

Porsche Engineering Magazin



Entwicklungen für das batterieelektrische Fahrzeug von morgen



Unser Meisterstück: Seine Straßenzulassung.

Sportmade. Der neue 911 GT3 RS.

Perfektion ist nie der Anfang. Aber immer das Ziel. Erleben Sie den neuen 911 GT3 RS in Bestform. Dank radikalem Abtrieb und umfangreichem Leichtbau, für eine nochmalige Steigerung der Rundstrecken-Performance. Mehr unter www.porsche.de/GT3RS

Kraftstoffverbrauch in l/100 km: innerorts 17,6 · außerorts 9,8 · kombiniert 12,7 (NEFZ); kombiniert 13,4 (WLTP);
CO₂-Emissionen in g/km kombiniert: 289 (NEFZ); 305 (WLTP)



PORSCHE



Dirk Lappe
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

seit 20 Jahren beschäftigen wir uns bei Porsche Engineering mit Elektromobilität, dem Thema unserer aktuellen Titelgeschichte. Alles begann mit einem ungewöhnlichen Projekt: 2003 erhielten wir den Auftrag, ein neuartiges Wasserfahrzeug zu entwickeln, das von einer elektrisch angetriebenen Turbine durchs Wasser gezogen werden sollte. Entstanden ist daraus der Wasser-Scooter Cayago Seabob, den wir bis heute weiterentwickeln.

Ich selbst bin im Jahre 2002 zu Porsche Engineering gekommen und 2009 Geschäftsführer geworden – genau zu der Zeit, als Porsche die ersten Prototypen eines Cayenne S Hybrid vorgestellt hatte. Die Technologie war damals noch sehr jung, und einschlägige Expertise war ebenso schwer zu finden wie geeignete Komponenten für batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge. Bei Porsche Engineering hatten wir allerdings einen Startvorteil: die Erfahrungen, die wir beim Seabob-Projekt gewonnen hatten. So kam es, dass wir ab 2009 für Porsche im Rahmen eines Forschungsprojekts den ersten Porsche Boxster-Prototyp mit Elektroantrieb entwickeln durften.

Seit damals hat die Bedeutung der Elektromobilität in der Automobilindustrie und in unserem Unternehmen immens zugenommen. Im Lauf der Jahre haben wir mit Kunden in Europa und in China die unterschiedlichsten batterieelektrischen Fahrzeuge entwickelt, zahlreiche Erfindungen angemeldet und unsere Kompetenzen konsequent ausgebaut. Immer mit dem Ziel, als Technologiepartner unserer Kunden in innovativen Themenfeldern, wie etwa Hochvolt- und Batterietechnologien, Pionierarbeit zu leisten.

In dieser Ausgabe beschäftigen wir uns mit intelligenten Plattformkonzepten für batterieelektrische Fahrzeuge und neuen Ansätzen für die Rekuperation. Wir erklären den Einfluss von Batteriemanagementsystemen auf Lebensdauer und Performance und geben einen Einblick in unsere verschiedenen Verfahren für den Test von Hochvoltkomponenten.

In unserem Gastbeitrag beschreiben wir, wie virtuelle und reale Welten immer mehr verschmelzen. Wenn sich die Handlungsräume des Internets und der Realität im sogenannten Metaversum zu einer neuen Wirklichkeit vereinen, kann das auch Auswirkungen auf unsere zukünftigen Entwicklungsleistungen haben. Interessanterweise gibt es hier Parallelen zur virtuellen Fahrzeugentwicklung, da auch hier die vollständige natürliche Umgebung abgebildet wird und mit echten Fahrzeugen zusammenspielt. Diese Technologie kann für Entwicklungen im Metaversum direkt verwendet werden. Dabei gilt es, mit den Rechenressourcen nachhaltig umzugehen.

Wir können beim Thema Nachhaltigkeit also noch mehr tun, als unsere Fahrzeuge auf Batteriebetrieb umzustellen. Auch die Software-Entwicklung – ob für die reale oder die virtuelle Welt – bietet großes Potenzial. Darum verfolgen wir sehr aufmerksam das Thema „Green Coding“, also die Entwicklung von Software, die möglichst wenig Rechenleistung und Energie verbraucht. Ich bin sehr gespannt, wohin dieser Trend führt, und freue mich darauf, dazu einen eigenen Beitrag zu leisten.

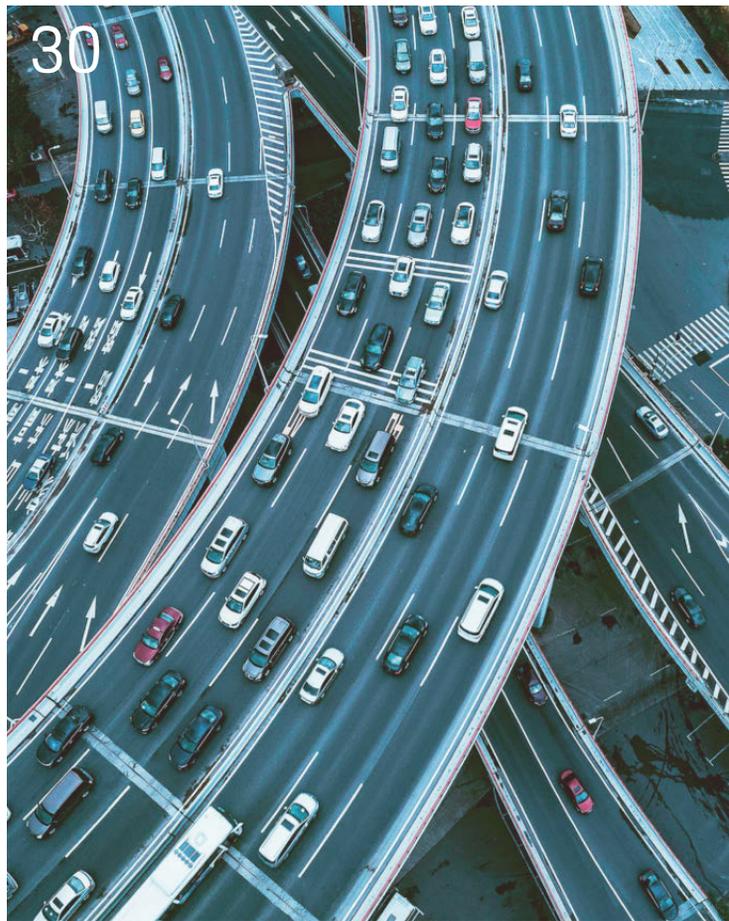
Technologien für nachhaltige Mobilität prägen: Das verstehen wir bei Porsche Engineering als unsere Mission. Ganz zu schweigen von den Emotionen, der Dynamik und dem Fahrspaß, die unsere batterieelektrischen Entwicklungen mit sich bringen.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Ihr Dirk Lappe

—————> **ÜBER PORSCHE ENGINEERING:** Die Porsche Engineering Group GmbH ist internationaler Technologiepartner der Automobilindustrie. Die Tochtergesellschaft der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG entwickelt für ihre Kunden das intelligente und vernetzte Fahrzeug der Zukunft – inklusive Funktionen und Software. Etwa 1.600 Ingenieure und Software-Entwickler widmen sich neuesten Technologien, etwa in den Feldern hochautomatisierte Fahrfunktionen, E-Mobilität und Hochvoltssysteme, Konnektivität und Künstliche Intelligenz. Sie führen die Tradition des 1931 gegründeten Konstruktionsbüros von Ferdinand Porsche fort und entwickeln die digitalen Fahrzeugtechnologien von morgen. Dabei kombinieren sie tiefgreifende Fahrzeugexpertise mit Digital- und Software-Kompetenz.

Vernetzt: Die Fahrzeuge von morgen kommunizieren untereinander und mit ihrer Umwelt.



Untersuchung: Antonio Toma (links) und Andrea Casaluce vom NTC bereiten eine Batterie auf einen Misuse-Test vor.



INHALT 01/2023

PORSCHE
ENGINEERING
DIGITAL



TITEL: ENTWICKLUNGEN FÜR DAS BATTERIE- ELEKTRISCHE FAHRZEUG VON MORGEN

10

Eine für alle

Plattformlösungen für E-Fahrzeuge bieten viele Vorteile bei Entwicklung und Produktion. Porsche Engineering berät Kunden vom Konzept bis hin zum Serienfahrzeug.

14

Wer bremst, gewinnt

Neue Konzepte für die Bremskraftverteilung bei E-Fahrzeugen verbessern die Rekuperation – ohne Einbußen beim Komfort.

18

Im Wohlfühlmodus

Batteriemanagementsysteme bewerten den Zustand der Energiespeicher und steuern den effizienten Betrieb.

22

Hochvolttechnik auf dem Prüfstand

Porsche Engineering nutzt für die Entwicklung von Elektroantrieben Realtests und Untersuchungen in virtuellen Umgebungen.

PERFORMANCE UND EXPERTISE

30

Vernetzt. Effizient. Sicher.

Vehicle-to-X-Kommunikation hilft, Staus und Unfälle zu verhindern. Außerdem treibt sie das autonome Fahren voran. Porsche Engineering arbeitet an den KI-basierten Funktionen von morgen.

36

„Vertrauensvolle Zusammenarbeit von Beschaffung und Entwicklung“

Barbara Frenkel, Mitglied des Vorstandes Beschaffung der Porsche AG, und Dr. Peter Schäfer, Vorsitzender der Geschäftsführung von Porsche Engineering, über die Transformation der Automobilbranche und die neuen Rollen von Beschaffung und Entwicklung.

Vielversprechend: Anoden aus Silizium haben eine deutlich höhere Speicherfähigkeit im Vergleich zu Graphit.



42

Optimiert: Sebastian Steudtner und sein Team arbeiten im Porsche-Windkanal an der perfekten Haltung auf dem Brett.



52

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

42

Die Zukunft der Zelle

Batterien entwickeln sich immer weiter und sollen bald bei Kapazität, Ladeleistung, Sicherheit und Lebensdauer deutliche Fortschritte machen.

46

Chips à la Carte

In Zukunft sollen Chips aus „Chiplets“ zusammengesetzt werden. Das verspricht eine höhere Ausbeute und mehr Flexibilität bei der Konfiguration von Systemen.

50

Träumen mit offenen Augen

XR soll Menschen in Zukunft eine immersive Erfahrung ermöglichen, die sich wie eine parallele Wirklichkeit anfühlt. Ein Gastbeitrag von Kai-Fu Lee und Qiufan Chen.

PORSCHE UND PRODUKT

52

Bereit für die perfekte Welle

Big-Wave-Weltmeister Sebastian Steudtner will seinen Sport gemeinsam mit Porsche Engineering auf ein neues Niveau heben.

58

Auf Performance ausgelegt

Der neue Porsche 911 GT3 RS macht keinen Hehl aus der Verwandtschaft mit seinem Motorsportbruder 911 GT3 R.

RUBRIKEN

- 03 Editorial
- 06 Meldungen
- 08 Auf den Punkt.
- 28 Noch Fragen?
- 64 Nach gedacht
- 66 Rückblick
- 67 Impressum

MITWIRKENDE



Julien Pacaud

ist Künstler und Illustrator aus Paris. Er hat auch als Astrophysiker und Esperanto-Lehrer gearbeitet.



Claudius Lüder

ist freier Autor und Redakteur. Er beschäftigt sich besonders mit Automobil- und Technik-Themen.



Robertino Nikolic

fotografiert Menschen und Architektur für Magazine und Werbung. Er lebt in Berlin und Wiesbaden.

Der Taycan Turbo

Verbrauchsangaben nach WLTP:
CO₂-Emission kombiniert: 0–0 g/km
Stromverbrauch kombiniert: 23,6–20,2 kWh/100 km
Stromverbrauch Stadt: 19,2–16,3 kWh/100 km

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
CO₂-Emission kombiniert: 0 g/km
Stromverbrauch kombiniert: 26,0 kWh/100 km
Energieeffizienzklasse: A+++
Stand: 10/2022



Das neue Porsche Engineering-Büro befindet sich im Peking Stadtbezirk Chaoyang.

Porsche Engineering in China

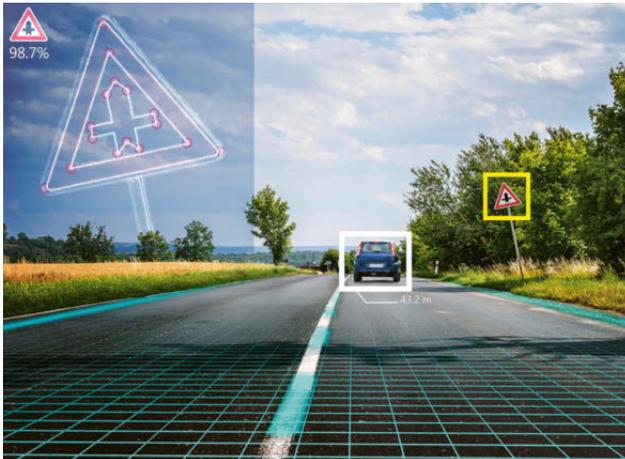


„Die Eröffnung des neuen Porsche Engineering-Büros in Peking ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Realisierung unserer Ziele, die Besonderheiten des chinesischen Marktes zu berücksichtigen und spezifische Entwicklungen für chinesische Fahrzeuge voranzutreiben.“

Uwe Pichler-Necek
Geschäftsführer von Porsche Engineering China

NEUER STANDORT IN PEKING

Porsche Engineering eröffnet einen neuen Standort in Peking, um die Rolle als strategischer Entwicklungspartner für die Porsche AG und Porsche China zu stärken und um den stetig wachsenden Anforderungen des chinesischen Marktes noch besser gerecht zu werden, insbesondere in den Bereichen hochautomatisiertes Fahren, Konnektivität, Infotainment und Assistenzsysteme. Das neue Forschungs- und Entwicklungs-Büro befindet sich im Stadtbezirk Chaoyang, wo sich eine Reihe bekannter Automobilunternehmen niedergelassen hat. Es erweitert und ergänzt die Kompetenzen des Standorts in Shanghai, an dem bereits mehr als 130 Mitarbeiter an diversen Hightech-Automobilprojekten arbeiten. „Die Nähe des Pekingers Büros zu wichtigen Kunden wird uns bei unseren Plänen unterstützen, eine noch stärkere Präsenz auf dem chinesischen Markt aufzubauen und unsere Kompetenzen für die Entwicklung des intelligenten und vernetzten Fahrzeugs weiter auszubauen“, sagt Peter Schäfer, Geschäftsführer von Porsche Engineering und Vorsitzender des Beirats der chinesischen Tochtergesellschaft. Porsche Engineering beschäftigt in China vor allem Experten für hochautomatisiertes Fahren, Fahrwerk, Hochvoltsysteme, Konnektivitätslösungen und Infotainment. „Mit der Erweiterung von Porsche Engineering in Peking erwarte ich einen raschen Ausbau der übergreifenden F&E-Kompetenzen des Porsche-Konzerns in China sowie weitere Beiträge zu unserem Erfolg auf dem Weltmarkt bei gleichzeitiger Förderung lokaler Innovationen“, ergänzt Michael Kirsch, CEO von Porsche China.



Fahrerassistenzsysteme

SMARTE MESSTECHNIK ENTWICKELT

Porsche Engineering hat eine neue Messtechnik für den Test der Verkehrszeichenerkennung und von Wahrnehmungsfunktionen für Fahrerassistenzsysteme entwickelt. Sie greift auf die Bilder der Frontkamera zu und leitet sie als Webcam-Bild an eine Auswertesoftware weiter, mit deren Hilfe die Entwickler bewerten, ob Verkehrszeichen und Objekte wie Autos oder Fußgänger im Straßenverkehr korrekt erkannt werden. Im Vergleich zu bisherigen Lösungen zeichnet sich die neue Lösung durch deutlich geringere Kosten, eine höhere Robustheit und eine einfache Integrierbarkeit ins Fahrzeug aus. In Kombination mit einer ebenfalls neu entwickelten Software für die ComBox von Porsche Engineering lassen sich relevante Daten ausfiltern und bereits während der Fahrt oder abends auf einen Server übertragen, was die Auswertung deutlich beschleunigt.

Porsche Engineering in Rumänien

ENGAGEMENT FÜR DIE GEMEINSCHAFT

Im Jahr 2022 beteiligte sich die schnell wachsende Gemeinschaft an Freiwilligen von Porsche Engineering in Rumänien an einer Vielzahl von Initiativen, die von Baumpflanzungen bis hin zu Aufräumaktionen reichten.

Darüber hinaus veranstaltete sie ihr erstes internes Treffen, um über die Bedeutung von Freiwilligenarbeit zu sprechen. Als besonderer Gast war die Organisation CERT Transilvania eingeladen, die sich um benachteiligte Kinder kümmert. Gemeinsam mit CERT Transilvania und einem lokalen Waisenhaus will die „Ladies in Technology“-Community von Porsche Engineering Rumänien ein langfristiges Programm zur Unterstützung von Kindern durch Wissensaustausch und die Organisation von Bildungsaktivitäten entwickeln.



BCM Awards

AND THE WINNER IS ...

Das Porsche Engineering Magazin 02/2021 mit dem Titelthema „Intelligent. Vernetzt. Digital“ wurde bei den diesjährigen BCM Awards (Best of Content Marketing) in der Kategorie „Magazine Automobil“ mit einer Auszeichnung in Silber prämiert. Der jährlich vergebene Preis gilt als eine der wichtigsten Auszeichnungen für Unternehmenskommunikation. Im Jahr 2021 hatte die Ausgabe 01/2021 mit dem Titelthema „Next Level“ einen Preis in Gold erhalten.

Rohstoff für Magnete

Neodym und andere Seltene Erden ermöglichen E-Motoren mit hoher Leistungs- und Drehmomentdichte. Zum Glück sind die wichtigen Rohstoffe nicht ganz so selten, wie ihr Name nahelegt. Um die steigende Nachfrage auch in Zukunft befriedigen zu können, wird auch an neuen Recycling-Verfahren geforscht.

Wenn über **Elektromobilität** gesprochen wird, fällt schnell das Stichwort „Seltene Erden“. Darunter verstehen Chemiker die 17 „Seltenerdmetalle“ im Periodensystem der Elemente, zum Beispiel Lanthan, Praseodym, Neodym, Terbium, Dysprosium und Lutetium. Einige von ihnen spielen in den Motoren und Batterien von Elektrofahrzeugen eine wichtige Rolle.

So bestehen die Magnete von elektrischen Traktionsmotoren neben Eisen zu rund 30 Prozent aus Seltenen Erden. Vor allem kommt hier Neodym, aber auch Dysprosium und Terbium zum Einsatz. Ihr großer Vorteil: Selbst kleine Magnete erzeugen starke magnetische Felder, was den E-Antrieben zugutekommt. „Dank der Seltenen Erden in

Nd

Neodym

Ordnungszahl

60

Schmelzpunkt

1.024 °C

Siedepunkt

3.030 °C



Text: Christian Buck
Illustration: Oriana Fenwick



Tb

Terbium

Ordnungszahl

65

Schmelzpunkt

1.356 °C

Siedepunkt

3.123 °C

Dy

Dysprosium

Ordnungszahl

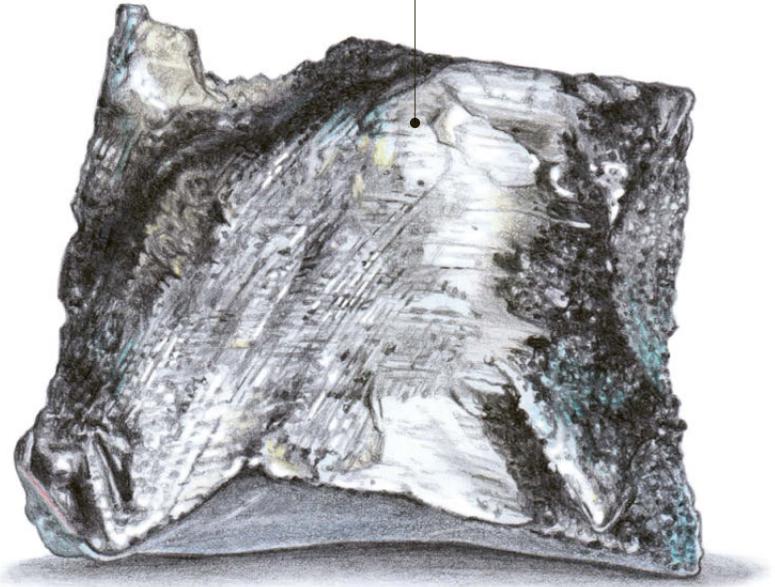
66

Schmelzpunkt

1.407 °C

Siedepunkt

2.600 °C



den Magneten erreichen permanenterregte Elektromotoren sehr hohe Leistungs- und Drehmomentdichten, was wiederum die Effizienz des gesamten Antriebs erhöht“, berichtet Dr. Rafal Piotuch, Fachprojekt-ingenieur für E-Maschinen bei Porsche Engineering. „Andere Magnetmaterialien wie Ferrit kommen zwar ohne Seltene Erden aus, führen aber zu Nachteilen beim Gewicht und Bauraum von E-Motoren.“

Als Alternativen zu permanenterregten E-Motoren kommen in manchen Elektrofahr-

zeugen fremderregte und Asynchronmotoren zum Einsatz. Aber beide erreichen nicht die hohe Leistungsdichte und Performance ihrer Pendanten mit Seltenen Erden in den Magneten. Insbesondere in Sportwagen werden sich Neodym, Dysprosium und Terbium darum wahrscheinlich nicht so schnell ersetzen lassen.

Bleibt die Frage: Sind Seltene Erden wirklich selten? Nein, sind sie nicht – manche von ihnen kommen sogar häufiger vor als Blei, und 2021 wurden weltweit rund 280.000 Tonnen Seltenerd-Oxide produziert. „Allerdings ist die Förderung mit einem sehr großen Aufwand verbunden“, erklärt Matthias Böger, Fachprojekt-ingenieur Motorberechnung bei Porsche Engineering. „Sie werden in einem aufwendigen Prozess

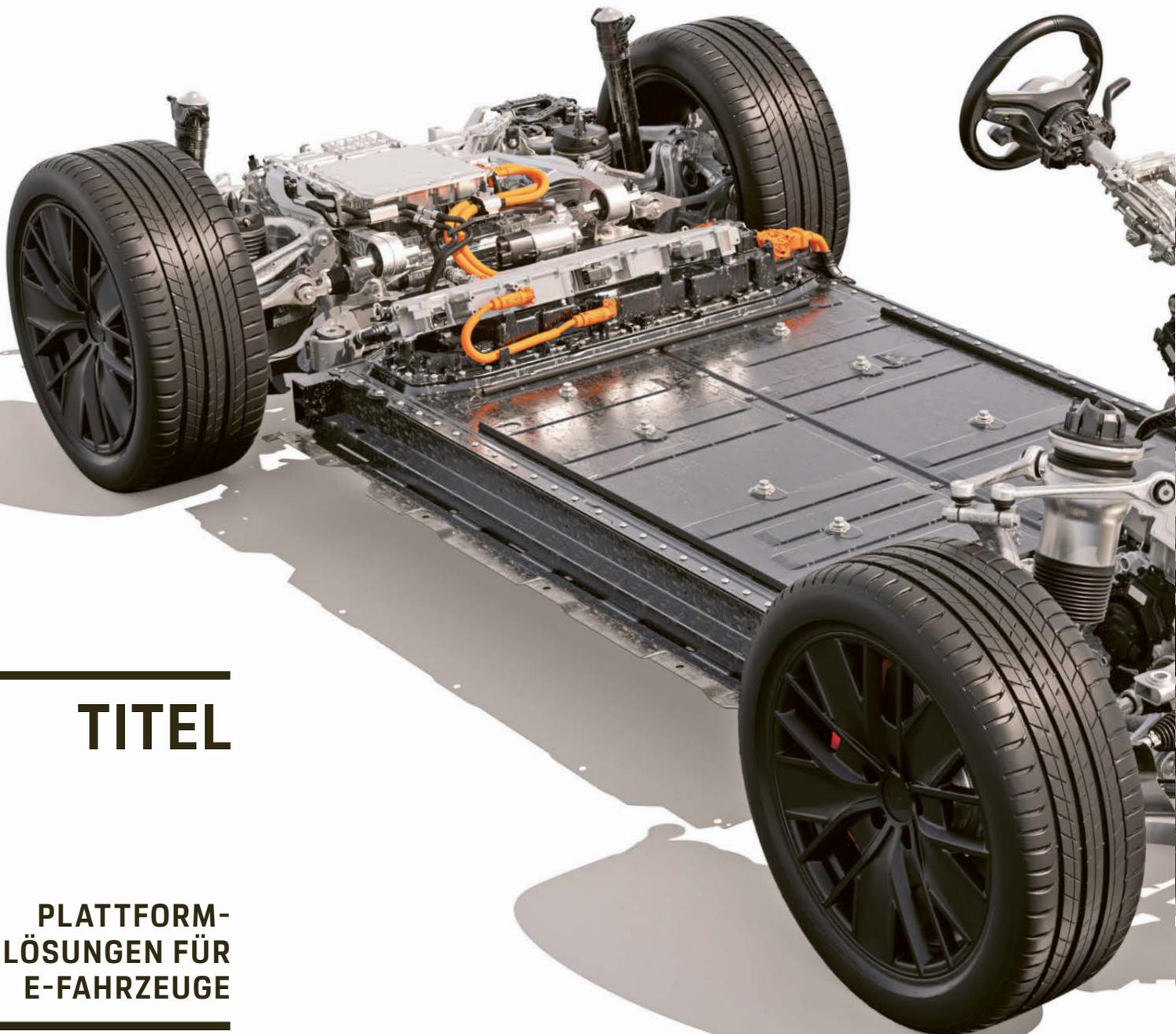
aus Erzen gewonnen, indem die Seltenerd-Oxide aus den Erzen separiert und schließlich in reine Metalle gewandelt werden.“ Hinzu kommt: Die Lagerstätten sind weltweit ungleich verteilt, sodass nur wenige Länder über die größten Vorkommen verfügen.

Die Nachfrage nach Seltenen Erden dürfte in Zukunft stark ansteigen. Allein für elektrische Traktionsmotoren wird sich laut Schätzungen der weltweite Bedarf bis 2040 auf das Zwanzigfache des Werts von 2018 erhöhen. Auch Windkraftanlagen sind auf die Rohstoffe angewiesen, und hier soll die Nachfrage im gleichen Zeitraum fast um den Faktor vier steigen. Um die Versorgungssicherheit langfristig zu gewährleisten, wird darum intensiv an Verfahren zum Recycling von Neodym und Co. geforscht. ●

EINE FÜR ALLE

Intelligente Plattformstrategien verringern den Zeit- und Kostenaufwand bei der Entwicklung von E-Fahrzeugen. Porsche Engineering verfügt bei der Plattformentwicklung über eine umfangreiche Expertise und unterstützt seine Kunden von der ersten Konzeptidee bis hin zum serienreifen Fahrzeug. So entstehen Plattformen, die flexibel und zukunftssicher sind.

