meisten Fällen würden sie oder er korrekt erkannt und ein **Spurwechsel**

**verhindert**, bei tief stehender Sonne wie in diesem Bild ist dies allerdings schwieriger. Die SOTIF-Prozesse sehen vor, dass eine Schwäche wie diese **mit der nächsten Auslegungsschleife behoben wird** – etwa durch zusätzliche Sensoren im Hinterwagen oder eine Optimierung von Algorithmen.

Mengen von Testdaten, die zu einem erheblichen Teil mittels Simulation erbracht werden. Die größte Herausforderung ist der Umgang mit „Unknown Unsafe Scenarios“ – also gefährlichen Situationen, die bei der Entwicklung aufgrund unzureichender Spezifikation nicht berücksichtigt wurden oder durch geänderte Bedingungen im Betriebsbereich auftreten könnten. Diese zu entdecken und zu minimieren, ist das Kernziel von SOTIF und eine große Herausforderung in der Entwicklung der Systeme.

„Wir bei Porsche Engineering bieten unseren Kunden nicht nur einzelne Testdienstleistungen, sondern eine enge und langfristige Zusammenarbeit, um die enormen Anforderungen an die ADAS/AD-Entwicklung zu meistern und sichere, robuste und zuverlässige Funktionen auf die Straße zu bringen“, verspricht Hudec. Methoden wie die KI-basierte Erkennung von Corner Cases oder speziell trainierte KI-Modelle werden die Entwicklerinnen und Entwickler zukünftig zunehmend dabei unterstützen.

Schon heute steht fest: Die Absicherung von Systemen mit KI-Komponenten wird zukünftig noch komplexere Nachweisverfahren erfordern. Einen diesbezüglichen Rahmen soll unter anderem der neue internationale Normentwurf ISO/PAS 8800 definieren, der sich mit der Absicherung Künstlicher Intelligenz, die Teil vom Endprodukt ist, beschäftigt. Ebenfalls neu ist der internationale Normentwurf ISO/TS 5083, der speziell auf das Thema Absicherung autonomer Fahrfunktionen des Fahrzeugs fokussiert und dabei das Zusammenspiel relevanter Komponenten intern und extern (neu) berücksichtigt (sogenannte Holistic Safety). Die sicherheitsgerichtete V2X-Kommunikation von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur bringt nicht nur neue Sicherheitserhöhende Möglichkeiten mit sich, sondern auch neue potenzielle Fehlerquellen und Abhängigkeiten. Auch diese müssen mit der gleichen Konsequenz abgesichert werden – ein anspruchsvoller Prozess, dem sich die Expertinnen und Experten bei Porsche Engineering täglich widmen. ●

## ZUSAMMENGEFASST

Die Anforderungen an die Funktionale Sicherheit von Fahrzeugen steigen aufgrund der Verbreitung von Assistenzsystemen deutlich an. Die Performance des korrekt implementierten Systems in Grenzfällen steht bei SOTIF im Mittelpunkt. Porsche Engineering nutzt unter anderem datengetriebene und KI-basierte Methoden, um die Komplexität zu beherrschen und somit zuverlässige Systeme auf die Straße zu bringen.

## NOCH FRAGEN?

Manche Fragen muss man sich einfach stellen. Hier gibt es die Antworten darauf – immer mit einem Augenzwinkern. Dieses Mal:

# Wie bildet man eigentlich den Mond nach?

## 1972

war das letzte Mal ein Mensch auf dem Mond. Bald soll es wieder so weit sein. Damit die Astronautinnen und Astronauten und auch Mondroboter dafür optimal vorbereitet sind, haben das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und die Europäische Weltraumorganisation (ESA) gemeinsam die Forschungsanlage LUNA errichtet. Eine Art Mini-Erdtrabant als „naturgetreues“ Trainingsgelände.

Kernstück des Vorzeigeprojekts in Köln ist eine 700 Quadratmeter große, simulierte Mondoberfläche, die es so noch nicht einmal bei der NASA gibt. Sand, Steine und Felsen sind der Mondgeologie nachempfunden, ein Lichtsimulator erzeugt Sonnenverhältnisse wie auf dem rund 400.000 Kilometer entfernten Erdsatelliten. Sonnenstand und Lichtverhältnisse ändern sich im Laufe der Trainingseinheiten somit nur minimal – ein Tag auf dem Mond dauert etwa vier Wochen. Auch die fehlende Atmosphäre ist berücksichtigt: Da das Sonnenlicht nicht gestreut wird und in einem sehr flachen Winkel auf den Begleiter der Erde trifft, wirft es lange Schatten – und die sind extrem dunkel. Verlegt eine Astronautin oder ein Astronaut dort beispielsweise ein Werkzeug, ist es kaum wiederzufinden. Das Arbeiten und die Bewegungsabläufe in diesen Bereichen müssen also gezielt geübt werden.

Die angehenden Mondkunderinnen und -erkunder betreten die rheinische Mondoberfläche in Astronautanzügen, die auch mit einem ausgeklügelten Seilsystem an der Decke befestigt werden können. Auf diese Weise soll die reduzierte Schwerkraft auf dem Mond realitätsgetreu nachgeahmt werden: Sie beträgt nur ein Sechstel der Gravitation auf der Erde. Noch allerdings handelt es sich bei der Seilapparatur um einen Prototyp, 2026 soll das Seriensystem installiert werden. Doch die vielleicht größte Herausforderung für Mondreisende ist der Sand auf der Oberfläche: Sehr fein und ähnlich klebrig wie Mehl, ist er sehr abrasiv und geradezu zerstörerisch. Denn er kann sich in nahezu jeder Ritze absätzen und die technischen Instrumente beschädigen.

Sand und Gestein für die Trainingsanlage haben die Entwickler aus aller Welt zusammengetragen, um die Eigenschaften des Mondes möglichst genau nachbilden zu können. Der Sand der hellen Mondzonen stammt aus



Norwegen und Grönland, der dunkle, vulkanische Sand kommt aus der Region, die vulkanischen Steine vom Ätna auf Sizilien. Das Gestein, das die Einschlagskrater darstellt, hat den kürzesten Weg zurückgelegt: Es stammt aus dem Nördlinger Ries, dem Stufenland zwischen Schwäbischer und Fränkischer Alb. Vor rund 14,6 Millionen Jahren schlug dort ein Meteorit ein.

Auch für Mondrover, fahrbare Roboter, ist LUNA ein ideales Terrain. In der simulierten Mondlandschaft können Prototypen unter anderem lernen, anhand von

Text: Ralf Bielefeldt  
Illustration: Julien Pacaud

NOCH FRAGEN?



Kamerabildern zu entscheiden, welchen Weg sie einschlagen und wie sie sich dabei bewegen sollen. Schwarze (Schatten-)Löcher gilt es dabei tunlichst zu meiden.

Um die Astronautinnen und Astronauten möglichst realitätsgetreu auf die anstehende Mondlandung vorzubereiten, kann zusätzlich ein Forschungsmodul an die Trainingsanlage angeschlossen werden. So werden mehrere Wochen Mondeinsatz simuliert, ohne dass die künftigen Mondforscherinnen und -forscher die Kölner Sonne erblicken.

**Rheinische Mondoberfläche:** Von der Kaffeemaschine im Büro der ESA direkt auf den Mond – in der Trainingsanlage LUNA simulieren Astronautinnen und Astronauten das Leben auf dem Mond.

# PERFORMANCE UND EXPERTISE

FRAUSCHER X  
PORSCHE



# WASSERKRAFT AUS STROM

Vom SUV ins E-Boot: Porsche Engineering, die Porsche AG, das Studio F. A. Porsche und der Bootshersteller Frauscher haben gemeinsam die „850 Fantom Air“ entwickelt – ein Sportboot, dessen Elektroantrieb auf Serienkomponenten des Porsche Macan Turbo basiert.

Das Projekt zeigt, wie Porsche Engineering die Automotive-Kompetenz in andere Bereiche überträgt, um auch dort innovative Antriebssysteme zu etablieren.

Text: Richard Backhaus



**Kraftvoll und leise:** Der E-Antrieb der 850 Fantom Air bringt das Boot in wenigen Sekunden auf Höchstgeschwindigkeit (links) – dank Komponenten aus dem E-Fahrzeug-Bereich. Auch der Fahrhebel macht Anleihen bei Porsche-Sportwagen: Er bietet die vertrauten Fahrmodi-Tasten „Sport“ und „Sport +“ (rechts unten).



#### 850 Fantom Air

Batteriekapazität (brutto): 100 kWh  
Ladeleistung DC: > 250 kW  
Ladeleistung AC: 11 kW  
Ladedauer: Unter Idealbedingungen in deutlich unter 30 Minuten von 10 bis 80 Prozent SoC (State of Charge/Batterieladung)  
CE-Kategorie: C  
Dauer-/Spitzenleistung E-Motor: 170/400 kW  
Reichweite bei Cruising Speed: 45 km

#### Macan Turbo

Stromverbrauch kombiniert:  
20,7–18,9 kWh/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert: 0 g/km  
CO<sub>2</sub>-Klasse: A





**Leise über den Gardasee:**  
Jörg Kerner, Leiter Baureihe Macan bei der Porsche AG (ganz rechts), war am meisten von der angenehmen Geräuschkulisse des Bootes überrascht. Aber auch die Ledersessel in Porsche-Qualität (Bild unten) haben überzeugt.



**„Nur durch die enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den einzelnen Fachabteilungen der Porsche AG ist es uns gelungen, in einer Zeit von nur zwei Jahren eine serienreife Entwicklung umzusetzen.“**

**Thomas Warbeck,**  
Fachprojektleiter  
bei Porsche Engineering

**M**ichael Frauscher legt den „Hebel auf den Tisch“. So heißt es unter Motorbootfahrern, wenn man Vollgas gibt. Der Bug hebt sich aus dem Wasser, und das Boot schnellt innerhalb weniger Sekunden auf die Höchstgeschwindigkeit von mehr als 85 km/h. Der Antrieb ist dabei nicht nur kraftvoll, sondern auch kaum hörbar. Frauscher, Miteigentümer und Geschäftsführer der gleichnamigen Bootswerft aus Österreich, ist mit dem Ergebnis der Jungfernfahrt auf dem heimischen Traunsee mehr als zufrieden. Weniger als ein Jahr hat das Entwicklungsteam von Porsche Engineering, der Porsche AG und Frauscher benötigt, um gemeinsam die „850 Fantom Air“ vom Entwurf bis zum ersten Prototyp zu entwickeln. Federführend beim Projekt war die Porsche AG, Philip Ruckert wurde vom Vorstand der Porsche AG zum Projektleiter „eBoat“ ernannt. Gemeinsam mit Porsche Engineering wurde der technische Grundstein gelegt. Kurze Zeit später folgte dann die Entscheidung, das Projekt in die Baureihe Macan zu integrieren und zur Serienreife zu bringen. Porsche Engineering oblag die technische Umsetzung der Projektinhalte. „Nur durch die enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den einzelnen Fachabteilungen der Porsche AG ist es uns gelungen, in einer Zeit von nur zwei Jahren eine serienreife Entwicklung umzusetzen“, erklärt Thomas Warbeck, Fachprojektleiter bei Porsche Engineering.

Die Besonderheit der 850 Fantom Air liegt im Rumpf verborgen: Statt des üblichen Otto- oder Dieselmotors arbeitet hier ein leistungsstarker Elektroantrieb. Der Antrieb liefert – wie in einem Elektrofahrzeug – aus dem Stand heraus ein großes Drehmoment und macht das Boot zugleich extrem leise. Die wesentlichen Komponenten des 800-Volt-Antriebs – unter anderem Batterie und Antriebsmodul – stammen aus dem Hinterachsantrieb des Macan Turbo. Für den Marine-Bereich wurden die Pkw-Komponenten speziell angepasst, denn jede Branche hat individuelle Anforderungen, die über spezifische Lösungen abgedeckt werden müssen. „Im Automobilsektor haben wir ein tiefes Know-how bei technologisch führenden Entwicklungen aufgebaut. Auf dieser Basis analysieren wir die Anforderungen beim Fahrzeug und gleichen diese mit dem Lastenheft der neuen Zielanwendung ab. Daraus ergibt sich der Änderungsbedarf für die Systemintegration bei den Komponenten und der Software, den wir entwicklungsseitig umsetzen“, sagt Warbeck. Differenzen zwischen den Anwendungen auf der Straße und auf dem Wasser zeigen sich etwa bei den Fahrprofilen: Während beim Fahrzeug dynamische Lastanforderungen im Vordergrund stehen, sind es beim Boot eher hohe kontinuierliche Lasten. Daraus ergibt sich unter anderem, dass eine performante Kühlung vorgesehen werden muss. Realisiert wurde

dies bei der 850 Fantom Air durch eine optimierte Pumpenansteuerung. Auch müssen im Bootsbau beim Antrieb und bei der Batterie die begrenzten Platzverhältnisse im Bootsrumpf berücksichtigt werden. Hinzu kommen spezifische Vibrations- und Medienbeständigkeitssanforderungen, beispielsweise weil das System mit Salzwasser in Kontakt kommen kann. Bei der 850 Fantom Air wurde darüber hinaus die E/E-Architektur auf die notwendigsten Komponenten reduziert und um ein speziell entwickeltes Steuergerät ergänzt.

