

Porsche Engineering

Magazin
Ausgabe
1/2020

www.porsche-engineering.de



AUTOMOBILENTWICKLUNG DER ZUKUNFT

Inside China



Zu kleiner Ausfahrt aufgebrochen. Mit monumentaler Story heimgekommen.

Der neue 911 Turbo S.

Im 911 Turbo S hat jede Ausfahrt das Potenzial zum unvergesslichen Epos. Dafür sorgen eine Leistung von 478 kW (650 PS), Porsche Active Aerodynamics (PAA), das PASM Sportfahrwerk und eine Vielzahl intelligenter Assistenzsysteme. Mehr unter www.porsche.de/911Turbo

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) innerorts 15,5 · außerorts 8,6 · kombiniert 11,1; CO₂-Emissionen kombiniert 254 g/km



PORSCHE



Dr. Peter Schäfer,
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

ein chinesisches Sprichwort sagt: „Die eine Generation baut die Straße, auf der die nächste fährt.“ Wir – als Unternehmen, als Gesellschaft, als Individuen – stellen im Hier und Jetzt wesentliche Weichen für kommende Generationen. Dies betrifft konkrete Entwicklungen, an denen wir arbeiten, genauso wie die Art und Weise, wie wir zusammenarbeiten.

Seit Jahrzehnten pflegen wir eine partnerschaftliche Zusammenarbeit mit chinesischen Unternehmen. Und lernen täglich voneinander. Die Mobilität ist im Umbruch – in kaum einem anderen Land ist das stärker sichtbar als in China. Neue Antriebsstrategien, hochautomatisierte Fahrfunktionen und eine Vielzahl von Konnektivitätsdiensten prägen den chinesischen Markt. Gemeinsam mit unseren Kunden und Partnern entwickeln wir diese Technologien weiter. Dabei hilft uns neben unserem Verständnis des Marktes und unseren Kompetenzen in klassischen wie digitalen Disziplinen insbesondere eine Sache: die tiefe Überzeugung, dann erfolgreich zu sein, wenn unsere Kunden erfolgreich sind.

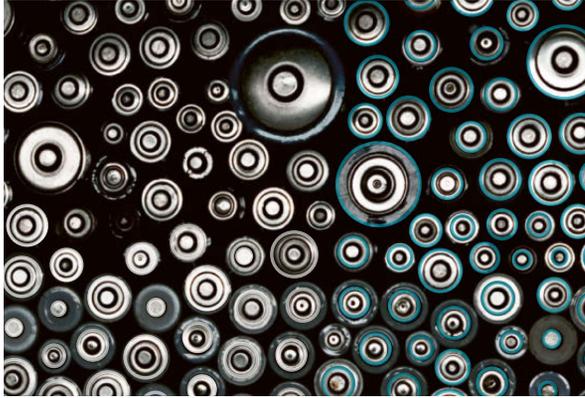
Wir sind stolz darauf, seit mehr als 25 Jahren die Entwicklung der automobilen Zukunft in China zu begleiten und diese gemeinsam mit chinesischen Automobilherstellern, Zulieferern, IT-Unternehmen sowie lokalen Gesellschaften internationaler OEMs zu gestalten. Dabei ist uns eine positive Kultur der Zusammenarbeit genauso wichtig wie neueste Erkenntnisse aus Wirtschaft und Wissenschaft, von Tech-Playern und Universitäten. So arbeiten wir gemeinsam daran, die Straßen zu bauen, auf denen die nächste Generation fahren wird.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen dieser China-Ausgabe unseres Magazins.

Ihr Peter Schäfer



ÜBER PORSCHE ENGINEERING: Zukunftsweisende Lösungen sind der Anspruch, den Ferdinand Porsche bereits im Jahr 1931 mit der Gründung seines Konstruktionsbüros verfolgt hat. Er legte damit den Grundstein für die heutige Porsche-Kundenentwicklung. Dem fühlen wir uns mit jedem Projekt, welches wir für unsere Kunden durchführen, verpflichtet. Porsche Engineering kombiniert dabei Expertise aus den Bereichen Fahrzeug- und Systementwicklung mit neuesten Innovationen aus der Funktions- und Software-Entwicklung und validiert diese durch umfassende Simulations- und Testingmöglichkeiten.



34 **Zellkultur:** Forscher entwickeln neue Batterien



52 **E-Pionier:** Mate Rimac baut Supersportwagen und Batteriesysteme



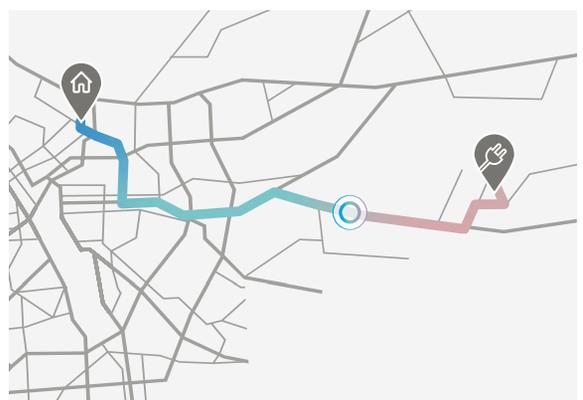
DOSSIER

10 - 33

12 **Partnerschaft:** In Shanghai arbeitet Porsche Engineering für chinesische OEMs und westliche Kunden



58 **Transfer mit Tradition:** Erkenntnisse aus dem Motorsport fließen in die Serie ein