Text: Richard Backhaus

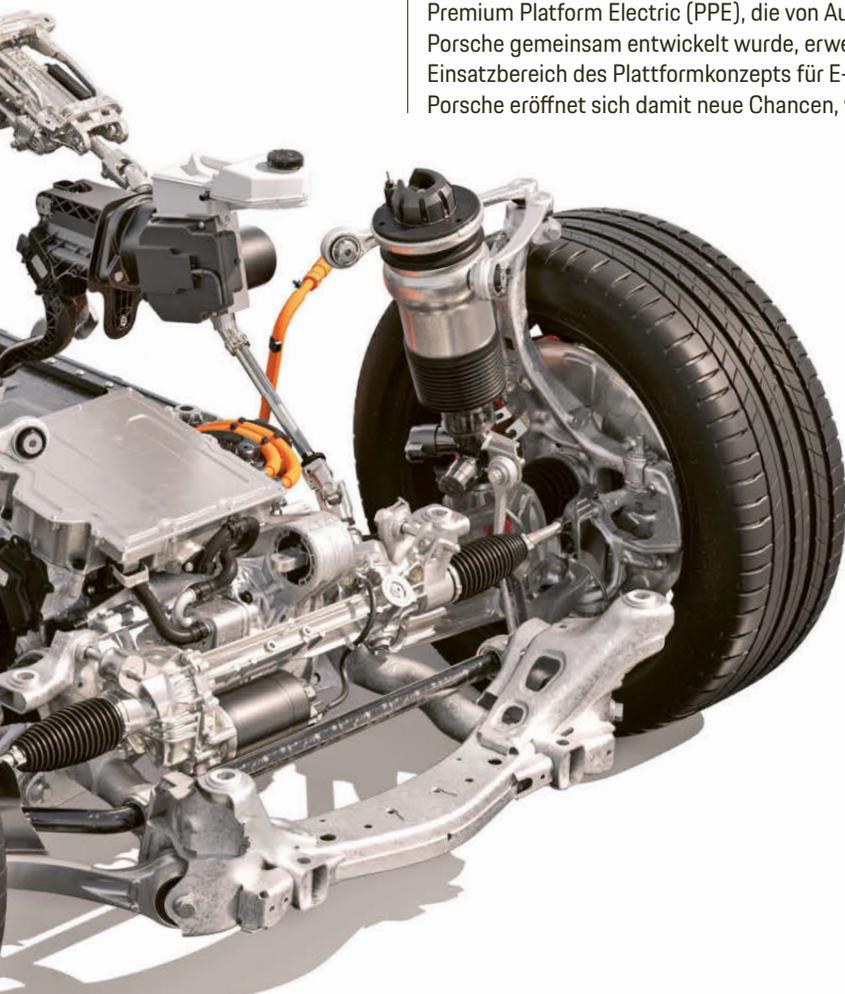


TITEL

**PLATTFORM-
LÖSUNGEN FÜR
E-FAHRZEUGE**

Eine Plattform für zahlreiche verschiedene Fahrzeugmodelle: Schon seit vielen Jahren trägt dieser Ansatz bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor dazu bei, eine große Zahl unterschiedlicher Modelle und Derivate mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand zu entwickeln und in die Serie zu bringen. In der Produktion führt der Ansatz zu Skaleneffekten: Weniger Bauteile in hohen Stückzahlen reduzieren die Bauteilkosten und sorgen für eine hohe Qualität der Produkte. Einer der Vorreiter einer konsequenten Plattformstrategie war Volkswagen mit dem Modularen Querbaukasten (MQB). Er ist seit 2012 die gemeinsame Basis für eine Vielzahl von Modellen mit Otto- oder Dieselmotor. Konzernweit wurden mehr als 32 Millionen Fahrzeuge auf Basis dieser Plattform produziert.

Mit dem Modularen E-Antriebs-Baukasten (MEB) hat Volkswagen die Idee des MQB frühzeitig auf Elektrofahrzeuge übertragen, um auch hier die Effizienz in Entwicklung und Produktion zu verbessern. Die neue Premium Platform Electric (PPE), die von Audi und Porsche gemeinsam entwickelt wurde, erweitert den Einsatzbereich des Plattformkonzepts für E-Fahrzeuge. Porsche eröffnet sich damit neue Chancen, volumen-



Elektrifizierung des Portfolios: Die Premium Platform Electric (PPE) ermöglicht es Porsche, volumenstarke Modelle mit hohem technischen Anspruch wirtschaftlich rentabel auf den Markt zu bringen.

starke Modelle mit hohem technischem Anspruch wirtschaftlich rentabel auf den Markt zu bringen und damit einen weiteren, wichtigen Teil des Portfolios zu elektrifizieren. Im Jahr 2030 strebt der Stuttgarter Sportwagenhersteller bei seinen Neuauslieferungen einen vollelektrischen Anteil von mehr als 80 Prozent an.

Mit der PPE lassen sich die Vorteile einer reinen Elektroplattform in vielerlei Hinsicht nutzen. Ein Beispiel, neben Package und Raumangebot, ist die in den Unterboden integrierte Lithium-Ionen-Batterie. Bei deren Dimensionierung hat sich das Unternehmen der Porsche-Philosophie entsprechend im Spannungsfeld zwischen Reichweite, Performance und Nachhaltigkeit auf die Reisedauer fokussiert. Gleichzeitig bietet die Architektur bei Radstand, Spurweite und Bodenfreiheit so viel Spielraum, dass unterschiedliche Modelle mit Heck- oder Allradantrieb in verschiedenen Leistungsstufen für verschiedene Segmente darauf realisiert werden können.

EIGENSTÄNDIGER CHARAKTER

Diese Flexibilität erlaubt, dass Porsche-Modelle weiterhin ihren starken, eigenständigen Charakter haben. Die Systemleistung soll zunächst einmal bis zu 450 kW betragen, das maximale Drehmoment über 1.000 Nm. Der erste Porsche auf Basis der PPE wird der vollelektrische Macan sein. Mit seiner 800-Volt-Architektur, leistungsstarken Elektromotoren der neuesten Generation und einem modernen Batterie- und Lademanagement bietet dieses Modell die für Porsche typische E-Performance. Der Nachfolger des erfolgreichen Kompakt-SUV soll das sportlichste Modell in seinem Segment werden. Neben reproduzierbaren Best-in-Class-Fahrleistungswerten gehören eine langstreckentaugliche Reichweite und hochleistungsfähiges Schnellladen zu den Entwicklungszielen.

Die Vorteile einer Plattform für E-Fahrzeuge liegen auf der Hand – allerdings ist ihre Auslegung eine sehr komplexe Herausforderung für die Ingenieure, denn dabei müssen viele Aspekte beachtet und teilweise gegenläufige Entwicklungsziele zusammengeführt werden. Das gilt generell für alle Fahrzeuge, insbesondere aber für jene mit Elektroantrieb. Denn hier bieten die einzelnen Antriebskomponenten mehr Designfreiheiten als beim Verbrennungsmotor – etwa, um die Plattform auf große Skalierbarkeit auszulegen und sie so flexibel zu gestalten, dass aus dem Antriebssystem-Baukasten heraus ganz unterschiedliche Fahrzeuge gestaltet werden können. So kann, anders als beim Verbrennungsmotor, beim E-Antrieb innerhalb einer Plattform durch die Positionierung beziehungsweise das Hinzufügen eines weiteren E-Motors einfach ein Hinterrad-, Allrad- oder Frontantrieb realisiert werden.

Im Lauf der Jahre hat sich Porsche Engineering bei Projekten aus diesem Bereich ein umfangreiches Gesamtsystem-Know-how angeeignet, sodass die Entwickler Plattformkonzepte optimal abstimmen können. Heute umfasst das Dienstleistungsangebot

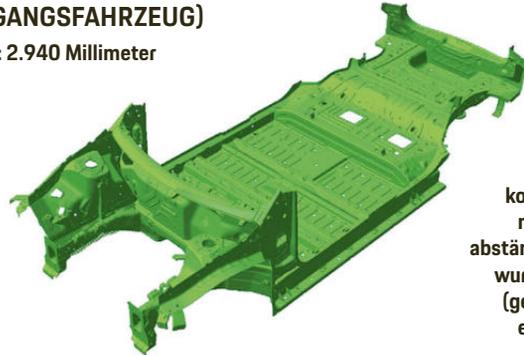
PLATTFORMKONZEPT: SKALIERBARKEIT VON ANFANG AN BERÜCKSICHTIGT

Alle Segmente mit einer Plattform abdecken

Für einen Kunden hat Porsche Engineering ein Plattformkonzept entwickelt und schon bei den ersten Entwürfen die Skalierbarkeit berücksichtigt – so wurden zum Beispiel für die verschiedenen Radstände der unterschiedlichen Fahrzeugmodelle die Sprünge so definiert, dass immer ein weiteres Batterie-modul in entstehende Lücken im Fahrzeugunterboden passt. So konnte der Kunde vom Kompaktwagen über eine Limousine bis zum SUV alle gewünschten Fahrzeugsegmente mit einer Plattform abdecken.

SUV (AUSGANGSFAHRZEUG)

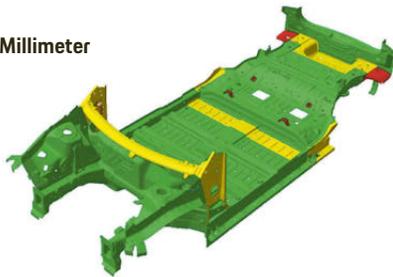
Achsabstand: 2.940 Millimeter



Das Plattformkonzept setzt auf modulare Achsabstände. Einige Teile wurden modifiziert (gelb), andere neu entwickelt (rot).

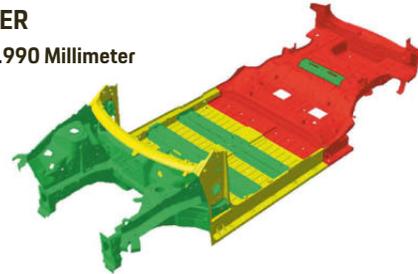
CITY SUV

Achsabstand: 2.810 Millimeter



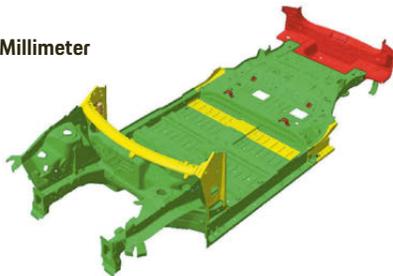
TRANSPORTER

Achsabstand: 2.990 Millimeter



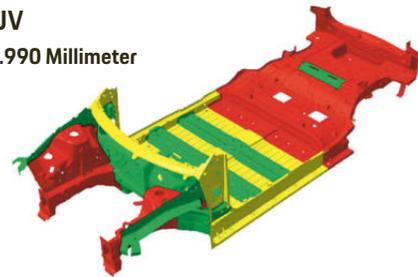
LIMOUSINE

Achsabstand: 2.810 Millimeter



GROSSER SUV

Achsabstand: 2.990 Millimeter



„Schon bei den ersten Entwürfen der Plattform haben wir die Skalierbarkeit berücksichtigt.“

Humberto de Campos do Carmo

Leiter Fachdisziplin Fahrzeug Konzepte und Package bei Porsche Engineering

des Unternehmens alle Schritte entlang der gesamten Entwicklungsprozesskette für Plattformen. Die Spanne reicht von der ersten Projektidee bis zur Plattformdefinition. Die Grundlage bildet in der Regel eine initiale Machbarkeitsstudie, in der geprüft wird, ob ein Projekt mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen technisch umsetzbar ist. Die subjektiven Wünsche des Kunden werden dabei in objektive, physikalisch prüf- und messbare Eigenschaften überführt.

RECHNERGESTÜTZTE ENTWICKLUNG

Der nächste Schritt ist die Ausarbeitung des Maßkonzepts, bei dem das Entwicklerteam alle relevanten Abmessungen des Fahrzeugs und seiner Komponenten festlegt. „Auf dieser Basis wird die Entwicklung immer weiter verfeinert, bis ein digitales Konzept des Gesamtfahrzeugs vorliegt“, erklärt Humberto de



„Das umfassende Know-how von Porsche Engineering macht die Zusammenarbeit für uns besonders wertvoll.“

Klaus Bernhard

Leiter Physische Architektur Plattform und Maßkonzept bei der Porsche AG

Campos do Carmo, Leiter Fachdisziplin Fahrzeug Konzepte und Package bei Porsche Engineering. Anhand von Simulationen entstehen dabei genaue Vorgaben, beispielsweise für die Rohbaustruktur, die Batterie, die Sitze, den Antrieb und die Karosserie-Trägerstruktur. Die rechnergestützte Entwicklung mündet in ein virtuelles Modell, das sogenannte Digital Mock-Up (DMU), in dem die Hauptkomponenten definiert sind. Dieser Projektstand wird vom Fahrzeughersteller dann zum serienreifen Fahrzeug weiterentwickelt.

Auch in dieser Phase unterstützt Porsche Engineering seine Kunden bei Entwicklung, Simulation und Test von Komponenten, Systemen und Gesamtfahrzeug. „Das umfassende Know-how von Porsche Engineering macht die Zusammenarbeit für uns besonders wertvoll, denn so erhalten wir eine nahtlose Unterstützung über alle Bereiche und Abteilungen hinweg“, berichtet Klaus Bernhard, Leiter Physische Architektur Plattform und Maßkonzept bei Porsche. „Das spart Abstimmungsaufwand und erleichtert die Entwicklung, denn eine Elektrofahrzeug-Plattform muss grundsätzlich im System gedacht werden. Nur so können substantielle Entwicklungsinhalte wie Crash-Sicherheit, Package, Schwerpunktlage, Gewicht und Funktionen parallel berücksichtigt werden.“

MARKE OPTIMAL ZUR GELTUNG BRINGEN

Dabei spielt die Batterie eine entscheidende Rolle, da sie im E-Fahrzeug nicht nur Energiespeicher ist, sondern aus Bauraum- und Gewichtsgründen auch integraler Bestandteil der Crashstruktur, der Versteifung des Unterbodens sowie Teil des Kühlsystems sein sollte. „Porsche setzt die Flexibilität der Plattformen gezielt ein, um die Fahrzeuge so auszulegen, dass die markenspezifischen Eigenschaften der Sportwagen von Porsche – hohe Alltagstauglichkeit und hohe Fahr-Performance – optimal zur Geltung kommen“, sagt Bernhard. Das umfasst beispielsweise die Gestaltung des Fahrerplatzes und der Sitzposition, die ergonomisch, sportlich und dennoch komfortabel sowie weltweit für eine breite Kundengruppe geeignet sein müssen.

Der oberste Entwicklungsgrundsatz der Plattformentwicklung lautet, dass man mit einem konkreten Fahrzeugprojekt erst starten sollte, wenn die Plattform definiert ist. Denn nur dann lassen sich die einzelnen Entwicklungsziele bestmöglich ausbalancieren und Komponenten wie Batterie, Vorder- und Hinterachse oder beispielsweise die Größe der Räder optimal auslegen. Nachträgliche Änderungen sind sehr zeit- und kostenaufwendig und manchmal auch gar nicht umsetzbar. Viele, zumeist kleine Automobilhersteller haben die Vorteile der Plattformstrategie anfänglich nicht im Blick, wenn sie mit einem Fahrzeugentwicklungsprojekt starten. „Leider erleben wir es immer wieder, dass wir erst kontaktiert werden, wenn es schon ein Fahrzeugmodell gibt und wir weitere Derivate entwickeln sollen, für die die Plattform gar nicht geeig-

net ist“, so de Campos do Carmo. „Dann muss sich der Automobilhersteller entscheiden, ob er entweder eine neue Plattform entwickelt oder eine kompromissbehaftete Lösung wählt, die nicht alle Anforderungen erfüllt.“

Ein Beispiel für einen Kunden, der frühzeitig die Zusammenarbeit mit Porsche Engineering gesucht hat und damit erhebliche Entwicklungsaufwendungen einsparen konnte, ist ein Kunde, der eine E-Fahrzeugmodellreihe auf den Markt bringen wollte. „Schon bei den ersten Entwürfen der Plattform haben wir die Skalierbarkeit berücksichtigt und zudem ein Baukastensystem für die wichtigsten Fahrzeugsysteme entwickelt“, erklärt de Campos do Carmo. Für die verschiedenen Radstände der unterschiedlichen Fahrzeugmodelle hat das Entwicklungsteam beispielsweise die Sprünge so definiert, dass bei einer Vergrößerung des Radstands immer ein weiteres Batteriemodul in die entstehende Lücke im Fahrzeugunterboden passt. Auf diese Weise kann der Kunde vom Kompaktwagen über die Limousine bis zum SUV alle gewünschten Fahrzeugsegmente mit einer Plattform abdecken.

HOHE FLEXIBILITÄT ERFORDERLICH

Ein weiterer Aspekt bei der Konzipierung einer modernen Plattform ist ihre Zukunftsfähigkeit. Auch wenn beispielsweise zunächst nur Fahrzeuge mit Heckantrieb geplant sind, sollten andere Optionen wie Vorderrad- oder Allradantrieb mitberücksichtigt werden, damit die Plattform künftige, vielleicht aktuell noch gar nicht geplante Fahrzeugmodelle mit abdecken kann. Ebenso wichtig ist eine hohe Flexibilität für die Integration künftiger Technologien. Denn die Entwicklung der Elektromobilität und damit von Komponenten wie Batterie und E-Motor, aber auch der E/E-Architektur, schreiten mit großen Schritten voran. „Aufgrund der langen Laufzeit von Plattformen ist bei deren Konzipierung nicht absehbar, welche Innovationen in einigen Jahren ins Fahrzeug integriert werden müssen“, erklärt Bernhard. Und de Campos do Carmo ergänzt: „Bei der Entwicklung einer neuen Plattform muss immer abgeschätzt werden, welche Technologien in dieser Zeit serienreif werden und in welcher Form sie in die Plattform übernommen werden könnten.“ ●



ZUSAMMENGEFASST

Seit vielen Jahren tragen Plattformkonzepte dazu bei, unterschiedliche Modelle und Derivate mit vertretbarem Zeit- und Kostenaufwand zu entwickeln und in Serie zu bringen. Bei E-Fahrzeugen bieten sie viele Vorteile, allerdings ist ihre Auslegung eine sehr komplexe Herausforderung, denn dabei müssen viele Aspekte beachtet und teilweise gegenläufige Entwicklungsziele zusammengeführt werden. Porsche Engineering unterstützt seine Kunden von der ersten Konzeptidee bis hin zum serienreifen Fahrzeug.



Effiziente Lösung: Dank Rekuperation muss die Bremse trotz gesteigerter Anforderungen nicht größer dimensioniert werden und hat darum auch keinen negativen Einfluss auf die Reichweite.

Wer bremst, gewinnt

Batterieelektrische Fahrzeuge stellen neue Anforderungen an das Fahrwerk, insbesondere bei den Themen Bremsen und Rekuperation. Die Entwickler im Porsche-Konzern arbeiten an neuen Konzepten für die Bremskraftverteilung, die eine bessere Rekuperation ermöglichen, ohne den Komfort zu beeinträchtigen.

Text: Constantin Gillies

Fahrwerkentwickler fordert die Elektrifizierung gleich doppelt heraus: Zum einen werden die Fahrzeuge durch die Batterie schwerer, zum anderen weisen sie oft eine bessere Fahrdynamik auf. Beides macht üblicherweise eine leistungsstärkere hydraulische Radbremse nötig. Diese jedoch verringert die Effizienz und kostet Reichweite, weil das Gewicht steigt und der Verbrauch zunimmt.

Der Porsche Taycan kommt ohne eine vergrößerte Bremsanlage aus – dank der Rekuperation: Sobald der Fahrer das Bremspedal betätigt, schalten die E-Maschinen auf generatorischen Betrieb um. Dann treiben die Motoren nicht mehr die Räder an, sondern umgekehrt. Das bremst das Fahrzeug ab und erzeugt zugleich Strom, der zum Laden der Batterie genutzt werden kann. Entscheidend für die Fahrwerkentwickler: Dank Rekuperation muss die Bremse trotz gesteigerter Fahrdynamik nicht größer dimensioniert werden. Sie hat also keinen negativen Einfluss auf die Reichweite.

Beim Taycan können 90 Prozent aller Bremsvorgänge im Alltag rein elektrisch erfolgen, also ohne Beteiligung des hydraulischen Systems. Letzteres kommt nur bei Geschwindigkeiten unter 5 km/h zum Einsatz, wenn die E-Maschinen kaum Bremsleistung entfalten. Außerdem greift die Reibbremse ein, wenn die Verzögerungsleistung der E-Maschinen nicht ausreicht, etwa bei einer Vollbremsung aus hohen Geschwindigkeiten. Bis zu 290 kW elektrische Leistung kann der Taycan Turbo S beim Bremsen erzeugen. Bei dieser Leistung reichen zwei Sekunden Verzögern, um Strom für rund

700 Meter Fahrt zu gewinnen. Insgesamt erhöht sich die Reichweite durch die Rekuperation um bis zu 30 Prozent.

Zu den größten technischen Herausforderungen bei der Fahrwerkentwicklung für batteriebetriebene Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle, BEV) gehört das sogenannte Blending, also das Kombinieren von generatorischem und hydraulischem Bremsen. „Der Fahrer darf den Übergang zwischen den Systemen nicht spüren“, betont Martin Reichenecker, Leiter Fachdisziplin Fahrwerk-Versuch bei Porsche Engineering.

Einen sanften Wechsel zu garantieren ist technisch anspruchsvoll, weil sich die Bremssysteme unterschiedlich verhalten: Während eine E-Maschine immer das gleiche Bremsmoment liefert, schwankt es beim hydraulischen Pendant von Mal zu Mal, was auf Umwelteinflüsse wie Temperatur und Feuchtigkeit zurückzuführen ist. So kann es vorkommen, dass die hydraulische Bremsleistung am Übergangspunkt von der elektrischen Bremsleistung abweicht. Das spürt der Fahrer als Ruck.

KALIBRIERUNG DER BREMSE

Porsche hat für den Taycan Algorithmen entwickelt, die das verhindern. Sie beobachten ständig das hydraulische System: Bei jedem Ladevorgang wird eine Kalibrierung der Bremse durchgeführt, die das aktuelle Verhältnis zwischen Bremspedalweg und Bremspedalkraft ermittelt. So kann der Algorithmus abschätzen, welche Leistung das hydraulische System bei der

↓
90 %

der Bremsvorgänge im Alltag können beim Porsche Taycan rein elektrisch erfolgen.

↓

Bis zu

290

kW Leistung kann der Porsche Taycan Turbo S beim elektrischen Bremsen erzeugen.

„Der Fahrer darf den Übergang zwischen den Systemen nicht spüren.“



Martin Reichenecker
Leiter Fachdisziplin Fahrwerk-Versuch
bei Porsche Engineering

Rund

700

Meter Reichweite ergeben sich beim Porsche Taycan aus zwei Sekunden elektrischem Bremsen.

Der Taycan Turbo S

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
Stromverbrauch kombiniert: 26,0 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km

Verbrauchsangaben nach WLTP:
Stromverbrauch kombiniert: 23,4-21,9 kWh/100km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0-0 g/km
Stand 11/2022

nächsten Bremsung bringt, und es genau so einsetzen, dass der Übergang zum Rekuperieren fließend bleibt.

Bei Fahrzeugen ist die Bremsleistung in der Regel ungleich verteilt: Zwei Drittel erbringt die Vorderachse, ein Drittel die Hinterachse. Dieses Verhältnis wurde beim Taycan für das elektrische System übernommen: Die vordere E-Maschine stellt zwei Drittel der Bremskraft, die hintere ein Drittel – obwohl der hintere Motor größer ist und theoretisch mehr beitragen (und rekuperieren) könnte. Dieses Potenzial ließe sich heben, indem die Bremskraft variabel zwischen den Achsen verteilt wird. Hierbei ist zu beachten, dass aus Gründen der Fahrstabilität der maximale Hinterachsanteil situativ begrenzt werden muss, um eine ausreichende Stabilitätsreserve sicherzustellen. „Die E-Maschine, die am meisten Energie aufnehmen kann, würde dann das größte Bremsmoment liefern“, erklärt Ulli Traut, Funktionsentwickler und Applikateur Bremsrekuperation bei der Porsche AG.

KORRIDOR FÜR DIE VERTEILUNG

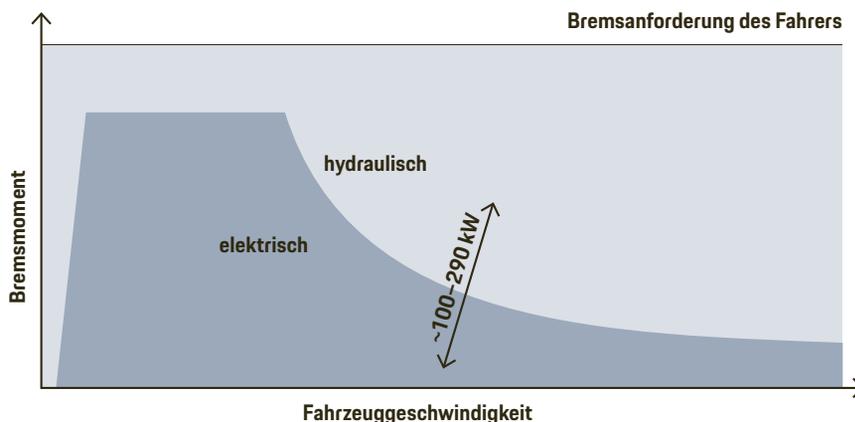
Ähnlich wie beim Zusammenspiel zwischen hydraulischer und generatorischer Bremse dürfen auch hier die Kraftverschiebungen nicht den Komfort beeinträchtigen. Eine Lösung wäre, zwei Algorithmen parallel arbeiten zu lassen: Der erste analysiert die Fahrsituation und schlägt einen „Korridor“ vor, in dem die Bremskraft zwischen Vorder- und Hinterachse optimal verteilt ist – abgeleitet von Prüfstandsdaten. Ein zwei-

ARBEITSTEILUNG: HYDRAULISCHE UND ELEKTRISCHE BREMSE IM TAYCAN

Die Abbildung zeigt, wie sich der hydraulische (helle Fläche) und der elektrische (dunkle Fläche) Anteil der Bremse im Taycan ergänzen, um gemeinsam die Bremsanforderung des Fahrers erfüllen zu können.

Der Bereich konstanter Leistung (Hyperbel) ist dabei variabel – je nachdem wie viel Leistung der Antriebsstrang gerade aufnehmen kann (ungefähr 100 bis 290 kW).

Die Rekuperation erreicht bei rund 140 km/h ihr maximales Moment und wird erst bei Geschwindigkeiten unter 12 km/h in Richtung Stillstand wieder reduziert. Unter 5 km/h wird rein hydraulisch gebremst.





„Wir gehen davon aus, dass die Bremsbeläge in Zukunft eher wegen Alterung als aufgrund von Abnutzung gewechselt werden müssen.“

Ulli Traut

Funktionsentwickler und Applikateur Bremsrekuperation bei der Porsche AG

ter Algorithmus wählt aus dem effizientesten „Korridor“ eine Verteilung aus, die zur aktuellen Fahrsituation passt. Diese Lösung würde ein ideales Verzögern garantieren und einen „signifikanten Reichweitengewinn“ bringen, erwartet Experte Traut.

Bisher war die Bremse im Automobilbau ein relativ isoliertes Einzelsystem. Bei E-Fahrzeugen ändert sich das, da viel mehr Teile des Fahrzeugs am Verzögern beteiligt sind: Antriebsstrang, Leistungselektronik und Batterie. Zudem bekommt die Bremse eine eigene Anzeige im Kombiinstrument. All das erfordert von den Fahrwerkentwicklern mehr interdisziplinäre Arbeit. Die Ingenieure im Bereich Bremse etwa müssen sich in Zukunft noch intensiver mit den Kollegen aus zum Beispiel der Domäne Getriebe austauschen, da bei der Rekuperation auch die E-Maschine und damit das Getriebe involviert ist (der Taycan verfügt über ein Zweiganggetriebe an der Hinterachse). Dadurch entstehen neue Ansprüche an seine Belastbarkeit – aber auch neue Möglichkeiten, wie Reichenecker betont: „Entwickler haben völlig neue Freiheitsgrade.“ Eine mögliche variable Verteilung der Bremskräfte zwischen Vorder- und Hinterachse sei das beste Beispiel dafür. Reichenecker erwartet, dass Fahrwerk und Antriebskomponenten technisch immer weiter verschmelzen. „In künftigen Architekturen werden die meisten Softwarefunktionen vermutlich in einem Steuergerät vereinigt.“

Einige Hersteller von E-Autos setzen beim Fahren auf das sogenannte One-Pedal-Driving. Das Prinzip: Nimmt der Fahrer den Fuß weg, rekuperiert das Fahrzeug sofort – und bremst im Extremfall so stark

ab, dass die Bremslichter aufleuchten. In den meisten Situationen lässt sich der Pkw so tatsächlich mit einem Pedal fahren.