### „LOOK AND FEEL“ EINES PORSCHE

Im Entwicklungsprojekt war Porsche Engineering unter anderem für das Anforderungsmanagement, die Mechanik-, Bordnetz- und Steuergerätentwicklung sowie die Erprobung zuständig. Zudem bestand eine enge Zusammenarbeit mit dem Studio F. A. Porsche, der Porsche AG und Frauscher bei Komponentenauswahl und Design. „Unser Ziel war, ein Porsche-typisches „Look and Feel“ ins Boot zu bringen, damit sich

Porsche-Fahrer dort direkt zu Hause fühlen. So haben wir beispielsweise einen Fahrhebel mit den vertrauten Fahrmodi-Tasten „Sport“, „Sport +“, eine fahrzeugähnliche Displaygrafik und ein Bootslenkrad im Porsche-Look entwickelt“, berichtet Projektleiter Ruckert.

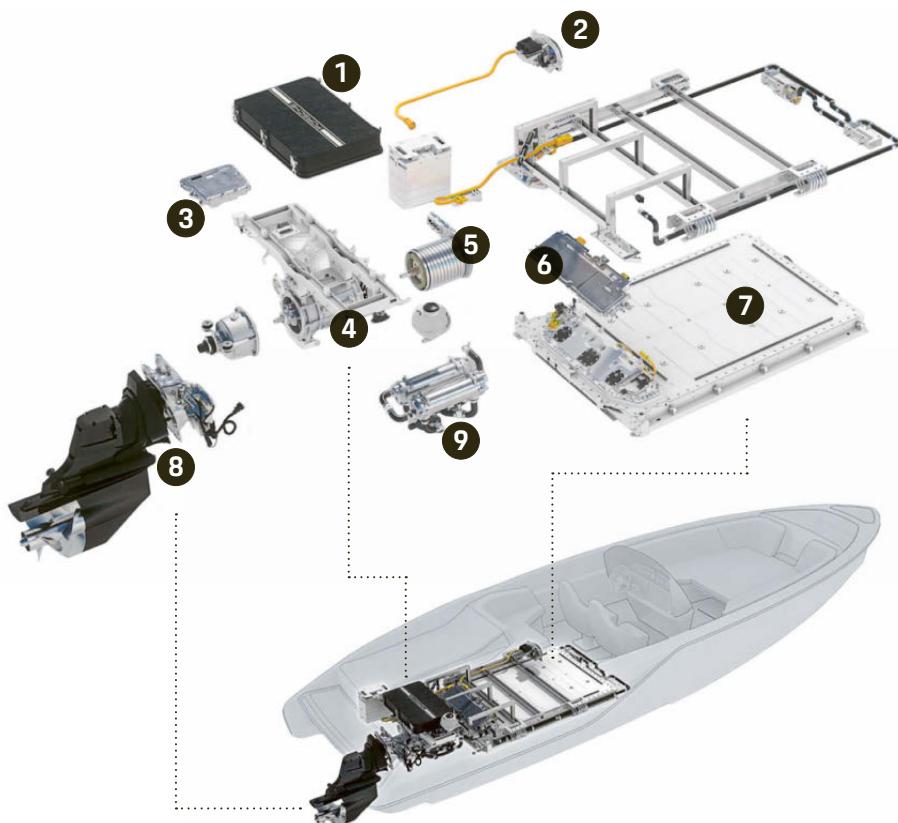
Der beim Macan Turbo an der Hinterachse verbaute permanenterregte Synchron-Elektromotor überzeugt durch hohen Wirkungsgrad und Leistungsdichte. In der 850 Fantom Air leistet er bis zu 400 kW. Unverändert wurden für das Bootprojekt die elektrischen Komponenten des Fahrzeugmotors wie Stator und Rotor übernommen. Das Gehäuse des Motors wurde jedoch neu entwickelt. Bei der Fahrzeuganwendung ist in das Motorgehäuse ein Getriebe integriert, um die hohen Motordrehzahlen zu reduzieren. Im Boot hingegen läuft der Motor mit einer deutlich geringeren Drehzahl von 6.000/min statt mehr als 16.000/min im Fahrzeug, daher konnte auf eine interne Untersetzung verzichtet werden. „Das neue Gehäuse haben wir hinsichtlich Materialauswahl und -paarungen speziell nach marinen Standards entwickelt und abgeprüft, zum Beispiel



**„Wir haben  
unseren  
Qualitätsanspruch  
kompromisslos  
von der Straße auf  
das Wasser  
übertragen.“**

Philipp Ruckert,  
Projektleiter „eBoat“  
für die Porsche AG

## HOHE SPANNUNG, HOHE LEISTUNG



Ausgerüstet mit der Antriebstechnologie des voll-elektrischen Porsche Macan, bietet das E-Sportboot herausragende Fahreigenschaften. **1** Die **Kontrolleinheit** enthält alle Steuergeräte des Antriebs. **2** Der **Schnelllad-Anschluss** garantiert kurze Ladezeiten. **3** Der **Wechselrichter** liefert dem Motor die aktuell benötigte elektrische Leistung. **4** Das **Motorgehäuse** wurde speziell nach marinen Standards entwickelt und abgeprüft. **5** Der **Synchron-Elektromotor** überzeugt durch hohen Wirkungsgrad und Leistungsdichte. **6** Die **integrierte Power Box** verwendet eine CCS2-Steckdose für das Laden mit Gleich- und Wechselspannung. **7** Die **Hochvolt-Batterie** wird über einen Tragrahmen direkt im Rumpf montiert. **8** Der **Z-Antrieb** überträgt die Kraft des E-Motors an den Propeller im Wasser. **9** Der **Wärmetauscher** verhindert zu hohe Temperaturen bei Batterie, Inverter und E-Motor.

**Partner:** Michael Frauscher (links im linken Bild) und Jörg Kerner begutachten Skizzen des E-Bootes. Die vom Macan übernommene Lithium-Ionen-Batterie befindet sich unter der Liegefläche im Heck (Bild rechts).



Bis zu  
**400 kW**

leistet der permanenterregte Synchron-Elektromotor des E-Bootes. Normalerweise ist er an der Hinterachse des Porsche Macan Turbo verbaut.

**100 kWh**

Kapazität weist die Lithium-Ionen-Batterie des E-Bootes auf. Ein Tragrahmen mit Drahtseildämpfung federt schädliche Anregungen ab.

durch angepasste Salzsprühnebel-, Korrosions- und Dichtheitstests“, erklärt Sebastian Riesbeck, Fachprojektingenieur bei Porsche Engineering. Das einzige Getriebe im Antriebsstrang ist der bootsübliche Z-Antrieb vor dem Propeller, der die Drehzahl auf rund 3.000/min reduziert. „Die erforderlichen Anpassungen umfassten die Ansteuerung für den marinischen Antrieb, sodass wir ein verbrennerähnliches Verhalten mit den Vorteilen eines elektrischen Antriebs, insbesondere Drehmomentcharakteristik, darstellen konnten“, so Riesbeck. Eine Herausforderung war die Verbindung zwischen Motor und Z-Antrieb. Bei den ersten Prototypen kam eine Rutschkupplung zum Einsatz, die allerdings den hohen Motordrehmomenten bis 700 Nm und hohen Drehmomentgradienten nicht standhalten konnte. Die aktuelle Konfiguration besteht aus einer robusten Klauenkupplung mit Elastomereinsatz. Darüber hinaus wurde der Drehmomentverlauf des Motors an die Belastungsgrenzen der Kupplung angepasst, sodass eine langlebige Lösung für den Serieneinsatz dargestellt werden konnte.

Der Elektroantrieb schöpft seine Energie aus einer Lithium-Ionen-Batterie mit einer Kapazität von 100 kWh. Die Wellenschläge auf dem Wasser versetzen das Boot in Schwingungen, die sich auf die Batterie

übertragen und diese schädigen können. „Um das Problem quantifizieren und geeignete technische Gegenmaßnahmen ableiten zu können, haben wir Referenzmessungen im Fahrzeug durchgeführt und mit den Werten im Boot verglichen“, sagt Warbeck. Im Boot kommt nun ein tragender Montagerahmen mit Drahtseildämpfung für die Batterie zum Einsatz, der schädliche Anregungen abfedert. „Durch die tiefe zentrale Positionierung des Antriebs und der Batterien im Rumpf haben wir eine einzigartige Fahr-eigenschaft erreicht. Hinzu kommt die angenehme Geräuschkulisse, die mich am meisten überrascht hat“, schwärmt Jörg Kerner, Leiter Baureihe Macan bei der Porsche AG.

## ANGEPASSTER LEITUNGSSATZ

Auch die elektrischen Leitungen mussten an die Bedingungen auf dem Wasser und an Marinestandards angepasst werden: Der Niedervolt-Leitungssatz ist nahezu komplett neu zusammengestellt, um die Vorgaben bezüglich Leitungsquerschnitten und Schutzummantelung zu erfüllen. Beim Hochvolt-Leitungssatz betreffen die Änderungen gegenüber dem Fahrzeug verlängerte Ladeleitungen mit einer



modifizierten Ladesteckdose. Darüber hinaus mussten alle Komponenten für den Einsatz im Marinebereich zertifiziert werden.

Ein Hemmnis der Integration von Elektroantrieben in Motorboote ist der oftmals hohe Aufwand, den die Integration der Einzelkomponenten in den Schiffsrumph verursacht. Das Entwicklungsteam hat daher ein Modulkonzept umgesetzt, das aus einer Antriebseinheit mit Kühlung, Steuergeräten und anderen Subsystemen sowie der Batterieeinheit mit dem Tragrahmen besteht. Beide Module können in der Werft über definierte Aufnahmepunkte direkt in den Rumpf montiert werden. „Mit dieser Modularisierung haben wir eine weltweit einzigartige Lösung entwickelt, die zu geringerem Entwicklungsaufwand für den Hersteller des Boots führt und den Einbau des Antriebs in der Werft erheblich vereinfacht“, so Riesbeck.

Beim Macan Turbo ist die Steuergeräearchitektur des Antriebs auf die Datenverbindungen und Kommunikationsprotokolle des Fahrzeugs ausgerichtet. Um die Fahrzeug- und die Bootswelt auf dem Schiff miteinander zu verbinden, hat Porsche Engineering ein spezielles Gateway-Steuergerät entwickelt. „Auch hier haben wir die speziellen marinen Vorgaben, etwa gemäß EN 55016-2-3 und EN 6094, berücksichtigt, zum Beispiel was die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), die Kompassabweichung oder Busstörungen durch Überspannung betrifft“, so Dietmar Luz, Fachreferent Elektrik/Elektronik bei Porsche Engineering. An das Gateway-Steuergerät sind unter anderem der Schubhebel und die marinespezifischen Anzeigen angeschlossen, vor allem aber bildet es die Schnittstelle zur Elektronik der einzelnen Antriebskomponenten.

Über eine sogenannte Rest-Bus-Simulation versorgt das Steuergerät die Komponenten beispielsweise mit Informationen und Signalen, die im Fahrzeug vom ESP-Bremssystem kommen, welches im Boot nicht benötigt wird. „Weil man auf dem Wasser nun einmal keine Radgeschwindigkeiten erfassen kann oder beispielsweise keine Parkbremse hat, ergaben sich viele

offene Schnittstellen. Um bei dem Beispiel zu bleiben: Der Macan lädt nur, wenn die Parkbremse geschlossen ist. Solche und andere fehlende Signale mussten wir erst generieren“, erklärt Kerner. „Bei der dazu erforderlichen Analyse der Signalfüsse im Fahrzeug und beim Aufbau einer geeigneten Restbussimulation konnten wir auf unsere umfassende Expertise bei der Entwicklung und Validierung anspruchsvoller Elektronikarchitekturen zurückgreifen. Auch war die Umsetzung nur durch unsere technischen Detailkenntnisse der Porsche-Komponenten und die Unterstützung der Bauteilverantwortlichen bei Porsche möglich“, berichtet Luz.