42 **Auf den Punkt:** Perfekt temperiert an der Ladesäule

Porsche Engineering

Magazin
Ausgabe
1/2020

DOSSIER: INSIDE CHINA

- 03 Editorial
04 Inhalt
06 Meldungen
- 10 **Markt mit großem Einfluss**
Dossierüberblick
- 12 **Gefragte Expertise**
In Shanghai bietet Porsche Engineering chinesischen und westlichen OEMs umfassende Expertise
- 18 **Flexible Plattform**
Konzept und Package für verschiedene Karosserie- und Antriebsvarianten
- 24 **Am Himmel befestigt**
Neue Fahrwerkplattform mit Skyhook-Funktion für China
- 28 **„Wir stärken die Kernkompetenzen der Automobilhersteller“**
Interview mit Tencent Vice President Cham Zhong über die Zukunft des Autos
- 32 **Eng vernetzt**
Chinesische Digitalkonzerne treiben die Vernetzung mit der Automobilindustrie voran
- 34 **Die perfekte Zelle**
Forscher auf der Suche nach besseren Batterien für E-Fahrzeuge
- 40 **Die Datenreligion**
Bestsellerautor Yuval Noah Harari über Algorithmen und den neuen „Dataismus“
- 42 **Algorithmus mit Weitblick**
Mit prädiktivem Thermomanagement zur optimal temperierten Batterie
- 48 **Permanenter Gesundheitscheck**
Künstliche Intelligenz überwacht den Zustand von Fahrzeugbatterien
- 52 **Unter Strom**
Mate Rimac über sein Unternehmen und die Mobilität der Zukunft
- 58 **Von der Boxengasse ins Autohaus**
Bei Porsche arbeiten Teams aus Rennsport und Serie eng zusammen
- 64 **Die Kraft der Evolution**
Der neue 911 Turbo S und das neue 911 Turbo S Cabriolet im Porträt
- 68 **Quer gedacht**
Empfehlungen für Denker, Tüftler und Nerds
- 70 **Familienauto für China**
Porsche Engineering entwickelte 1994 den „C88“
- 71 **Impressum**

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

ZUKUNFT

PERFORMANCE UND EXPERTISE

AUSKUNFT

PORSCHE UND PRODUKT

QUER GEDACHT

HERKUNFT



Autoren

24 **Andreas Burkert** ist „ATZ“-Korrespondent und Buchautor. Er schreibt über Automobiltechnik, Elektromobilität und KI.



32 **Valerio Pellegrini** ist Kommunikationsdesigner in Mailand. Er beschäftigt sich unter anderem mit Datenvisualisierung und Illustration.



58 **Constantin Gillies** ist Volkswirt und Wirtschaftsjournalist. Seine Themen: Unternehmen, Technologie, Digitalisierung und Logistik.



Virtual und Augmented Reality

Schnelle Entscheidungen mit dem Visual Engineering Tool

Porsche Engineering setzt bei der Entwicklung verstärkt auf Virtual und Augmented Reality (VR und AR). Mit der Eigenentwicklung, dem Visual Engineering Tool (VET), können die Ingenieure in vielen Fällen aufwendige Realmodelle, Umbauten und somit den Zeit- und Kostenaufwand verringern. Zum Einsatz kam VET unter anderem bei der Entwicklung des neuen Porsche Cayenne Coupés, zu dessen Highlights das große Glasdach gehört. Statt verschiedene Varianten real aufzubauen, erstellten die Entwickler aus CAD-Daten ein virtuelles Modell. Es ließ sich tagesaktuell mit zahlreichen realistischen Glasvarianten versehen und in unterschiedlichsten Lichtverhältnissen aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten. Dadurch konnten notwendige Entscheidungen schneller getroffen werden. Das VET-System wird von Porsche Engineering kontinuierlich weiterentwickelt. Mit ihm lassen sich nicht nur optische Aspekte oder Bauteilvarianten beurteilen, sondern auch technische Inhalte darstellen. Bisher wurde VET für Ergonomie- und Montageuntersuchungen, die Darstellung von Messdaten und als virtueller Windkanal eingesetzt. Neben VR wird derzeit auch Augmented Reality in das VET-System integriert, zum Beispiel für die standortübergreifende Zusammenarbeit.

Porsche Cayenne Coupé

Kraftstoffverbrauch innerorts: 11,7 - 11,6 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch außerorts: 8,0 - 7,9 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: 9,4 - 9,3 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: 215 - 212 g/km
 Energieeffizienzklasse: D



#Inside Porsche Engineering

Porsche Engineering bei Instagram

Porsche Engineering hat seinen Social-Media-Auftritt erweitert und ist unter @porsche.engineering jetzt auch auf Instagram vertreten. Neben Informationen zu aktuellen Ereignissen oder Events können die Besucher in die Welt des Unternehmens eintauchen und erleben, welchen Trends und Technologien sich seine Ingenieure widmen.



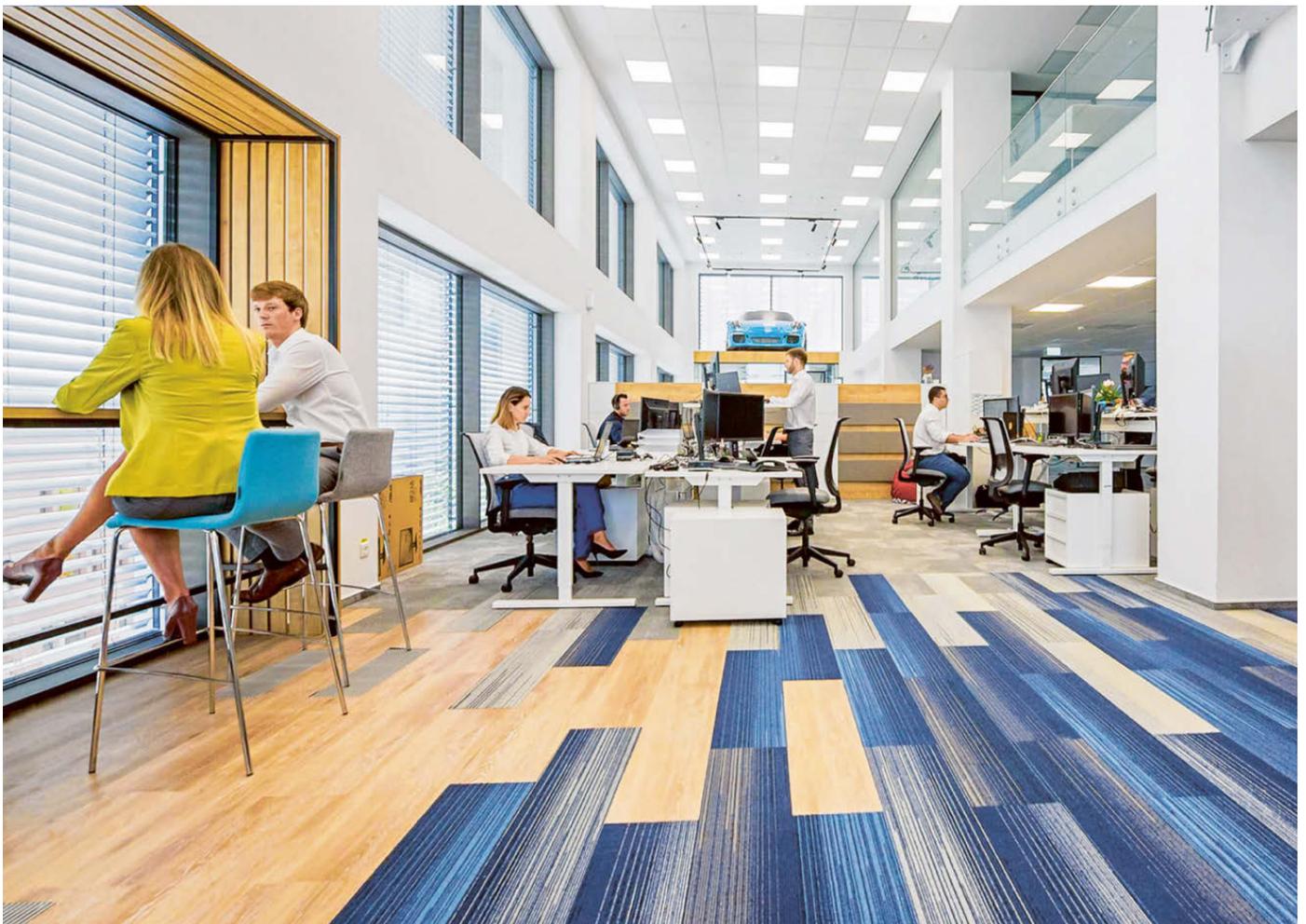
„Wir haben viel in Aktivitäten wie modellbasierte und Web-Entwicklung investiert.“