Porsche setzt dagegen auf das „Segeln“, also das natürlichere Ausrollen des Fahrzeugs. Rekuperiert wird erst beim Tritt aufs Bremspedal. „Das ist eine effizientere Art zu fahren, denn die Bewegungsenergie bleibt so im Fahrzeug“, sagt Reichenecker. Beim One-Pedal-Driving dagegen werde erst rekuperiert, um dann die gewonnene Energie wieder in Vortrieb zu verwandeln. „Das bedeutet zweimal Verluste.“

WENIGER BREMSEN-VERSCHLEISS

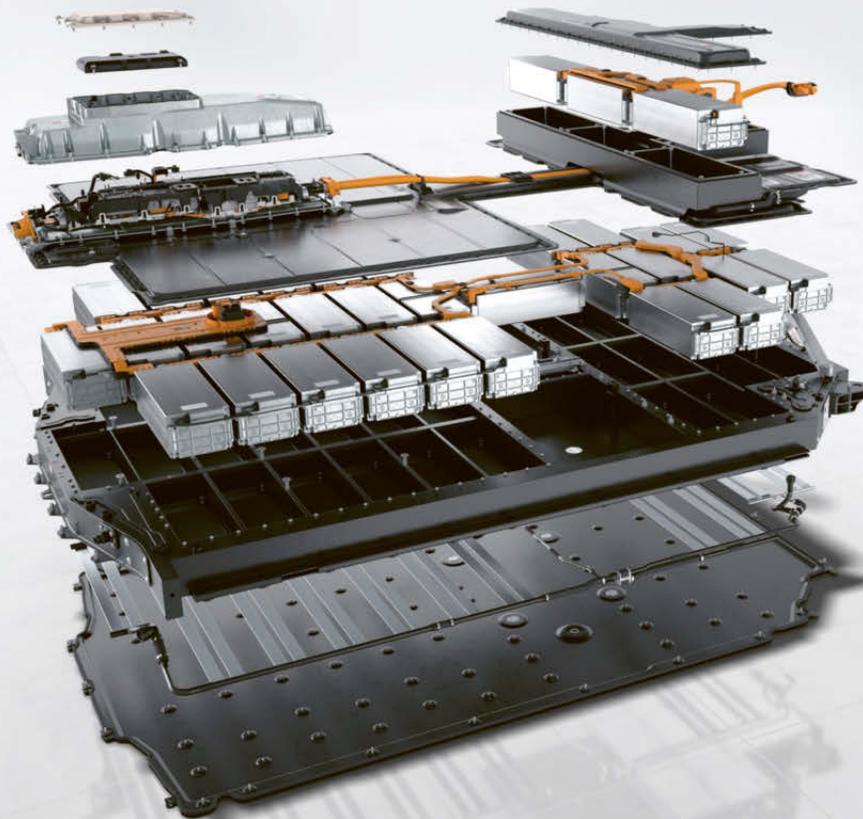
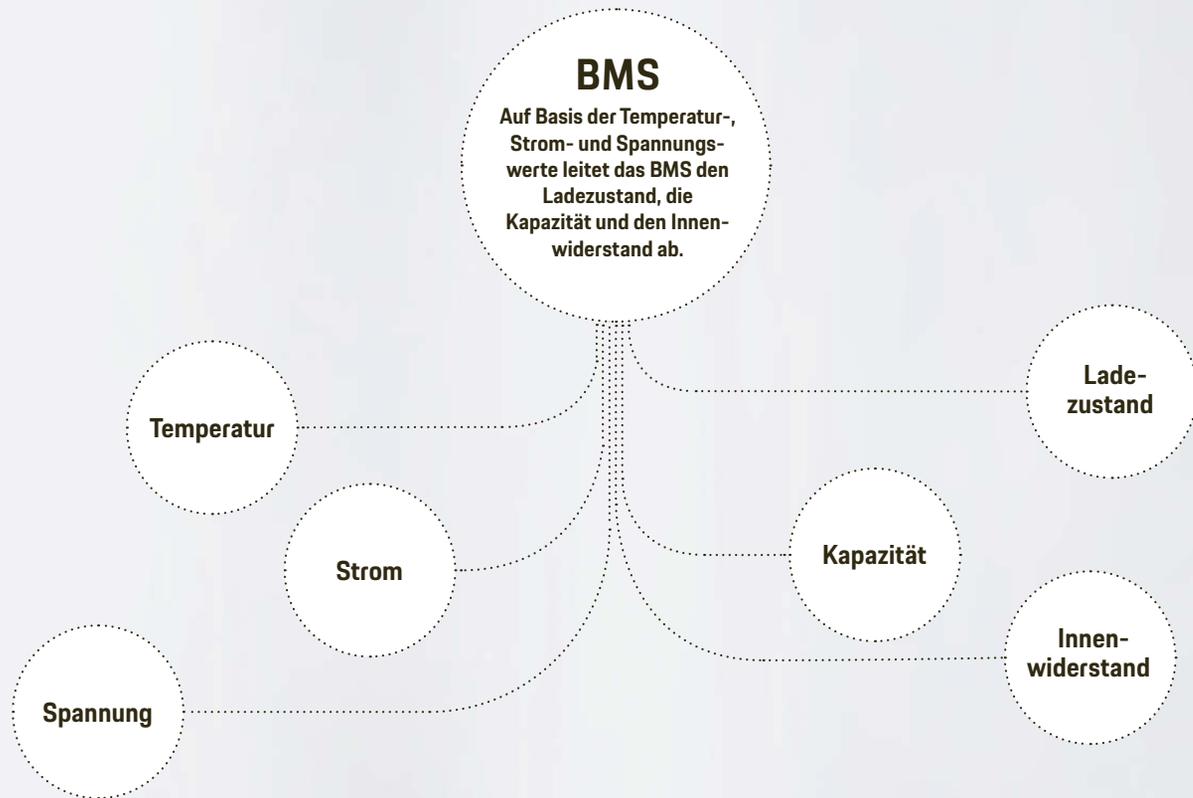
Ein weiterer positiver Effekt der Rekuperation ist, dass die hydraulische Bremse weniger verschleißt. „Wir gehen davon aus, dass die Bremsbeläge in Zukunft eher wegen Alterung als aufgrund von Abnutzung gewechselt werden müssen“, schätzt Traut. Für den Taycan wurde eine Funktion entwickelt, um die weniger beanspruchten Brems Scheiben sauber zu halten: In regelmäßigen Abständen führt das Fahrzeug einen Bremsvorgang absichtlich rein hydraulisch durch, also ohne Nutzung der E-Motoren, um Schmutz von den Scheiben zu entfernen. Das könnte in Zukunft ein wichtiger Vorteil sein, denn die EU will erreichen, dass Bremsen in Zukunft weniger Partikel ausstoßen. In der neuen EU-Abgasnorm Euro 7, die 2025 in Kraft treten soll, sollen erstmals Grenzwerte für Bremsabrieb festgelegt werden. E-Fahrzeuge wie der Taycan, die neun von zehn Bremsungen rein elektrisch durchführen, sind dann in einer guten Ausgangsposition. ●



Bis zu

30 %

zusätzliche Reichweite lassen sich beim Porsche Taycan durch Rekuperation gewinnen.



Überwachung: Das BMS ermittelt kontinuierlich die Betriebsparameter, um maximale Performance ohne negativen Einfluss auf die Batterie-Lebensdauer zu ermöglichen.

Im Wohlfühlmodus

Porsche Engineering entwickelt seit mehr als 20 Jahren leistungsfähige Lösungen von Batteriesystemen für den Rennsport und die Serie. Das Batteriemanagementsystem (BMS) hat die Aufgabe, den Zustand der Batterie zu bewerten, die aktuellen Betriebsgrenzen zu definieren und den Betrieb innerhalb dieser Grenzen zu gewährleisten.

Text: Christian Buck

In batterieelektrischen Fahrzeugen (Battery Electric Vehicle, BEV) spielt das Batteriemanagementsystem (BMS) eine zentrale Rolle. Es besteht aus dem Batterie-Management-Controller (BMC) und den Zellmodul-Controllern (Cell Module Controller, CMC). Die CMCs sind direkt in die Module der Hochvoltbatterie integriert und liefern Messwerte wie Zellspannung und Temperatur an den BMC. Zudem sind sie für das „Cell Balancing“ verantwortlich: Hochvoltbatterien bestehen aus vielen einzelnen Niedervolt-Batteriezellen. Allerdings führen Toleranzen zu individuellen physikalischen Eigenschaften der Zellen, wodurch es zu Problemen bei der Nutzung des Systems kommen kann. Um das zu verhindern, gleichen die CMCs den Ladezustand der Zellen aus – entweder passiv durch parallel geschaltete Widerstände oder aktiv durch den Transfer von Ladung von schwächeren zu stärkeren Zellen.

Der BMC ist die zentrale Instanz des BMS und nutzt neben den Messwerten der CMCs auch eigene Stromsensoren. Eine seiner Aufgaben ist es, die Sicherheit der Batterie zu gewährleisten. Denn Batteriesysteme enthalten große Mengen an Energie und sind in der Lage, diese Energie sehr schnell freizusetzen. Eine unkontrollierte oder ungewollte Freisetzung ist unbedingt zu verhindern. Zudem muss der BMC einen optimalen Kompromiss zwischen der Lebensdauer der Batterie und der Performance finden, weil der Betrieb außerhalb der Spezifikationen zu Schäden am System führen kann. Typische Ursachen dafür sind zu hohe Ströme, zu hohe oder zu tiefe Temperaturen, was den Elektrolyten

schädigt oder zu einer höheren Stromempfindlichkeit führt, sowie Über- oder Unterspannungen, die den Elektrolyten oder die aktiven Materialien schädigen können.

Um das zu verhindern, werden durch das BMS je nach Batteriezustand Stromgrenzen verändert, Betriebsmodi begrenzt oder die Kühlung angepasst. „Auf Basis der Messwerte von zahlreichen Temperatur-, Strom- und Spannungssensoren leitet das BMS drei entscheidende Parameter der Batterie ab: den Ladezustand (State of Charge, SoC) und die Kapazität, die die Restreichweite bestimmen, und den Innenwiderstand, der die Performance begrenzt“, erklärt Lukas Mäurer, Projektleiter Hochvoltbatterie-Funktionen bei Porsche Engineering. „Außerdem ist es für Sicherheitsfunktionen wie die Überstrom-Abschaltung und die Crash-Erkennung sowie für die Kommunikation mit den anderen Controllern im Fahrzeug verantwortlich.“

MEHR ALS 20 JAHRE ERFAHRUNG

Porsche Engineering hat bereits diverse BMS im Kundenauftrag entwickelt und kann dabei alle Aufgaben übernehmen, die längs des V-Modells anfallen – von der Anforderungserhebung bis hin zum Fahrzeugtest. „Als Unternehmen sind wir schon seit mehr als 20 Jahren auf diesem Gebiet tätig, ich selbst beschäftige mich seit sechs Jahren mit Batteriemanagementsystemen“, sagt Mäurer.

Trotz aller Erfahrungen in zahlreichen Projekten bleibt die Entwicklung eines BMS selbst für erfahrene

Entwickler eine anspruchsvolle Aufgabe: Die Software ist ausgesprochen komplex, was sowohl die Technik als auch die Projektleitung vor einige Herausforderungen stellt. Darum legt Porsche Engineering großen Wert auf einen stringenten und transparenten Prozess. An seinem Beginn steht das Anforderungsmanagement, dem die Experten besondere Aufmerksamkeit schenken. „Denn es werden nicht nur die technischen Grundlagen gelegt – hier entscheidet sich auch der weitere Projektverlauf“, betont Achim Olpp, Projektleiter bei Porsche Engineering.

PRÜFUNG DES LASTENHEFTES

Bereits bei der „Wareneingangsprüfung“ eines neuen Lastenheftes müssen mögliche Probleme erkannt und beseitigt werden. Olpp verweist auf die „Rule of Ten“: Mit jeder Stufe der Software-Entwicklung steigen die Kosten für die Fehlerbehebung um den Faktor 10. Der Aufwand nimmt mit jedem Prozessschritt zu, da bereits erfolgte Arbeit überprüft und ab dem Fehler erneut erledigt werden muss. Auch Folgefehler müssen wieder „eingefangen“ werden. Dies gefährdet fast automatisch die oft eng gesteckten Terminpläne, insbesondere bei Software für mehrere Kunden in angepassten Varianten.



„Wir haben viele Erfahrungen bei der BMS-Entwicklung gesammelt, vom Rennsport bis zur Großserie.“

Lukas Mäurer
Projektleiter Hochvoltbatterie-Funktionen
bei Porsche Engineering

Um solchen Zusatzaufwand zu verhindern, hat es sich bewährt, dass der Verfasser des Software-Pflichtenheftes unter der Leitung des Anforderungsingenieurs alle Projektbeteiligten zu einem „Review“ des vom Kunden gelieferten Lastenheftes zusammenruft. „Dann sind alle an einem Tisch versammelt, darunter die Software-Architekten und -Entwickler sowie die Tester und der Kunde“, erklärt Olpp. „So kann man die Anforderungen aus dem Lastenheft viel besser verstehen und die möglichen Lösungen für das Pflichtenheft gezielter festlegen. Bei mehreren Kunden bietet das Review die Möglichkeit zur Moderation unterschiedlicher Interessen.“ Das erhöhe zu Beginn zwar etwas den Aufwand, führe langfristig aber zu einer deutlichen Zeitersparnis.

Auf dieser soliden Basis baut die Planung der Arbeitsumfänge auf. „Wir veranstalten zwei Wochen vor jedem Software-Releasezyklus einen Kapazitäts-Workshop, bei dem der Bedarf des Kunden mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen abgeglichen wird“, berichtet Olpp. „So wissen wir genau, was in der zur Verfügung stehenden Zeit erreicht werden kann. Und der Kunde kann gegebenenfalls die Arbeitspakete priorisieren.“

KAPAZITÄTEN KLAR AUFZEIGEN

Präzises Kapazitätsmanagement kann auch den gefürchteten „Scope Creep“ verhindern helfen. Dabei verändern sich die Anforderungen an ein Produkt kontinuierlich und ungesteuert während seiner Entwicklung, was oft zu Verzögerungen führt. „Wenn man seine Kapazitäten klar aufzeigt, kann man auch die Auswirkungen einer solchen Anforderungsdynamik besser verstehen und koordinieren“, so Olpp. Speziell beim Einsatz von Software-Gleichteilen für mehrere Modelle und Marken ist bei diesem Schritt viel Sorgfalt nötig. Denn falsch eingesteuerte Umfänge können aufgrund der modularen Termschiene gleich mehrere Fahrzeugbaureihen gefährden.

Software-Architekten sind bei der BMS-Entwicklung ebenfalls mit einigen Herausforderungen konfrontiert. Sie müssen unter anderem berücksichtigen, dass die Zellchemie und der Aufbau der Batterien sich ständig weiterentwickeln (siehe den Beitrag auf Seite 42). „Eine veränderte Batterie-Kühlung hat unter anderem

Auswirkungen auf das Thermomanagement“, erklärt Mäurer. „Die Temperatur der einzelnen Batteriezellen kann nicht vollständig sensorisch erfasst werden. Wenn beispielsweise 60 Sensoren genutzt werden, um die Temperatur für 200 Zellen zu bestimmen, muss die Software-Architektur verschiedene Verbaupositionen der Sensoren und unterschiedliche Kühlkonzepte wie mehrseitige Kühlplatten unterstützen.“

Darum müsse man die BMS-Funktionen so entwickeln, dass sie sich leicht an solche Veränderungen anpassen lassen. Auch bei der Software-Architektur führt der Einsatz von Software-Gleichteilen zu zusätzlichen Herausforderungen. Sie machen modulare Strukturen erforderlich, die einerseits die Anforderungen eines spezifischen Fahrzeugs erfüllen und andererseits nicht zu Nachteilen bei anderen Modellen führen.

AN RESSOURCEN ANPASSEN

Die Software-Entwicklung folgt auf die Festlegung der Software-Architektur und hat das Ziel, Lösungen aus der Vorentwicklung serientauglich zu machen. Eine typische Aufgabe besteht zum Beispiel darin, Algorithmen an die begrenzten Ressourcen hinsichtlich Rechenleistung und Speicherkapazität der Steuergeräte in Fahrzeugen anzupassen – ohne dass die Qualität der Ergebnisse leidet. „In der Vorentwicklung wird in der Regel meist nur eine einzige Zelle mit Sensoren überwacht, im Fahrzeug sind es mehrere Dutzend“, sagt Mäurer. „Man kann den für einen Prototyp verwendeten Algorithmus in der Serie aber nicht einfach dutzende Male nacheinander ablaufen lassen, weil dadurch die erforderliche Rechenleistung zu hoch würde.“

Zudem werden in BEVs viele innovative Funktionen eingesetzt, zum Beispiel für das Schnellladen. Sie operieren oft an der Grenze des aktuell technisch Machbaren. Diese Funktionen müssen beim Übergang vom Prototypen- zum Serienstand so robust gemacht werden, dass sie unter allen Bedingungen ohne Probleme ablaufen. „Beim Schnellladen könnte man das durch die Implementierung von Regelalgorithmen erreichen, die den Ladestrom bei drohender Überhitzung oder Spannungsüberschreitung begrenzen“, sagt Mäurer. Verfolgt der Kunde zusätzlich eine Software-Gleichteilstrategie, müssen die Entwickler auch eine hohe Anpassbarkeit ihrer Funktionen gewährleisten, um sich beispielsweise an verschiedene Zellchemien oder Hardware-Konzepte anpassen zu können.

„Software-Entwicklung für die Serie ist eine Transferleistung, für die unter anderem Porsche Engineering besonders gute Voraussetzungen mitbringt“, fasst Mäurer zusammen. „Wir haben viele Erfahrungen bei der BMS-Entwicklung gesammelt, vom Rennsport bis zur Großserie. Unsere Lösungen sind in allen Marken des Volkswagen-Konzerns vertreten, aber auch im 919 Hybrid, dem Le-Mans-Sieger von Porsche.“ Daneben verfügt Porsche Engineering auch über ein eigenes

„Ohne solide Prozesse ist ein BMS-Projekt wie ein Hochhaus ohne stabiles Fundament.“

Achim Olpp
Projektleiter bei Porsche Engineering



Zell- und Batterie-Know-how sowie über Erfahrungen mit neuen Technologien wie 800-Volt-Netzen in Fahrzeugen.

Wie gut die entwickelte Software die Anforderungen erfüllt, bewerten die Experten erstmals beim Modultest. Dabei werden die kleinsten Einheiten der Programme – zum Beispiel für die Berechnung der Restkapazität – mit definierten Eingangswerten gespeist. Liefern sie die erwarteten Ergebnisse, arbeitet der Algorithmus grundsätzlich korrekt. Andernfalls müssen die Software-Entwickler den Programmcode bearbeiten. „Als erster Verifikationsschritt bietet der Modultest viel Potenzial, um Zeit und Geld einzusparen“, so Mäurer. „Denn alles, was hier gefunden wird, wäre später im Projektverlauf nur mit deutlich höherem Aufwand zu beheben.“

VIER-AUGEN-PRINZIP BEIM TEST

Bei Porsche Engineering gilt für den Modultest das Vier-Augen-Prinzip: Programmierung und Test werden von unterschiedlichen Mitarbeitern durchgeführt. Ganz am Ende kommt noch ein Vertreter der Qualitätssicherung hinzu, der neben dem Ergebnis auch die zuvor durchlaufenen Entwicklungsprozesse validiert. So ist sichergestellt, dass die nächsten Schritte des V-Modells – Integrations-, Software- und Fahrzeugtests – auf einer guten Grundlage aufbauen können. Denn für den gesamten Entwicklungsprozess gilt der Hinweis von Projektleiter Olpp: „Ohne solide Prozesse ist ein BMS-Projekt wie ein Hochhaus ohne stabiles Fundament.“

Rundum-Service: In den vergangenen zwei Jahren hat Porsche Engineering im NTC eine komplette Versuchseinrichtung für sogenannte Misuse-Tests nach GB/T und ECE an Hochvoltbatterien errichtet.



Hochvolttechnik auf dem Prüfstand

Porsche Engineering nutzt für die Entwicklung von Elektroantrieben moderne Testverfahren, zu denen sowohl Realtests als auch Untersuchungen in einer virtuellen Umgebung gehören. Durch ihren Einsatz kann die Entwicklungszeit erheblich verkürzt und der Bedarf an Testfahrzeugen reduziert werden.

Text: Richard Backhaus
Fotos: Rafael Kroetz; Luca Santini

Um die Effizienz bei der Entwicklung neuer Komponenten und Systeme für Elektroantriebe weiter zu erhöhen, kommen bei Porsche Engineering speziell an die Anforderungen der Hochvolttechnik angepasste Testmethoden zum Einsatz. So werden Hochvolt-Batterien an den Standorten Bietigheim-Bissingen und Nardò auf Fahrzeug- und Komponentenprüfständen getestet, während für die Prüfung der Software von Pulswechselrichtern (PWR) sogenannte „Hardware-in-the-Loop“ (HiL)-Simulationsumgebungen bereitstehen. Dabei wird die reale Hardware in einem virtuellen Fahrzeugsystem getestet.

Der PWR spielt in Elektrofahrzeugen eine zentrale Rolle, denn er wandelt die Gleichspannung aus der Batterie in die mehrphasige Wechselspannung und das damit verbundenen Drehfeld für den elektrischen Antriebsmotor um. Bei der Energierückspeisung im Schubbetrieb arbeitet der PWR gegenläufig und wandelt die Wechselspannung des Motors in eine Gleichspannung, mit der die Batterie geladen wird. „Zur exakten PWR-Regelung für die verschiedenen Leistungs- und Komfortanforderungen in unterschiedlichen Fahrsituationen sind komplexe Regelalgorithmen sowie Sicherheitsfunktionen notwendig, die vor Inbetriebnahme des Antriebs getestet werden müssen“, erklärt Rafael Banzhaf, Technischer Projektleiter bei Porsche Engineering. „Dabei geht es beispielsweise darum, das Antriebssystem in Ausnahmesituationen wie beispielsweise bei einem Crash mit Airbag-Auslösung in einen sicheren Zustand zu überführen.“

Vor Entwicklung des PWR-HiL-Systems mussten die Tests im Fahrzeug oder an einem realen Prüfstand durchgeführt werden, wobei immer die Gefahr bestand, dass bei Software-Fehlern im Steuergerät

etwas beschädigt wird. Porsche Engineering hat für Tests der PWR-Software darum ein Prüfstandkonzept entwickelt, bei dem das reale PWR-Steuergerät als Hardware-in-the-Loop eingebunden ist. „Das Steuergerät entspricht exakt der Ausführung im Fahrzeug, sodass wir verlässliche Aussagen zur Funktion der aufgespielten Software machen können“, so Thomas Füchtenhans, Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering. „Die einzige Modifikation ist eine Trennung der Hochvolt- von den Niedervoltbauteilen wie dem PWR-Controlboard im Steuergerät. Sie ist aus funktionalen und aus Sicherheitsgründen notwendig, hat auf die Tests aber keinen Einfluss.“

BERECHNUNGEN IN NANOSEKUNDEN

Bei den HiL-Tests steuert das PWR-Controlboard nicht reale Hardware an, sondern eine Simulation des PWR-Leistungsteils. Diese ist ihrerseits mit Simulationen der Hochvolt-Batterie, des elektrischen Antriebsmotors, des Bussystems und des Restfahrzeugs verbunden, um Einflüsse durch Fahrzeugsysteme wie Airbags oder das Bremsregelsystem und den Fahrer auf die PWR-Regelung berücksichtigen zu können. Die Simulation liefert umgekehrt virtuelle Sensordaten wie Phasenströme oder Temperaturen zurück an das PWR-Steuergerät, womit der Regelkreis geschlossen ist. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit werden die Simulationen für die Batterie und das Rest-Fahrzeug dabei auf einem Real-Time-Computer (RTPC) und für die Leistungselektronik und den Elektromotor mit noch schnelleren FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) ausgeführt, die Simulationszeiten im Nanosekunden-Bereich erlauben.



„Mit Tests am PWR-HiL können wir reale Prüfstände entlasten, Kosten reduzieren und die Sicherheit erhöhen.“

Rafael Banzhaf
Technischer Projektleiter bei
Porsche Engineering



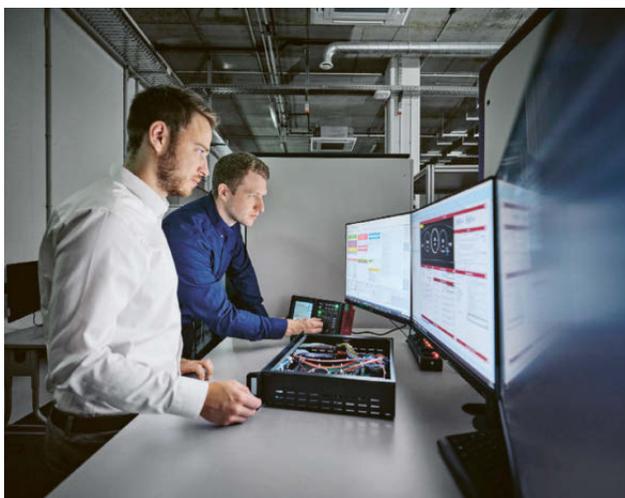
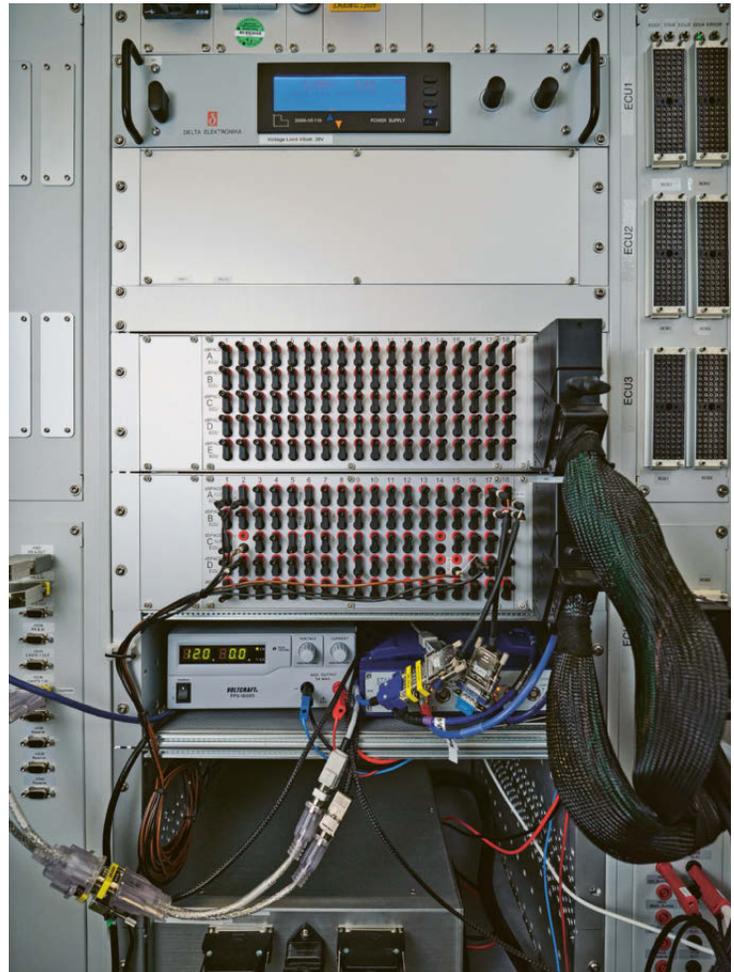
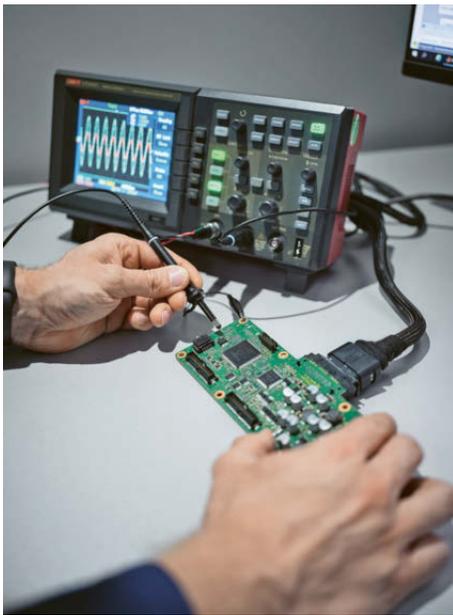
„Eine Besonderheit unseres Ansatzes ist die vollständige Remote-Steuerung der Prüfstände.“

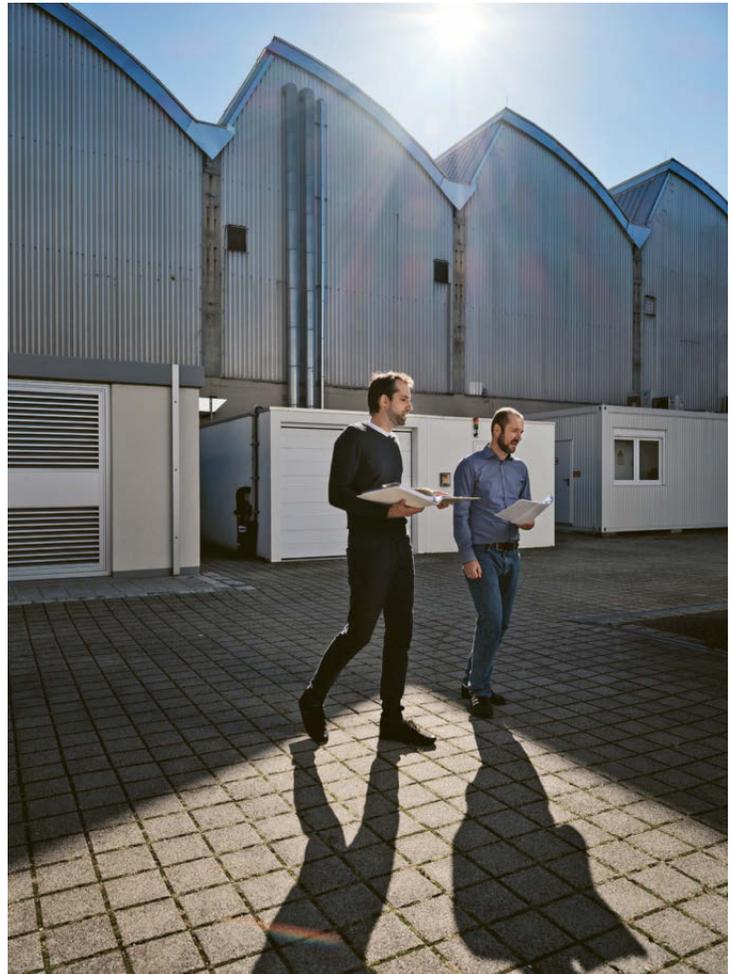
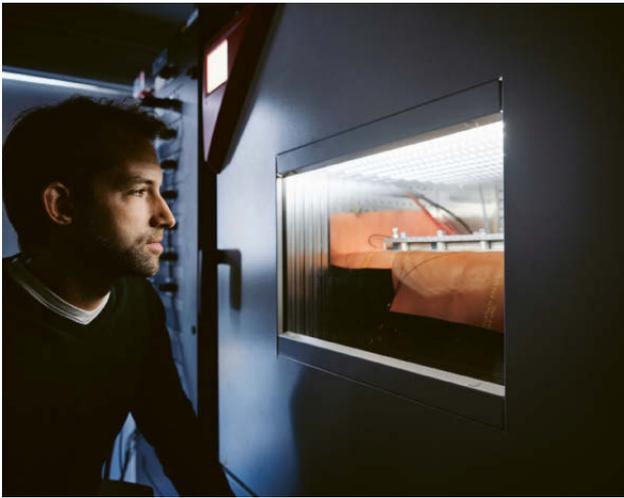
Thomas Füchtenhans
Entwicklungsingenieur bei
Porsche Engineering

Zu den möglichen Versuchsumfängen auf dem HiL-Prüfstand gehören vor allem funktionale Tests nach Lastenheftanforderungen, aber auch Flashtests neuer Software, Absicherungstests als Sicherheitsstufe vor weiterführenden Untersuchungen im Fahrzeug, Tests der Schnittstellen, der Diagnosefunktionen, der Ausführungszeiten sowie der Cybersecurity und virtuelle Dauerlaufuntersuchungen. „Tests an realen Prüfständen oder im Fahrzeug können wir mit dem PWR-HiL zwar nicht vollständig ersetzen, allerdings können wir deren Umfang erheblich reduzieren, wodurch wir die realen Prüfstände entlasten, Kosten erheblich reduzieren und die Sicherheit erhöhen“,

berichtet Banzhaf. Die Entwicklung des PWR-HiL-Prüfstands ist das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit verschiedener Porsche-Engineering-Standorte. Derzeit sind sechs PWR-HiL-Systeme im Einsatz, ein weiterer Ausbau der Kapazitäten ist schon in Planung. „Eine Besonderheit unseres Ansatzes ist die vollständige Remote-Steuerung der Prüfstände“ sagt Füchtenhans. „Dadurch können beispielsweise Applikateure auf Erprobung in Schweden oder den USA die Simulationen von ihrem Standort aus steuern. Da alle Prüfstände miteinander und mit den Archivierungssystemen verbunden sind, können die Daten unmittelbar auf Servern für alle Beteiligten bereitgestellt werden. Vor allem der

Virtuelle Tests: Der PWR-Controller (oben links) wird auf dem HiL-Prüfstand (rechts) geprüft. Rafael Banzhaf (li.) und Thomas Füchtenhans können den Test live steuern und verfolgen (unten links).