Bei der Umsetzung der Software des Gateway-Steuergeräts basierend auf AUTOSAR trat das Expertenteam von Porsche Engineering aus Deutschland, Rumänien und Tschechien Neuland, denn für die Verknüpfung des bootsseitigen Bussystems mit dem Antriebssystem aus dem Fahrzeug existierten keine Standards. Durch die enge Zusammenarbeit der Standorte konnte die anspruchsvolle Entwicklungsaufgabe trotz kleiner Mannschaft in kurzer Zeit umgesetzt und dabei die hohen Ansprüche an funktionale Sicherheit und Softwarequalität aus dem Automobilsektor auf den Motorbootbereich übertragen werden.

## PREISGEKRÖNTES PROJEKT

„Für eine Erfolgsstory braucht es faszinierende Produkte. Der Name Porsche steht seit jeher für Performance, Qualität und Design. Dieses Versprechen haben wir auch mit unserem eBoot-Projekt eingelöst“, fasst Kerner den Erfolg des Projekts zusammen. Und Ruckert ergänzt: „Wir haben das Boot auf Herz und Nieren erprobt und unseren Qualitätsanspruch kompromisslos von der Straße auf das Wasser übertragen. Das geht nur, wenn alle Beteiligten mit Leidenschaft bei der Sache sind.“ Das Serienboot der 850 Fantom Air wurde auf der Fachmesse „Boot Düsseldorf“ 2024 mit dem Preis „Powerboat of the Year 2024“ und auf der Boot & Fun in Berlin als „Best of Boats 2024“ in der Kategorie E-Boot ausgezeichnet. Der Bootshersteller Fauscher ist mit dem Ergebnis des gemeinsamen Projekts vollends zufrieden. „Aufgrund des hohen Kundeninteresses haben wir nun mit der Fertigung einer Kleinserie von 25 Booten begonnen“ sagt Florian Helmberger, Director Sales & Marketing bei Fauscher. „Die ersten Boote der limitierten Edition wurden bereits ausgeliefert und machen Kunden aus aller Welt glücklich.“ Der von Porsche Engineering entwickelte Antrieb lässt sich aber auch einfach in andere Boote verschiedener Größen und Klassen integrieren, bei größeren Booten mit mehr als zehn Metern Länge ist sogar ein Antrieb mit mehreren parallelen Antriebssträngen denkbar. „Unsere bewährte Entwicklungsmethodik beim Technologietransfer vom Fahrzeug in andere Branchen ist universell anwendbar und auf viele andere Bereiche wie den Baumaschinensektor übertragbar“, so Warbeck.



**„Die ersten Boote der limitierten Edition wurden bereits ausgeliefert und machen Kunden aus aller Welt glücklich.“**

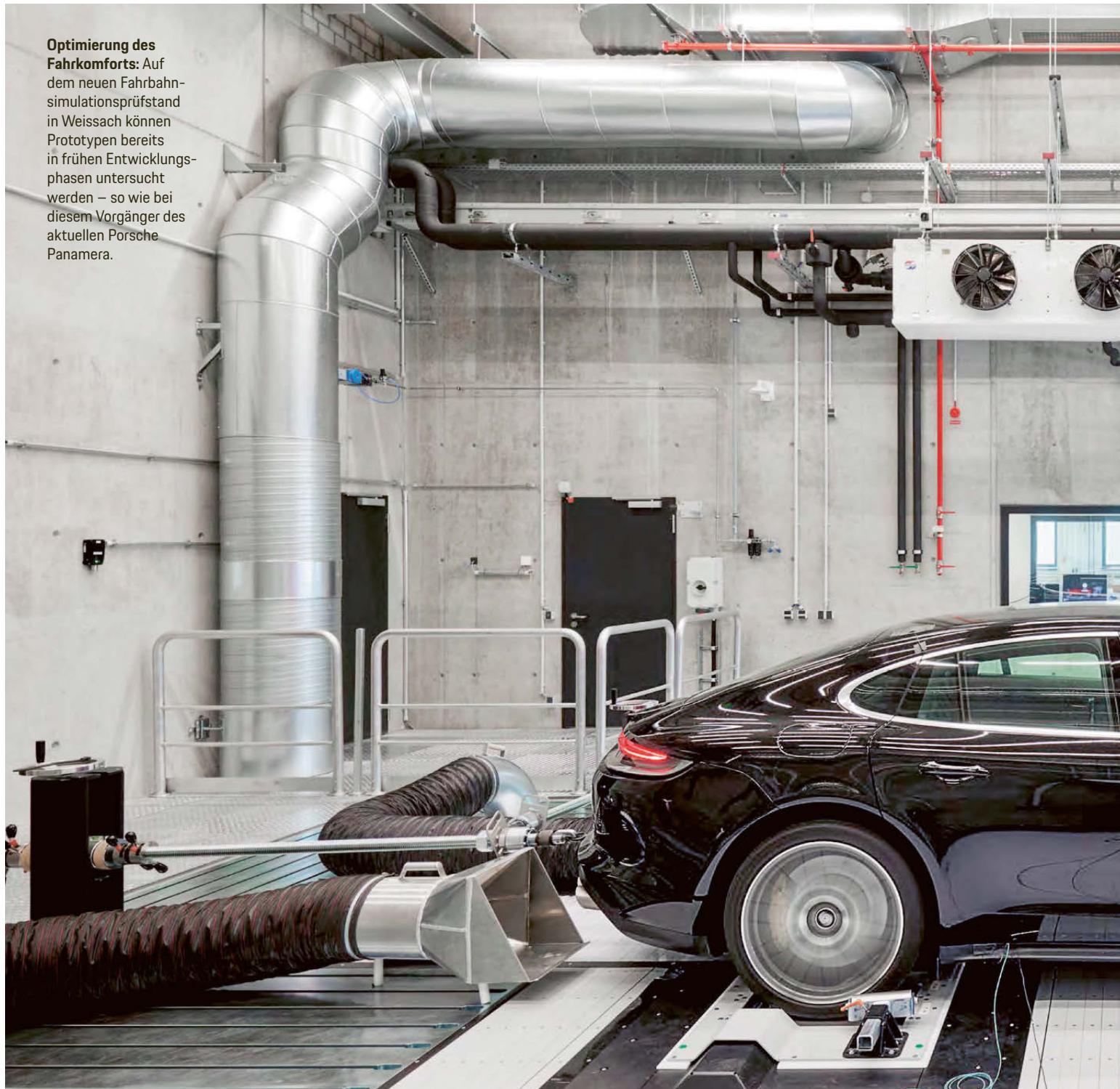
**Florian Helmberger,**  
Director Sales & Marketing  
bei Fauscher



## ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering, die Porsche AG und der Bootshersteller Fauscher aus Österreich haben gemeinsam die „850 Fantom Air“ entwickelt. Das E-Boot hat einen Antriebsstrang, der im Wesentlichen Serienkomponenten des Porsche Macan nutzt. Sie wurden an die Anforderungen der Marine-Branche angepasst.

**Optimierung des Fahrkomforts:** Auf dem neuen Fahrbahn-simulationsprüfstand in Weissach können Prototypen bereits in frühen Entwicklungsphasen untersucht werden – so wie bei diesem Vorgänger des aktuellen Porsche Panamera.



# Schwingungen unter der Lupe



Auf dem neuen Fahrbahnsimulationsprüfstand von Porsche lassen sich reale Straßenverhältnisse präzise nachbilden. So können Fahrzeugeigenschaften schon früh im Entwicklungsprozess optimiert und abgesichert werden – bei Porsche-Sportwagen und in anderen Fahrzeugprojekten.

Text: Constantin Gillies

250

km/h ist die maximale Geschwindigkeit, die auf dem Fahrbahn-simulationsprüfstand nachgestellt werden kann.



as Dröhnen ist akustisch kaum wahr-zunehmen, es fühlt sich wie ein leichter Druck auf den Ohren an. Um herauszufinden, woher es kommt, greift der Testingenieur zu seinem Tablet. Mit einem Schieberegler minimiert er die vertikale Anregung des Fahrzeugs. Das Dröhnen wirkt präsenter. Um die Quelle weiter einzuzgrenzen, tippt der Ingenieur erneut das Tablet an: Die Anregung der Vorderachse wird ausgeschaltet, sodass nur noch die Hinterachse in Fahrzeuglängsrichtung angeregt wird.

Das ist möglich, weil dieser Test nicht auf der Straße stattfindet, sondern auf dem neuen Fahrbahn-simulationsprüfstand (FaSiP) im Porsche Entwicklungs-zentrum Weissach. Hier können Straßeneigenschaften realitätsnah nachgebildet werden, um den Fahr-komfort zu optimieren. Dafür lassen sich auch einzelne Achsen ansteuern – beispielsweise um die Quelle des Dröhnens zu finden. Das Stilllegen der Vorderachse schafft hier schnell Klarheit: Die Störung bleibt, weil die Heckklappe durch die Hinterachse zum Mitschwin-gen angeregt wird. „In diesem Fall kann ein speziell abgestimmter Tilger an der Heckklappe angebracht werden, der diese Schwingungen bedämpft“, erklärt Dr. Sebastian Ihrle, Leiter NVH in der Abteilung Absi-cherung Gesamtfahrzeug Eigenschaften und Simulati-on bei der Porsche AG.



**„Durch den Einsatz des FaSiP sind wir viel früher im Entwicklungs-prozess ‚unterwegs‘.“**

**Dr. Sebastian Ihrle**

Leiter NVH in der Abteilung Absicherung Gesamtfahrzeug Eigenschaften und Simulation bei Porsche