Marius Mihailovici,
Geschäftsführer von Porsche Engineering Romania

Weiterer Ausbau der Funktions- und Softwareentwicklung

Mehr Mitarbeiter und Büroflächen in Cluj

Porsche Engineering setzt sein Wachstum im rumänischen Cluj fort. Der auf die Bereiche Funktions- und Softwareentwicklung spezialisierte Standort hatte Ende 2019 wie geplant rund 200 Mitarbeiter und wird im Laufe dieses Jahres weitere Arbeitsplätze schaffen. Auch räumlich expandiert Porsche Engineering Romania und bereitet sich so auf weiteres Wachstum vor. Die steigenden Zahlen bei Personal und Fläche spiegeln die vielen bearbeiteten Projekte wider, vor allem in den Bereichen Künstliche Intelligenz und autonomes Fahren. „Wir haben viel in Aktivitäten wie modellbasierte und Web-Entwicklung investiert. Da sich der Automobilmarkt in diese Richtung entwickelt, werden wir unsere Kompetenzen in beiden Bereichen weiter ausbauen“, sagt Marius Mihailovici, Geschäftsführer von Porsche Engineering Romania. In Cluj arbeiten Experten in nationalen und internationalen Teams gemeinsam an neuesten Technologien zur Entwicklung sowie Erprobung und Absicherung der Autos der Zukunft.





Porsche Turbo Charging

Porsche Leipzig eröffnet Schnellladepark und lädt zum kostenfreien Stromtanken ein

Porsche hat in Leipzig unter dem Namen „Porsche Turbo Charging“ einen neuen öffentlichen Ladepark ans Netz gebracht. Im Kundenzentrum von Porsche Leipzig in der Messestadt sind ab sofort zwölf Schnellladesäulen mit 350 kW (Gleichstrom) und vier Ladepunkte mit 22 kW (Wechselstrom) in Betrieb – an sieben Tagen der Woche, rund um die Uhr und für Kunden aller Fahrzeugmarken. Die Gesamtleistung des Ladeparks, inklusive sechs interner Schnellladepunkte und weiterer 22 interner Ladepunkte, beträgt rund 7 MW. Der Strom stammt vollständig aus regenerativen Energiequellen. Im Rahmen eines Lade-Flash-Mobs lud Porsche Leipzig am 29. Februar die Öffentlichkeit zum kostenfreien Stromtanken in den Ladepark ein. Das Event war nach kurzer Zeit ausgebucht: Mehr als 400 Besucher mit 170 E-Fahrzeugen nahezu aller Fahrzeugmarken nahmen an dem elektrisierenden Ereignis teil. Für technische Fragen und Unterstützung beim Laden standen Experten von Porsche Engineering zur Verfügung. Die Schnellladesäulen mit dem Namen „Porsche Turbo Charger“ wurden von Porsche Engineering entwickelt und setzen in Sachen Ladedauer neue Maßstäbe: Je nach Fahrzeugmodell kann in nur fünf Minuten Energie für bis zu 100 Kilometer Reichweite geladen werden. Die Schnellladefunktion können alle Fahrzeuge mit einem Combined-Charging-System-Anschluss (CCS2) nutzen.

12

öffentliche Schnellladesäulen

350 kW

Gleichstrom (12 Stück)

22 kW

Wechselstrom (4 Stück)

7 MW

Leistung, inkl. interner Ladepunkte

Zukunftsweisende Dauerlauftests**Fahrroboter ergänzen Testfahrer am Steuer**

Das Ingenieurteam des Nardò Technical Center (NTC) beschäftigt sich außer mit neuen Möglichkeiten für die Erprobung autonomer Fahrfunktionen auch mit der Zukunft von Automotive-Dauerlauftests. Im Februar war ein Serienfahrzeug Hunderte von Kilometern auf dem Rundkurs und den benachbarten Teststrecken unterwegs. Am Steuer saß dabei kein menschlicher Fahrer, stattdessen hatte ein Roboter das Kommando über Lenkrad und Pedale. Auf der Rundstrecke wurde auf bis zu 130 km/h beschleunigt und dabei in einer einzigen Nachtschicht 600 Kilometer zurückgelegt. Während der Tests war der Sportwagen über eine direkte Funkverbindung mit einem weiteren Fahrzeug verbunden. So konnten die Ingenieure alle Parameter in Echtzeit beobachten und hätten im Notfall auch per Fernsteuerung eingreifen können. Professionelle Testfahrer werden auch in Zukunft für die Fahrzeugvalidierung unverzichtbar bleiben, allerdings lassen sich durch die Fahrautomatisierung per Roboter ähnliche Tests besser reproduzierbar durchführen. Die Fehlermarge ist dabei so klein, dass man selbst kleinste Abweichungen von den Sollwerten erkennen kann. „Diese fahrerlosen Tests sind zukunftsweisend“, sagt Davide Palermo, Manager des ADAS Center of Competence am NTC. „Wir haben dabei einen großen Sprung nach vorne gemacht – in Bezug auf die Komplexität der Testautomatisierung, die Fahrzeug-einrichtung, die Parameterabstimmung und die intensive Aktivität auf der Strecke.“