Reale Tests auf Zell- und Systemebene: Dirk Pilling vor einer Klimakammer im Prüfzentrum, in der eine Zelle vermessen wird (oben links). Zusammen mit Dr. Ulrich Lange untersucht er einen Zellstack (unten).



Standort Shanghai bietet dabei große Möglichkeiten für hohe Testeffizienz, da er aufgrund der Zeitverschiebung zwischen Europa und China im internationalen Teamverbund eine Testdurchführung und -auswertung rund um die Uhr erlaubt.“

TESTCASE-GENERIERUNG MIT KI

Ein weiterer Vorteil des PWR-HiL von Porsche Engineering ist der hohe Automatisierungsgrad. Die von den Kunden gelieferten Anforderungsdokumente für die PWR-Regelung werden automatisiert eingelesen. Aus den Vorgaben wird dann ebenfalls automatisiert die Testspezifikation abgeleitet, die zur Generierung unterschiedlicher Testfälle und ausführbarer Versuche dient. „Die geschlossene Automatisierungskette steigert

die Effizienz im gesamten Testprozess. Statt mehrerer Wochen, die das manuelle Erstellen der mehr als 1.000 Testfälle für eine PWR-Testreihe dauert, benötigen wir nur wenige Stunden“, so Banzhaf.

In Zukunft ist geplant, auch Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) einzusetzen: Per Natural Language Processing (NLP) soll die KI Lastenhefte, die als einfaches Textdokument geliefert werden, richtig interpretieren und in maschinenlesbaren Code umwandeln. Daraus werden dann automatisch die Testsequenzen generiert. Diese Tätigkeit führen heute Experten aus, die über ein umfassendes Gesamtsystem-Know-how verfügen müssen. „Unser Ansatz transferiert das Expertenwissen in die digitale Welt und trägt so dazu bei, Entwicklungszeit und -kosten einzusparen. Erste Validierungen sind sehr erfolgreich. Daher bin ich davon

„Die Durchlaufzeit für Tests beträgt bei uns nur circa 48 Stunden.“

Dirk Pilling
Entwicklungsingenieur
Hochvoltbatterien
bei Porsche Engineering



Misuse-Test im NTC: Antonio Toma (li.) und Andrea Casaluce stellen den Prüfling mit Sensoren aus (oben). Er wird in einem wärmeisolierten Gehäuse aufbewahrt (links), bevor der Test im Batterietestgebäude stattfindet (unten).



überzeugt, dass wir KI mittelfristig auch im regulären Testprozess einsetzen“, erklärt Banzhaf.

Auch wenn virtuelle Testverfahren immer mehr Bereiche abdecken – reale Erprobungen von Hochvoltbatterien können sie dennoch nicht völlig ersetzen. Darum unterhält Porsche Engineering in Bietigheim-Bissingen eine umfangreiche Infrastruktur mit Fahrzeug- sowie System- und Zellprüfständen. Erstere dienen der genaueren Analyse von Batterien auf Komponentenebene, während Letztere Rückschlüsse bis in die Zellchemie hinein erlauben. Mithilfe flexibel anpassbarer Fahrprofile und Lastkollektive lassen sich die für den Test relevanten Fahrsituationen simulieren. Je nach Ziel der Untersuchung werden das Lade- und Entladeverhalten der Batterie, ihre Kapazität, die Innenwiderstände sowie das Temperaturverhalten erfasst und aufgezeichnet.

Auf den Fahrzeugprüfständen lassen sich Batterien im eingebauten Zustand testen, etwa für Messungen der Batteriekapazität und -ströme im WLTP-Fahrzyklus. Das ist vor allem bei Dauerlauffahrzeugen wichtig, bei denen alle 20.000 km die Prüfung der Batterie zum obligatorischen Testumfang gehört. „Ein Ausbau der Batterie für die Untersuchungen würde hier zu viel Zeit kosten. Statt rund einer Woche mit Ausbau beträgt die Durchlaufzeit von der Anlieferung des Fahrzeugs über die Testvorbereitung und den Test bis hin zur Datenauswertung bei uns nur circa 48 Stunden“, sagt Dirk Pilling, Entwicklungsingenieur Hochvoltbatterien bei Porsche Engineering. Zudem verweist er auf einen weiteren Aspekt: „Arbeiten an der Batterie könnten den Fahrzeugdauerlauf test verfälschen, beispielsweise weil Verschraubungen zur Fahrzeugkarosserie gelöst und beim späteren Wiedereinbau neu verbunden werden.“

Auf einem weiteren Prüfstand können Batteriegehäuse Dichtigkeitstests unterzogen werden. „Undichtigkeiten entstehen unter anderem durch Korrosions- oder Vibrationsschäden. Dringt dann Wasser in das Batteriesystem ein, kann es zu Kurzschlüssen kommen“, erklärt Dr. Ulrich Lange, Fachprojektleiter Hochvoltbatterien bei Porsche Engineering.

PROTOTYPEN FÜR TESTS

Eine Schlüsselrolle bei allen Batterietests in Bietigheim-Bissingen spielt die integrierte Werkstatt. „Dort werden die Batterien für Messungen vorbereitet und mit der notwendigen Sensorik versehen, es werden aber auch ganze Batteriepacks und -module als Prototyp für die Tests aufgebaut und die Batterien nach dem Test für die Befundung zerlegt“, so Lange. Die Werkstatt übernimmt auch teilweise die Vorbereitung der Batterien, die für Untersuchungen im Nardò Technical Center (NTC) bestimmt sind.

In den vergangenen zwei Jahren hat Porsche Engineering im NTC eine komplette Versuchseinrichtung für sogenannte Misuse-Tests nach GB/T und ECE an Hochvoltbatterien errichtet. Dabei wird untersucht, wie sich die Batterie bei einem „Thermal Runaway“ einer Batteriezelle verhält, der beispielsweise durch eine Überhitzung zustande kommt. Im NTC werden diese



„Wir kommen aus der Automobilentwicklung und können mit den Kunden auf Augenhöhe arbeiten.“

Antonio Toma

BEV-Koordinator im Nardò Technical Center

Misuse-Tests in einem Gebäude durchgeführt. „Tests des Thermal Runaway in geschlossenen Gebäuden stellen höchste Anforderungen an das Sicherheitsniveau der Anlagen, damit das Feuer der brennenden Batterie unter Kontrolle bleibt und keine Schäden anrichtet“, so Antonio Toma, BEV-Koordinator im Nardò Technical Center.

Das Engineering-Team in Nardò hat darum gemeinsam mit den Sicherheitsexperten und der Feuerwehr des NTC ein ausgeklügeltes Sicherheitskonzept entwickelt. Die Batterien werden nach Anlieferung für die Untersuchung vorbereitet und dann dem Test unterzogen. Automatisch auslösende Feuerlöschsysteme sorgen dabei für ein hohes Sicherheitsniveau. Nach dem Test wird der Zustand der Batterie bewertet. Ist er kritisch, muss die Batterie 24 Stunden in einer abgeschlossenen, mit Brandmeldern ausgerüsteten Box ruhen, bevor die Experten des NTC mit der Schadensanalyse und der Befundung beginnen können. Nach der Untersuchung wird die Batterie bis zur Entsorgung in einem Schutzraum eingelagert, der ebenfalls mit einem Brandschutzsystem ausgestattet ist.

Auf dieser Basis bietet das NTC einen Rundum-Service an, der neben Überhitzungs- und Selbstentzündungstests der Zellen auch speziell an die Kundenwünsche angepasste Misuse-Tests der Batterie und Untersuchungen der Feuerfestigkeit des Batteriegehäuses umfasst. Der Leistungsumfang reicht von der Lagerung über Vorbereitung und Testdurchführung bis hin zur Post-mortem-Analyse und einem detaillierten Reporting. „Der große Vorteil der Durchführung im Testgebäude ist, dass wir unter Laborbedingungen arbeiten. Außerdem kommen wir aus der Automobilentwicklung, kennen also die spezifischen Anforderungen und können mit den Kunden auf Augenhöhe arbeiten“, fasst Toma zusammen.

Mit der Kombination aus realen und virtuellen Verfahren kann Porsche Engineering maßgeschneiderte Test-Services anbieten. In jedem Fall profitieren die Kunden von Expertenwissen, Methoden und Services auf dem aktuellen Stand der Technik. ●

ZUSAMMENGEFASST

Bei Porsche Engineering kommen speziell an die Anforderungen der Hochvolttechnik angepasste Testmethoden zum Einsatz. Dazu gehören klassische Prüfstände, aber auch HiL-Prüfstände für den virtuellen Test von PWR-Controllern. Dort soll Künstliche Intelligenz in Zukunft dazu beitragen, Entwicklungszeit und -kosten einzusparen.

NOCH FRAGEN?

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

Wie groß sind eigentlich die größten Batterien der Welt?

Alles begann sehr unscheinbar. Im Jahr 1800 präsentierte der italienische Physiker Alessandro Volta der ehrwürdigen Royal Society in London eine Erfindung, die auf den ersten Blick nach wenig aussah, aber schnell weltweit Karriere machen sollte: die Volta'sche Säule, den Vorläufer heutiger Batterien. Der Aufbau des zylinderförmigen Objekts war typisch für damalige Zeit und bestand zu einem großen Teil aus Holz – Plastik als isolierendes Material für das Gehäuse war damals ja noch nicht erfunden. Die Funktionsweise der ersten Stromquelle war allerdings schon sehr modern: Plättchen aus unterschiedlichen Metallen wie Kupfer und Zink waren durch Papp- oder Lederstücke voneinander getrennt, die mit einem Elektrolyten (zum Beispiel Salzwasser oder Lauge) getränkt waren. Heutige Batterien arbeiten nach dem gleichen Grundprinzip.

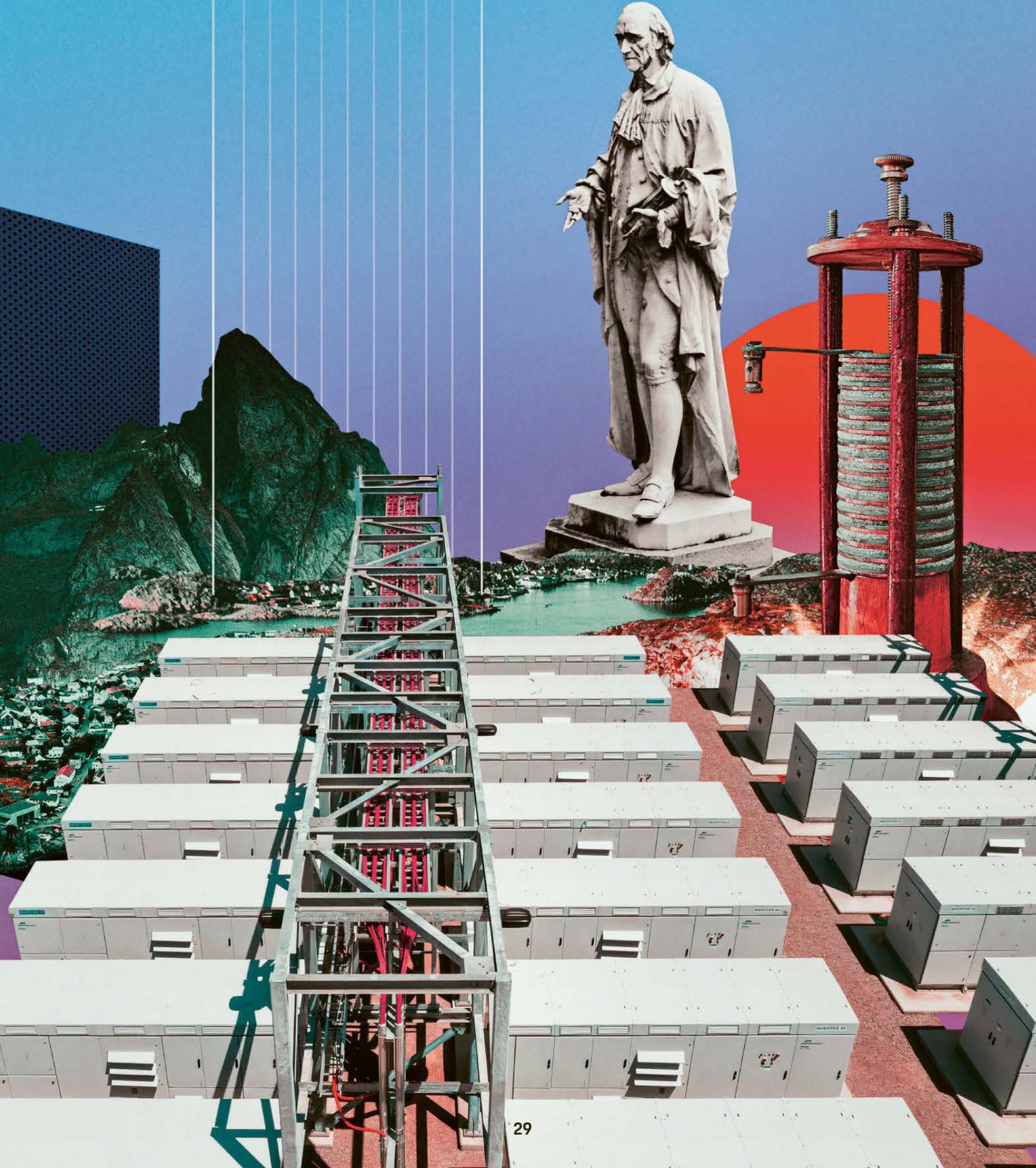
Aber während die frühen Stromquellen des 19. Jahrhunderts vor allem als Hilfsmittel im Labor dienten, spielen Batterien heute eine zentrale Rolle in elektronischen Geräten und E-Fahrzeugen. Und das ist noch nicht alles: In Zukunft sollen sie auch dazu beitragen, die fluktuierende Produktion erneuerbarer Energien mit dem aktuellen Stromverbrauch in Einklang zu bringen. Dafür entsteht derzeit beispielsweise im baden-württembergischen Kupperzell auf der Fläche von viereinhalb Fußballfeldern ein „Netzbooster“ aus Lithium-Ionen-Batterien, der ab 2025 maximal 250 Megawatt Leistung abgeben kann – und zwar eine Stunde lang, was eine Kapazität von 250 Megawattstunden (MWh) ergibt.

Damit steht der Netzbooster in Kupperzell aber keineswegs an der Spitze der größten Batterien weltweit. Dort befindet sich die Moss Landing Energy Storage Facility an der kalifornischen Monterey Bay, die eine Kapazität von 1.200 MWh hat und auch auf Lithium-Ionen-Batterien beruht. Ebenfalls in Kalifornien – in Lancaster nahe Los Angeles – steht der Luna-LAB-Speicher, der mit seinen Lithium-Ionen-Batterien auf 908 MWh Speicherkapazität kommt. Damit kann er 170.000 Haushalte des US-Bundesstaates vier Stunden lang mit sauberem Strom versorgen. Keine schlechte Leistung für eine Technologie, die vor 200 Jahren als Konglomerat aus Holz und Metall das Licht der Welt erblickt hat. ●



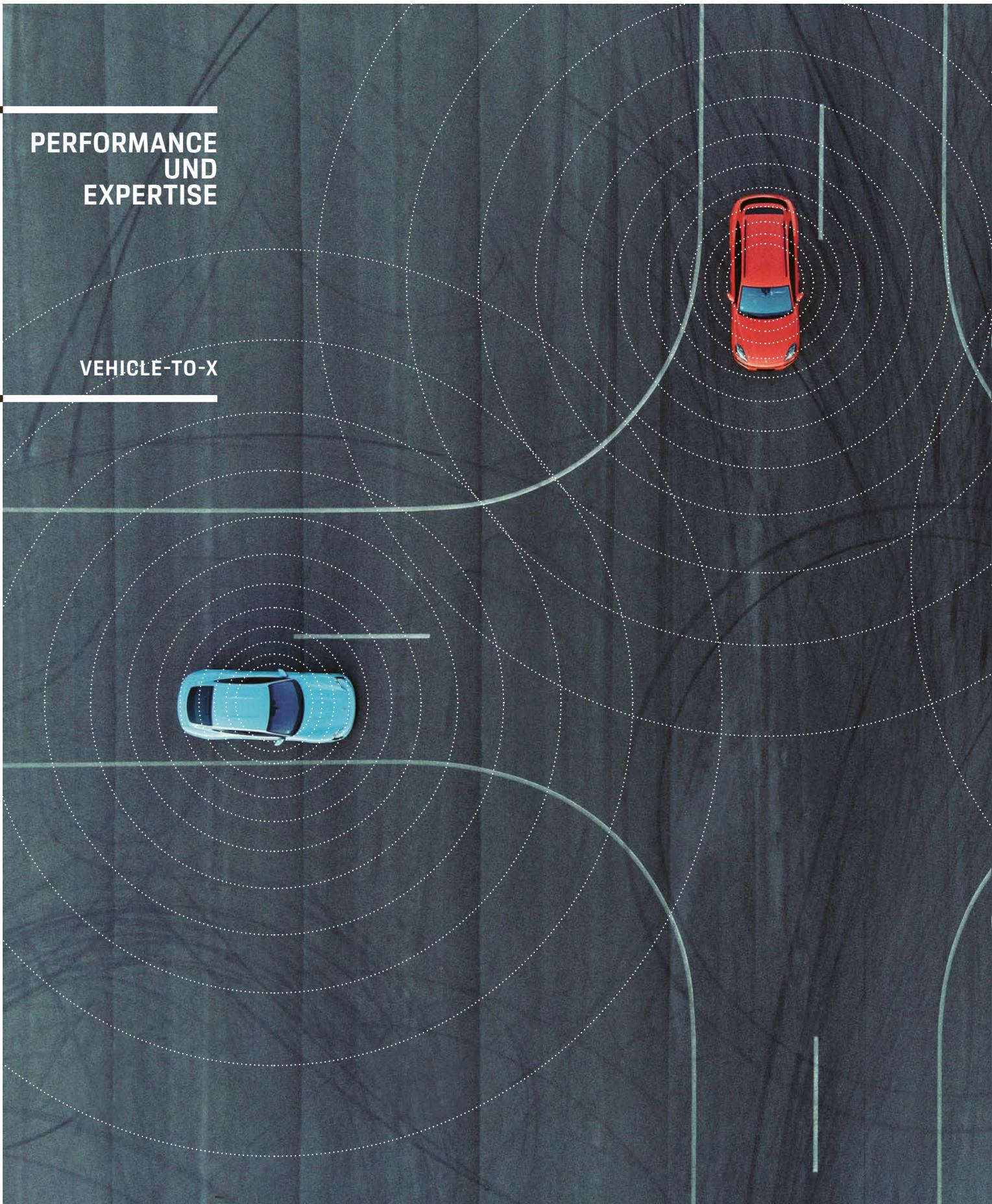
Text: Christian Buck
Illustration: Julien Pacaud

Steile Karriere: Aus der unscheinbaren Säule des Physikers Alessandro Volta wurden riesige Energiespeicher wie in der Moss Landing Energy Storage Facility in Kalifornien.

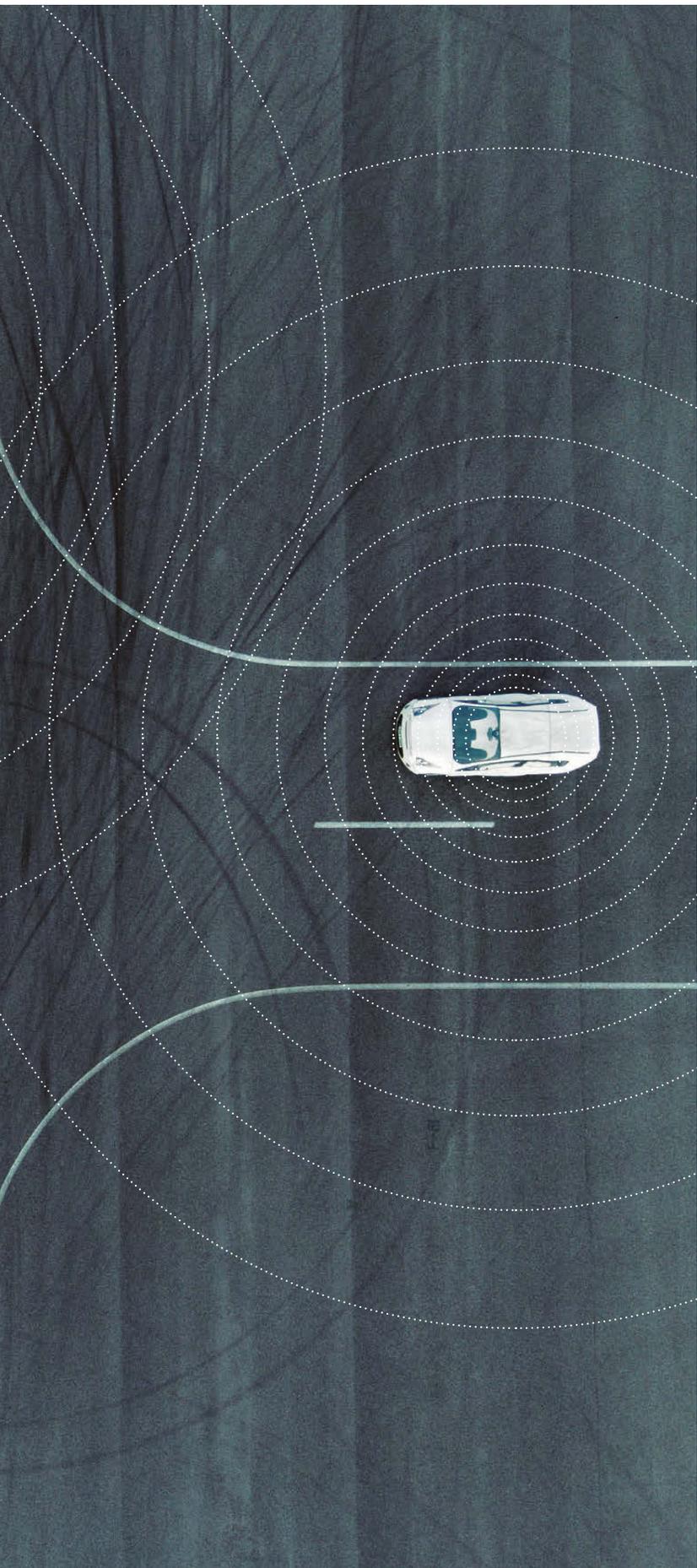


PERFORMANCE
UND
EXPERTISE

VEHICLE-TO-X



Datenaustausch für mehr Sicherheit: V2X soll dazu beitragen, Unfälle zu verhindern und den Verkehrsfluss zu verbessern. Die Kommunikation zwischen den Fahrzeugen kann per 5G-Mobilfunk oder WLAN erfolgen.



Der Cayenne GTS

Verbrauchsangaben nach NEFZ:

Kraftstoffverbrauch innerorts: 15,3–14,7 l/100 km

Kraftstoffverbrauch außerorts: 9,1–9,1 l/100 km

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,4–11,2 l/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 260–255 g/km

Verbrauchsangaben nach WLTP:

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 14,1–13,3 l/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 319–301 g/km

Der Taycan

Verbrauchsangaben nach NEFZ:

Stromverbrauch kombiniert

(Performancebatterie): 26,4 kWh/100 km

Stromverbrauch kombiniert

(Performancebatterie Plus): 27,0 kWh/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km

Verbrauchsangaben nach WLTP:

Stromverbrauch kombiniert

(Performancebatterie): 23,5–19,6 kWh/100 km

Stromverbrauch kombiniert

(Performancebatterie Plus): 23,9–20,4 kWh/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km

Stand: 10/2022

VERNETZT. EFFIZIENT. SICHER.

Die Fahrzeuge von morgen kommunizieren untereinander und mit ihrer Umwelt. Diese Vehicle-to-X-Kommunikation (V2X) hilft Unfälle und Staus zu verhindern – und treibt das autonome Fahren voran. Porsche Engineering entwickelt V2X-Funktionen zur Serienreife und arbeitet bereits an den KI-basierten Funktionen von morgen.

Text: Constantin Gillies

Fotos: Luca Santini; Chris Nemes



Entwicklung

Die Car Data Box wurde von einem Team um Adrian Timiș (v.) und Dumitru Cotet (h.) an den Porsche Engineering Standorten im rumänischen Cluj-Napoca und Timișoara entwickelt.



Das Hindernis liegt direkt hinter einer Kurve: ein großer Ast, der die Fahrbahn blockiert. Ein Fahrzeug biegt in die Kurve ein – und sofort beginnt eine digitale Kaskade. Die Frontkamera erfasst das Hindernis, und der mit ihr verbundene Auswertungsalgorithmus schlägt Alarm. Er klassifiziert den Ast als Gefahr und leitet eine Bremsung ein. Gleichzeitig meldet er per Mobilfunk Position und Art des Hindernisses an einen Cloud-Server. Andere Fahrer, die sich ebenfalls auf die Gefahrenstelle zubewegen, sehen jetzt die Warnmeldung „Hindernis“ auf ihrem Armaturenbrett, inklusive der Entfernung zum Ast auf der Fahrbahn. So können sie sich rechtzeitig auf die Gefahrenstelle vorbereiten.