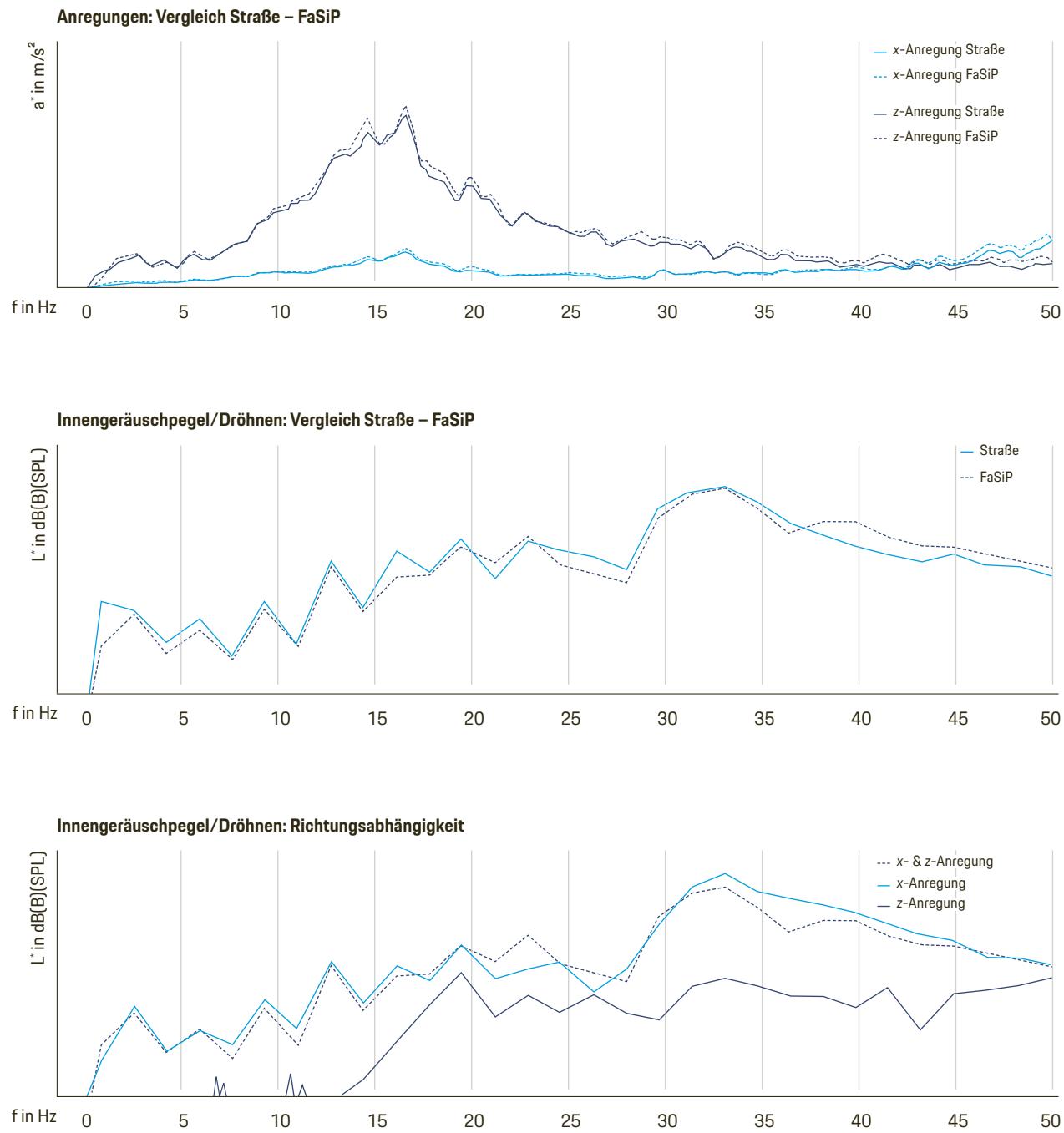
Die Akustik- und Schwingungseigenschaften tragen maßgeblich zum Fahrkomfort bei. Ganz gleich, wie schnell und auf welchem Untergrund gefahren wird – es dürfen keine unangenehmen Geräusche und Vibra-tionen auftreten (Noise, Vibration, Harshness, kurz: NVH). Gerade für einen Hersteller wie Porsche mit einer breiten Produktpalette stellt das eine Herausforderung dar, da jedes Modell ein charakteristisches, für den Fahrer positiv empfundenes Schwingungsverhalten aufweisen soll – Fachleute sprechen vom dynamischen Fingerprint. „Bei einem sportlichen Fahrzeug erwarten die Kunden relevante und signifikante Rückmeldungen von der Fahrbahn und dem Fahrzustand, bei einem komfortbetonten Fahrzeug eine größere Entkopplung“, erklärt Rainer Gebhardt, Fachreferent für Fahrkomfort bei der Porsche AG. In der komfortablen Limousine etwa wäre ein leichtes Zittern deutlich unangenehmer wahrnehmbar, weil es nicht von der Fahrbahnanregung maskiert wird.

## UNTERSUCHUNG IN DER FRÜHPHASE

Um die NVH-Eigenschaften eines Fahrzeugs zu optimieren, sind neben virtuellen Tests viele reale Erprobungsfahrten nötig. Diese konnten jedoch in der Vergangenheit erst dann beginnen, wenn ein komplettes Fahrzeug mit Fahrfreigabe zur Verfügung steht. Zu diesem relativ späten Zeitpunkt im Entwick-lungsprozess sind grundlegende Konzeptänderungen allerdings meist nur sehr kostenintensiv umsetzbar. Beide Einschränkungen beseitigt der Prüfstand. Hier können Prototypen in der Frühphase des Entwick-lungsprozesses auf ihre Schwingungseigenschaften untersucht werden, sodass selbst umfangreichere Anpassungen noch problemlos möglich sind. Sogar einzelne Komponenten oder Module lassen sich testen (Hardware-in-the-Loop-Tests, HiL). Die Ingenieurin-nen und Ingenieure können zum Beispiel eine einzelne Achse, eingespannt in ein spezielles Gestell, auf eine Testfahrt schicken. „Dadurch sind wir viel früher im Entwicklungsprozess ‚unterwegs‘“, fasst NVH-Experte Ihrle zusammen.

Um reale Fahrten exakt nachbilden zu können, kommt aufwendige Technik zum Einsatz: Auf dem FaSiP wird das Fahrzeug – in Geradeausfahrt – flexibel befestigt, wobei alle Räder auf vier unabhängigen Bandein-heiten stehen. Jeder Reifen rollt auf einem 0,4 Milli-meter starken umlaufenden Stahlband, das von einer hochdynamischen E-Maschine angetrieben wird. Durch Veränderung der Bandgeschwindigkeit werden Längs-kräfte in den Reifen eingebracht und so das Fahrzeug in Längsrichtung (vor und zurück) in Schwingung versetzt. Zusätzlich geben servohydraulische Zylinder unterhalb der Bandeinheiten vertikale Impulse (auf und ab).

## URSACHENFORSCHUNG AM FAHRBAHNSIMULATIONSPRÜFSTAND



\* a steht für Beschleunigung / L steht für den Schalldruckpegel

Der Vergleich zwischen Messung und Prüfstand zeigt, wie genau der FaSiP die Beschleunigungen am Radträger nachbilden kann (oben). So- wohl in Längsrichtung (x) als auch vertikal (z) stimmen die auf der Straße und die am Prüfstand gemessene Kurve fast genau überein. Auch bei der Messung des Geräuschpegels im Fahrzeuginnenraum erweist sich die

Fahrt auf dem FaSiP als sehr nahe an der Realität (Mitte). Durch gezieltes An- und Abschalten von Anregungen in Längs- beziehungsweise vertikale Richtung kommen die Entwicklerinnen und Entwickler der Ursache des Dröhrens auf die Spur: Es wird wider Erwarten durch die Längsanregung verursacht. Die vertikale Anregung spielt für dieses Phänomen keine Rolle.

↓

**Anregungen zwischen**



**und**

**50**

Hertz lassen sich auf dem Fahrbahn-simulationsprüfstand erzeugen.

Im Zusammenspiel lassen sich genau jene Kräfte abbilden, die auch beim realen Fahren wirken, sei es durch eine schlechte Straße, einen Belagwechsel oder Kanaldeckel.

Entscheidend ist, dass sich beim Test die Räder drehen – anders als auf Prüfständen, bei denen sie im Stehen von Hydraulikstempeln angeregt werden. Denn zwischen einem stehenden und rollenden Fahrzeug bestehen zahlreiche physikalische Unterschiede. „Die Reifensteifigkeit verändert sich, wenn das Rad steht, außerdem verschieben sich die Resonanzen“, erklärt Experte Gebhardt. Der FaSiP bildet in beiden Dimensionen das Fahren realitätsgerecht nach.

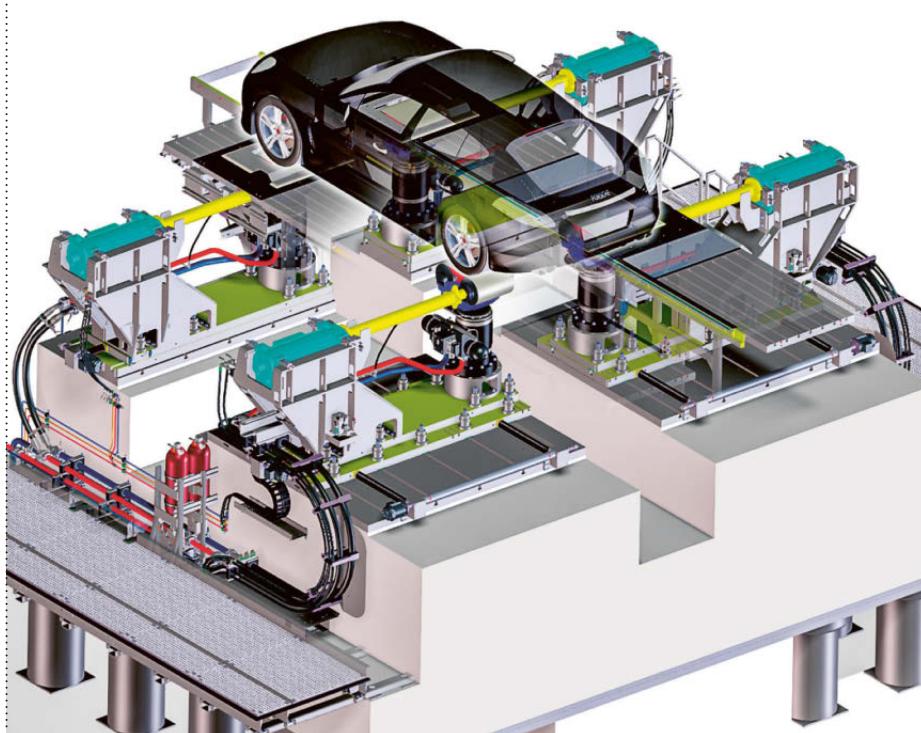
Hinzu kommt, dass sich die Ingenieurinnen und Ingenieure leichter auf Einzelaspekte fokussieren können. Während die Fahrt auf der Straße immer ein akustisches Gesamtbild liefert, lässt sich auf dem FaSiP ein Schwingungsbereich präzise und wiederholbar wie in einem Tonstudio ansteuern. Der Prüfstand funktioniert quasi wie eine Lupe. „Wir können zum Beispiel gezielt das Unwuchtverhalten von Rad und Reifen untersuchen“, erklärt Ihrle. Bleibt ein Faktor konstant, findet man durch Experimentieren schneller die beste technische Lösung.

Ohne ein präzises Werkzeug wie den FaSiP würde die Entwicklung und Absicherung des Fahrkomforts in Zukunft deutlich aufwendiger. Denn das Zusammenspiel der Technik im Auto wird immer komplexer, zum Beispiel durch intelligente mechatronische Systeme, die für eine optimale Balance aus Performance und Fahrkomfort sorgen – etwa die variable Bestromung der Dämpfer je nach Fahrsituation. Alle möglichen Kombinationen und deren Auswirkungen dieser Systeme bei Straßen-Testfahrten zu überprüfen, wäre mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. „Den Zielkonflikt zwischen dem systemischen Absicherungsbedarf bei steigender Komplexität und gleichzeitiger Verkürzung der Entwicklungszeiten bekommt man insbesondere mit Werkzeugen wie dem FaSiP in den Griff“, so Ihrle.

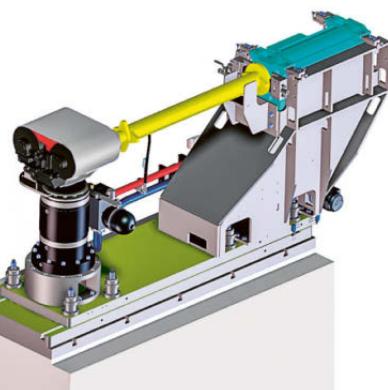
## AKUSTIKPROBLEME IDENTIFIZIEREN

Optimal geeignet ist der Prüfstand auch für das, was im Fachjargon „Firefighting“ heißt: Ein Industriekunde bucht den FaSiP, weil an einem serienreifen Modell überraschend ein Akustikproblem auftritt. Im Fahrzeug sitzend kann die Entwicklungingenieurin oder der

## PRÄZISE NACHBILDUNG DER FAHRBAHNANREGUNG



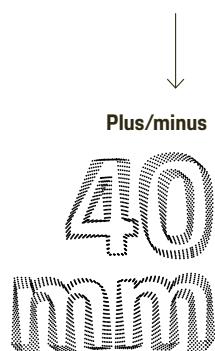
Vier unabhängige Bandeinheiten bilden das Herzstück des Fahrbahn-Simulationsprüfstands. Jede von ihnen besteht aus einem 0,4 Millimeter starken Stahlband (silber), das über eine Antriebswelle (gelb) von einem E-Motor (hellblau) angetrieben wird und auf dem die Reifen des Versuchsfahrzeugs abrollen. Veränderungen der Bandgeschwindigkeit erzeugen Schwingungen in Längsrichtung, servohydraulische Zylinder (schwarz) geben vertikale Impulse.





# „Wir können jedes Schwingungsphänomen, das irgendwo bei einem Fahrzeug auf der Welt aufgetreten ist, auf dem FaSiP nachstellen, die Ursachen analysieren und optimieren.“

Rainer Gebhardt  
Fachreferent für Fahrkomfort bei Porsche



vertikale Bewegungen sind auf dem Fahrbahn-simulationsprüfstand möglich.