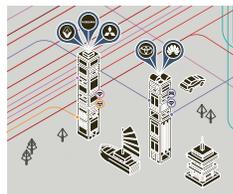
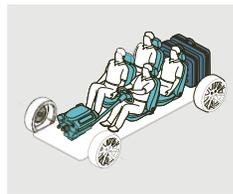
Turbo for Talents**Sommercamp für Jugendliche in Nardò**

Das Nardò Technical Center setzt sein Engagement für die lokale Gemeinschaft im Rahmen der Partnerschaft mit dem Fußballklub A.C. Nardò fort. Schwerpunkte des Programms sind in diesem Jahr unter anderem die Prävention von Mobbing und Initiativen zur Verbreitung wichtiger pädagogischer Werte wie Sportlichkeit, Fairness, Integrität, Respekt und Vertrauen. Das Engagement in Nardò ist Teil des Porsche-Unternehmensprogramms „Turbo for Talents“, das die soziale und persönliche Entwicklung junger Menschen durch eine hochwertige Sportausbildung fördern will.

Markt mit großem Einfluss



China boomt. Eine kaufkräftige Mittelschicht erwartet erstklassige Fahrzeuge, die sich nahtlos mit den allgegenwärtigen Smartphones verbinden. Chinesische und westliche OEMs treiben neue genauso wie klassische Fahrzeug-Entwicklungsthemen mit Hochdruck voran. Berichte aus einem Land, das die Zukunft der Mobilität mitbestimmt.



- **12** **Gefragte Expertise**
Entwicklungen für chinesische und westliche OEMs in Shanghai

- **18** **Flexible Plattform**
Variantenentwicklung in China

- **24** **Am Himmel befestigt**
Neue Fahrwerkplattform in 18 Monaten

- **28** **„Wir stärken die Kernkompetenzen der Automobilhersteller“**
Cham Zhong, Vice President von Tencent, im Interview

- **32** **Eng vernetzt**
Chinesische Digitalkonzerne und der Automobilmarkt



Autostadt: In Anting dreht sich fast alles ums Automobil. Porsche Engineering ist hier mit einem Standort vertreten, der auf die spezifischen Bedürfnisse der lokalen Kunden eingehen und auf einen der besten Talent-Pools Chinas zugreifen kann.

Gefragte Expertise

Text: Thomas Kern Mitwirkender: Kurt Schwaiger Fotos: Kai Hartmann

In Anting bei Shanghai arbeiten rund 75 Mitarbeiter von Porsche Engineering für chinesische Automobilhersteller und Kunden aus der VW-Gruppe. Der Standort verfügt über modernste Testeinrichtungen und beschäftigt sich mit aktuellen technischen Trends der Automobilindustrie wie dem autonomen Fahren und der E-Mobilität.

Nahe der weltbekanntesten Formel-1-Rennstrecke „Shanghai International Circuit“ liegt die Stadt Anting, wo sich schon früh ein Zentrum der chinesischen Automobilindustrie entwickelt hat. So wurde dort 1984 die Shanghai Automotive Industry Corporation (SAIC) gegründet und 1988 das Joint Venture SAIC-VW. Inzwischen haben hier auch Start-ups wie Nio und Zulieferer wie Schaeffler, ZF und Brose ihren Sitz. Und auch sonst dreht sich in der Stadt fast alles um das Automobil. Seit 2007 gibt es in Anting ein Automuseum, und gleich daneben befindet sich auch das Porsche Experience Center. Kein Wunder also, dass Porsche Engineering in Anting die ideale Umgebung für seinen Standort in China gefunden hat.



Seit mehr als

25

Jahren ist
Porsche Engineering
für chinesische
Kunden aktiv.



2015

eröffnete Porsche
Engineering den Standort
in Anting bei Shanghai.

Seit 2015 führt das Unternehmen hier gemeinsam mit seinen Kunden vor Ort Entwicklungsprojekte durch, vor allem in den Bereichen Chassis, Elektrik/Elektronik, High Power Charging und Softwareentwicklung. Solche Aktivitäten in China haben bei Porsche Engineering eine lange Tradition: Seit mehr als 25 Jahren sind die Entwickler hier aktiv, sodass die Bürogründung nur die logische Konsequenz war. „Kundenprojekte sind Teil der Historie von Porsche“, sagt Kurt Schwaiger, Leiter der Niederlassung in Shanghai. „Und das führen wir hier fort.“ Neben chinesischen OEMs sind auch Unternehmen der VW-Gruppe wichtige Auftraggeber.

Schneller auf Kundenanforderungen reagieren

Kurt Schwaigers Ziel ist es, durch den Standort in Anting schneller auf Kundenanforderungen reagieren zu können. Denn zum einen liegen zwischen China und Deutschland je nach Jahreszeit sechs beziehungsweise sieben Stunden Zeitunterschied, die die Prozesse verlangsamen. Zum anderen gab es früher Sprachbarrieren, die mit der Niederlassung vor Ort nun überwunden sind. Jetzt kann Kurt Schwaiger mit seinem Team einerseits chinesische Kunden bei der Fahrzeugentwicklung unterstützen, andererseits westlichen Kunden wertvolles Wissen über den chinesischen Markt vermitteln.

Die Expertise von Porsche Engineering ist derzeit besonders gefragt, denn der chinesische Markt ist im Umbruch. Die Zeiten, in denen China die „Werkbank der Welt“ war, sind lange vorbei. Das Land ist auf dem Weg zu einer Hightech-Ökonomie mit einer breiten, gebildeten und zahlungskräftigen Mittelschicht. Die Kunden sind hier längst genauso anspruchsvoll wie auf den traditionellen Märkten. Und auch die Regierung hat ehrgeizige Pläne: Das intelligente und vollständig vernetzte Auto (ICV, Intelligent and Connected Vehicle) soll bis spätestens 2025 Realität auf Chinas Straßen werden. Alle Fahrzeuge sollen dann in Echtzeit mit einer Cloud kommunizieren und Informationen teilen, zum Beispiel über Verkehrsstaus. Zudem sollen bis spätestens 2030 15 Prozent aller Fahrzeuge in China hochautomatisch, zehn Prozent sogar vollautomatisch fahren. Auf die Zukunft des Autos hat der chinesische Markt darum einen großen Einfluss.