Dieses Szenario soll bald Realität sein, denn die Vehicle-to-X-Kommunikation (V2X) macht rasante Fortschritte. Schon in wenigen Jahren sollen Fahrzeuge ständig untereinander und mit ihrer Umwelt in Kontakt stehen. Sie können sich dann mit den Smartphones von Fußgängern oder einer Ampelanlage austauschen. V2X soll dazu beitragen, Unfälle zu verhindern, den Verkehrsfluss zu verbessern und Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance System, ADAS) leistungsfähiger zu machen. „Das Fahrzeug von morgen nutzt nicht nur die eigene Sensorik, sondern auch die der anderen Verkehrsteilnehmer“, erklärt

Pasqual Boehmsdorff, Projektleiter V2X-Funktionen bei Porsche Engineering. „V2X ist somit ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum komplett autonomen Fahren.“

Pionier beim Thema V2X ist derzeit China. In der Millionenstadt Wuxi sind viele Ampelanlagen mit einer Verkehrszentrale verbunden, die den Fahrern mitteilt, wann die nächste Grünphase kommt. Außerdem wird in der Metropole die Vernetzung der Verkehrsteilnehmer getestet: Registrieren die Bordsensoren eines Fahrzeuges zum Beispiel, dass die Straßenoberfläche glatt ist, kann es diese Information an einen zentralen Server übertragen, der sie an andere Fahrzeuge weiterleitet. Auch Porsche Engineering führt in seinem Entwicklungszentrum in Anting bei Shanghai bereits intensive Realtests mit der V2X-Technik durch.

VIELZAHL NEUER FUNKTIONEN

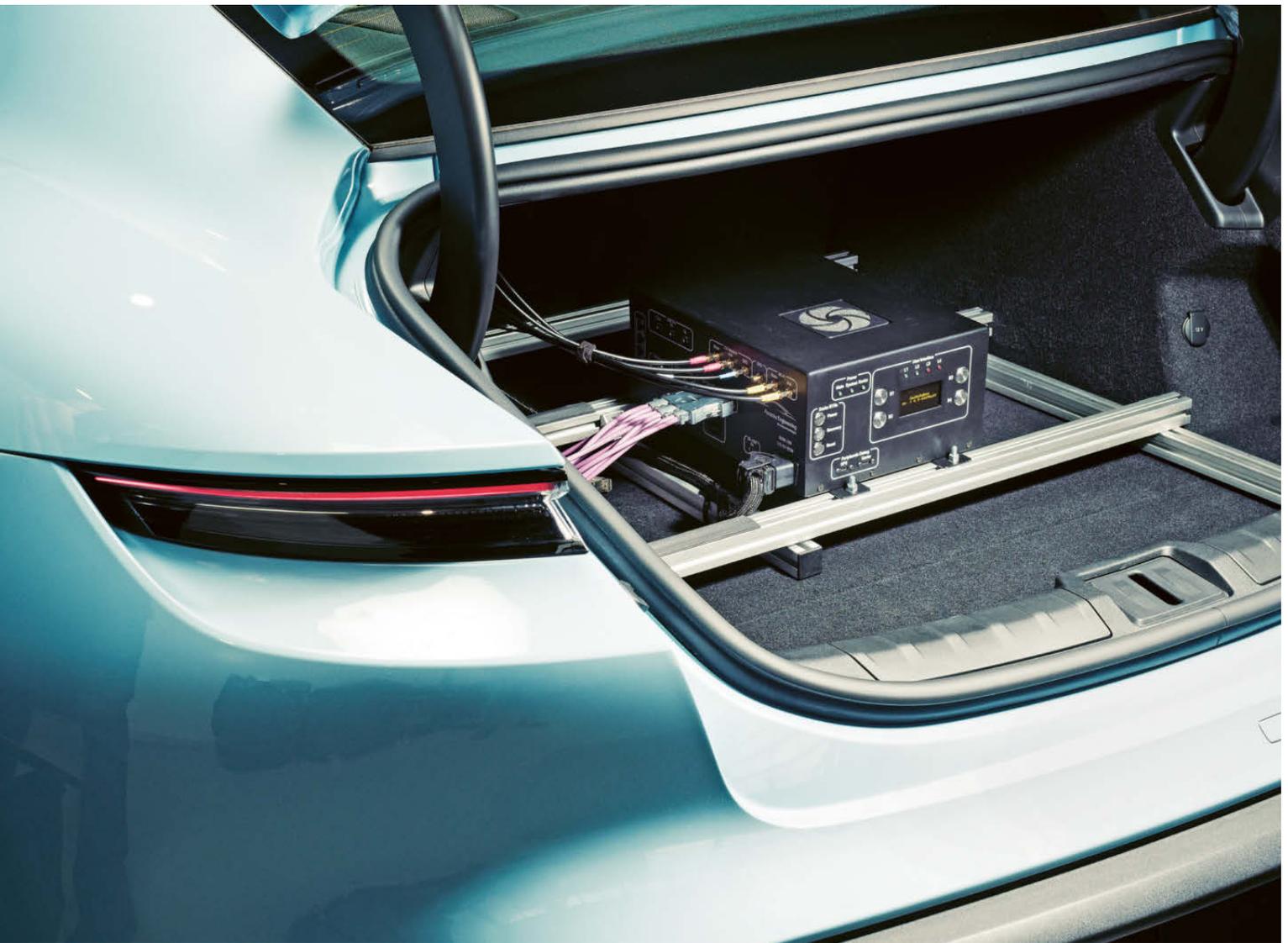
Die neue Technik, die auch hierzulande Anwendung findet, kann eine Vielzahl an hilfreichen Funktionen ermöglichen: So ließe sich etwa eine Live-Ampelinformation mit dem Abstandstempomat verbinden, um die Geschwindigkeit so anzupassen, dass die Standzeit vor der Ampel möglichst kurz ist und somit effizienter gefahren werden kann. Ebenfalls möglich ist eine digitale Ergänzung des Warndreiecks: So könnten etwa sich in der Nähe befindliche Verkehrsteilnehmer über ein stoppendes Fahrzeug mit eingeschalteter Warnblinkanlage per Direktfunk informiert werden. Diese Gefahrenwarnung ließe sich zusätzlich an einen zentralen Server weiterleiten, sodass auch Verkehrsteilnehmer, die sich nicht in der unmittelbaren Umgebung befinden, darauf zugreifen können.

Grundsätzlich gibt es zwei technische Konzepte zur Vernetzung von Fahrzeugen. Zum einen kann der Standard 802.11p verwendet werden, eine Variante von WLAN. Er erlaubt den Fahrzeugen, direkt miteinander zu kommunizieren. Sind sie mehr als 200 bis 300 Meter voneinander entfernt, werden Roadside



„Das Fahrzeug von morgen nutzt nicht nur die eigene Sensorik, sondern auch die der anderen Verkehrsteilnehmer.“

Pasqual Boehmsdorff
Projektleiter V2X-Funktionen bei Porsche Engineering



Units (RSUs) entlang der Straße benötigt, um die Signale weiterzuleiten. Diese Router zu installieren ist aufwendig, andererseits gilt WLAN aber als ausgereift. Die zweite Option ist, das bestehende Mobilfunknetz zu nutzen. Der entsprechende Standard heißt C-V2X (das „C“ steht für „cellular“). Anfangs basierte er auf dem Mobilfunkstandard 4G/LTE, und alle Daten mussten über eine Basisstation laufen. In der neuesten, 5G-basierten Version ist auch die direkte Kommunikation zwischen den Fahrzeugen möglich (über die sogenannte Sidelink-/PC5-Schnittstelle).

Europa und die USA hatten zunächst auf 802.11p gesetzt, doch vor zwei Jahren entzog die US-Regulierungsbehörde FCC dem Standard die notwendigen Funkfrequenzen. Gleichzeitig treibt China die Vernetzung über 5G voran: Bis 2025 soll jeder zweite Neuwagen in der Volksrepublik dauerhaft online sein. „Ich gehe darum davon aus, dass sich bei V2X ein auf Mobilfunk basierendes System durchsetzt“, sagt

DIE CAR DATA BOX

Die Car Data Box (CDB) ist ein Entwicklungsrechner, der mit dem Datenbus und der Sensorik eines Testfahrzeugs verbunden ist. Er eignet sich besonders, um neue Fahrerassistenzsysteme zu realisieren, für die serienmäßige Steuergeräte nicht leistungsstark genug sind. Kern der CDB ist eine Graphics Processing Unit (GPU) des Herstellers NVIDIA, die sich besonders für die Ausführung von KI-basierten Algorithmen eignet.

Der Testrechner ist ein Projekt der Porsche Engineering Standorte in Cluj-Napoca und Timișoara (Rumänien), die auch die nötige Software entwickelt haben. Die Hardware-Seite übernahmen die Ingenieure am Standort Prag. Die erste Version der CDB wurde im Juni 2020 vorgestellt, seitdem wird sie permanent weiterentwickelt. So verbessert seit 2021 ein 5G-Modul die Cloud-Anbindung. Zudem erleichtert die Integration des Robotic Operating Systems (ROS) die Entwicklungsarbeit: ROS überführt die Daten von Kameras, Radar- oder Lidar-Sensoren in ein Format, das von der konkreten Technik losgelöst ist. Wird zum Beispiel eine neue Kamera mit einer höheren Auflösung in das Testfahrzeug eingebaut, können die vorhandenen Auswertungsalgorithmen weiter verwendet werden. Das spart eine Neuentwicklung.



5G IN NARDÒ

Das Nardò Technical Center (NTC) ist seit Mai 2022 mit einem privaten 5G-Netzwerk ausgestattet. Neun Basisstationen sorgen für Mobilfunkempfang auf dem gesamten, 700 Hektar großen Gelände. Die Bandbreite des privaten Netzwerks liegt über einem Gigabit pro Sekunde – doppelt so hoch wie außerhalb des Geländes. „Natürlich ist ein öffentliches 5G-Netz auch zusammen mit dem privaten 5G-Netz verfügbar“, betont Pierpaolo Positano, Senior Manager Engineering im NTC. Daneben sind entlang der Teststrecke auch Road Side Units (RSUs) installiert, die Datenfunk nach dem Standard 802.11p erlauben. „In den RSUs lassen sich Daten in Echtzeit analysieren und die Ergebnisse von dort in die Cloud übertragen“, so Positano.

Momentan arbeiten die Ingenieure in Süditalien vor allem daran, bestehendes Test-Equipment auf die Vernetzung über 5G vorzubereiten. „Viele Datenlogger, die über CAN oder FlexRay mit dem Fahrzeug verbunden sind, verfügen nur über einen Ethernet-Anschluss“, erklärt Luigi Mazzarella, Telekommunikations-experte im NTC. Sie werden jetzt mit Funkmodulen ausgestattet, damit Auswertungen künftig drahtlos möglich sind. Dank der geringen Verzögerung von 5G – unter 10 Millisekunden im NTC – wäre es sogar möglich, Testfahrten komplett ferngesteuert durchzuführen. Das ist besonders dann von Vorteil, wenn bestimmte Fahrmanöver mehrfach gleich ausgeführt werden müssen. Fünf solcher „Roboter-Fahrzeuge“ stehen im Nardò Technical Center schon bereit.

Thomas Pretsch, Leiter Fachdisziplin Connectivity bei Porsche Engineering.

Die Umsetzung einer neuen V2X-Funktion beginnt mit der Software-Entwicklung. Im Fall der eingangs beschriebenen Hinderniswarnung kommt Künstliche Intelligenz (KI) zum Einsatz: Ein Neuronales Netz wird mit Aufzeichnungen realer Fahrsituationen darauf trainiert, Hindernisse zu erkennen und zu klassifizieren – so lange, bis es sicher echte Gefahren (zum Beispiel Fußgänger, Ast) von harmlosen Objekten (Laub, Plastiktüte) unterscheiden kann.

Da gerade von gefährlichen Situationen oft nur wenig reales Trainingsmaterial existiert, wird es mit synthetischen Daten ergänzt. „Wir variieren die tatsächlich gefahrene Situation virtuell“, erklärt Dr. Joachim Schaper, Leiter KI und Big Data bei Porsche Engineering. Das dafür genutzte Werkzeug heißt PEVATeC (Porsche Engineering Virtual ADAS Testing Center). Es bildet eine physikalische Umgebung exakt nach – nicht nur

die sichtbare Umgebung mit Straßen und Fahrzeugen, sondern auch die Sensordaten, die in der jeweiligen Situation am Fahrzeugbus anliegen würden. So lässt sich auch die Gefahrensituation „Ast auf der Fahrbahn“ in zahllosen Varianten durchspielen: einmal mit blendender Sonne im Hintergrund, einmal bei Dunkelheit oder starkem Regen. Denn die KI muss das Objekt unter allen Bedingungen korrekt klassifizieren.

ABGESTUFTE GEGENMASSNAHMEN

Nach dem Training übertragen die Ingenieure das Neuronale Netz an die sogenannte Car Data Box (CDB, siehe Kasten). Dieser Entwicklungsrechner, der von den Porsche Engineering-Standorten im rumänischen Cluj-Napoca und Timișoara entwickelt wurde, ist im Testfahrzeug installiert und kann beliebige ADAS-Programme ausführen. Für die Hinderniswarnung nutzt die CDB das Neuronale Netz, um reale Kamera- und Sensordaten auszuwerten. Ein spezieller Algorithmus bestimmt, ob ein Objekt einen Gefahrenschwellenwert überschreitet, und leitet abgestufte Gegenmaßnahmen ein: von einer reinen Meldung auf dem Armaturenbrett über ein akustisches Warnsignal bis hin zur selbstständigen Bremsung.

Im letzten Schritt wird die Funktion in der Realität erprobt. Das Nardò Technical Center (NTC) bietet dafür ideale Bedingungen, da das gesamte 700 Hektar große Areal mit einem privaten 5G-Netz ausgestattet ist. Hier können die Ingenieure überprüfen, ob eine abgesetzte Warnmeldung auch unter realen Bedingungen zuverlässig ihre Empfänger erreicht. „Entscheidend ist dabei die Korrelation zwischen der Fahrzeuggeschwindigkeit und dem Datendurchsatz“, erklärt Luigi Mazzarella, Telekommunikationsexperte im NTC.

Wie schnell Daten bei hohem Tempo fließen, haben die Ingenieure im Sommer 2022 getestet. Mehrere Fahrzeuge absolvierten Runden auf dem 12,6 km langen Hochgeschwindigkeits-Rundkurs, während ihre Car Data Boxes Daten sendeten. Ergebnis: Bis 100 km/h bleiben die Datenraten nahezu konstant – im Download 1 Gigabit pro Sekunde, im Upload circa 150 Megabit pro Sekunde. Ab 200 km/h sinkt das



„Wir variieren die tatsächlich gefahrene Situation virtuell.“

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

Anwendung

Luigi Mazzarella (li.) und Marina Bovino richten ein automatisches Fahrsystem ein (oben). Danach kann Davide Palermo es mithilfe des 5G-Netzwerks aus der Ferne steuern (unten).



Upload-Tempo leicht auf 120 Megabit pro Sekunde, während sich beim Empfangsdurchsatz nichts ändert. Erst bei deutlich höheren Geschwindigkeiten lässt die Bandbreite nach, bleibt aber mit 90 Megabit pro Sekunde im Upload noch ausreichend.

Die Tests haben gezeigt, dass sowohl die Bandbreite als auch die Latenz im 5G-Netz für automobiler Anwendungen ausreichen. Ebenfalls intensiv überprüft wurde das Handover, also der Wechsel von einer Basisstation zur nächsten. In frühen Mobilfunkgenerationen konnte dabei die Verbindung abbrechen, bei 5G dagegen funktioniert die Übergabe selbst bei hohem Tempo zuverlässig.

Für die Entwicklung von V2X-Funktionen müssen die Spezialisten von Porsche Engineering inzwischen nicht mehr zur Teststrecke in Apulien reisen. Denn die aktuelle Version der Car Data Box verfügt über ein 5G-Modul, sodass sich Testprogramme auch remote installieren lassen. Nach oder während der Testfahrt überträgt die Car Data Box alle Daten über 5G zurück in die Cloud, wo sie analysiert und angereichert werden können. „Fahren auf der einen und Auswertung sowie Implementierung auf der anderen Seite sind dadurch räumlich entkoppelt“, freut sich Schaper. Durch den Fernzugriff lassen sich neue Funktionen – auch zum vernetzten Fahren – in Zukunft buchstäblich schneller auf die Straße bringen. ●

ZUSAMMENGEFASST

Schon in wenigen Jahren sollen Fahrzeuge ständig untereinander und mit ihrer Umwelt in Kontakt stehen (V2X). Porsche Engineering nutzt für die Entwicklung von V2X-Funktionen virtuelle Entwicklungsmethoden, mit denen sich Situationen in zahllosen Varianten durchspielen lassen. Ein wichtiges Entwicklungswerkzeug ist dabei die Car Data Box, die beliebige V2X-Funktionen ausführen kann. Hinzu kommen Tests im eigens dafür errichteten 5G-Netz des NTC.



Interview: Christian Buck
Fotos: Robertino Nikolic

Durch die Transformation der Automobilbranche ändert sich auch die Rolle der Beschaffung. Welche Rolle die Zusammenarbeit mit der Entwicklung spielt und wie Lieferketten resilienter werden sollen, erklärt **Barbara Frenkel**, Mitglied des Vorstandes Beschaffung der Porsche AG, im Gespräch mit **Dr. Peter Schäfer**, Vorsitzender der Geschäftsführung von Porsche Engineering.



„Vertrauensvolle Zusammenarbeit von Beschaffung und Entwicklung“

„Porsche Engineering ist ein bewährter Partner. Wir wollen auch in Zukunft zusammenarbeiten. Zum Beispiel bei der Entwicklung kompletter Funktionen oder Derivate. Wir setzen auf die Innovationskompetenz von Porsche Engineering.“

Barbara Frenkel

Mitglied des Vorstandes Beschaffung der Porsche AG

Die Automobilindustrie befindet sich in der größten Transformation ihrer Geschichte. Was bedeutet das für die Beschaffung?

- **FRENKEL:** Ganz klar: Wir gestalten die Transformation als Beschaffung mit. Viele unserer traditionellen Lieferanten verändern aktuell das Portfolio. Wir begleiten sie, geben Impulse für Strategie und Langfristplanung. Auch bei der Finanzierung beraten wir. Das ist aber nur ein Aspekt. Insbesondere für die Elektromobilität finden wir völlig neue Lieferanten. Etwa als wir unseren vollelektrischen Sportwagen Taycan mit der hochinnovativen 800-Volt-Technologie ausgestattet haben. Zudem gehen wir vermehrt Partnerschaften und Beteiligungen ein. Vor allem agile Start-ups sind dabei für uns attraktiv. Deshalb sind wir bei Scouting-Formaten wie der Startup Autobahn aktiv, sprechen mit unserem Inkubator Forward 31 Unternehmensgründer an. Neben den kaufmännischen Faktoren ist uns sehr wichtig, wie unsere Komponenten hergestellt werden. Nachhaltigkeit ist dabei ein Muss! Um die Lieferkette transparent zu machen und dies zu überprüfen, setzen wir auch Künstliche Intelligenz ein. Generell bauen unsere Einkäufer in der Transformation viel Know-how im Unternehmen auf.

Was bedeutet die Elektrifizierung des Antriebsstranges für die Beschaffung?

- **FRENKEL:** Wir sind breit aufgestellt, arbeiten mit namhaften Lieferanten in unterschiedlichen Regionen. Wichtig ist, dass unsere Batteriehersteller den langfristigen Zugriff auf die relevanten Rohstoffe garantieren können. Aber wir analysieren den Markt kontinuierlich.



Barbara Frenkel

ist seit 2021 Mitglied des Vorstandes Beschaffung der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG. Zuvor war die studierte Chemikerin Leiterin Vertrieb Region Europa, Leiterin Vertriebsnetzmanagement und -entwicklung sowie Leiterin Zentrales Training des Unternehmens. Vor ihrer Zeit bei Porsche war Barbara Frenkel bei TRW Automotive, Thermal Systems und den Helas-Werken tätig.



Dr. Peter Schäfer

ist seit 2019 Vorsitzender der Geschäftsführung von Porsche Engineering. Zuvor war der studierte Maschinenbauer Leiter Entwicklung Gesamtfahrzeug, Leiter Entwicklung Fahrwerk und Leiter Entwicklung Sonderprojekte bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG. Vor seiner Zeit bei Porsche war Peter Schäfer bei der Volkswagen AG und der Ford-Werke AG tätig.

Sie haben die Rolle von Partnern schon angesprochen. Was macht Porsche in Zukunft selbst, und was wird durch strategische Partner oder ein erweitertes Spezialisten-Netzwerk bearbeitet?

- **FRENKEL:** Das entscheiden wir im Team. Ich leite ein Gremium, unser Strategisches Wertschöpfungsmanagement. Dort sind alle wesentlichen Stakeholder im Unternehmen vertreten – Entwickler, Produktionsexperten, Beschaffer sowie Kollegen aus den Bereichen Nachhaltigkeit und Beteiligungsmanagement. Zusammen analysieren wir, was für



Porsche am sinnvollsten ist. Das ist ein dynamischer Prozess. Wir schauen genau auf die Kernkompetenzen, die wir auch in der Zukunft im Haus behalten wollen.

Welche Rolle spielt Porsche Engineering dabei?

- **FRENKEL:** Porsche Engineering ist ein bewährter Partner. Wir wollen auch in Zukunft zusammenarbeiten. Zum Beispiel bei der Entwicklung kompletter Funktionen oder Derivate. Wir setzen auf die Innovationskompetenz von Porsche Engineering.
- **SCHÄFER:** Unser Anspruch ist es seit jeher, als strategischer Technologiepartner unserer Kunden zu agieren. Eine strategische Ausrichtung von

„Unser Anspruch ist es seit jeher, als strategischer Technologiepartner unserer Kunden zu agieren.“

Dr. Peter Schäfer
Vorsitzender der Geschäftsführung
von Porsche Engineering

Partnerschaften entspricht also unserem Wunsch, langfristig und in definierten Kompetenz- und Innovationsfeldern Wertbeiträge zu schaffen. Dabei steht heute die Entwicklung des intelligenten und vernetzten Fahrzeugs im Mittelpunkt. Hierbei setzen wir auf einen Systemansatz, denn eine Funktion besteht heute aus Hardware plus Software, wobei sich der Schwerpunkt immer mehr in Richtung Software verlagert. Wir haben eine langfristige Strategie entwickelt, um unsere Kompetenzen in den Bereichen Funktionsentwicklung und „Systems Engineering“ insbesondere an unseren internationalen Tech-Standorten weiter auszubauen. Dort verzeichnen wir starkes Wachstum, insbesondere in neuen Themenfeldern wie automatisiertes Fahren, Cloud und Big Data oder KI.

Software ist ein zentrales Thema in der Automobilindustrie. Wie viel machen Sie hier selbst, wie viel geben Sie nach außen?

- **FRENKEL:** Software wird immer wichtiger. Wir sind gut aufgestellt. Innerhalb des Volkswagen-Konzerns treibt CARIAD die großen Software-Architekturen voran. Bei Porsche konzentrieren wir uns aktuell hingegen vor allem auf die Architektur der Plattform „E³ 1.2“. Sie soll im neuen Macan zum Einsatz kommen.
- **SCHÄFER:** Software stellt eine zentrale Säule unserer Entwicklungsarbeit dar – über alle Bereiche hinweg. Schon seit Jahren verantworten wir zum Beispiel die Entwicklung der Battery-Core-Software für den gesamten Konzern, analysieren KI-gestützt das Batterieverhalten im Feld für Porsche, entwickeln ein prädiktives Thermomanagement oder auch markenspezifische Funktionen beim autonomen Fahren. Die Entwicklung ist allerdings nur eine Seite – man muss Software auch testen, integrieren und in Betrieb nehmen. Auch dafür haben wir eine Strategie entwickelt und setzen sie

„Das gesamte Wertschöpfungsnetz wird sich perspektivisch noch weiter spannen müssen. Wir wollen eine möglichst resiliente Lieferkette, ohne einseitige Abhängigkeiten.“

Barbara Frenkel

Mitglied des Vorstandes Beschaffung der Porsche AG

weltweit um, beispielsweise mit dem sogenannten Hardware-in-the-Loop-Testing. Und natürlich führen wir auch Fahrzeugtests durch. In Nardò haben wir beste Voraussetzungen, auch künftige Fahr-funktionen testen zu können. Dort nutzen wir unter anderem die Verknüpfung von virtueller und realer Erprobung, weil man komplexe autonome Fahr-funktionen gar nicht mehr ausschließlich im Fahrbetrieb testen kann.

Wie verläuft das Zusammenspiel zwischen Entwicklung und Beschaffung heute?

Und wie wird es sich in Zukunft entwickeln?

- **FRENKEL:** Mein Büro ist aus gutem Grund in Weissach. Im Herzen unseres Entwicklungszentrums arbeite ich quasi Tür an Tür mit meinem Vorstands-Kollegen Michael Steiner. Zwischen Entwicklung und Beschaffung passt kein Blatt. Ein Beispiel dafür ist unser „Forward Sourcing“, etwa bei den Halbleitern. Hier haben wir viel Kompetenz aufgebaut. Ein Beispiel: Wir wissen heute, dass der Einsatz neuester Chips die Leistung und Schnell-ladefähigkeit von Batterien deutlich verbessert. Und dies ohne Änderungen an der Zellchemie. Dieses Know-how geben wir als Impuls in die Entwicklung. Im Tandem entscheiden wir über Partner, mit denen wir Innovationen auf die Straße bringen.
- **SCHÄFER:** Wir müssen den Weg zu neuen erfolgs-entscheidenden Technologiefeldern gemeinsam definieren. Das ist die große Chance und das Potenzial einer sehr guten und engen Zusammenarbeit zwischen Beschaffung und Entwicklung. Weil die Transformation unserer Branche in vollem Gang ist und wir nur so in der Lage sind, strategisch lang-fristig zu planen und gleichzeitig agil und flexibel zu bleiben, ist dies besonders wichtig.

Sie haben das Thema „Halbleiter“ schon angesprochen. Wie sind Sie durch die Chip-Krise gekommen?

- **FRENKEL:** Die Halbleiter-Knappheit hat uns – wie alle Hersteller – stark gefordert. Bislang sind wir dank einer starken Mannschaftsleistung gut durch-gekommen. Ich blicke nach vorne: Aus jedem Problem kann man lernen. Inzwischen haben wir direkte Beziehungen zu den großen Halbleiterherstellern. Wir verstehen die komplexen Lieferketten und die Logik dieser Industrie besser. Eines ist klar: Am gesamten Halbleiter-Weltmarkt hat die Automobil-industrie einen Anteil von nur rund zwölf Prozent. Wir stehen auf der Prioritätenliste bei vielen der Chip-Produzenten nicht ganz oben. In Zukunft wollen wir den Kontakt mit den Herstellern ausbauen. Es geht darum, das gegenseitige Verständnis zu vertiefen, mehr Verlässlichkeit in den Beziehungen zu erreichen. Auch an neuen Technologien wollen wir gemeinsam arbeiten.

Nachhaltigkeit ist ein anderes wichtiges Thema. Was tun Sie auf diesem Gebiet?