Entwicklungsingenieur mit dem Bedientablet gezielt Anregungsanteile und Frequenzbereiche modifizieren bzw. entfernen, um das störende Akustikproblem genau zu identifizieren. Im Anschluss wird das subjektive Empfinden anhand der aufgezeichneten Daten in objektive Kenngrößen transformiert, die dabei helfen, das Problem systematisch und effizient zu beheben. Der Ursprungsort, an dem der Störeffekt aufgetreten ist, spielt dabei keine Rolle, da sich beispielsweise die Teststrecke des Industriekunden einfach „nachbauen“ lässt. „Wir können jedes Schwingungsphänomen, das irgendwo bei einem Fahrzeug auf der Welt aufgetreten ist, auf dem FaSiP nachstellen, die Ursachen analysieren und optimieren“, fasst Gebhardt zusammen.

Der neue Fahrbahn simulationsprüfstand ist seit Mitte 2024 in Betrieb und wird von der Porsche AG für die Entwicklung genutzt. Daneben kann er über Porsche Engineering auch von Industriekunden, beispielsweise von anderen Fahrzeugherstellern, gebucht werden. Zwei Faktoren machen den Prüfstand weltweit einzigartig: Zum einen können Geschwindigkeiten und Fahrbahnanregungen bis zu 250 km/h simuliert werden, was für die Sportwagenentwicklung unerlässlich ist. Zum anderen sind vertikale Bewegungen der Bandeinheiten von bis zu plus/minus 40 Millimeter möglich. Die Anregung kann dabei in einem breiten Frequenzspektrum von 0 bis 50 Hertz erfolgen. „Derart große Wege sind wichtig, um auch die Bewegungen des Fahrzeugaufbaus zu beobachten“, erklärt Experte Ihrle. Ebenfalls einzigartig ist die komfortable Bedienung der Anlage per Tablet in Echtzeit.

Der neue Prüfstand stellt ein wichtiges Bindeglied in der Fahrzeugentwicklung dar, die vor allem in der Frühphase immer virtueller abläuft. Bei einer ausgeprägten virtuellen frühen Phase ist es zweckmäßig, das Akustik- und Schwingungsverhalten detailliert unter Realbedingungen zu überprüfen und ggf. zu korrigieren, bevor in einer späteren Phase dann Ergebnisse aus Fahrerprobungen vorliegen. Dies ist auf dem neuen Fahrbahn simulationsprüfstand jetzt möglich. Mithilfe dieses frühzeitigen sogenannten „hybriden Testens“ können Fahrkomfort-eigenschaften in Zukunft noch effizienter entwickelt werden, was letztlich Zeit und Geld spart.

Der Prüfstand spielt seine Stärken vor allem dort aus, wo sich Fahrzeugteile aufgrund ihrer Materialeigenschaften komplex verhalten und deshalb schwierig auf Basis virtueller Methoden zu simulieren sind. Dazu gehören zum Beispiel Elastomere, also Kunststoffe, die nach einer Verformung wieder in ihren Grundzustand zurückkehren. „Bei diesen Materialien bedeutet doppelte Kraft nicht doppelte Deformation“, erklärt Ihrle. Um ihr Verhalten im Gesamtfahrzeug zu erkunden, hilft vor allem: testen.

## TEST UND SIMULATION KOMBINIEREN

Angesichts dieser Komplexität haben die Entwicklungsingenieurinnen und Entwicklungsingenieure zwei Möglichkeiten: Entweder sie verfeinern mit großem Aufwand das Simulationsmodell – oder sie testen mit physischer Hardware. In der Praxis kristallisiert sich immer mehr eine Zwischenlösung heraus. „Was komplex oder hochgradig nichtlinear ist, wird in der Physik überprüft, der Rest simuliert“, fasst Ihrle zusammen. Dabei ergänzen sich die Erkenntnisse aus realer und digitaler Welt. Porsche nutzt das Datenmaterial aus dem FaSiP, zum Beispiel von Achsentests, um Computersimulationen noch präziser zu machen.

Daneben könnte der FaSiP in Zukunft mit einem völlig neuen Ansatz ergänzt werden: der KI-gestützten Optimierung des Fahrkomforts. Denn Porsche Engineering entwickelt gerade neuronale Netze, die durch intensives Training gelernt haben, den Fahrkomfort objektiv zu bewerten. Zusammen mit dem FaSiP ermöglichen sie eine stärker automatisierte Entwicklung, die zugleich weniger Aufwand verursacht: Nach der Grundabstimmung auf Basis einer rein virtuellen Applikation würde das Fahrzeug künftig – ohne Testingenieurin oder Testingenieur an Bord – auf dem Prüfstand immer wieder die gleiche Strecke fahren, wobei eigens installierte Beschleunigungssensoren die auftretenden Schwingungen erfassen. Mithilfe dieser Daten könnte die KI dann den Komfort nach festgelegten Merkmalen bewerten. Dann werden die Fahrwerk-Parameter einzelner Systeme verändert – und der Test wiederholt. Im letzten Schritt kämen die Fahrdynamikexpertinnen und -experten ins Spiel und würden sich an das markenprägende Feintuning machen. ●

# Schaltzentrale mit KI



**Sanft statt hart:** Verluste in den Wechselrichtern von E-Fahrzeugen lassen sich durch die intelligente Ansteuerung der Transistoren deutlich reduzieren.

Reduktion der Schaltverluste in Leistungstransistoren um bis zu 95 Prozent  
– das verspricht intelligentes Soft Switching mit KI-Unterstützung.  
Porsche Engineering testet den neuen Ansatz bereits in Simulationen.

Text: Christian Buck

# D

ie Reichweite ist eines der wichtigsten Kriterien beim Kauf eines Elektrofahrzeugs. Darum ist es entscheidend, alle Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung des Antriebsstrangs zu nutzen. Viel Potenzial bietet hier der Wechselrichter, weil beim Schalten der dort eingesetzten Leistungstransistoren spürbare Verluste entstehen – die sich durch eine intelligente Ansteuerung der Transistoren allerdings deutlich reduzieren lassen.

Grundsätzlich treten im Wechselrichter eines E-Fahrzeugs zwei wesentliche Arten von Verlusten auf: Leitungs- und Schaltverluste. Die Leitungsverluste sind eine physikalische Eigenschaft der Transistoren, die sich durch das Schaltungsdesign des Wechselrichters nicht beeinflussen lässt. Denn ein Leistungstransistor verhält sich aus physikalischen Gründen nicht wie ein idealer Schalter, der Strom verlustfrei leiten würde. Stattdessen bleibt selbst im eingeschalteten Zustand ein geringer Restwiderstand, der zu Verlusten und Wärmeentwicklung führt.

Schaltverluste entstehen beim Übergang zwischen den Zuständen „Ein“ und „Aus“. Für kurze Zeit liegt am Leistungstransistor eine Spannung an, während bereits ein spürbarer Strom durch ihn hindurchfließt. Das Produkt aus diesem Strom und der anliegenden Spannung ist die unerwünschte Verlustleistung. Sie bildet beim Ein- und Ausschalten charakteristische Peaks, die zu Energieverlusten führen – was schließlich die potenziell erreichbare Reichweite verringert. „Das Problem wird umso größer, je öfter die Transistoren umgeschaltet werden“, erklärt Volker Reber, Leiter der Fachdisziplin Funktions- & Softwareentwicklung bei Porsche Engineering. „Andererseits sind hohe Umschaltfrequenzen im Wechselrichter aber erwünscht, weil man dadurch unter anderem die Qualität des erzeugten Wechselstroms verbessern kann.“

Der Ausweg aus diesem Dilemma heißt „Soft Switching“. Während beim „Hard Switching“ die Leistungstransistoren im Wechselrichter direkt ein- und ausgeschaltet werden, variiert man beim Soft Switching die Umschaltpunkte in Echtzeit so intelligent, dass

das Produkt aus Spannung und Strom am Transistor – und damit auch die Verlustleistung beim Umschalten – minimiert wird. Dafür gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten: Zero Current Switching (ZCS) und Zero Voltage Switching (ZVS). Bei ZCS wird der Transistor umgeschaltet, wenn fast kein Strom durch ihn fließt. Bei ZVS erfolgt das Umschalten, wenn die Spannung am Transistor nahe null ist.

## GERINGERE VERLUSTE DURCH ZVS

Porsche Engineering nutzt ZVS, um die Effizienz von Wechselrichtern zu verbessern. Es führt zu geringeren Verlusten in Leistungstransistoren aus Siliziumcarbid und Galliumnitrid, wie sie in Elektrofahrzeugen verwendet werden. Zudem ist die Effizienz bei höheren Frequenzen besser als bei ZCS, zugleich sind die störenden elektromagnetischen Interferenzen geringer. Und vor allem ist ZVS die bessere Wahl für induktive Lasten wie Elektromotoren.



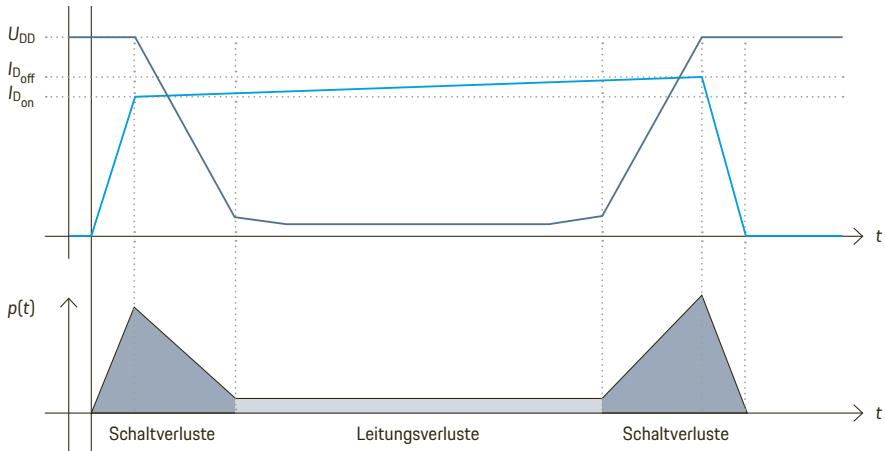
**„Wir erreichen ein vollständiges Soft Switching mit minimalen Verlusten und entsprechend höheren Reichweiten.“**

**Volker Reber**  
Leiter der Fachdisziplin Funktions- & Softwareentwicklung  
bei Porsche Engineering

# INTELLIGENTES UMSCHALTEN DER TRANSISTOREN

## WIE SOFT SWITCHING DIE REICHWEITE STEIGERT

### Hard Switching

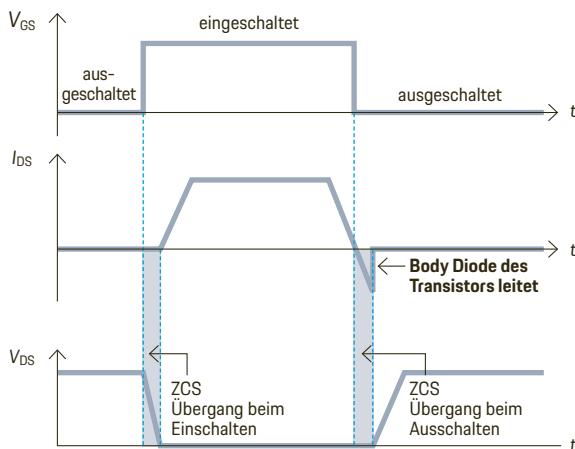


**Hard Switching** führt beim Schalten zu typischen Peaks bei der Verlustleistung an den Leistungstransistoren. Die Ursache: Für eine Übergangszeit liegt am Transistor noch eine Spannung  $U_{DD}$  an, während zugleich schon der Strom  $I_{DD}$  fließt. Das Produkt aus beiden ergibt die Verlustleistung.

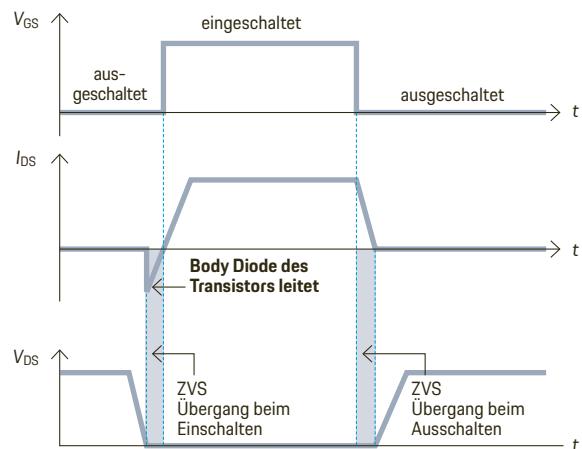
Beim **Soft Switching mit Zero Current Switching (ZCS)** erfolgt das Umschalten, wenn kaum Strom durch den Transistor fließt – was die Verlustleistung deutlich reduziert. Den gleichen Effekt hat das **Soft Switching mit Zero Voltage Switching (ZVS)**. Hier wird umgeschaltet, wenn die Spannung am Transistor nahe null ist – was die Verlustleistung ebenfalls minimiert.