Porsche Engineering beschäftigt sich in Shanghai mit nahezu allen Bereichen der Fahrzeugentwicklung. „Die Chassis-Entwicklung stand am Anfang“, sagt Kurt Schwaiger. „Damit haben wir uns hier einen guten Namen gemacht.“ Mittlerweile sind ganze Chassis-Systeme hinzugekommen, die auf einer hochentwickelten Elektronik basieren: Allrad-Lenkung, Stabilisatoren, Vierrad-Antrieb und Luftfedern. „Elektronische Chassis-Systeme sind besonders in den vergangenen zwei Jahren für viele Kunden interessant geworden“, so Kurt Schwaiger.



Fahrwerkssysteme für China:

Mitarbeiter nehmen die korrekten Einstellungen vor und kontrollieren die Fahrwerkskomponenten.

High Power Charging:
Test eines Batterie- und Batteriemanagementsystems für E-Fahrzeuge (links)

Überprüfung: Review des Entwurfs von Fahrgestellkomponenten (rechts)



Hinzu kommt der Bereich der Elektrik/Elektronik (E/E), unter den alle intelligenten Steuergeräte in einem Fahrzeug fallen. Die Ingenieure von Porsche Engineering in Shanghai entwickeln die Software zunächst nach den Anforderungen ihrer Kunden und prüfen sie anschließend an HiL-Prüfständen (Hardware in the Loop). Die Prüfstände spielen den Steuergeräten vor, dass sie sich bereits im Fahrzeug befinden, und erlauben auf diese Weise Tests, lange bevor reale Prototypen zur Verfügung stehen. Wurden die Tests bisher in Deutschland durchgeführt, gibt es die dafür notwendigen Geräte seit 2017 auch in Anting. „Das spart enorm viel Zeit, weil wir die wichtigen Tests jetzt zeitnah vor Ort durchführen können“, sagt Naikai Du, der zuständige Leiter für die Entwicklung der HiL-Prüfstände in Anting.

Das High Power Charging von Elektrofahrzeugen ist ein weiteres großes Thema in China, denn hier entsteht ein riesiger Markt für E-Autos. Um den Porsche Taycan in wenigen Minuten laden zu können, hat Porsche Engineering eine spezielle Ladesäule entwickelt, die bis zu 350 kW Ladeleistung liefert. Allerdings haben die großen Märkte unterschiedliche Normen. In China gilt der nationale GB/T-Standard (GuoBiao), und die Ladesäule muss darum an die Anforderungen des chinesischen Marktes angepasst werden. „Wir sind zusammen mit einem lokalen Unternehmen dafür der Entwicklungspartner. Alle Porsche-Händler in China werden mit dieser Ladesäule ausgerüstet“, so Kurt Schwaiger.

Die Softwareentwicklung nimmt inzwischen einen immer wichtigeren Platz in der Arbeit von Porsche Engineering in Anting ein. Einerseits wegen der intel-



Ben Wang
Manager Software
Development



Naikai Du
Senior Manager Electric &
Electronics



Estha Li
Senior Manager
Connectivity

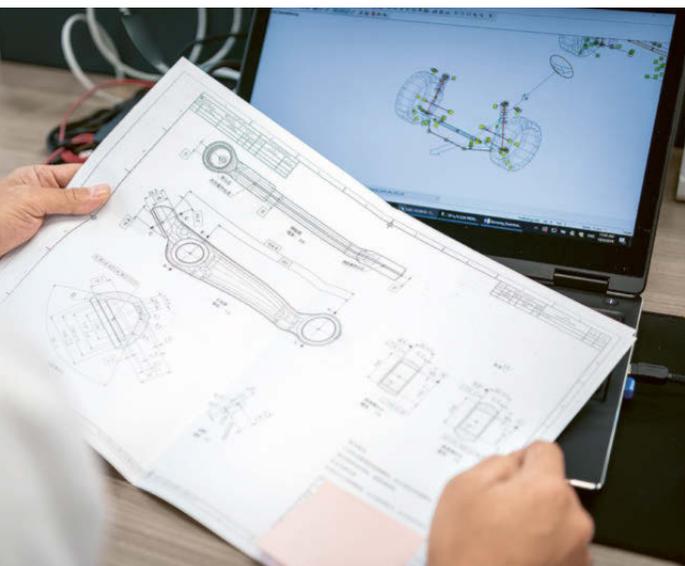
ligenten Chassis-Systeme, vor allem aber wegen der neuen elektronischen Fahrerassistenzsysteme, die in Zukunft zum autonomen Fahren führen werden. Gerade bei ihnen ist es wichtig, dass sie vor Ort in China entwickelt werden. „Das Verkehrsverhalten in China unterscheidet sich von Europa oder den USA. Die Menschen fahren hier anders“, erklärt der zuständige Ingenieur Ben Wang. „Zum Beispiel ist die relative Zahl der Verkehrsanfänger in China viel höher. Auch die Verkehrszeichen sind zum Teil unterschiedlich, und beim automatischen Parken müssen wir berücksichtigen, dass Tiefgaragen in China anders gebaut sind.“ Ben Wang stammt ursprünglich aus der angrenzenden Provinz Jiangsu. Seit zwei Jahren ist er bei Porsche Engineering. Seine Arbeit empfindet er als herausfordernd und inspirierend: „Wir müssen uns ständig auf neue Anforderungen des Kunden einstellen. Die Bereiche Verkehr und Verkehrssteuerung sind beispielsweise massiv in Bewegung.“

Nahtlose Verbindung von Auto und Handy

Testen und Validieren gehören auch zum Portfolio der Niederlassung Shanghai. Hier spielen Infotainment-Systeme und deren Interkonnektivität eine wichtige Rolle. „Darauf legen Autofahrer in China besonders viel Wert“, sagt Kurt Schwaiger. Tatsächlich gibt es wohl kaum ein Land, in dem das Smartphone so omnipräsent ist wie hier. Nahezu alle Vorgänge des alltäglichen Lebens werden mittlerweile mit dem Mobiltelefon abgewickelt, optimiert und gemessen. Zum Beispiel mit WeChat: Das Programm ist einerseits das chinesische Pendant des Kurznachrichten-Dienstes WhatsApp. Gleichzeitig erfüllt es aber auch noch die Funktionen von Instagram, Facebook, Twitter – und vor allem einer Kreditkarte. Nahezu alle Bezahlvorgänge in China laufen heute über WeChat Pay oder den Konkurrenz-Dienst Alipay. „Darum gehen die chinesischen Autofahrer davon aus, dass es eine nahtlose Verbindung von Auto und Handy gibt“, sagt Kurt Schwaiger.