- **FRENKEL:** Nachhaltigkeit ist mir ein Herzensanliegen. Die Porsche-Beschaffung hat eine klare und ambitionierte Nachhaltigkeitsstrategie, die wir gemeinsam mit unseren Lieferanten umsetzen. Wir setzen Impulse innerhalb der Lieferkette. Ein Beispiel hierfür ist die seit 2021 geltende Grünstromforderung an unsere Lieferanten. Der Anteil wiederverwendbarer Rohstoffe wird bei zukünftigen Fahrzeugprojekten noch zunehmen. Insbesondere im Interieur unserer

„Wir werden weiter alles daransetzen, Innovationen voranzutreiben, Technologien zu prägen und so Porsche und unsere anderen Kunden zu unterstützen.“

Dr. Peter Schäfer
Vorsitzender der Geschäftsführung
von Porsche Engineering

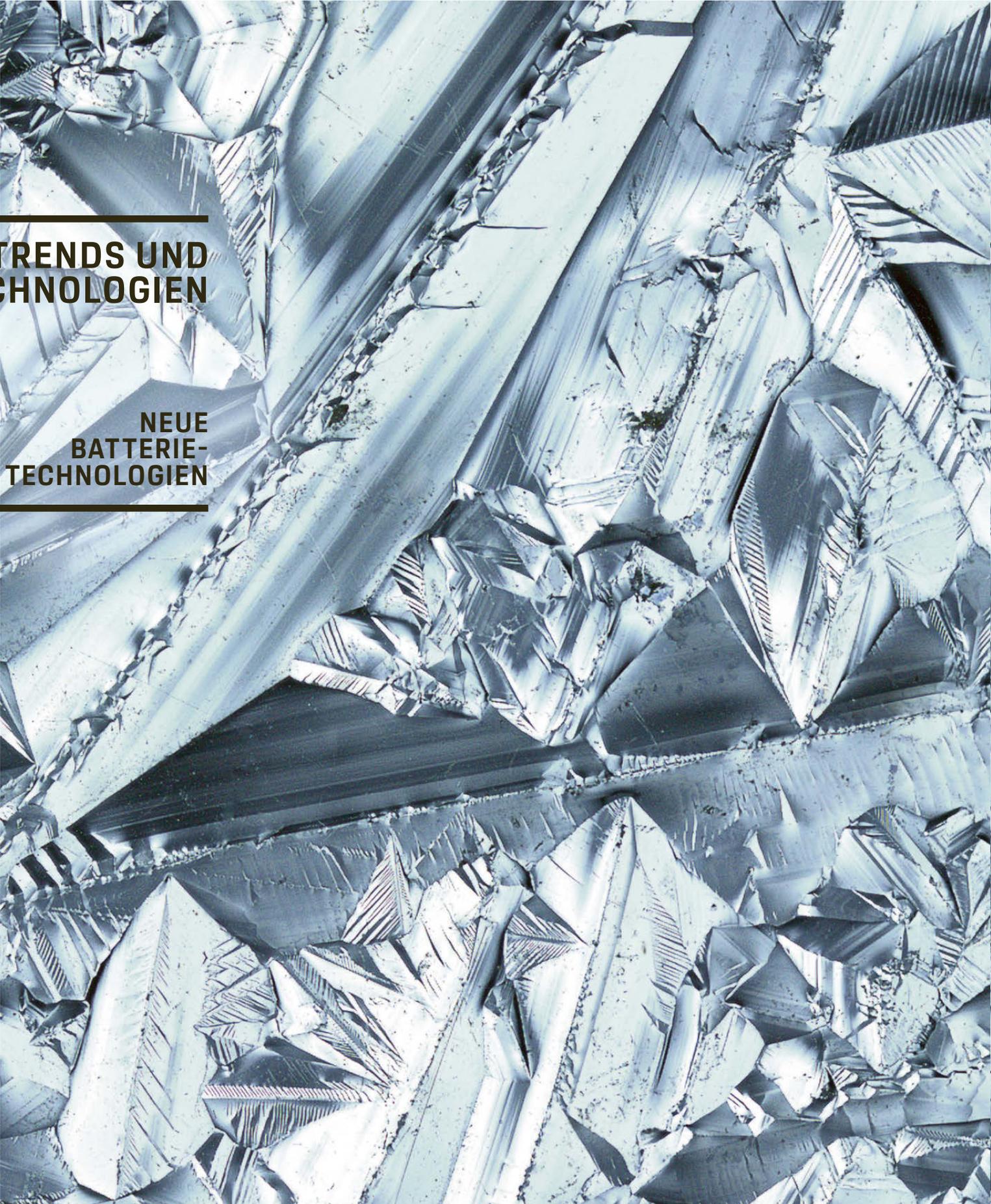


Fahrzeuge kommen bereits jetzt nachhaltige Materialien zum Einsatz. Etwa die Kunststoffteile. Sie bestehen zu einem großen Anteil aus recyceltem Kunststoff-Granulat. Unsere Kunden wollen Nachhaltigkeit im Fahrzeug sehen und spüren. Wir haben das Wissen und die Experten, um die nötigen Materialien und Innovationen zu finden und zu beschaffen.

- **SCHÄFER:** Wir haben Nachhaltigkeit in unserer Unternehmensstrategie fest verankert. Für unser Prüfgelände in Süditalien gibt es beispielsweise einen Aktionsplan zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks. Und auch das Thema Diversity spielt bei uns im Unternehmen eine sehr große Rolle. Wir wollen die Frauenquote unter unseren Ingenieuren erhöhen und als internationale Gruppe das volle Potenzial unserer unterschiedlichen Nationalitäten einbringen – als eine Familie.

Blicken wir zum Schluss ins Jahr 2030 und darüber hinaus. Wie wird das Beschaffungs-Ökosystem von Porsche dann aussehen?

- **FRENKEL:** Ich habe keine Glaskugel (lacht). Im Ernst: Das gesamte Wertschöpfungsnetz wird sich perspektivisch noch weiter spannen müssen. Wir wollen eine möglichst resiliente Lieferkette, ohne einseitige Abhängigkeiten. Dafür benötigen wir innovative Partner in den Weltregionen. Vor allem dort, wo wir unsere Fahrzeuge verkaufen.
- **SCHÄFER:** Wir werden weiter alles daransetzen, Innovationen voranzutreiben, Technologien zu prägen und so Porsche und unsere anderen Kunden zu unterstützen. Ich bin ebenfalls fest davon überzeugt, dass unsere Partnerschaft mit Porsche in Zukunft weiterwachsen wird.
- **FRENKEL:** Da sind wir uns einig.

A detailed microscopic image of silicon crystals, showing a complex, three-dimensional lattice structure with sharp, angular facets and a metallic sheen. The crystals are arranged in a dense, interconnected pattern, with some larger, more prominent structures and many smaller, more intricate ones. The lighting highlights the sharp edges and the smooth surfaces of the crystals, creating a sense of depth and texture.

**TRENDS UND
TECHNOLOGIEN**

**NEUE
BATTERIE-
TECHNOLOGIEN**

Multitalent: Aus Silizium kann man nicht nur Computer-Chips herstellen, sondern auch Anoden mit einer deutlich höheren Speicherfähigkeit im Vergleich zu Graphit.



DIE ZUKUNFT DER ZELLE

Leistungsfähige Batterien sind das zentrale Element von Elektrofahrzeugen. Die Technik entwickelt sich immer weiter und soll bald bei Kapazität, Ladeleistung, Sicherheit und Lebensdauer weitere Fortschritte machen. Porsche ist über die Cellforce Group und Group 14 Technologies direkt an aktuellen Entwicklungen beteiligt.

Text: Chris Löwer

Hoher Energiegehalt, große Leistung, lange Lebensdauer, maximale Sicherheit – und das alles bei möglichst geringen Kosten: Batterien von Elektrofahrzeugen müssen viele Anforderungen erfüllen, was der dominierenden Lithium-Ionen-Technologie bereits gut gelingt. Doch fast alle ihre Parameter lassen sich noch weiter verbessern, woran Forscher und die Industrie derzeit intensiv arbeiten. Gleichzeitig stehen potenzielle Nachfolger bereits in den Startlöchern.

Dass Lithium-Ionen-Batterien heute den Markt dominieren, kommt nicht von ungefähr: Lithium-Atome geben besonders gerne eines ihrer drei Elektronen ab, außerdem ist Lithium das leichteste Metall. Das macht das Element zum beliebten Grundstoff für Akkus.

„Reines Lithium ist das ideale Anodenaktivmaterial hinsichtlich Energiedichte“, sagt Dr. Stefanie Edelberg, Fachprojektingenieurin Batteriezelle bei Porsche Engineering. „Aus Sicherheitsgründen werden aktuell aber vor allem Graphite als Anodenaktivmaterialien eingesetzt, die Lithium-Ionen aufnehmen können.“

Außerdem ist die Speicherkapazität der Batterien sehr hoch und ihr Preis relativ niedrig.

Hinzu kommt die lange Lebensdauer: „1.500 bis 3.000 volle Ladezyklen bis zum Erreichen einer Restkapazität von 80 Prozent sind problemlos möglich“, sagt Dr. Falko Schappacher, kaufmännisch-technischer Direktor des MEET Batterieentwicklungszentrums der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Lebensdauern im Auto von bis zu einer Million Kilometern werden inzwischen vorhergesagt.

OPTIMIERUNG DER ANODE

Weil die Lithium-Ionen-Technologie ein Multikomponentensystem ist, bieten sich viele Möglichkeiten, um sie weiter zu optimieren. Beispielsweise die Anode: Derzeit wird Graphit als Anodenaktivmaterial eingesetzt. Silizium ist eine interessante Alternative dazu, weil es eine um den Faktor 10 höhere Speicherfähigkeit bietet. „Silizium-Anoden würden die Gesamtkapazität

der Lithium-Ionen-Batterie deutlich erhöhen", unterstreicht Schappacher.

Auch Edelberg weist auf die Vorteile hin: „Silizium ist vor allem deshalb von Interesse, weil es nach Lithium die zweithöchste Speicherkapazität bezogen auf das Gewicht aufweist und dadurch Zellen mit sehr hohen Energiedichten möglich sind. Zudem ist es das zweithäufigste Element in der Erdkruste.“ Außerdem seien Zellen mit hoher Schnellladefähigkeit machbar, die sich in weniger als 15 Minuten von 5 auf 80 Prozent aufladen lassen.

„Allerdings dehnen sich die Siliziumpartikel bei der Aufnahme von Lithium um 300 Prozent aus, sodass es zu mechanischem Stress im Material und in der Elektrode kommt“, sagt Schappacher. Würden die Elektrodenoberflächen dadurch Schaden nehmen, würde auch die Lebensdauer des Akkus leiden. „Den größten Hebel hinsichtlich Energiedichte erzielt man, wenn man reines Silizium-Aktivmaterial verwendet, aber dann hat man auch mit den größten Nachteilen hinsichtlich Lebensdauer zu kämpfen“, sagt Edelberg. Dennoch arbeite man intensiv an Anoden mit sehr hohen Silizium-Anteilen von bis zu 80 Prozent. Diesen Weg beschreitet zum Beispiel Cellforce (siehe Kasten) in Kooperation mit Porsche.

MEHR NICKEL IN DER KATHODE

Auch bei der Kathode wird intensiv an der Optimierung der Aktivmaterialien gearbeitet. Wichtig ist hier die Kombination aus großer Speicherkapazität und hohem elektrochemischen Potenzial des Materials. Derzeit wird in Europa am häufigsten Lithium-Nickel-Cobalt-Mangan-Oxid (NCM) im Verhältnis 6:2:2 – bezogen auf die Anteile von Nickel, Cobalt und Mangan – in der Elektromobilität verwendet. Künftig dürfte der



„Den größten Hebel erzielt man, wenn man reines Silizium-Aktivmaterial verwendet.“

Dr. Stefanie Edelberg,
Fachprojektingenieurin Batteriezelle bei Porsche Engineering

↓

In weniger als

15

Minuten

von 5 auf
80 Prozent Ladung:
Das könnte mit
Silizium-Anoden
künftig möglich sein.

Nickel-Anteil steigen, während Cobalt und Mangan in geringerem Maß eingesetzt werden. Der wachsende Nickel-Anteil verspricht höhere Speicherkapazitäten.

Weiteres Optimierungspotenzial bietet der Separator, der aus sehr dünnen (10 bis 20 Mikrometer) Folien, meist aus Polyethylen oder Polypropylen, besteht. Er kostet Bauraum und Gewicht. „Der Separator kann indirekt zum Energieinhalt einer Batteriezelle beitragen“, sagt Edelberg. „Je dünner er ist, desto mehr Lagen oder Wickel an Elektroden passen in eine Zelle. Damit erhöhen sich die Zellkapazität und der Energieinhalt einer Batteriezelle.“

KOMPAKTE FESTSTOFFBATTERIEN

Deutlich weniger Bauraum als herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien könnten Feststoffbatterien benötigen, an denen derzeit intensiv gearbeitet wird. Bei ihnen kommt keine Elektrolytflüssigkeit, sondern ein fester Elektrolytträger zum Einsatz. „In Feststoffzellen soll der klassische Separator komplett durch eine dünne Lage aus Festelektrolyten ersetzt werden“, erklärt Edelberg. „Der Festelektrolyt ist dann sowohl Elektrolyt als auch Separator.“ Durch den Verzicht auf flüssige Elektrolyte und die gleichzeitige Verwendung von Lithium-Metall-Anoden versprechen sich Forscher eine bis zu 50 Prozent höhere Energiedichte, hinzu kommen eventuell deutlich schnellere Ladezeiten und eine geringe Entflammbarkeit des Feststoffelektrolyten.

Verglichen mit anderen Entwicklungen wie Lithium-Luft-Batterien sieht Schappacher in lithium-basierten Feststoffbatterien (Solid-State-Batterien, SSB) „eine ernsthafte Alternative zur Lithium-Ionen-Batterie“. Natrium-Ionen-Batterien (siehe Kasten) seien aufgrund ihrer geringeren Energiedichte gerade für lokale Speicheranwendungen interessant. Die Lithium-Luft-Technologie berge noch viele Herausforderungen und verspreche nach heutigem Stand kaum Vorteile. „Aktuell und auch in nächster Zukunft sind Lithium-Luft-Zellen definitiv noch ein Thema für die Grundlagenforschung“, urteilt auch Edelberg.

Die Zellchemie ist allerdings nicht die einzige Möglichkeit, Batterien zu optimieren. Weiteres Potenzial bieten die Zellsensorik und das Packaging. So können die Batteriezustände durch Sensoren in den Zellen präziser und schneller erfasst werden. Dadurch lässt sich die Ladezeit – etwa durch Schnellladefähigkeit in speziellen Spannungsbereichen – verkürzen. Auch die Zellkühlung kann man präziser regeln, was der Langlebigkeit zugutekommt.

Eine große Rolle für leistungsfähigere Batterien werden künftig auch das Packaging und das Zelldesign spielen. Bei der Cell-to-Pack-Technologie werden die Zellen beispielsweise direkt in den Batteriepack integriert. „Dadurch wird die Kleinteiligkeit der aktuellen Batterien aufgelöst“, sagt Prof. Dr. Maximilian Fichtner, Direktor des Helmholtz-Instituts Ulm (HIU) und Leiter

BATTERIEN DER ZUKUNFT: AUF DAS MATERIAL KOMMT ES AN

Die Zukunft der Natrium-Ionen-Batterien

Prinzipiell arbeitet eine Natrium-Ionen-Zelle genauso wie eine Lithium-Ionen-Zelle. Statt Lithium-Ionen bewegen sich in der Zelle Natrium-Ionen zwischen Anode und Kathode. Natrium-Ionen-Batterien sind als Alternative zu Lithium-Ionen-Batterien interessant, weil sie preislich deutlich unter dem Niveau von

Lithium-Ionen-Zellen liegen werden – eine Halbierung scheint möglich. Zudem sind Natrium-Vorkommen weltweit breit gestreut, sodass der Rohstoff einfacher zugänglich ist als Lithium. Hinzu kommt: Die Materialien, die in Natrium-Ionen-Zellen eingesetzt werden, sind auch hinsichtlich der Nachhaltigkeit vorteilhaft. Zusätzlich sind mit Natrium-Ionen-Zellen hohe Lade- und Entladegeschwindigkeiten möglich. Insbesondere bei tiefen

Temperaturen und bei der Kaltstartfähigkeit haben Natrium-Ionen-Zellen deutliche Vorteile gegenüber Lithium-Ionen-Zellen. Bei minus 20 Grad Celsius werden 20 bis 30 Prozent höhere Kapazitäten erzielt als mit Lithium-Ionen-Zellen. Daher könnten Natrium-Ionen-Zellen möglicherweise auch als Starterbatterien anstelle von Blei-Säure-Batterien in Fahrzeugen zum Einsatz kommen.

Anodenmaterialien im Vergleich

Lithium hat die geringste molare Masse (weil es das leichteste feste Element ist), das höchste Potenzial und die höchste spezifische Kapazität. Das macht das Alkalimetall so interessant für den Einsatz in Anoden. Aber es gibt Alternativen: Silizium rangiert bei der Kapazität nur knapp hinter Lithium, wodurch ebenfalls Zellen mit hoher Energiedichte möglich sind. Zudem ist es das zweithäufigste Element in der Erdkruste. Natrium ist ebenfalls weit verbreitet, zudem ist es kostengünstig und bietet Vorteile bei der Nachhaltigkeit.

Material	Molare Masse	Anzahl Ladungsträger	Theoretische Kapazität
Lithium	6,94 g/mol	1	3.862 mAh/g
Silizium	28,09 g/mol	3,75	3.578 mAh/g
Natrium	23,0 g/mol	1	1.165 mAh/g
Graphit	12,01 g/mol	0,167	372 mAh/g

Hochleistungszellen für High-Performance-Sportwagen

Die Tübinger Cellforce Group, an der Porsche mit 72,7 Prozent beteiligt ist, setzt auf Silizium als Anodenmaterial. „Mit Silizium können wir bis zu 30 Prozent höhere Energiedichten, größere Reichweiten oder geringeres Gewicht und kürzere Schnellladezeiten erreichen“, sagt Chief Operating Officer Markus Gräf. Die Batterie fällt zudem bei gleichem Energieinhalt kompakter aus. Außerdem verringert die innovative Chemie den

Innenwiderstand der Batterie, wodurch sie bei der Rekuperation mehr Energie aufnehmen kann. Die Cellforce-Zelle gilt darüber hinaus als widerstandsfähiger gegenüber hohen Temperaturen. „Die Verwendung von Silizium trägt im Vergleich zu Graphit auch zur Verringerung des CO₂-Fußabdrucks bei“, ergänzt Gräf. Das Anodenmaterial bezieht Cellforce von der US-amerikanischen Firma Group14 Technologies, an der Porsche ebenfalls beteiligt ist. Cellforce wird zunächst Hochleistungs-Lithium-Ionen-Pouchzellen für automobiler Spezialanwendungen entwickeln und von 2024 an in Deutschland herstellen.

der Forschungseinheit Energy Storage Systems am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). „Statt Zellen in Schokoladentafelgröße einzeln miteinander zu verbinden, werden nun wie beim Lattenrost eines Bettes bis zu 1,20 Meter lange Zellen quer und dicht gepackt in einen Rahmen montiert.“ Das führt zu mehr Speicherkapazität und besserer Kühlung auf weniger Raum.

WEITERES POTENTIAL

„Mittelfristig können wir durch die Kombination von neuer Anodenchemie und dichtem Packaging der Zellen Reichweiten von 1.300 km erwarten“, sagt Fichtner. Schappacher ist ebenfalls optimistisch – auch wenn gerade bei Technologiesprüngen wie der Feststoffbatterie Vorhersagen nur schwer zu treffen seien. „Ich denke, dass wir bei Premiumfahrzeugen künftig Reichweitensteigerungen zwischen 30 und 50 Prozent sehen werden“, erwartet der Fachmann und betont: „Wichtiger als die reine Steigerung der Reichweite ist die

Schnellladefähigkeit.“ Schappacher erwartet, dass eine Schnellladung auf 80 Prozent der Reichweite künftig nicht viel länger als ein Tankstopp dauern wird.

„Im heutigen Taycan konnten 22,5 Minuten für die Ladung von 5 auf 80 Prozent realisiert werden“, erklärt Markus Gräf, Chief Operating Officer der Cellforce Group (siehe auch den Kasten). „Mit Silizium als Anodenmaterial sind mittelfristig Werte von unter 15 Minuten erreichbar, längerfristig auch noch deutlich darunter.“ Dafür müssten aber auch neue, leistungsstärkere Ladesäulen entwickelt werden. Darüber hinaus bräuchten Ladedosen künftig eine aktive Kühlung, damit die hohen Ladeleistungen von mehr als 500 kW sicher übertragen werden können.

Optimierte Lithium-Ionen-Batterien und neue Technologien wie Festkörperbatterien: Die elektrischen Energiespeicher dürften dank intensiver Forschung und Entwicklung in den kommenden Jahren deutlich leistungsfähiger werden – und die Elektromobilität dadurch noch attraktiver machen. ●



Chips à la Carte

Baukasten-Prinzip: Statt monolithischer Systeme setzen immer mehr Unternehmen auf modulare Chip-Lösungen.

In Zukunft sollen Chips aus kleineren Einheiten aufgebaut werden. Diese „Chiplets“ versprechen eine höhere Ausbeute in der Produktion und mehr Flexibilität bei der Konfiguration von Systemen. Auch die Automobilindustrie kann von dieser Entwicklung profitieren, da beim hoch automatisierten und autonomen Fahren ebenso leistungsstarke wie flexible Lösungen gefragt sind.

Text: Christian Buck

Die Zahl der Transistoren auf Halbleiterchips wird in den kommenden Jahrzehnten exponentiell wachsen – mit dieser Prognose aus dem Jahr 1965 wurde der spätere Intel-Mitgründer Gordon Moore bekannt. Weit weniger Beachtung fand ein Satz, der ebenfalls in seinem Beitrag für das Magazin „Electronics“ steht: „Es kann sich als wirtschaftlicher erweisen, große Systeme aus kleineren Funktionen aufzubauen, die separat verpackt und miteinander verbunden werden.“

Diese Idee treiben derzeit Forscher und Halbleiterhersteller in aller Welt voran. Sie wollen die zahlreichen Funktionen in den immer komplexeren Chips auf kleinere integrierte Schaltungen (ICs, Integrated Circuits) verteilen, die im Verbund miteinander arbeiten. „Chiplets“ nennen Experten solche Mini-ICs, die sich wie Bausteine zu einem Gesamtsystem verbinden lassen. Sie können jeweils Unterfunktionen eines Gesamtsystems übernehmen und zum Beispiel als zentrale Recheneinheit (CPU), Grafikprozessor (GPU), Speicher, digitale Schnittstelle zur Außenwelt oder WiFi-Sender und -empfänger dienen.

TRENDUMKEHR BEI DER CHIP-GRÖSSE

Bis vor Kurzem ging der Trend in die andere Richtung: Die Halbleiterhersteller integrierten jahrzehntelang immer mehr Funktionen auf einem einzelnen Halbleiterplättchen („Die“) zu hochkomplexen System-on-a-Chip (SoC) – das Mooresche Gesetz machte es möglich. Allerdings stoßen die Unternehmen hier inzwischen an Grenzen, denn mit den steigenden Die-Flächen wächst die Wahrscheinlichkeit von Fehlern, und damit sinkt die Ausbeute an funktionierenden Chips in der Produktion („Yield“) stark. Sehr große SoCs lassen sich darum kaum noch wirtschaftlich herstellen – vor allem dann nicht, wenn dabei auch die allerneuesten Herstellungsprozesse mit immensen Investitionskosten zum Einsatz kommen, deren Yield anfangs ohnehin relativ niedrig ist.

Die

Der Begriff beschreibt Halbleiterplättchen, bevor sie in ein Gehäuse eingebaut werden. Sie entstehen, indem man die runden Halbleiter-Wafer mit Dutzenden Dies in einzelne Stücke sägt.



Yield

Der Begriff steht für die Ausbeute bei der Chip-Fertigung. Die Kennzahl ergibt sich als Quotient aus den verwertbaren und den insgesamt hergestellten Dies.

„Darum hat man ungefähr vor etwa 15 Jahren damit begonnen, nach neuen Wegen zu suchen“, berichtet Dr. Michael Schiffer, Leiter der Abteilung Wafer Level System Integration am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) in Berlin. „Das Thema nimmt seit einigen Jahren sehr an Fahrt auf, weil es heute die erforderlichen Technologien gibt, um Chiplets miteinander zu verbinden, und weil die Halbleiterhersteller bei den Kosten für den Ausschuss mittlerweile an Grenzen stoßen.“ Chiplets können das Problem lösen: Verteilt man die Funktionen eines SoCs auf kleinere Einheiten, steigt die Ausbeute an funktionierenden ICs wieder an.

Chiplets haben aber noch weitere Vorteile. Wenn sich jedes von ihnen auf eine einzige Funktion spezialisiert, kann man für seine Herstellung die jeweils optimale Technologie nutzen: Für die leistungsstarken CPU- und GPU-Chiplets beispielsweise die modernsten Fertigungsprozesse mit den kleinsten Transistoren, während einfachere Chiplets für digitale Schnittstellen mit älteren – und preiswerteren – Verfahren produziert werden könnten. Das gilt auch für die eingesetzten Materialien: Silizium bietet sich für CPU- und GPU-Dies an, während Galliumarsenid, Siliziumgermanium oder Siliziumcarbid für Hochfrequenz- sowie Leistungs-Chiplets und Indiumphosphid für optoelektronische Komponenten die beste Wahl sind. „Das maximiert die Leistung der einzelnen Chiplets und verbessert deren Effizienz“, sagt Schiffer.

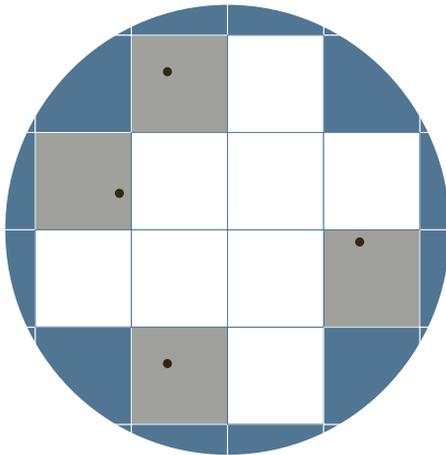
Allerdings müssen die spezialisierten Mini-Chips zu einem Gesamtsystem verbunden werden. Dazu dient meist ein „Silizium-Interposer“, auf dem die Chiplets Platz finden. Das kann entweder eine dünne Siliziumplatte sein, in die lediglich Kupferbahnen für die elektrische Verbindung der Chiplets eingelassen sind. Oder der Silizium-Interposer enthält selbst eine elektronische Schaltung, die die Signale der Chiplets aktiv durchleitet und so die Verzögerungszeiten deutlich reduziert. „Denkbar als Material für den Interposer sind aber auch Glas für hochfrequente Anwendungen oder

CHIPLETS: HÖHERE AUSBEUTE UND MASSGESCHNEIDERTE SYSTEME

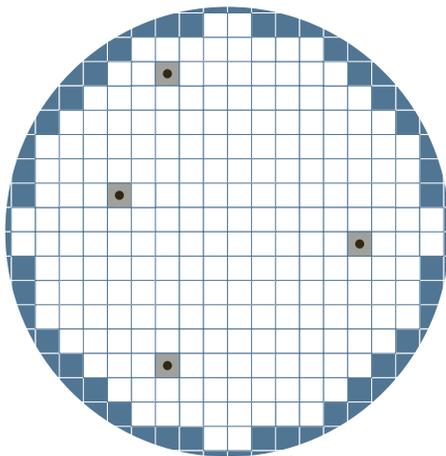
Kleinere Die-Flächen verringern den Ausschuss in der Halbleiterfertigung

Auf einem runden Halbleiter-Wafer befinden sich zahlreiche gleiche Dies. Ein einzelner Fehler (schwarzer Punkt) reicht oft aus, den kompletten Die nutzlos und damit unverkäuflich zu machen. Mit steigender Chipfläche nimmt – bei gleicher Fehlerzahl auf dem Wafer – der Ausschuss stark zu. In diesem Beispiel weist der Wafer in beiden Fällen die gleichen vier Fehler auf. Im oberen Fall (System-on-a-Chip, große Die-Fläche) sinkt der Yield dadurch auf 67 Prozent. Im unteren Fall (Chiplet, kleine Die-Fläche) wirken sich die Fehler hingegen viel weniger aus: Der Yield beträgt hier 98 Prozent. So führen Chiplets dank ihrer geringen Fläche zu steigenden Yield-Raten im Vergleich zu kompletten System-on-a-Chip. Zudem erlauben sie den Einsatz der jeweils optimalen Fertigungstechnologie je Baustein.