Durch den **Einsatz von KI** optimiert Porsche Engineering die Umschaltzeitpunkte je nach den aktuellen Betriebsbedingungen.

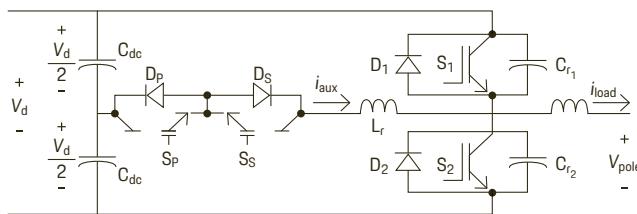
### Soft Switching mit ZCS



### Soft Switching mit ZVS



### Auxiliary Resonant Commutated Pole (ARCP)



Das Funktionsprinzip eines **Auxiliary Resonant Commutated Pole (ARCP)** basiert auf der Verwendung von Resonanzschaltungen, um Schaltverluste in Leistungselektroniksystemen zu minimieren. Der ARCP nutzt eine rezonante Schaltung, die eine Wechselwirkung zwischen Induktivitäten und Kapazitäten ermöglicht. Diese Resonanz hilft, die Spannung oder den Strom während des Schaltvorgangs zu steuern. Die Schalter (z. B. Transistoren) werden so gesteuert, dass sie nur bei Nullspannung ein- oder ausgeschaltet werden. Dies reduziert die Schaltverluste erheblich, da die Schalter nicht unter Last schalten. Die Steuerung der Schalter erfolgt über variable Timing-Kontrolle, die den momentanen Laststrom berücksichtigt, um optimale Schaltzeitpunkte zu bestimmen.



„Wir platzieren um die Leistungstransistoren eine zusätzliche elektronische Schaltung aus Transistoren, Spulen und Kondensatoren“, berichtet Souhaib Touati, Fachprojektingenieur Funktions- & Softwareentwicklung bei Porsche Engineering. „Diese Wechselrichter-topologie ist schon lange als ‚Auxiliary Resonant Pole Converter‘ oder ARCP bekannt.“ Neu am Ansatz von Reber und Touati ist der Einsatz von Künstlicher Intelligenz für die Steuerung des ARCP: Ein vortrainierter KI-Algorithmus verarbeitet in Echtzeit mehrere Dutzend aktuelle Messwerte aus dem Elektrofahrzeug wie beispielsweise Last, Drehmoment und Temperatur, woraus er in Sekundenbruchteilen die optimalen Schaltzeitpunkte der Leistungstransistoren berechnet.

## SCHALT-OPTIMIERUNG MIT KI

„Ein Elektrofahrzeug läuft unter sich ständig verändernden Lasten, weshalb Soft Switching aufgrund der vielfältigen sich schnell ändernden Betriebsbedingungen bisher noch keine weitergehende Verwendung gefunden hat“, so Reber. „Das konnten wir durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz für die Optimierung der Transistor-Umschaltung ändern: Unser Algorithmus sagt auch unter sich verändernden Bedingungen die optimalen Zeitpunkte für die Ansteuerung des ARCP voraus. So erreichen wir ein vollständiges Soft Switching mit minimalen Verlusten und entsprechend höheren Reichweiten.“

Als KI-Methoden für das intelligente Soft Switching untersuchen Reber und Touati derzeit rekursive neuronale Netze und Reinforcement Learning. „Beide haben jeweils unterschiedliche Vorteile: Rekursive neuronale Netze zeichnen sich durch eine hohe Vorhersagegenauigkeit und Leistungsfähigkeit aus“, sagt Touati.

**„Das KI-basierte Soft Switching wird rein über Software-Bibliotheken realisiert und kann darum quasi wie ein Plugin in bestehende Steuergeräte integriert werden.“**

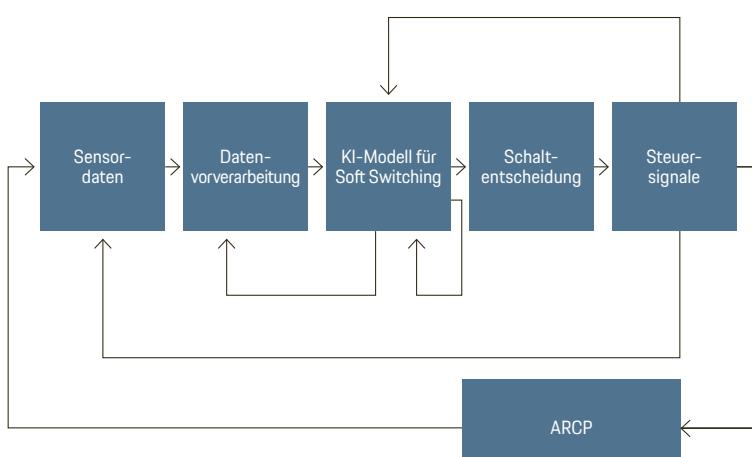
**Souhaib Touati**

Fachprojektingenieur Funktions- & Softwareentwicklung  
bei Porsche Engineering

„Reinforcement Learning erhöht die Geschwindigkeit der Berechnungen und ist darum besonders gut für sehr hohe Echtzeitanforderungen geeignet.“

Die Wirkungsgradsteigerung durch den neuen Ansatz ist signifikant: Das Soft Switching mit KI-Unterstützung reduziert die Schaltverluste in den Leistungstransistoren um 70 bis 95 Prozent. Die Reichweite eines Elektrofahrzeugs kann dadurch in bestimmten Betriebsbereichen im hohen einstelligen Prozentbereich gesteigert werden. Zudem verringert das Soft Switching durch die geringeren Schaltverluste auch die Wärmeentwicklung im Pulswechselrichter, was zu geringeren Kühlarforderungen und kompakteren Bauteilen führt. Auch diverse Filterkomponenten in den bisherigen Schaltungen können entfallen, was die Leiterplattenlayouts nochmals optimiert. Insgesamt nimmt das Volumen des Pulswechselrichters um 20 bis 50 Prozent ab. Hinzu kommt: Das bisher eingesetzte Hard Switching belastet die Leistungstransistoren im Wechselrichter stark und verringert dadurch ihre Lebensdauer. Auch dieses Problem wird durch das KI-basierte Soft Switching verbessert.

Der neue KI-Regelalgorithmus für Wechselrichter ist bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungszustand. Sobald er ausgereift ist, wird Porsche Engineering seinen Kunden das KI-basierte Soft Switching als komplette Software-Lösung anbieten. „Dabei bieten wir OEMs und Tier-1-Zulieferern einen großen Vorteil: Das KI-basierte Soft Switching wird rein über Software-Bibliotheken realisiert und kann darum quasi wie ein Plugin in bestehende Steuergeräte integriert werden“, sagt Touati. „Der Änderungsaufwand für die Hardware sollte auf Basis vorhandener Designs vergleichbar gering sein. Das KI-basierte Soft Switching ließe sich darum am besten im Rahmen einer Modellpflege oder Neuentwicklung implementieren.“ — ●



**Smart schalten:** Ein Elektrofahrzeug läuft unter sich ständig verändernden Lasten. Darum ermittelt das KI-Modell permanent aus aktuellen Sensordaten den optimalen Schaltzeitpunkt.



# ICON OF COOL

Zurück in die 1970er: Der 911 Spirit 70 ist eine Hommage an die Design-Tradition von Porsche. Zugleich begeistert das exklusive Sammlerstück mit Technik auf dem neuesten Stand.

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



911

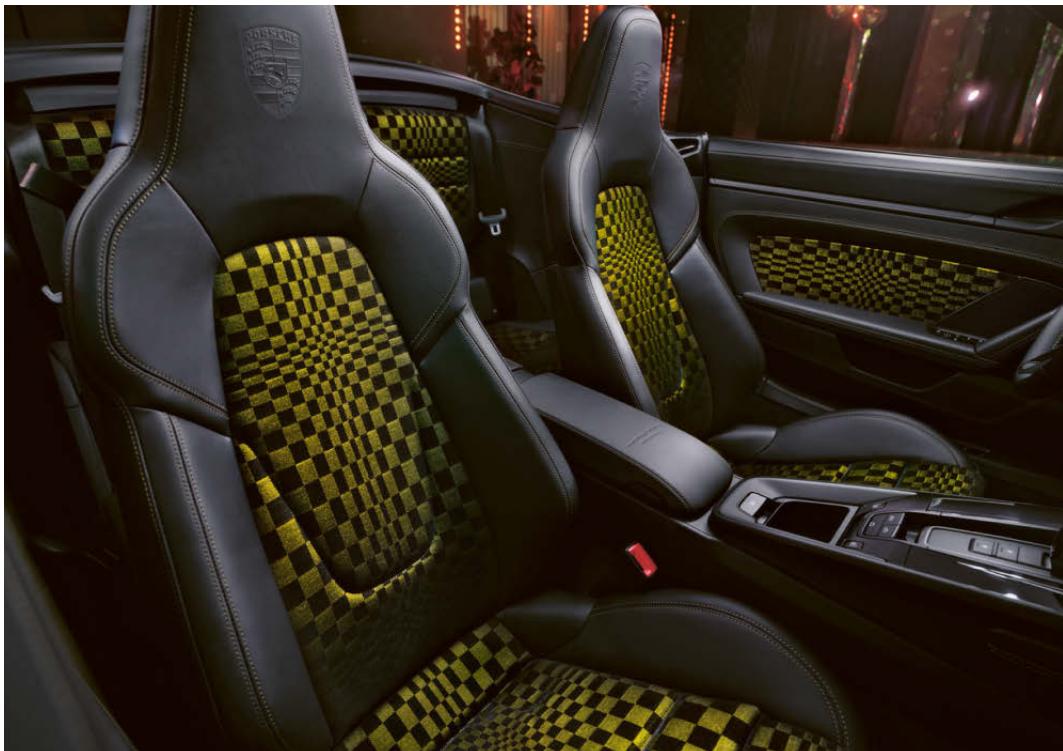
PORSCHE  
UND  
PRODUKT

70  
PORSCHE

D S.P11970

**Exklusives Sammlerstück:** Porsche produziert nur 1.500 Exemplare des Cabriolets, das die Essenz der 1970er- und frühen 1980er-Jahre verkörpert.

**Highlight im Innenraum:**  
Das ikonische Stoffmuster  
Pascha in Schwarz/Olive  
Neo erinnert an eine sich  
bewegende Zielflagge.



**Außergewöhnliches Detail:**  
Am Heck befinden sich der gold-farbene Porsche-Schriftzug und die Modellbezeichnung – mit galvanisch vergoldeten Oberflächen.



**„Die Heritage Design Modelle nehmen innerhalb unserer Produktstrategie aus der Designperspektive eine besondere Stellung ein.“**

**Michael Mauer**  
Leiter Style Porsche

**E**xklusiver Farnton „Olive Neo“, drei Dekorstreifen Ton in Ton und legendäres Pascha-Muster im Innenraum: Porsche hat im April 2025 den 911 Spirit 70 präsentiert. Dieses auf 1.500 Stück limitierte Cabriolet verkörpert die Essenz der 1970er- und frühen 1980er-Jahre. Im Rahmen der Heritage Design Strategie entstanden, ist das Sammlerstück bereits das dritte 911-Modell, bei dem Porsche eine Ära mithilfe ikonografischer Designelemente früherer Fahrzeuge wiederaufleben lässt. Umgesetzt hat das außergewöhnliche Konzept die Porsche Exclusive Manufaktur gemeinsam mit der Designabteilung Style Porsche – unter dem Motto „Icons of Cool“.

Alle Heritage Design Modelle betonen die Dimension „Lifestyle“, die innerhalb der Porsche-Produktstrategie für besonders emotionale Konzepte steht. Erstes eigenes Modell der Serie war die 2020 präsentierte 911 Targa 4S Heritage Design Edition im Stil der 1950er- und frühen 1960er-Jahre. Mit dem 911 Sport Classic hat Porsche 2022 das zweite Sammlerstück aus der Heritage Design Strategie vorgestellt. Diese auf 1.250 Exemplare limitierte Kleinserie ließ den Stil der 1960er- und frühen 1970er-Jahre wiederaufleben.