Um den Verkehrsfluss besser zu steuern, Staus vorzubeugen und Unfälle sofort zu erkennen, geht die Vernetzung noch weiter. „Bei Plug-in-Hybrid- sowie vollelektrischen Fahrzeugen werden hierfür relevante Daten über einen vom Konzern gehosteten Server an die lokale Regierungs-Infrastruktur übermittelt“, erklärt Estha Li. Sie kommt ursprünglich aus Peking und arbeitet seit 2017 für Porsche Engineering. „Durch unseren Server können wir gezielt und bedarfsgerecht Informationen teilen, die dazu beitragen, unterschiedlichste Hilfestellungen für den Fahrer zu realisieren. Entsprechende Funktionen müssen und können nur in China selbst entwickelt werden.“

Niederlassungsleiter Kurt Schwaiger lebt seit zehn Jahren in Shanghai. Als er 2015 seine Stelle in Anting



911 Carrera Cabriolet

Kraftstoffverbrauch
innerorts: 12,9 l/100 km
Kraftstoffverbrauch
außerorts: 7,6 l/100 km
Kraftstoffverbrauch
kombiniert: 9,6 l/100 km
CO₂-Emissionen
kombiniert: 218 g/km
Energieeffizienzklasse: G

Taycan Turbo S

Stromverbrauch
kombiniert:
26,9 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombi-
niert: 0 g/km
Effizienzklasse:
Deutschland: A+
Schweiz: B

Zukunftstechnologie: Arbeit am intelligent vernetzten Fahrzeug



„Das Verkehrsverhalten in China unterscheidet sich von Europa oder den USA. Die Menschen fahren hier anders.“

Ben Wang,
Manager Software Development

antrat, hatte der Standort Shanghai acht Mitarbeiter. Mittlerweile sind es 75, und bis Jahresende sollen es über 100 sein. Die Niederlassung wird parallel von 1.500 auf 2.100 Quadratmeter wachsen. Geografisch verteilt sie sich auf zwei Standorte: Im Autocity Innovation Park in Anting befindet sich der größere Teil. Dort soll in den kommenden Monaten noch ein zweites Gebäude angemietet werden, um das Team weiter vergrößern zu können. Im Erdgeschoss wird sich dann auch eine Werkstatt befinden, zu der die Kunden Zutritt haben. Der zweite Teil der Niederlassung ist in Minhang, einem Randbezirk im Südosten von Shanghai.

Fester Bestandteil der Arbeit am Standort Shanghai ist auch die Kooperation mit der renommierten Tongji-Universität. Alle zwei Jahre veranstalten die Partner ge-



>100

Mitarbeiter sollen bis Ende 2020 am Standort Shanghai arbeiten.

3 Fragen an Kurt Schwaiger „China beschreitet neue, eigene Wege“

1 Was erwarten die Kunden in China?

Vor allem eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit. Hier geht alles viel schneller. Deshalb ist es wichtig, dass wir mit der Niederlassung in Shanghai in der gleichen Zeitzone wie unsere Kunden sind und über die nötige Sprachkompetenz verfügen, um schnell und flexibel auf die Anforderungen reagieren zu können. Hinzu kommt auch eine gewisse Preissensibilität.

2 Wie schwierig ist es, gute Mitarbeiter in China zu finden?

Prinzipiell gibt es sehr viele gute Fachkräfte in China. Allerdings ist es aufwendiger, sie zu finden. Wir haben in Shanghai einen Standortvorteil, denn die Stadt übt auf viele Chinesen eine große Anziehung aus. Unsere guten Beziehungen zur Tongji-Universität helfen auch bei der Suche nach neuen jungen Talenten. Hinzu kommt unsere starke Marke. Die Fluktuation ist bei unseren Mitarbeitern darum nur im niedrigen einstelligen Bereich.

3 Inwiefern unterscheidet sich der chinesische vom westlichen Automobilmarkt?

Die chinesischen Unternehmen haben mittlerweile ein sehr hohes Niveau erreicht. Das hochautomatisierte Fahren wird in China in den kommenden Jahren ein großes Thema werden. China beschreitet hier neue, eigene Wege. So wird zum Beispiel für V2X-Anwendungen ausschließlich auf Mobilfunkstandards wie LTE-V und 5G gesetzt. Da es die chinesische Regierung nicht erlaubt, geobasierte Daten zu exportieren, muss die gesamte Testarbeit hier im Land stattfinden.



Kurt Schwaiger

Der Niederlassungsleiter lebt seit zehn Jahren in Shanghai. Das Büro hat sich zunächst mit der Chassis-Entwicklung einen Namen gemacht, heute bietet es ein breites Portfolio von Themen an.

meinsam das „Tongji Porsche Engineering Symposium“, bei dem Top-Manager über neueste Entwicklungen auf dem Automobilmarkt diskutieren. Teil der Kooperation ist darüber hinaus der Austausch im Rahmen von Praktika und Abschlussarbeiten sowie die Förderung des lokalen Formula-Student-Teams, bei dem Studenten ihren eigenen Rennwagen entwickeln und an Wettbewerben teilnehmen. So hat die Niederlassung eine ideale Anbindung an einen der besten Talent-Pools Chinas – eine wichtige Voraussetzung für weiteres Wachstum auf einem der wichtigsten Automotive-Märkte der Welt.



→ ZUSAMMENGEFASST

Der chinesische Automobilmarkt ist im Umbruch. Die Kunden erwarten erstklassige Technik sowie Lösungen, die sich an ihren Anforderungen orientieren – etwa bei der Vernetzung von Fahrzeug und Smartphone. In seiner Niederlassung in Anting ist Porsche Engineering nahe am Markt, sodass das Team schnell auf Anfragen lokaler Kunden reagieren kann. Umgekehrt vermitteln die Mitarbeiter westlichen Unternehmen wertvolles Wissen über den Markt in China.