67% Yield



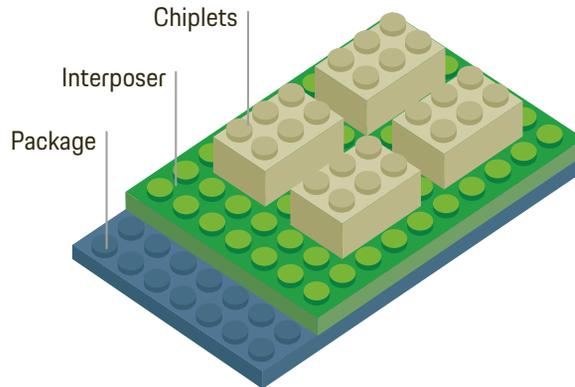
● defekt □ intaktes Die
■ defektes Die



98% Yield

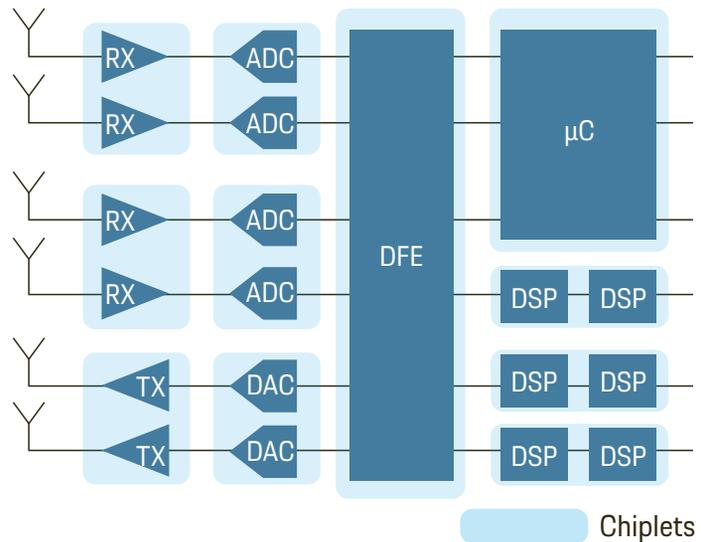
Chiplets lassen sich je nach Bedarf zusammenstellen

Die einzelnen Chiplets werden über den Interposer miteinander vernetzt, ähnlich wie man im PC diverse Peripheriegeräte mit dem Chipsatz des Computers verbindet. Um das Potenzial der Chiplet-Idee voll ausschöpfen zu können, arbeitet die Industrie an Standards für die Kommunikation. Das komplette System aus mehreren Chiplets wird am Ende in ein normales Chip-Gehäuse eingesetzt und auf eine Leiterplatte aufgelötet.



77-GHz-Radar für das autonome Fahren

Dieses elektronische System der Universität Bremen besteht aus diversen Chiplets für analoge (Oszillator, Sender, Empfänger) und digitale (Mikroprozessor, Digitaler Signalprozessor, Digitales Frontend) Funktionen. Je nach den spezifischen Anforderungen kann man einzelne Blöcke ergänzen oder weglassen und so ein maßgeschneidertes System erhalten.



ADC - Analog Digital Converter
RX - Empfänger
TX - Sender
µC - Mikrocontroller
DFE - Digital Front End
DSP - Digitaler Signalprozessor

organische Stoffe, die aber hinsichtlich der Strukturgrößen nicht mit Silizium-Interposern mithalten können“, erklärt Schiffer.

Die Chiplet-Idee kann ihre Vorteile allerdings nur dann voll ausspielen, wenn sich die Komponenten verschiedener Hersteller problemlos zu einem Gesamtsystem kombinieren lassen. Das soll künftig der Kommunikations-Standard „Universal Chiplet Interconnect Express“ (UCIe) ermöglichen – ähnlich wie der „Peripheral Component Interconnect Express“ (PCIe), der heute verschiedenste Peripheriegeräte wie Festplatten oder Grafikkarten mit dem Chipsatz eines Prozessors im PC verbindet. Hinter UCIe stehen Chipentwickler und IT-Unternehmen wie AMD, ARM, Intel, Google Cloud, Meta, Microsoft, Qualcomm und Samsung sowie TSMC als der weltgrößte Auftragsfertiger von Halbleitern. Als Alternative hat das Open Compute Project (OPC) den Standard „Bunch of Wires“ (BoW) vorgestellt. Mitglieder von OPC sind unter anderem Betreiber von großen Datenzentren wie Google, Meta und Microsoft.

CHIPLET-STANDARD FÜR FAHRZEUGE

„Beide Standards sind für den Austausch sehr großer Datenmengen ausgelegt“, sagt Andy Heinig, Gruppenleiter Systemintegration am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) in Dresden. „Für Automotive-Anwendungen bräuchte man aber zusätzliche analoge Schnittstellen, etwa um ein Radar aus verschiedenen Chiplets zusammenbauen zu können.“ Gemeinsam mit OEMs und Zulieferern wollen die Forscher am IIS darum einen Standard entwickeln, der für den Einsatz in Fahrzeugen maßgeschneidert ist.

Dass Chiplets in Fahrzeugen künftig eine wichtige Rolle spielen werden, steht für Heinig trotz des noch fehlenden Standards fest: „Gerade für das autonome Fahren benötigt man sehr große Rechenleistungen, wobei die Anforderungen aber stark vom jeweils angestrebten Automatisierungs-Level abhängen werden. Die OEMs könnten die Elektronik durch den Einsatz von Chiplets in Zukunft optimal für ihre einzelnen Modelle beziehungsweise die unterschiedlichen Ausstattungsvarianten auslegen.“ Dieses skalierbare Baukastensystem passe auch bestens zum Plattformkonzept der Autohersteller.

„Für Automotive-Anwendungen bräuchte man zusätzliche analoge Schnittstellen.“

Andy Heinig, Gruppenleiter Systemintegration am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen



„Das Thema Chiplets nimmt seit einigen Jahren sehr an Fahrt auf.“

Dr. Michael Schiffer, Leiter der Abteilung Wafer Level System Integration am Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)

Wie ein solches Fahrzeugsystem auf Chiplet-Basis aussehen könnte, untersucht Professor Steffen Paul, Leiter der Arbeitsgruppe Kommunikationselektronik an der Universität Bremen, gemeinsam mit industriellen und akademischen Projektpartnern. Auch er betont: „Durch Chiplets lassen sich Systemkonfigurationen flexibel an die Anforderungen in Fahrzeugen anpassen.“ Sein Team zeigt das am Beispiel eines 77-Gigahertz-Radars für das autonome Fahren. Der analoge Teil ist in mehrere Chiplets unterteilt, die als Oszillator sowie als Sender/Empfänger arbeiten und auf einem Silizium-Interposer untergebracht sind. Je nach der geforderten Zahl der Antennen werden zwei oder vier Sender/Empfänger-Chiplets in das System integriert. Der digitale Teil für die Signalverarbeitung kann aus bis zu acht Chiplets bestehen – abhängig davon, wie komplex die eingesetzten Auswertelgorithmen sind.

Neben der größeren Flexibilität durch die Kombination verschiedener Rechenbausteine sieht Paul noch einen weiteren Vorteil im Chiplet-Ansatz: den besseren Schutz geistigen Eigentums. „Durch die Partitionierung der Funktionen in kleinere Einheiten können Wettbewerber viel schwerer Rückschlüsse auf die Arbeitsweise des Gesamtsystems ziehen. Zudem lassen sich kritische Funktionen wie Verschlüsselung separat auf einem Chiplet entwickeln – in einem Hochsicherheitsbereich und getrennt von der Entwicklung der restlichen Logik“, erklärt der Experte.

SCHLÜSSELFAKTOR FÜR DIE ZUKUNFT

„Derzeit werden Chiplets in Märkten wie Rechenzentren, mobilen Geräten, Netzwerken und Speichern eingesetzt“, sagt Tom Hackenberg, Principal Analyst für Computing und Software bei der Technologieberatung Yole Intelligence. „Mit dem Aufkommen leistungsfähiger heterogener Prozessoren in Fahrerassistenzsystemen werden sie jedoch zu einem Schlüsselfaktor für künftige elektronische Systeme in Fahrzeugen. Aus diesem Grund unterstützen viele Automobilchip-Hersteller die Chiplet-Normung.“ Gordon Moore könnte also ein weiteres Mal mit einer Prognose ins Schwarze getroffen haben. ●

Filmvisionen: In Science-Fiction-Klassikern wie „Minority Report“ (oben rechts) und der Netflix-Serie „Black Mirror“ (unten) können die Helden in virtuelle Welten eintauchen. In Zukunft könnte das dank XR für jedermann möglich sein.



Träumen mit offenen Augen



In Zukunft werden durch XR - die Verbindung von virtueller, erweiterter und gemischter Realität - die Grenzen zwischen dem Virtuellen und Realen verschwimmen. Unsere Gastautoren beschreiben, was das für den Einzelnen und die Gesellschaft bedeutet. Der Text basiert auf Auszügen aus dem Buch „KI 2041“ (Campus Verlag).

XR bedeutet viel mehr als bloß eine Erweiterung auf einen größeren Bildschirm. In den Worten von Dr. Brennan Spiegel ist XR „wie Träumen mit offenen Augen“. Diese Technologien erzeugen eine intensive Erfahrung, die als „Präsenz“ bezeichnet wird. Virtuelle Szenen, Objekte und Figuren sind lebensecht und magisch. Die Technologie versetzt einen in eine immersive Erfahrung, die sich wie eine parallele Wirklichkeit anfühlt. In den nächsten 20 Jahren wird XR die Bereiche Unterhaltung, Ausbildung, Einzelhandel, Gesundheitswesen, Sport und Reisen revolutionieren.

Eine immersive Erfahrung sollte so beschaffen sein, dass die Nutzer_in die gleichen Sinnesempfindungen hat, die er oder sie in einer realen Umgebung haben würde, und nicht zwischen real und künstlich unterscheiden kann. Damit eine solche Sinneserfahrung realistisch ist, müssen wir unseren schärfsten Sinn, unser Sehvermögen, austricksen.

Abgesehen von XR-Brillen dürften XR-Kontaktlinsen die erste XR-Technologie sein, die den Meilenstein der Massenakzeptanz erreicht. Mehrere Start-ups arbeiten bereits an der Entwicklung von XR-Kontaktlinsen. Ihre Prototypen zeigen, dass Displays und Sensoren in Kontaktlinsen eingebettet und Texte und Bilder auf diese Weise sichtbar gemacht werden können. Diese Kontaktlinsen erfordern nach wie vor einen externen Hauptprozessor zur Datenverarbeitung, die auf einem Mobiltelefon erfolgen kann. Bis zum Jahr 2041 erwarten wir, dass die „Unsichtbarkeit“ von Kontaktlinsen den Markt dazu veranlassen wird, das Produkt zu akzeptieren, und dass Herausforderungen wie Kosten, Datenschutz und Regulierung gemeistert werden können.

So wie die visuelle Eingabe durch Brillen und Kontaktlinsen erfolgt, kann die Toneingabe durch Ohrhörer erfolgen, die mit jedem Jahr besser geworden sind. Bis 2030 sollten gute Ohrhörer durch knochenleitende, omni-binaurale immersive Ton- und andere Technologien so stark miniaturisiert sein, dass sie fast unsichtbar sind und vielleicht bequem den ganzen Tag getragen werden können.

Diese Kombination dürfte sich zu einem „unsichtbaren Smartstream“ (dem Smartphone des Jahres 2041) weiterentwickeln lassen. Wenn man seinen Smartstream aktiviert, legt sich die optische Anzeige, möglicherweise halbtransparent, über das Sehfeld. Die Smartstream-Inhalte und Apps werden sich wahrscheinlich mit Gesten steuern lassen, wie es die von Tom Cruise gespielte Figur in dem Film *Minority Report* tut. Nutzer hören die Tonaufnahmen im Smartstream über „unsichtbare Earsets“, und sie steuern den Smartstream per Stimme, Gesten und „in die Luft“ tippenden Fingern. Dieser allgegenwärtige XR-Smartstream vermag mehr als ein Smartstream (oder Handy) mit Bildschirm. Er kann uns an den Namen einer Bekanntschaft erinnern, der wir zufällig begegnet sind, uns benachrichtigen, wenn ein Geschäft in der Nähe den Artikel führt, den wir kaufen wollen, bei Auslandsreisen Übersetzungsdienste leisten und uns Fluchtwege bei Naturkatastrophen aufzeigen. Über die

gewöhnlichen „sechs Sinne“ hinaus kann unser Körper Sinnesempfindungen wie Wind und eine Umarmung, aber auch Wärme, Kälte, Vibration und Schmerzen „fühlen“. Haptische Handschuhe werden es Nutzer_innen ermöglichen, Objekte virtuell aufzuheben und zu betasten. Und somatosensorische (manchmal auch „haptisch“ genannte) Anzüge können einem das Gefühl von Kälte oder Wärme beziehungsweise Faustschläge oder eine streichelnde Hand spüren lassen.

Die bisherige Analyse bezieht sich auf Geräte, die unsere Wahrnehmung stimulieren, aber wie stellen wir Inputdaten für XR bereit oder steuern diese? Heute besteht das Eingabegerät für XR aus einer in der Regel von Hand geführten Steuereinheit, ähnlich dem Xbox Controller, allerdings für gewöhnlich mit einhändiger Steuerung. Ihre Handhabung lässt sich leicht erlernen, aber sie fühlt sich unnatürlich an, je immersiver und lebensechter die Erfahrung wird. In Zukunft sollte der Input idealerweise ganz natürlich sein. Augenverfolgung, Bewegungsverfolgung, Gestenerkennung und Sprachverstehen werden miteinander verflochten und zu primären Inputs.

Ein Haupthindernis für die Realisierung dieser Erfahrungen ist die Erstellung von Inhalten. Content-Creation in einer XR-Umgebung ist vergleichbar mit der Entwicklung eines komplexen 3D-Spiels. Sie muss alle Kombinationen von Nutzerentscheidungen umfassen, die Physik realer und virtueller Objekte modellieren, die Effekte von Licht und Wetter simulieren und lebensähnliche Renderings vollbringen. Dieses Niveau an Komplexität ist viel höher als das, was notwendig ist, um Videospiele herzustellen und Apps zu entwickeln.

Wenn wir technische Hilfsmittel wie Brillen oder Kontaktlinsen den ganzen Tag über tragen, erfassen wir jeden Tag unsere Umgebung. Einerseits ist es wunderbar, diesen „unbegrenzten Erinnerungsspeicher“ zu haben. Wenn ein Kunde eine eingegangene Verpflichtung nicht einhalten will, können wir das Video recherchieren, das sein Versprechen dokumentiert. Aber wollen wir wirklich, dass jedes Wort, das wir sagen, gespeichert wird? Was ist, wenn diese Daten in die falschen Hände geraten? Oder wenn sie von einer Anwendung genutzt werden, der wir vertrauen, die aber einen unbekanntem externen Effekt hat?

Unter dem Strich heißt das, dass wir im Jahr 2041 im Berufsleben und in unserer Freizeit umfassend virtuelle Technologien nutzen werden. Wir sollten uns darauf einstellen, dass diese Entwicklung unvermeidlich ist. Es wird gigantische XR-Innovationssprünge geben, vermutlich zunächst in der Unterhaltungsindustrie. Aber über kurz oder lang wird XR in sämtlichen Branchen Einzug halten. So wie KI ihre „Intelligenz“ aus Daten gewinnt, so wird XR noch größere und höherwertigere Datenmengen von Menschen erheben – Daten, die von unseren Augen, Ohren, Gliedmaßen und eines Tages auch aus unserem Gehirn stammen werden. Gemeinsam werden KI und XR unseren Traum vollenden, uns selbst zu verstehen und unsere Fähigkeiten zu optimieren – und dadurch auch den menschlichen Erfahrungsraum zu vergrößern. ●

„Eine immersive Erfahrung sollte so beschaffen sein, dass die Nutzer_in die gleichen Sinnesempfindungen hat, die er oder sie in einer realen Umgebung haben würde, und nicht zwischen real und künstlich unterscheiden kann.“

Kai-Fu Lee,
Jiufan Chen



DIE AUTOREN

Kai-Fu Lee ist CEO der Risikokapitalgesellschaft Sinovation Ventures und Co-Vorsitzender des Artificial Intelligence Council beim Weltwirtschaftsforum.

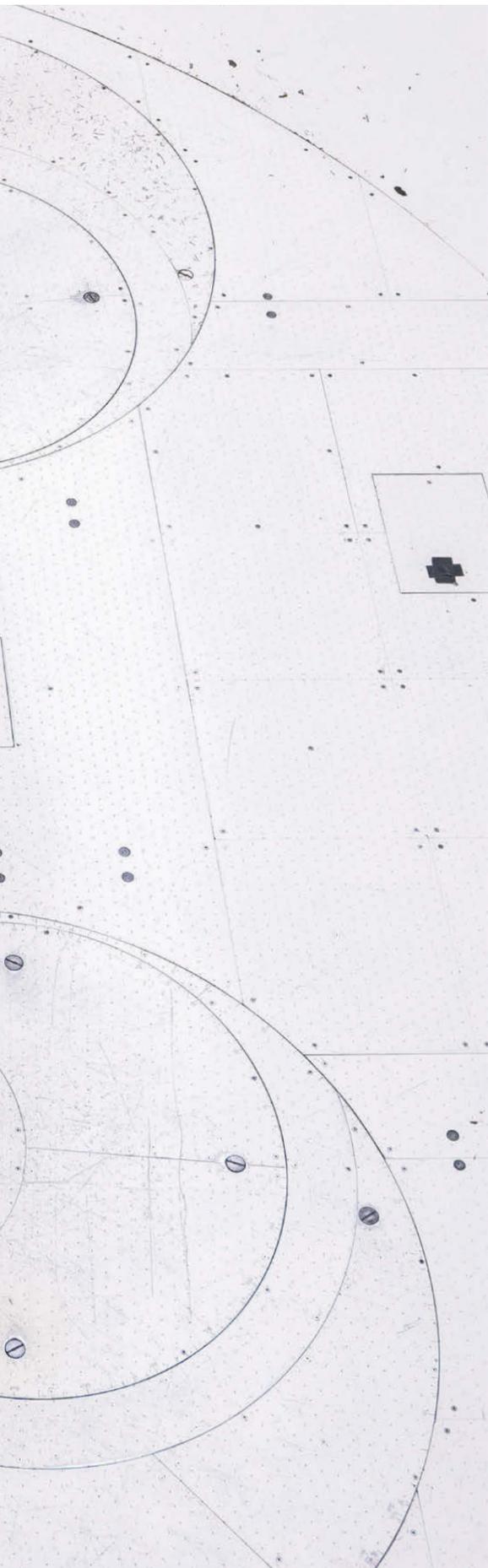
Jiufan Chen ist preisgekrönter Autor, Übersetzer, kreativer Produzent, Kurator und Präsident der World Chinese Science Fiction Association.

**PORSCHE
UND
PRODUKT**

**BIG-
WAVE-
SURFER**



Im künstlichen Gegenwind: Sebastian Steudtner optimiert seine Haltung im Windkanal von Porsche im Entwicklungszentrum Weissach.



**„Es war spannend zu sehen,
wie viel ungenutztes Potenzial
noch vorhanden ist.“**

Sebastian Steudtner
Big-Wave-Surfer

BEREIT FÜR DIE PERFEKTE WELLE

Big-Wave-Weltmeister Sebastian Steudtner will hoch hinaus. Den Weltrekord hält der 30-jährige Surfer bereits. Jetzt will er im Rahmen seiner langfristigen Partnerschaft mit Porsche seinen Sport gemeinsam mit Porsche Engineering auf ein neues Niveau heben.

Text: Claudius Lüder
Fotos: Joerg Mitter, Jorge Neal

Wissenschaftlicher Ansatz: Mit Simulationen und Windkanal-Validierungen werden das Verhalten des Surfboards im Wasser sowie die Aerodynamik von Board und Surfer verbessert.



„Mit unserem Kinematikmodell können wir den Einfluss verschiedener Komponenten analysieren.“

Dr. Jin Gong
Entwicklungsingenieurin bei
Porsche Engineering

Den Blick konzentriert nach vorne gerichtet steht Sebastian Steudtner auf seinem Surfboard. Wind pfeift ihm ins Gesicht. Mit dem rechten Bein korrigiert er den Stand, der linke Arm geht nach vorne, fast so, als wolle er eine nahende Welle abhalten. „Dankeschön, wir haben jetzt alles“, ertönt plötzlich eine Stimme. Der Windstrom lässt nach, Steudtner richtet sich auf, und Licht erhellt die Szene.

Der Big-Wave-Surf-Weltmeister hat keine Wellen im Atlantik geritten, sondern steht im Windkanal von Porsche in Weissach auf seinem Board. Hier arbeitet ein Team um Marcus Schmelz, Marcel Straub und Dr. Jin Gong von Porsche Engineering an einem ehrgeizigen Projekt: Sie wollen Steudtners Sportgerät sowie seine Haltung auf dem Brett optimieren. Damit sollen seine Leistungen weiter verbessert werden.

Seit Ende letzten Jahres arbeiten Porsche Engineering und Steudtner im Rahmen einer langfristigen Partnerschaft zwischen dem Big-Wave-Weltmeister und Porsche zusam-

men, um dieses Ziel zu erreichen. Mithilfe neuester Simulationsmethoden und Windkanal-Validierungen sollen beispielsweise das Verhalten des Surfboards im Wasser sowie die Aerodynamik von Board und Surfer verbessert werden. „Wir bringen unsere Erfahrungen in der Strömungs- und Strukturoptimierung mit der Expertise eines weltweit bekannten Surfers zusammen, um ein optimiertes Board für das Surfen besonders hoher Wellen zu entwickeln“, sagt Projektleiter Schmelz.

DAS LIMIT WAR ERREICHT

Ein wesentliches Ziel ist es, im Wasser schneller zu werden. Aktuell erreicht Weltrekordhalter Steudtner mit seinem Surfboard Geschwindigkeiten von 70 bis 80 km/h. Das reicht aber noch nicht, um deutlich höhere Wellen reiten zu können – denn je höher eine Welle ist, desto schneller muss der Surfer sein, damit sie nicht über ihm zusammenschlägt. „Mit meinen

bisherigen Boards war das technische Limit definitiv erreicht", sagt Steudtner.

An zwei Stellen setzt das Team von Porsche Engineering an, um den Weltmeister zu beschleunigen: bei der Hydro- und bei der Aerodynamik. Zur Verbesserung der Aerodynamik gehört die Frage, wie die Position des Surfers auf dem Board modifiziert werden kann, um eine spürbare Widerstandsreduktion zu erreichen. Im Bereich der Hydrodynamik geht es darum, den Druck- und Reibungswiderstand zu reduzieren – beispielsweise durch die Positionierung der Finnen unter Wasser und die Verwendung spezieller Beschichtungen für das Board. „Alles, was sich in der Luft befindet, untersuchen wir im Windkanal. Alles, was sich im Wasser befindet, analysieren wir mit einer CFD-Simulation“, erklärt Gong.

Für die Tests im Windkanal wurde ein spezielles Gestell gebaut, um die Position des Boards auf einer Welle simulieren zu können. Besonderheiten wie seitliche Strömungen ließen sich mithilfe eines



„Vor allem für die Verbesserung der Aerodynamik können wir Methoden aus der Automobilentwicklung übertragen.“

Marcel Straub

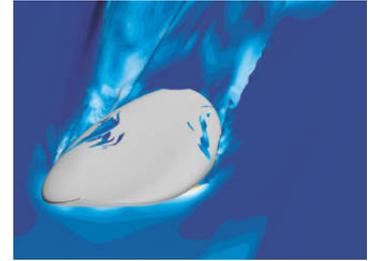
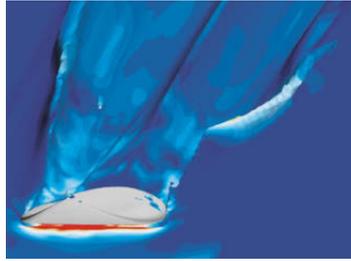
Fachprojektleiter Aerodynamik und Thermomanagement
bei Porsche Engineering

Je schneller, desto höher: Derzeit erreicht Steudtner im Wasser 70 bis 80 km/h. Für höhere Wellen muss er schneller werden, sonst schlagen sie über ihm zusammen.

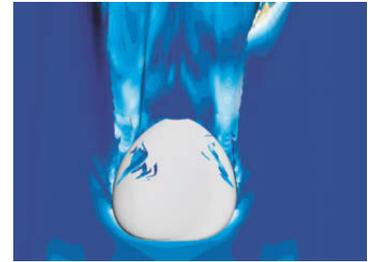
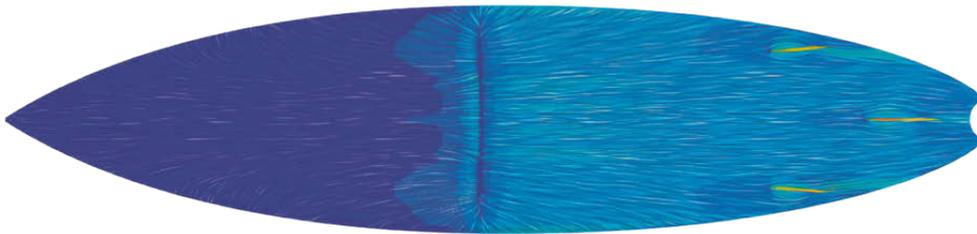


Basis für die Geometrie-Optimierung

Für die Optimierung der Board-Geometrie mussten die Experten zunächst eine validierte Referenz schaffen. Dafür wurde das Original-Surfbrett von Sebastian Steudtner mithilfe einer CFD-Simulation in puncto Performance bewertet. Das große Bild unten zeigt die Schubspannungsverteilung in der Grenzschicht – ein gutes Maß für die wandnahe Strömungsrichtung und -geschwindigkeit sowie ein sicherer Indikator für Strömungsablösungen. Die Bilder rechts zeigen die Nachlaufstrukturen des Boards in der Wasseroberfläche. Je ausgeprägter sie sind, desto mehr Wasserwiderstand wirkt auf das Board.



Simulation der Schubspannungsverteilung



Simulation der Wasseroberflächen

Optimierte Haltung: Der rechte Arm lehnt sich an der Seite des vorderen Unterschenkels an, Oberkörper, Arme sowie Oberschenkel liegen nahe beieinander.



Die Taycan Cross Turismo Modelle

Verbrauchsangaben nach NEFZ:

Stromverbrauch kombiniert:

26,5 - 26,2 kWh/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km

Verbrauchsangaben nach WLTP:

Stromverbrauch kombiniert:

24,8 - 21,2 kWh/100 km

CO₂-Emission kombiniert: 0 g/km

Stand 11/2022

drehbaren Bodens nachstellen. „Wir haben in zwei Versuchsreihen verschiedene Positionen des Körpers getestet und auch Optimierungen am Equipment untersucht, wie etwa den Einsatz eines Kopfspoilers. Die Potenziale und die Reproduzierbarkeit wurden bestätigt“, erklärt Gong.

17 PROZENT VERBESSERUNG

Mit Änderungen bei Steudtners Haltung konnte ein deutlich geringerer Luftwiderstand erreicht werden. Als optimal erwies sich eine Position, bei der sein rechter Arm sich an der Seite des vorderen Unterschenkels anlehnt und Oberkörper, Arme sowie Oberschenkel möglichst nahe beieinander liegen. So erreichten die Ingenieure eine Windwiderstandsreduktion von fast 17 Prozent. Auf einer Anzeige auf dem Surfboard-Gestell konnte der Weltmeister jederzeit ablesen, wie sich der Windwiderstand bei Positionswechseln veränderte. „Es war spannend zu sehen, wie viel ungenutztes Potenzial insbesondere durch die Verbesserung der Aerodynamik noch vorhanden ist“, sagt Steudtner.

Insgesamt schätzen die Ingenieure das Reduktionspotenzial beim Luftwiderstand auf bis zu 25 Prozent. „Das ist ein sehr hoher Wert. Im Fahrzeugbau sprechen wir normalerweise von drei bis vier Prozent“, so Straub. Neben den 17 Prozent durch eine optimierte Haltung ließen sich weitere vier Prozent durch Maßnahmen wie einen optimierten Helm erreichen. Und auch das Surfboard bietet noch viel Verbesserungspotenzial. „Hier konnten wir durch einen Aufsatz an der Nase den Luftwiderstand um weitere vier Prozent verbessern, sowohl bei gerader Anströmung als auch bei Seitenwind“, erläutert Straub. Vergleichbar sei das mit der Wirkung eines Rad-Anlaufkörpers am Fahrzeugunterboden. „In beiden Fällen geht es um die Optimierung des Nachlaufs und die verbesserte Anströmung nachfolgender ‚Bauteile‘“, so Straub weiter. Und auch die Idee eines „Kopfspoilers“ am Board folgt Erkenntnissen aus der Fahrzeugentwicklung. „Durch die Generierung einer definierten Abrisskante am Kopf erreichen wir eine Verbesserung im Nachlaufgebiet. Das ist vergleichbar mit Abrisskanten am Fahrzeugheck, wie etwa die C-Säulen-Flaps am Taycan Cross Turismo“, so Straub.