„Die Heritage Design Modelle nehmen innerhalb unserer Produktstrategie aus der Designperspektive eine besondere Stellung ein“, sagt Michael Mauer, Leiter Style Porsche. „Die limitierten Sportwagen visualisieren, was die Marke Porsche so besonders macht. Jedes Design unserer Fahrzeuge knüpft an die Historie an – diese Fahrzeuge gehen noch einen Schritt weiter. Sie

zeigen, wie wir historische Designelemente in einem hochmodernen Sportwagen neu interpretieren.“

Eigens für den 911 Spirit 70 haben die Designer und Lackexperten von Porsche die Farbe Olive Neo kreiert – ein sattes, tiefes Grün mit einem modernen Unterton. Einen spannenden Kontrast dazu bildet Bronzit. In diesem etwas goldigeren Graufarbtönen sind das Heckunterteil, das Bugteil und die Sport Classic-Räder im „Fuchs“-Design lackiert. Alternativ dazu ist der neue 911 Spirit auch in Schwarz uni oder GT-Silbermetallic erhältlich, hinzu kommt die große Auswahl von rund 140 Tönen aus dem „Farbe nach Wahl“-Programm. Das Verdeck ist schwarz, genauso wie der Windlaufrahmen, wodurch die unverkennbare optische Präsenz des 911 Spirit 70 unterstrichen wird.

## TRADITION UND INNOVATION

Drei Dekorstreifen in Schwarz (seidenglanz) ziehen sich über die Fronthaube. Dieses Detail erinnert an die Sicherheitsbeklebung aus den 1970ern: Damals brachten Sportfahrer Längsstreifen auf die Karosserien ihrer schnellen Autos an, damit sie bei hohen Geschwindigkeiten auf der Autobahn oder der Rennstrecke im Rückspiegel besser zu erkennen waren. Die Streifen werden auf dem Verdeck Ton in Ton fortge-

setzt. An die sportliche Tradition der Marke knüpft auch die seitliche Dekorgrafik mit Porsche-Schriftzug und rundem Startnummernfeld („Lollipop“) in Schwarz (seidenglanz) sowie individueller Startnummer an.

Ein Beispiel für das Gegensatzpaar „Tradition und Innovation“ ist zentral auf der Fronthaube zu finden: Der 911 Spirit 70 trägt dort ein Porsche-Wappen, das nahezu identisch mit dem historischen Wappen von 1963 ist. Auf den vorderen Kotflügeln befinden sich goldfarbene „Porsche Exclusive Manufaktur“-Plaketten, und auf dem Gitter des Heckdeckels sitzt die Porsche Heritage Plakette. Ihr Design erinnert an die Plakette des Porsche 356, die in den 1950er-Jahren nach Erreichen der 100.000-Kilometer-Marke vergeben wurde. Weitere außergewöhnliche Details sind der goldfarbene Porsche-Schriftzug und die Modellbezeichnung am Heck. Ihre außergewöhnliche Brillanz erhalten die Schriftzüge durch die galvanisch vergoldete Oberfläche.

Der 911 Spirit 70 steht vorne auf 20 und hinten auf 21 Zoll großen Rädern mit Zentralverschluss. Mit ihrer Gestaltung in Form eines Flügels oder Kleeblattes erinnern sie an die Fuchs-Felge, die zu den bekanntesten Porsche-Rädern gehört. 1967 hatte Porsche zusammen mit der Otto Fuchs KG das erste Schmiederad aus Leichtmetall für den 911 S präsentiert.

↓  
**1967**

hatte Porsche zusammen mit der Otto Fuchs KG das erste Schmiederad aus Leichtmetall für den 911 S präsentiert. Auch daran erinnert der 911 Spirit 70.



**Maßgeschneidert:** Eigens für den 911 Spirit 70 haben die Designer und Lackexperten die Farbe „Olive Neo“ kreiert. Die seitliche Dekorgrafik mit rundem Startnummernfeld erinnert an die sportliche Tradition von Porsche.

398 kW

leistet der 3,6 Liter große  
Sechszylinder-Boxermotor  
mit besonders leichtem  
T-Hybrid-System und  
elektrischem Turbolader.

610 Nm

beträgt das maximale  
Drehmoment.

Technisch basiert der 911 Spirit 70 auf dem 911 Carrera GTS Cabriolet. Sein 3,6 Liter großer Sechszylinder-Boxermotor mit besonders leichtem T-Hybrid-System und elektrischem Turbolader leistet 398 kW (541 PS). Das maximale Drehmoment beträgt 610 Nm. Die Kraftübertragung erfolgt über ein Achtgang-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) mit integriertem Elektromotor. Die serienmäßige Sportabgasanlage sorgt für ein emotionales Sounderlebnis. Auch die Verzögerungsleistung passt zur hohen Performance: Der 911 Spirit 70 vertraut wie der 911 Carrera GTS auf die Hochleistungsbremse des 911 Turbo. Optional ist die Porsche Ceramic Composite Brake (PCCB) erhältlich.

Ohne Aufpreis ist das High-Tech-Fahrwerk Porsche Active Suspension Management (PASM) mit Hinterachslenkung verfügbar. Es erfüllt hohe Performance-Ansprüche, denn die Dämpfer reagieren blitzschnell auf dynamische Veränderungen. Kombiniert ist das PASM mit dem um zehn Millimeter tiefergelegten Sportfahrwerk. Von den 911 Turbo-Modellen stammt auch das Konzept mit Helper-Federn an der Hinterachse. Dadurch sind die Hauptfedern bei allen Fahrzuständen unter Spannung.

### ASSISTENZSYSTEME SERIENMÄSSIG

Das Kombiinstrument vereint historisches Design mit State-of-the-Art-Technologie. Das hochauflösende Display im Format 12,65 Zoll besitzt weiße Zeiger und Skalenstriche in analoger Darstellung. Grüne Ziffern erinnern an den Porsche 356, den ersten Seriensportwagen von Porsche. Der Modellschriftzug ist elegant in den volldigitalen Drehzahlmesser integriert. Weiße

Zeiger und grüne Ziffern kennzeichnen auch die besondere Ausführung der Sport Chrono-Stoppuhr.

Serienmäßig bietet der aktuelle 911 eine Reihe von Assistenzsystemen, die vor allem im Alltagsverkehr das Fahren und Parken komfortabler und sicherer machen. So verringert der kameragestützte Warn- und Bremsassistent die Gefahr von Kollisionen mit Fahrzeugen, Fußgängern und Radfahrern deutlich.

Darüber hinaus besitzt der 911 Spirit 70 die sechste Generation des Porsche Communication Managements (PCM). Zu den wichtigsten Funktionen zählt die Tiefenintegration der Streaming-Dienste Apple Music und Apple Podcasts, auch Android Auto ist eingebunden. Zudem versteht der Sprachassistent Voice Pilot Anweisungen in natürlicher Sprache. Statt vorgegebener Kommandos genügt es, einfach „Hey Porsche“ zu sagen und Anweisungen in natürlicher Sprache zu geben. Die Hard- und Software-Architektur des PCM 6.0 erlaubt dem Navigationssystem sehr schnelle Berechnungen unter Berücksichtigung von Echtzeit-Verkehrsinfos.

Highlight im Innenraum ist das ikonische Stoffmuster Pascha in Schwarz/Olive Neo. Die grafische Gestaltung des Textils erinnert an eine sich bewegende Zielflagge. Durch verschiedene große, raffiniert arrangierte Rechtecke entsteht im Muster eine Art Bewegung. Statt wie früher Jacquard-Velours wird beim 911 Spirit 70 ein Textil mit Flockgarnen kombiniert. Das gibt dem Muster einen noch sportlicheren Charakter, eine verbesserte Haptik und mehr Komfort insbesondere bei längeren Fahrten.

Mit dem Pascha-Muster bezogen sind die Mittelbahnen der 18-Wege-Sportsitze Plus, die Türspiegel und sogar die Innenseite des Handschuhfachs. Optional werden auch die Dekoreinleger der Sitzrückenlehnen und die Zierblende der Schalttafel in Pascha angeboten. Zudem enthält das Serienangebot eine Kofferraum-Wendematte in Pascha. Serienmäßig an Bord sind ferner die edle Clubleder-Ausstattung in Basaltschwarz mit Ziernähten in Olive Neo sowie das Interieur-Paket Clubleder Basaltschwarz.

Auf der Zierblende der Schalttafel sitzt eine goldfarbene Plakette mit 911-Schriftzug, Modellbezeichnung und persönlicher Limitierungsnummer. Das Wappen, das dem historischen Wappen von 1963 nahezu identisch ist, findet sich auf dem Lenkrad und in geprägter Form auf den Kopfstützen sowie dem Schlüssel-Etui aus Leder. In den Deckel des Ablagefaches sowie in die serienmäßige Bordmappe aus Leder ist der Schriftzug „Porsche Exclusive Manufaktur“ geprägt.

Die Türprojektoren werfen ein erstmals animiertes „Icons of Cool“-Logo direkt auf den Boden, sobald die Türen offen stehen. Die beleuchteten Türeinstiegsblenden sind aus schwarz eloxiertem Aluminium gefertigt und tragen einen „911 Spirit 70“-Schriftzug. Weiteres Detail sind die Fußmatten im Heritage Design mit einer Ledereinfassung in Basaltschwarz sowie Ziernähten.

**Design-Klassiker:** Mit ihrer Gestaltung in Form eines Flügels oder Kleeblattes erinnern die Räder des 911 Spirit 70 an die legendären Fuchs-Felgen.





#### Historische Anspielungen:

Das Kombiinstrument im Format 12,65 Zoll besitzt weiße Zeiger und Skalenstriche in analoger Darstellung. Grüne Ziffern erinnern an den Porsche 356.

#### Aufmerksamkeit garantiert:

Drei Dekorstreifen ziehen sich über die Fronthaube und erinnern an die Sicherheitsbeklebung aus den 1970ern.

Das Ziel damals: Die Autos sollten im Rückspiegel besser zu erkennen sein.



**„Für unsere Kunden weltweit sind die limitierten Sammlerstücke besonders begehrenswert.“**

Alexander Fabig  
Leiter Individualisierung und Classic



Den Besitzern der neuesten Heritage Design Kleinserie ist ein mechanisches Meisterwerk fürs Handgelenk vorbehalten: der handgefertigte Chronograph 911 Spirit 70. Die Limitierungsnummer des Fahrzeugs ist in seinen Gehäuseboden eingraviert – damit sind Uhr und Sportwagen untrennbar miteinander verbunden. Natürlich diente das Fahrzeug als Vorbild für die Gestaltung des Zeitmessers: Das schwarzglänzende Pascha-Muster des Zifferblatts ist von der Sitzmittelbahn des 911 Spirit 70 inspiriert. Zudem wurden die Farben phosphorgrün und verkehrsrot vom Drehzahlmesser übernommen.

#### BEGEISTERTE KUNDEN

Zusätzlich bietet Porsche die zum 911 Spirit 70 passende Lifestyle-Kollektion an. Sie erlaubt es, die 1970er-Jahre stilyvoll und authentisch wiederzuent-

decken. Das Angebot an ganz besonderen Liebhaberstücken umfasst Daywear, Lifestyle-Accesoires, Modelfahrzeuge sowie Sportswear, die in Zusammenarbeit mit dem Sportartikelhersteller Puma entwickelt wurde. Ob das matte „Icons of Cool“-Badge, der eingewebte Porsche-Schriftzug, das legendäre Porsche Pascha-Muster oder das schwarze Nappaleder der Heritage Bag – alle Details wurden sorgfältig ausgesucht.