Tests vor Ort: Mit HiL-Prüfständen untersuchen Ingenieure die Software von Steuergeräten.





Anpassungsfähig: Plattformen müssen die Anforderungen unterschiedlicher Antriebe und verschiedener Modellvarianten berücksichtigen.

In der Fahrzeugentwicklung nimmt die Konzept- und Package-Auslegung in der frühen Phase eine zentrale Rolle ein, denn hier werden die technischen Grundlagen für die späteren Produkte geschaffen. Für einen Kunden aus China hat Porsche Engineering aus einer vorhandenen Fahrzeugarchitektur in relativ kurzer Zeit die Machbarkeit eines umfassenden Plattformkonzepts mit verschiedenen Karosserievarianten und Antriebssystemen geprüft und wertvolle Hinweise für die weiteren Entwicklungsaktivitäten geliefert.

Text: Richard Backhaus

Mitwirkende: Humberto de Campos do Carmo, Stefan Bender

Illustrationen: Florian Müller

Wenn Automobilhersteller ein neues Fahrzeugmodell entwickeln, ist eine gute Vorplanung gefragt. Schon zu Beginn des Entwicklungsprozesses müssen das technische Konzept und das Package (Auslegung der Fahrzeuggeometrie unter Beachtung von Ergonomie und Nutzen sowie Definition und Management der Bauräume) festgelegt sein, damit das fertige Fahrzeug später auch den ursprünglichen Vorstellungen entspricht. Manche Projekte erfordern allerdings ein anderes Vorgehen. Etwa wenn ein OEM eine Fahrzeugentwicklung bereits gestartet hat und sich später entscheidet, weitere davon abgeleitete Modelle und Antriebsversionen auf den Markt zu bringen.

Zurzeit kommen solche Anfragen verstärkt von Automobilherstellern aus China. „Dort werden aktuell viele OEMs neu gegründet, die erst seit wenigen Jahren Automobile entwickeln“, erklärt Humberto de Campos do Carmo, der als Leiter Fachdisziplin Fahrzeug Konzepte und Package bei Porsche Engineering schon eine große Bandbreite unterschiedlicher Projekte für Kunden weltweit umgesetzt hat. „Für eine konzeptionelle Plattformentwicklung unter Berücksichtigung aller Antriebsvarianten und verschiedener Modellderivate wenden sich diese Unternehmen darum an uns. Es geht dann zum Beispiel darum, das vorhandene Fahrzeugkonzept durch weitere Karosserie- und Antriebsderivate zu einer Plattform auszubauen.“

Ein Beispiel aus jüngster Zeit ist ein im Auftrag eines chinesischen Kunden erstelltes Plattformkonzept. Ziel war es, ausgehend von einem bereits bestehenden SUV-Modell mit reinem Elektroantrieb verschiedene

Varianten zu entwickeln: einerseits eine zusätzliche Limousine, andererseits Motorisierungsversionen mit Verbrennungsmotoren, Elektroantrieb mit Range-Extender sowie Hybridsystem. Soll die Konzeptentwicklung wie in diesem Fall auf einem vorhandenen Fahrzeug aufbauen, beginnen die Experten mit einer genauen Analyse der vorhandenen Plattform. „Dabei orientieren wir uns jeweils an den kritischsten Fahrzeugvarianten, wie zum Beispiel am schwersten oder leistungsfähigsten Derivat, sozusagen dem Worst-Case-Szenario“, erklärt de Campos do Carmo.

Wie sich bei den Untersuchungen zeigte, war die Rohbaustruktur des Vorderwagens für die schwerste Variante des SUV zu weich. „Um die Crashesicherheit zu verbessern, haben wir eine größere Dimensionierung der vorderen Längsträger vorgeschlagen“, berichtet de Campos do Carmo. „Auch die Radaufhängungen



„Wir haben Fachexperten aus allen Fahrzeugbereichen, und bei den Werkzeugen nutzen wir neueste Simulations- und Entwicklungstools.“

Humberto de Campos do Carmo,
Leiter Fachdisziplin Fahrzeug Konzepte und Package

mussten wir verändern, damit sich unterschiedliche Bodenfreiräumen und Standhöhen bei SUV und Limousine realisieren lassen.“ Durch Reifen mit verschiedenen Durchmessern, Federn unterschiedlicher Härte sowie spezielle Distanzstücke am Achsträger konnten die Entwickler die Fahrzeughöhe an die variierenden Anforderungen anpassen, ohne in die grundlegende Achskonstruktion eingreifen zu müssen. Auch das Kühlsystem musste verändert werden: Die Analyse zeigte, dass der Wärmetauscher für die SUV-Version mit Verbrennungsmotor zu klein ausgelegt war. Er wurde im Rahmen der weiteren Fahrzeugentwicklung an die neuen Bedingungen angepasst.

Eine der größten Herausforderungen war das Package der unterschiedlich großen Batterien für die elektrifizierten Modellvarianten. „Wir haben gemeinsam mit dem Kunden das Konzept für eine Unterbodenstruktur erarbeitet, die für alle Fahrzeuge identisch ist“, sagt de Campos do Carmo. „Jeweils unterschiedliche Aufnahmepunkte nehmen die verschieden großen Batterien der elektrifizierten Varianten auf, sodass