„Als Berechnungsgrundlage für den Windkanaltest haben wir ein Kinematikmodell erstellt, also ein physikalisches Modell zur Beschreibung des aero- und hydrodynamischen Systems beim Big-Wave-Surfen“, erklärt Gong. Der Hintergrund: Tritt der Surfer in die



„Wir bringen unsere Erfahrungen mit der Expertise eines weltweit bekannten Surfers zusammen.“

Marcus Schmelz

Fachreferent Gesamtfahrzeugproben bei Porsche Engineering

Welle ein, kann aufgrund der Verluste durch Luft- und Wasserwiderstand nur ein Teil der vorhandenen Lageenergie in Geschwindigkeit umgesetzt werden. „Mit unserem Kinematikmodell können wir den Einfluss verschiedener Komponenten analysieren. Daraus lässt sich ableiten, dass die Optimierung des Luft- und Wasserwiderstandes eine entscheidende Rolle für das Surfen einer Riesenwelle spielt“, sagt Gong.

BOARD-OPTIMIERUNG MIT CFD

Parallel zu den Tests im Windkanal wurde das Surfboard mithilfe von CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) optimiert. „Damit können wir Strömungen und Strömungsverläufe nachbilden und visualisieren“, so Gong. „Das hilft uns, kritische Stellen zu entdecken und Gegenmaßnahmen zu definieren.“ Im nächsten Schritt müssten diese dann in einem realen Test auf dem Wasser überprüft werden.

Bei allen Optimierungen greift das Team auf die langjährige Expertise von Porsche Engineering aus der Fahrzeugentwicklung zurück. „Vor allem für die Verbesserung der Aerodynamik können wir Methoden aus der Automobilentwicklung übertragen – im Falle des Boards eben auf ein ganz neues ‚Fahrzeug‘“, sagt Straub. Die Modellierung sei zwar eine andere, aber die Fragen letztlich dieselben: Wo und wie kann Widerstand reduziert werden?

Steutdner ist überzeugt davon, dass er mithilfe der Porsche-Ingenieure jetzt deutlich höhere Wellen reiten kann: „Für mich war es bisher ein fortwährender Prozess mit ständigen Verbesserungen basierend auf meinem Gefühl. Jetzt auch wissenschaftliche Daten nutzen zu können, finde ich sehr interessant. Ich bin gespannt, wie gut die Theorie

in der Praxis funktioniert.“ Als Ergebnis der Windkanaltests und CFD-Simulationen wurden vier modifizierte Boards gebaut, in die alle Erkenntnisse eingeflossen sind und die der Big-Wave-Surf-Weltmeister jetzt im Wasser testet. „Die Fahrbarkeit des Boards entscheidet. Sebastian gibt uns regelmäßig Feedback“, berichtet Straub.

Steutdner ist in diesen Tagen darum vor allem auf dem Wasser unterwegs. Seit 2012 verbringt er jeden Winter in Nazaré in Portugal, rund eine Stunde nördlich von Lissabon. Das dortige Kliff mit einem immensen Unterwassercanyon hat Hawaii längst den Rang als Surfspot mit den höchsten Wellen der Welt abgelassen. Hier türmen sich die größten Wellen weit über 20 Meter auf. Steudtners Weltrekord liegt aktuell bei 26,21 Metern. Mit dem richtigen Equipment will er künftig noch höher hinaus. Wie hoch das sein wird, auch das soll in Zukunft durch Unterstützung von Porsche Engineering noch genauer feststellbar sein: Die Porsche-Ingenieure entwickeln ein neues System, das die ungenaue Vermessung von Wellenhöhen anhand von Videomaterial und Standbildern ablösen soll – damit Steudtners Aufbruch in neue Dimensionen präzise dokumentiert werden kann. ●



ZUSAMMENGEFASST

Um höhere Wellen reiten zu können, muss Sebastian Steudtner im Wasser größere Geschwindigkeiten erreichen. Das Team von Porsche Engineering setzt dafür bei Hydro- und Aerodynamik an. Dabei nutzt es bewährte Methoden aus der Automobilentwicklung. Die modifizierten Boards werden nach der Optimierung von Steudtner in Portugal getestet.

Auf Performance ausgelegt



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

Gene aus dem Motorsport: Der Porsche 911 GT3 RS macht auf jeder Rennstrecke ein gute Figur.



Der neue Porsche 911 GT3 RS macht keinen Hehl aus seinem Konzept: Er ist kompromisslos auf maximale Performance ausgelegt. Dabei bedient sich der straßenzugelassene Hochleistungssportwagen konsequent der Technologien und Prinzipien aus dem Motorsport. Neben dem Hochdrehzahl-Saugmotor mit Rennsportgenen und intelligentem Leichtbau unterstreicht vor allem das Kühl- und Aerodynamikkonzept die direkte Verwandtschaft mit seinem Motorsportbruder 911 GT3 R.

Der 911 GT3 RS

Verbrauchsangaben nach NEFZ:

Kraftstoffverbrauch innerorts: 17,6 l/100 km

Kraftstoffverbrauch außerorts: 9,8 l/100 km

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 12,7 l/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 289 g/km

Verbrauchsangaben nach WLTP:

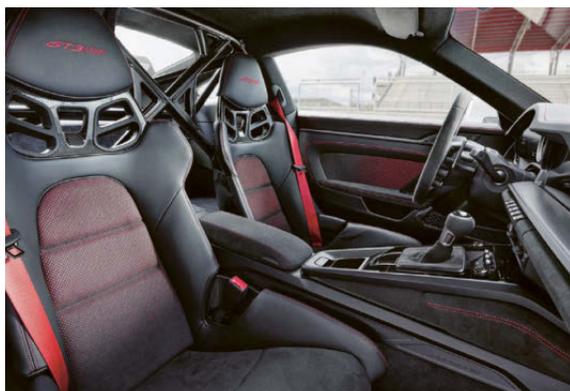
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 13,4 l/100 km

CO₂-Emissionen kombiniert: 305 g/km

Stand 08/2022

→ **Hoher Anpressdruck:** Stufenlos verstellbare Flügel-Elemente an der Front tragen zu 409 kg Gesamttrieb bei 200 km/h bei.

↓ **Typisch RS:** Schwarzes Leder, Racetex und Sichtcarbon prägen den Innenraum.



Basis für die deutliche Performance-Steigerung ist das Mittenkühlerkonzept, das erstmals beim Le Mans-Klassensieger 911 RSR und anschließend auch im 911 GT3 R zum Einsatz kam. Anstelle des bisherigen Layouts mit drei Kühlern setzt der neue 911 GT3 RS auf einen großen, schräg angeordneten Mittenkühler im Vorderwagen. Er ist dort positioniert, wo sich bei anderen 911-Modellen der Kofferraum befindet. So wurde es möglich, den frei gewordenen seitlichen Bauraum zur Integration aktiver Aerodynamik-Elemente zu nutzen.

Stufenlos verstellbare Flügel-Elemente an der Front sowie am zweigeteilten Heckflügel sorgen in Kombination mit einer Vielzahl weiterer Aerodynamik-Maßnahmen für 409 kg Gesamttrieb bei 200 km/h. Damit generiert der neue 911 GT3 RS doppelt so viel Anpressdruck wie sein Vorgänger (Typ 991 II) und dreimal so viel wie ein aktueller 911 GT3. Bei 285 km/h liegt der Gesamttrieb bei 860 kg. Erstmals ist in einem Serien-Porsche ein Drag Reduction System (DRS) verbaut. Zugunsten eines geringen Luftwiderstandes und einer höheren Geschwindigkeit auf geraden Streckenabschnitten lassen sich mit dem DRS innerhalb eines definierten Arbeitsbereiches die Flügel auf Knopfdruck flach stellen. Bei einer Vollbremsung aus hohen Geschwindigkeiten wird die Airbrake-Funktion aktiv: Die Flügel-Elemente an Front und Heck werden maximal angestellt und erzeugen so eine aerodynamische Verzögerungswirkung, die die Radbremsen wesentlich unterstützt.

Die Vielzahl funktionaler Aerodynamik-Elemente prägt das Karosserie-Design des neuen 911 GT3 RS. Hervorstechendstes Merkmal des GT-Sportwagens ist der in allen Dimensionen deutlich gewachsene Heckflügel mit Schwanhalsaufhängung. Er besteht aus einem feststehenden Hauptflügel und einem oberen, hydraulisch verstellbaren Flügel-Element.

FRONTSPLITTER STATT BUGSPOILER

Erstmals bei einem Porsche-Serienfahrzeug liegt die Oberkante des Heckflügels höher als das Dach. Zudem verfügt das Bugteil des 911 GT3 RS nicht mehr über einen Bugspoiler, sondern über einen sogenannten Frontsplitter, der die über- und unterströmende Luft teilt. Sideblades lenken die Luft gezielt nach außen. Die Radhausentlüftung vorne erfolgt über Öffnungen in den Kotflügeln (Louvers).

Einzüge hinter den Vorderrädern im Stil des ikonischen Le-Mans-Gesamtsiegers 911 GT1 reduzieren den Staudruck im Radkasten. Sideblades hinter dem Einzug sorgen dafür, dass die Luft gezielt an die Fahrzeugseite herangeführt wird. Die Luft aus dem Mittenkühler strömt über großflächige Nüstern auf der Fronthaube aus. Finnen auf dem Dach lenken die Luft nach außen und sorgen so für kühlere Ansaugtemperaturen am Heck.

Die Öffnungen im Fondseitenteil werden beim neuen 911 GT3 RS ausschließlich zur Verbesserung der Aerodynamik und nicht zur Ansaugung der Prozessluft genutzt. Auch das hintere Radhaus ist mit einem Einzug und einem Sideblade zur optimierten Luftlenkung versehen. Der Diffusor am Heck stammt vom 911 GT3 und wurde leicht angepasst.

Die aerodynamische Detailarbeit macht selbst vor dem Fahrwerk nicht Halt. Da das Radhaus des neuen 911 GT3 RS stark durchströmt wird, sind die Bauteile der Doppelquerlenker-Vorderachse als Tropfenprofile ausgeführt. Diese Aerolenker erhöhen den Abtrieb an der Vorderachse bei Höchstgeschwindigkeit um rund 40 kg und kommen sonst nur im hochklassigen Motorsport zum Einsatz. Wegen der breiteren Spur (plus 29 Millimeter im Vergleich zum 911 GT3) sind die Lenker der Doppelquerlenker-Vorderachse zudem entsprechend länger ausgeführt.

Premiere: Die Oberkante des Heckflügels liegt erstmals bei einem Porsche-Serienfahrzeug höher als das Dach.



Der Bruder des Motorsportwagens 911 GT3 R überzeugt durch mehr Leistung und eine optimierte Aerodynamik.

Damit die Abtriebsbalance zwischen Vorder- und Hinterachse auch beim Bremsen aus hohen Geschwindigkeiten erhalten bleibt, reduzierten die Fahrwerk-Ingenieure das Nicken deutlich (Antidive). An der Vorderachse des 911 GT3 RS wurde daher das vordere Kugelgelenk des unteren Längslenkers nach unten versetzt. Die Mehrlenker-Hinterachse wurde mit geänderten Federraten ebenfalls angepasst. Auch die Fahrassistenzsysteme und die Hinterachslenkung verfügen hier über eine noch dynamischere Abstimmung.

DREI FAHRMODI ZUR AUSWAHL

Der 911 GT3 RS bietet drei Fahrmodi: Normal, Sport und Track. Im Track-Modus lassen sich die Grundeinstellungen individuell anpassen. So können unter anderem Druck- und Zugstufe der Dämpfer an Vorder- und Hinterachse separat und mehrstufig verstellt werden. Auch die Hinterachs-Quersperre lässt sich über Drehregler am Lenkrad verstellen. Das erfolgt schnell und intuitiv mit dem ebenfalls aus dem Motorsport übernommenen Bedien- und Anzeigekonzept.

Am Lenkrad sitzen vier einzelne Drehregler sowie eine Taste für das Drag Reduction System (DRS). Die Drehregler werden beim Verstellvorgang im Kombiinstrument gut sichtbar grafisch dargestellt. Der 911 GT3 RS verfügt zudem über den bereits aus dem 911 GT3 bekannten Track-Screen. Per Knopfdruck kann der Fahrer die Digitalanzeigen



Porsche 911 GT3 RS umrundet den Ring in 6:49.328 Minuten

Der neue Porsche 911 GT3 RS hat die 20,8 km lange Nordschleife des Nürburgrings in 6:49.328 Minuten umrundet – 10,6 Sekunden schneller als der aktuelle 911 GT3. Am Steuer saß Porsche-Markenbotschafter Jörg Bergmeister, der intensiv in die Entwicklung des neuen Top-Modells der Baureihe 911 involviert war.



Motorleistung

386 kW



Gewicht

1.450 kg



Beschleunigung 0–100 km/h

3,2 Sekunden



Stark im Sprint: Ein leistungsstarker Motor und intelligenter Leichtbau machen den Porsche 911 GT3 RS schnell im Antritt.



- ← **Unverkennbar:** Hervorstechendstes Merkmal des Sportwagens ist der deutlich gewachsene Heckflügel mit Schwanenhalsaufhängung.
- ↓ **Alles im Griff:** Am Lenkrad befinden sich vier Drehregler und eine Taste für das Drag Reduction System (DRS).



auf den beiden seitlichen 7-Zoll-Displays auf die wesentlichen Informationen reduzieren. Auch die Schaltanzeige links und rechts des analogen Drehzahlmessers wurde aus dem GT3 übernommen.

Der Vierliter-Hochdrehzahl-Saugmotor wurde gegenüber dem 911 GT3 weiter optimiert. Die Leistungssteigerung auf 386 kW (525 PS) wird in erster Linie über neue Nockenwellen mit geänderten Nockenprofilen erreicht. Aus dem Motorsport abgeleitet sind die Einzeldrosselklappen-Sauganlage sowie der starre Ventiltrieb. Das Porsche Doppelkupplungsgetriebe (PDK) mit sieben Gängen verfügt über eine gegenüber dem 911 GT3 verkürzte Gesamtübersetzung. Lufteinlässe am Unterboden sorgen dafür, dass das Getriebe auch extremen Belastungen bei häufigem Einsatz auf der Rundstrecke standhält. Der 911 GT3 RS beschleunigt in 3,2 Sekunden von 0 auf 100 km/h und erreicht im siebten Gang eine Höchstgeschwindigkeit von 296 km/h.

INTELLIGENTER LEICHTBAU MIT CFK

An der Vorderachse kommen Aluminium-Monoblock-Festsattelbremsen mit je sechs Kolben sowie Brems Scheiben mit einem Durchmesser von 408 Millimeter zum Einsatz. Im Vergleich zum 911 GT3 wurden die Kolbendurchmesser von 30 auf 32 Millimeter erhöht. Zudem wurde die Dicke der Scheiben von 34 auf 36 Millimeter verstärkt. An der Hinterachse sitzen weiterhin 380 Millimeter große Brems Scheiben und Vierkolben-Festsattelbremsen.

Die optional erhältliche Porsche Ceramic Composite Brake (PCCB) verfügt an der Vorderachse über 410 Millimeter große, an der Hinterachse über 390 Millimeter messende Scheiben. Serienmäßig rollt der neue 911 GT3 RS auf geschmiedeten Leichtmetallrädern mit Zentralverschluss. Straßenzugelassene Sportreifen der Dimensionen 275/35 R20 vorn und 335/30 R21 hinten sorgen für ein hohes Maß an mechanischem Grip.

Intelligenter Leichtbau gehört spätestens seit der Vorstellung des legendären 911 Carrera RS 2.7 zum Grundprinzip aller RS-Modelle. Dank einer Vielzahl von Leichtbaumaßnahmen wie dem ausgiebigen Einsatz von Cfk wiegt der 911 GT3 RS trotz vieler größer dimensionierter Bauteile nur 1.450 kg (Leergewicht nach DIN). Aus Cfk bestehen beispielsweise die Türen, die vorderen Kotflügel, das Dach, sowie der Frontdeckel. Auch im Interieur kommt leichtes Cfk zum Einsatz, zum Beispiel bei den serienmäßigen

Vollschalensitzen. Im Innenraum präsentiert sich der neue GT-Sportwagen im typischen RS-Stil: Schwarzes Leder, Racetex und Sichtcarbon prägen das puristisch-sportliche Ambiente. Aufpreisfrei ist der 911 GT3 RS mit Clubsportpaket erhältlich. Dieses beinhaltet unter anderem einen Überrollbügel aus Stahl, einen Handfeuerlöscher sowie einen Sechs-Punkt-Gurt für die Fahrerseite.

Deutlich umfangreicher fällt das gegen Aufpreis erhältliche Weissach-Paket aus. Frontdeckel, Dach, Teile des Heckflügels sowie die Oberschale der Außenspiegel sind dann in Sichtcarbon ausgeführt. Die Stabilisatoren vorn und hinten, die hinteren Koppelstangen und das Schubfeld an der Hinterachse sind aus Cfk gefertigt und tragen zu einer weiteren Verbesserung der Fahrdynamik bei. Der erstmals aus Cfk gefertigte Überrollbügel spart gegenüber der Variante aus Stahl rund 6 kg Gewicht.

Ein weiteres Highlight des Weissach-Pakets sind PDK-Schalt paddles mit Magnet-Technologie aus dem Motorsport. Die Schaltvorgänge werden so durch einen präziseren Druckpunkt und ein deutlich wahrnehmbares Klacken noch sportlicher. Optional sind zum Weissach-Paket Magnesium-Schmiederäder erhältlich, die für 8 kg Gewicht ersparnis sorgen.

Inspiziert vom Mindset des Motorsports – wo maximale Präzision an oberster Stelle steht – hat die Porsche-eigene Uhrenmanufaktur im Schweizer Solothurn den Chronographen 911 GT3 RS entwickelt. Diese mechanische Uhr ist Besitzern des Fahrzeugs vorbehalten. Als Basis dient ein glasperlgestrahltes Gehäuse aus Titan natur oder Titan schwarz mit verschraubter Krone. Im Inneren der Uhr arbeitet das mechanische Porsche Design Chronographenkaliber WERK 01.200, das wegen seiner hohen Ganggenauigkeit COSC-zertifiziert wurde.

Die sogenannte Flyback-Funktion fasst Starten, Stoppen und Nullstellen in einem Vorgang zusammen. Die Chronographendrücker mit den Lasergravuren „Start/Stop“ und „Next Lap“ machen deutlich, dass es bei diesem Chronographen nicht nur um die Anzeige der Uhrzeit geht. Neben Neuheiten, wie der Pulsometerskala auf der Lünette, finden sich viele Designmerkmale und Materialien des GT3 RS wieder. ●

ZUSAMMENGEFASST

Der neue Porsche 911 GT3 RS ist klar erkennbar vom Motorsport inspiriert. Sein Vierliter-Sechszylinder-Boxermotor mit Hochdrehzahlkonzept in Kombination mit intelligentem Leichtbau heben die Rundstrecken-Performance des straßenzugelassenen Hochleistungssportwagens auf ein neues Niveau.

Wissen vertiefen

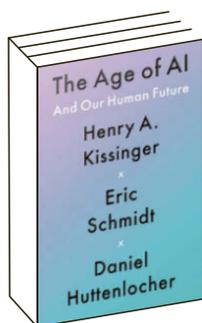


↑
BUCH

Schöpfung aus dem Labor

Die synthetische Biologie will Zellen oder Organismen erzeugen, die in der Natur nicht vorkommen. Das Buch beschreibt die wissenschaftlichen und ethischen Fragen rund um diese Entwicklung.

Die Neuentdeckung der Schöpfung
Amy Webb, Andrew Hessel
Plassen



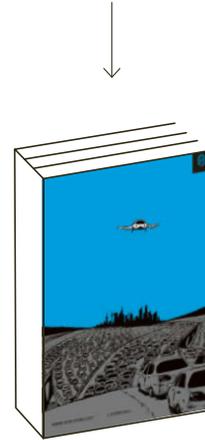
↑
BUCH

Anbruch des KI-Zeitalters

Dieses Buch beschäftigt sich mit den Auswirkungen der Künstlichen Intelligenz (KI) auf unsere Gesellschaft. Die drei hochkarätigen Autoren beschreiben, wo KI den größten Einfluss haben wird.

The Age of AI
Henry Kissinger, Eric Schmidt, Daniel Huttenlocher
Little, Brown and Company

Über den Tellerrand

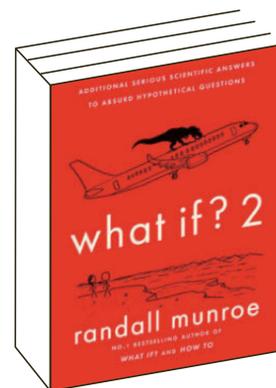


↑
BUCH

Wo ist die Zukunft abgeblieben?

In den 1960er-Jahren herrschte grenzenloser Technikoptimismus. Fliegende Autos oder Urlaube auf dem Mars schienen nur noch eine Frage der Zeit zu sein. Bekanntlich kam es anders – und dieses Buch erklärt, warum das so ist und wie wir mit neuen Technologien eine bessere Zukunft bauen können.

Where Is My Flying Car?
J. Storrs Hall
Stripe Press



↑
BUCH

Suppe bis zum Jupiter

In bewährter Manier liefert Randall Munroe wissenschaftliche Antworten auf absurde Fragen. Zum Beispiel auf diese: Was würde geschehen, wenn das Sonnensystem bis Jupiter mit Suppe gefüllt wäre?

What If? 2
Randall Munroe
Riverhead Books

Für das Kind in uns



SPIEL

Spielerisches Gedächtnistraining

Bei diesem Spiel geht es darum, 44 Bildpaare voller Farben und Formen zu suchen und zu finden. Ganz nebenbei kann man bei der Suche nach den Pärchen auch noch spielerisch sein Gedächtnis trainieren.

Remember: Das Gedächtnisspiel
www.remember.de



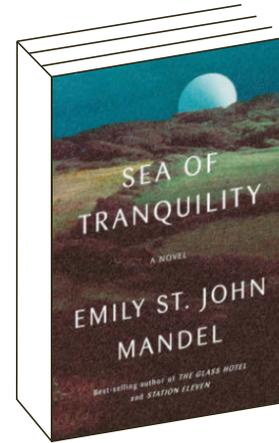
VIDEOSPIEL

Zur Legende werden

Spannender Motorsport, kombiniert mit einer großen Vielfalt an Rennen: Hier können Spieler zur Motorsportlegende werden. Auf sie warten unter anderem Einsitzer, Tourenwagen oder Trucks.

Grid Legends
Electronic Arts

Intelligent unterhalten



BUCH

Reise durch die Zeit

In ihrem neuesten Roman beschäftigt sich die kanadische Bestsellerautorin Emily St. John Mandel mit dem Fluss der Zeit, dem Wesen der Realität und der Bedeutung von Erinnerungen.

Sea of Tranquility
Emily St. John Mandel
Knopf



PODCAST

Welt im Wandel

Jede Woche wirft dieser Podcast von Antony Funnell einen kritischen Blick auf unsere sich immer schneller wandelnde Welt und erklärt, wie wir uns auf kommende Entwicklungen einstellen können. Themen sind unter anderem winzige „Xenobots“ und die Wiederkehr der Luftschiffe.

Future Tense
www.abc.net.au/radionational/programs/futuretense

2003

OPTIMIERUNG IM BAGGERSEE



Cayago Seabob F5 SR

Motorleistung

4,5 kW

Maximaler Schub

745 N

Höchstgeschwindigkeit
(über/im Wasser)

22 km/h / 20 km/h

Es kommt nicht oft vor, dass man als Entwickler eine völlig neue Fahrzeugkategorie aus der Taufe heben kann. Ralf Bauer bot sich 2003 diese Chance: „Ein Kunde wollte einen Wasserscooter auf den Markt bringen, der durch das Rückstoßprinzip von einer Turbine durchs Wasser getrieben wird – ähnlich wie ein Düsenflugzeug in der Luft“, berichtet der heutige Leiter der Fachdisziplin Systementwicklung bei Porsche Engineering. „Zuvor hatte man für den Antrieb solcher Wasserfahrzeuge ausschließlich Propeller eingesetzt.“

Bauer entwickelte für den neuen Scooter das Software-Modul für die zentrale Steuereinheit. 2005 wurde das Wasserfahrzeug von der Cayago AG unter dem Namen „Seabob“ auf der Messe „Boot“ in Düsseldorf der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Zusammenarbeit mit Porsche Engineering ging aber auch danach weiter: 2007 verbesserten die Ingenieure den Akku-Manager, die Motorsteuerung und das Bedienteil mit grafischem Display. Bei der dafür erforderlichen Elektronik und Software mussten sie an die Grenzen der verfügbaren Technik gehen. „Damals waren die Mikrocontroller längst nicht so leistungsfähig wie heute“, erinnert sich Ulf Schlieben, Fachprojektleiter Elektronik bei Porsche Engineering. „Es war darum eine echte Herausforderung, alle Funktionen des Scooters im Steuergerät unterzubringen – und dennoch bei der Sicherheit keine Abstriche zu machen.“ Aber auch bei der Industrialisierung des Wasser-Scooters war die Expertise

von Porsche Engineering gefragt. Ähnlich wie bei der Fahrzeugentwicklung ging es auch hier darum, aus einem Prototyp ein serienfähiges Produkt zu machen. Das schloss auch Tests ein – natürlich oft im Wasser. „Zur Applikation sind wir immer wieder an Baggerseen gefahren, wo wir das Verhalten des Scooters optimiert haben“, berichtet Schlieben. Daneben hat Porsche Engineering für Dauerläufe auch einen speziellen Prüfstand mit Wasserbecken und Gegenstromanlage genutzt.

Im Lauf der Jahre wurde der Seabob von Cayago und Porsche Engineering kontinuierlich weiterentwickelt, sodass immer wieder neue Generationen des Wasser-Scooters auf den Markt gekommen sind. Gesteuert durch die Gewichtsverlagerung des Körpers, können Wassersportler dank des bis zu 4,5 kW (6 PS) starken Elektro-Jetantriebs heute mit maximal 22 km/h durchs Meer oder über Seen fahren – nahezu lautlos und ohne Emissionen. Dabei sind mit dem rund 30 kg schweren Wasserfahrzeug auch Tauchtiefen von bis zu 40 Metern möglich. Informationen wie Batterieladung oder Wassertemperatur hat der Fahrer dank des Farbdisplays unterwegs immer im Blick.

„Es ist aufregend, ein neues Produkt völlig aus dem Nichts zu entwickeln“, sagt Schlieben, der auch schon Batteriemanager-Steuergeräte für das Le-Mans-Siegerfahrzeug von Porsche entwickelt hat. „Und natürlich hat es mich ganz besonders gefreut, dass ich im letzten Sommerurlaub zwischen Saint Tropez und Cannes am Strand viele Seabobs gesehen habe.“ — ●



„Es ist aufregend, ein neues Produkt völlig aus dem Nichts zu entwickeln.“

Ulf Schlieben
Fachprojektleiter Elektronik bei
Porsche Engineering

Porsche Engineering Magazin

Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH
Michael Merklinger

Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

Projektleitung

Caroline Fauss

Redaktion

Axel Springer Corporate Solutions GmbH & Co. KG, Berlin
Chefredaktion: Christian Buck
Projektmanagement: Nicole Langenheim
Bildredaktion: Bettina Andersen

Autoren

Richard Backhaus, Qiufan Chen,
Constantin Gillies, Kai-Fu Lee,
Chris Löwer, Claudius Lüder

Art Direction

Christian Hruschka, Thomas Elmenhorst

Übersetzung

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

Kontakt

Porsche Engineering Group GmbH
Porschestraße 911
71287 Weissach
Tel. +49 711 9110
Fax +49 711 91188999
Internet: www.porsche-engineering.de

Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

Druck

Gutenberg Beuys Feindruckerei GmbH
Hans-Böckler-Straße 52
30851 Langenhagen

Leserservice

Ihre Anschrift hat sich geändert oder eine Kollegin / ein Kollege
soll auch regelmäßig das Porsche Engineering Magazin erhalten?
Senden Sie gerne Firma, Name und Anschrift an:
magazin@porsche-engineering.de



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

S. 1: Cover: Sami Saramäki; S. 3: Steffen Jahn; S. 4–5: Fotos: Luca Santini, Robertino Nikolic, Mauritius Images, Joerg Mitter, Illustrationen: Romina Birzer; S. 7: Adobe Stock; S. 8–9: Oriana Fenwick; S. 22–27: Rafael Krötz, Luca Santini; S. 28–29: Julien Pacaud; S. 30–35: Luca Santini, Chris Nemes; S. 36–41: Robertino Nikolic; S. 42–45: Getty Images; S. 46–49: Adobe Stock; S. 50–51: Getty Images (3), PR (2); S. 52–57: Joerg Mitter (3), Jorge Neal; S. 64–65: PR

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



PORSCHÉ DESIGN

REBIRTH OF AN ICON. BORN IN 1972. REDEFINED IN 2022.

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

CHRONOGRAPH 1 – ALL BLACK NUMBERED EDITION

porsche-design.com/Chronograph1AllBlack