„Für unsere Kunden weltweit sind die limitierten Sammlerstücke besonders begehrenswert, resümiert Alexander Fabig, Leiter Individualisierung und Classic. „Die ersten beiden Modelle der Heritage Design Strategie haben das Lebensgefühl vergangener Dekaden zurückgebracht und für große Begeisterung gesorgt. Wir freuen uns sehr über diesen Erfolg und sind stolz, nun das dritte, hochexklusive Modell präsentieren zu können.“

#### 911 Spirit 70

CO<sub>2</sub>-Emissionen kombiniert:  
240–242 g/km  
Kraftstoffverbrauch kombiniert:  
10,9–10,7 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Klasse: G

## Wissen vertiefen

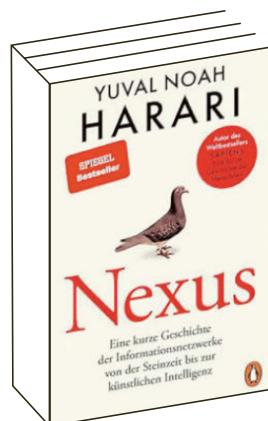


### BUCH

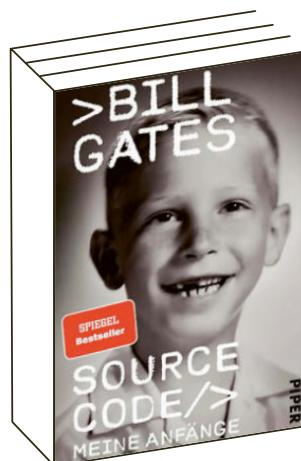
#### Geschichte der Informationsnetzwerke

Yuval Noah Harari zeigt, wie der Informationsfluss unsere Welt geformt hat – von der Steinzeit bis zum Populismus.

**Nexus**  
Yuval Noah Harari  
Penguin



## Über den Tellerrand

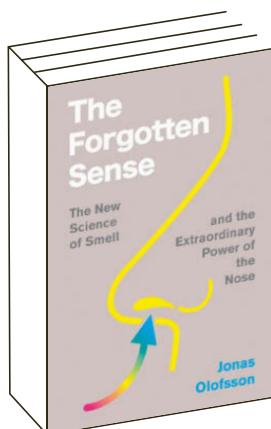


### BUCH

#### Wie alles begann

Microsoft-Gründer Bill Gates berichtet zum ersten Mal über seine Kindheit, seine frühen Leidenschaften und seine Ziele.

**Source Code**  
Bill Gates  
Piper



### BUCH

#### Die Macht der Nase

Der Geruchssinn ist für unser Überleben unverzichtbar – und wird dennoch wenig beachtet. Dieses Buch rückt ihn endlich in den Mittelpunkt.

**The Forgotten Sense**  
Jonas Olofsson  
William Collins

### PODCAST

#### Volles Programm

Das Podcast-Radio detektor.fm kombiniert journalistische Inhalte mit moderner Popmusik. Zu den vielfältigen Themen der Redaktion aus Leipzig gehören neue Forschungsergebnisse, Medizin, Bücher und Finanzen.



**detektor.fm**  
<https://detektor.fm>  
Überall, wo es Podcasts gibt



### PODCAST

#### Es war alles ganz anders

Jede Woche nehmen Mike Hobbes und Sarah Marshall in diesem Podcast ein Ereignis, eine Person oder ein Phänomen unter die Lupe, das in der öffentlichen Wahrnehmung bisher falsch dargestellt wurde.

**You're Wrong About**  
<https://yourewrongabout.com>  
Überall, wo es Podcasts gibt

## Für das Kind in uns



### GAME

#### Mit Lara Croft um die Welt

Mit dieser Kollektion können Spiele-Fans die Original-Abenteuer von Lara Croft erleben, originalgetreu wiederaufgearbeitet.

##### **Tomb Raider 4–6 Remastered**

Aspyr Media



### SPIEL

#### Über den Wolken

In diesem Spiel für zwei Personen fliegt man gemeinsam einen Jumbo-Jet zu den bekanntesten Flughäfen der Welt. Ausgezeichnet als „Spiel des Jahres 2024“!

##### **Sky Team – Bereit zur Landung?**

Kosmos



### GAME

#### Die Kraft der Freundschaft

Bei diesem Splitscreen-Abenteuer müssen die Spielerinnen und Spieler ihre Aktionen absprechen und zeitlich aufeinander abstimmen – und sich bis zum Ende gegenseitig den Rücken freihalten.

##### **Split Fiction**

Electronic Arts

## Intelligent unterhalten



### FILM

#### Ritt auf den Vulkan

6.721 Meter über dem Meeresspiegel: Höher ist noch nie ein Fahrzeug hinaufgestiegen. Das Kunststück gelang Ende 2023 einem Team um den dreifachen Le Mans-Sieger Romain Dumas – mit einem stark modifizierten Porsche 911 namens „Edith“. Ein 50-minütiger Film zeigt die lange und beschwerliche Expedition.

##### **Edith: Porsche's Volcano Ascent**

Amazon Prime Video



### PODCAST

#### Erweitert den Horizont

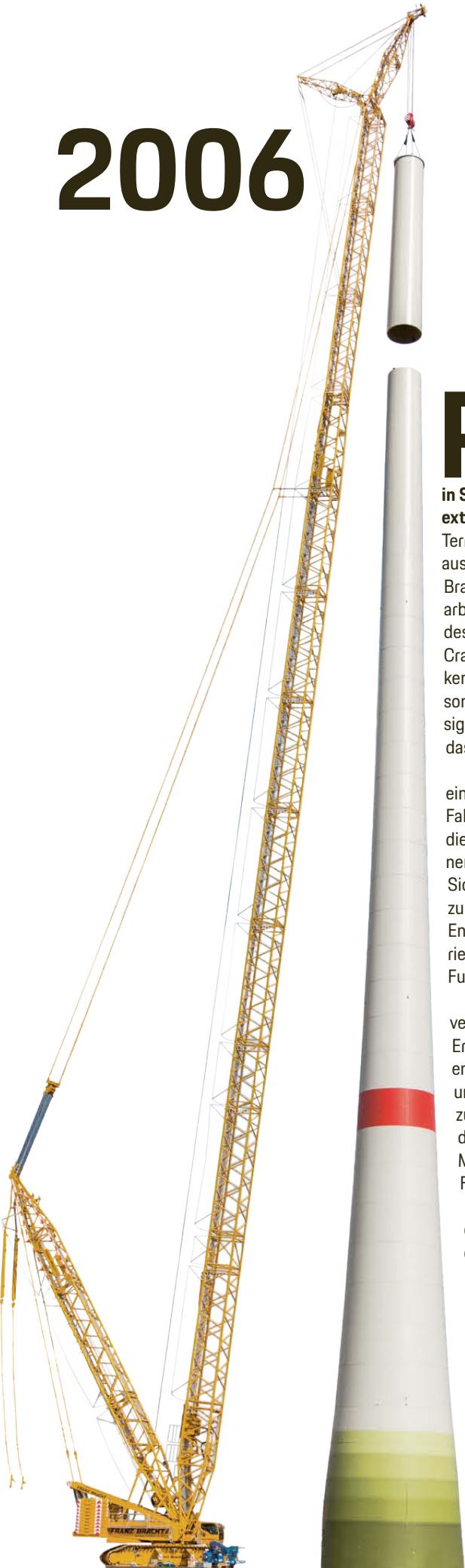
Dieser Podcast vermittelt ganze Welten des Wissens – mit Beiträgen über Geschichte, Archäologie, Literatur, Architektur, Film und Musik, Philosophie und Psychologie, Natur, Biologie und Umwelt sowie Wirtschaft und Politik.

##### **radioWissen**

<https://bit.ly/podcast-radiowissen>  
Überall, wo es Podcasts gibt

# 2006

## RÜCKBLICK



**Funktional und ästhetisch:** Porsche Engineering hat Interieur und Exterieur der Kabine des „Superlift 3800“ völlig neu konzipiert.

**P**orsche Engineering bewegt sich in Sachen Entwicklungsprojekte für externe Kunden gerne auf fremdes Terrain und überträgt die Erfahrungen aus der Automobilentwicklung auf andere Branchen. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit dieser Art stellt die Optimierung des Krankabinen-Designs für Terex Cranes dar. Sie sollte nicht nur das Markengesicht von Terex nachhaltig prägen, sondern dem Unternehmen auch den Designpreis des Landes Rheinland-Pfalz für das Modell „Superlift 3800“ einbringen.

Ausgangspunkt der Kooperation war eine umfassende Neugestaltung der Fahrzeug- und Krankabinen. Ziel war es, die Arbeitsbedingungen für Kranführerinnen und Kranführer zu verbessern und so Sicherheit, Bedienbarkeit und Komfort zu erhöhen. Der Auftrag für Porsche Engineering lautete, Interieur und Exterieur neu zu konzipieren – mit dem Ziel: Funktionalität und Ästhetik vereinen.

Gespräche mit Terex-Kunden verdeutlichen früh, dass Komfort und Ergonomie kein Luxus sind – sondern entscheidende Faktoren, um Sicherheit und Konzentration bei der Bedienung zu gewährleisten. Daher standen bei dieser Kooperation drei Themen im Mittelpunkt: Ergonomie, Mobilität und Funktionalität.

Zu Beginn des Projektes wurden die Anforderungen an alle Bedienelemente geprüft und deren ideale Position bestimmt. Alle Komponenten sollten nach der Neugestaltung gut erreichbar und benutzerfreundlich sein. Das Entwicklungsteam legte bei der Konzeption besonderen Wert auf eine intuitive Bedienung, ergonomisch optimierte Bedienelemente und individuell anpassbare Ausstattungsdetails. Ein ergonomischer



Steuerknüppel sollte präzise und fehlerfrei Steuerungsabläufe ermöglichen, das Display individuell konfigurierbar sein. Der Sitz sollte sich je nach Gewicht und Körpergröße der Kranförderin oder des Kranführers einstellen lassen und verstellbare Luftpumpen für Heizung und Klimaanlage den Komfort erhöhen.

Auch das Exterieur der Kabine wurde neu gedacht: Neue Griffpositionen und eine optimierte Trittbreite erleichterten den Einstieg in den Superlift 3800. Verstell- und beheizbare Außenspiegel, ein Dachscheibenwischer und getöntes Sicherheitsglas gewährleisteten optimale Sichtverhältnisse bei allen Wetterbedingungen. Ein neu entwickeltes Beleuchtungssystem sorgte für eine bestmögliche Ausleuchtung – sowohl im Innenraum als auch im Arbeitsumfeld des Krans.

Die überarbeitete Kabine feierte 2007 auf der Fachmesse „bauma“ in München ihre Premiere. Bereits dort bestätigten Rückmeldungen von Terex-Kunden, dass die Neuentwicklung bei den Nutzerinnen und Nutzern gut ankam. Das innovative Design wurde daraufhin auf mehrere Kranmodelle übertragen und prägte fortan das Markengesicht von Terex Cranes.

Die Zusammenarbeit zwischen Porsche Engineering und Terex Cranes zeigt, wie branchenübergreifendes Denken zu außergewöhnlichen Lösungen führen kann. Das Ergebnis: Krankabinen, die Ergonomie und Mobilität vereinen, konzentriertes und sicheres Arbeiten ermöglichen und ein Design bieten, das sowohl technisch als auch stilistisch überzeugt. ●

# 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 Meyer

Bildredaktion: Bettina Andersen

---

## Autoren

Richard Backhaus, Ralf Bielefeldt,

Constantin Gillies, Heike Hientzsch

---

## Art Direction

Christian Hruschka, Thomas Elmenhorst, Philipp Schubel

---

## Übersetzung

RWS Group, Berlin

---

## Kontakt

Porsche Engineering Group GmbH

Porschestr. 911

71287 Weissach

Tel. +49 711 9110

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

---

## Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

---

## Druck

optimal media GmbH

Glienholzweg 7

17207 Röbel/Müritz

---

## Leserservice

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

Senden Sie gerne Firma, Name und Anschrift an:

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



Bildquellen, soweit nicht anders ausgewiesen: Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG;  
S. 1: Cover: Doaly, S. 4–5: Illustrationen: Andrew Timmins, Romina Birzer (3), Fotos: Max Brunner, Getty Images (2); S. 10–15: Illustrationen: Andrew Timmins; S. 16: Illustration: Getty Images; S. 22–29: Fotos: Max Brunner; S. 33: Illustration: Andrew Timmins; S. 36–41: Fotos: Getty Images, Ronald Wissler, Illustrationen: twotype design; S. 42–43: Illustration: Julien Pacaud; S. 56: Montage: Christian Hruschka (Basis Getty Images); S. 66–67: PR

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers.  
Für die Rücksendung unverlangt eingesandten Materials kann keine Gewähr übernommen werden.  
Die Porsche Engineering Group GmbH ist eine 100%ige Tochtergesellschaft der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.

PORSCHE DESIGN

Speed wins races.  
Time creates legends.

DER CHRONOGRAPH 1 –  
ALL BLACK NUMBERED EDITION.

Getragen von Orlando Bloom.  
1972 entworfen von Prof. F. A. Porsche.

#MadeForRacers