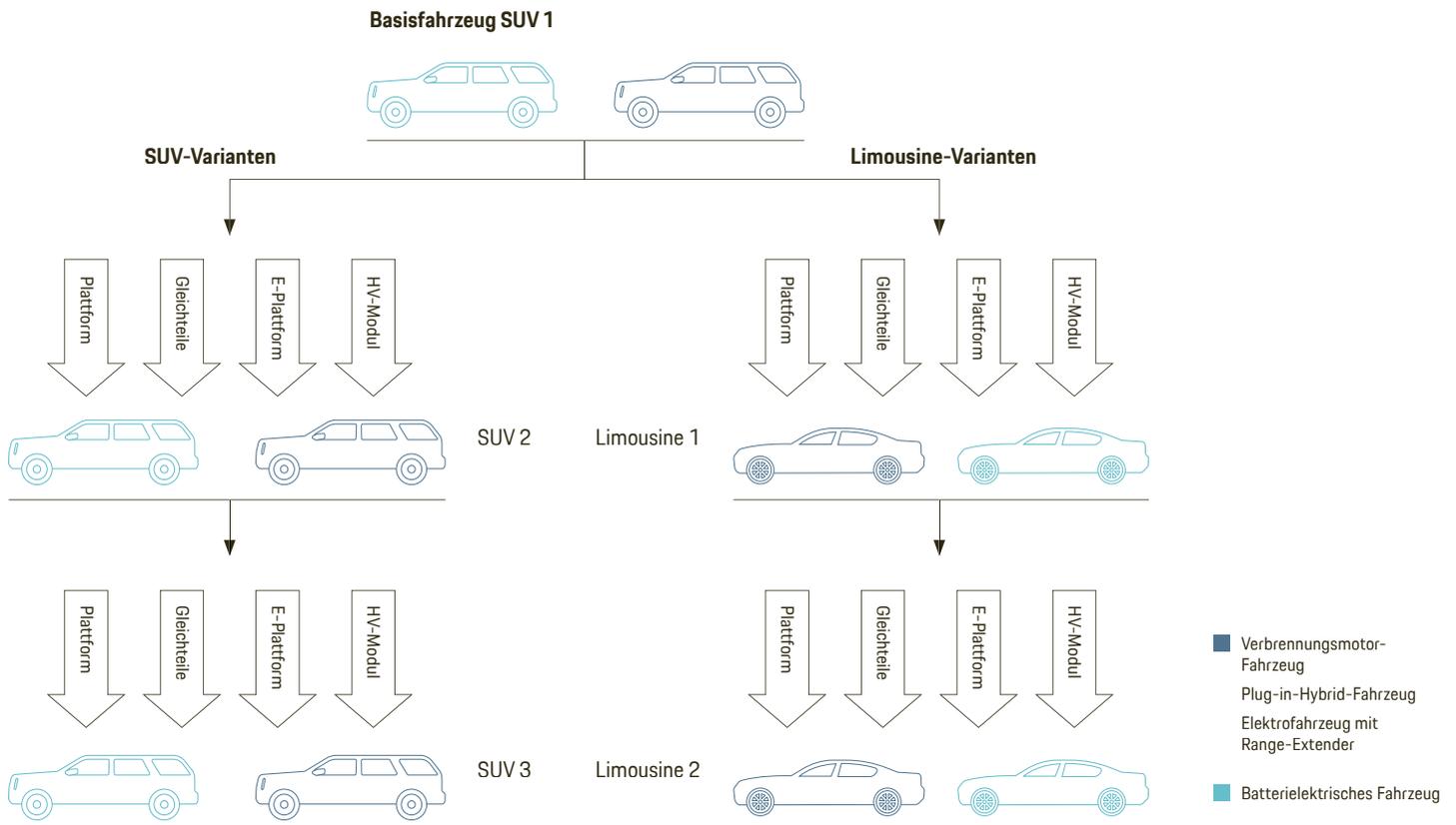
wir kostenintensive Änderungen in diesem Bereich vermeiden konnten.“ Die Batterie des rein elektrischen Fahrzeugs füllt dabei den gesamten verfügbaren Bauraum aus, bei den Versionen mit Range-Extender und Hybridantrieb wurde hinter dem etwas kleineren Batteriepack noch der Kraftstofftank für den Verbrennungsmotor platziert.

Kernelemente der Plattform

Zeigt sich bei der Konzeptentwicklung, dass der Änderungsaufwand an der vorhandenen Plattform zu hoch ist, steht der Kunde vor der Wahl: Er kann entweder sein aktuelles Projekt zugunsten einer plattformkonformen Lösung aufgeben oder beide Ansätze parallel vortreiben. „Aus Kostensicht wäre die Fokussierung auf die zukunftsfähige Plattformarchitektur meistens am besten“, meint de Campos do Carmo. „Wenn ein Fahrzeugprojekt allerdings schon sehr weit fortgeschritten ist, entscheiden sich die Kunden oftmals dafür, beide Konzepte gleichzeitig zur Marktreife zu entwickeln und die Mehrkosten als Lehrgeld zu verbuchen.“

Konzeptionelle Plattformentwicklung

Ausgehend von einem bereits bestehenden SUV-Modell mit reinem Elektroantrieb hat Porsche Engineering verschiedene Varianten entwickelt: einerseits eine zusätzliche Limousine, andererseits Motorisierungsversionen mit Verbrennungsmotoren, Elektroantrieb mit Range-Extender sowie Hybridsystem.



Schrittweise Entwicklung



Die optimale Unterbringung der Passagiere:

Das ist das wichtigste Ziel jedes Fahrzeugkonzeptes.

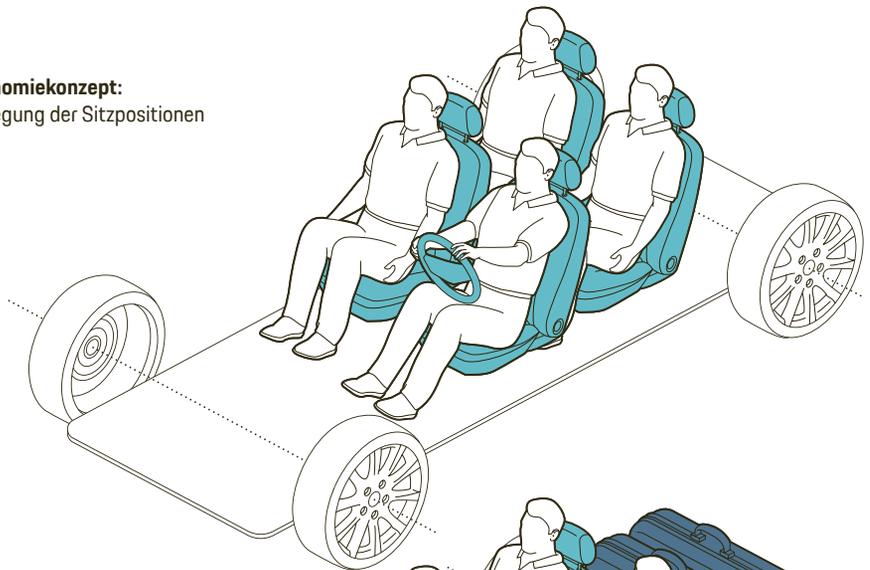
Erster Schritt ist das

Ergonomiekonzept auf Basis der Anthropometrie (der Wissenschaft von den menschlichen Körper- und Skelettmerkmalen).

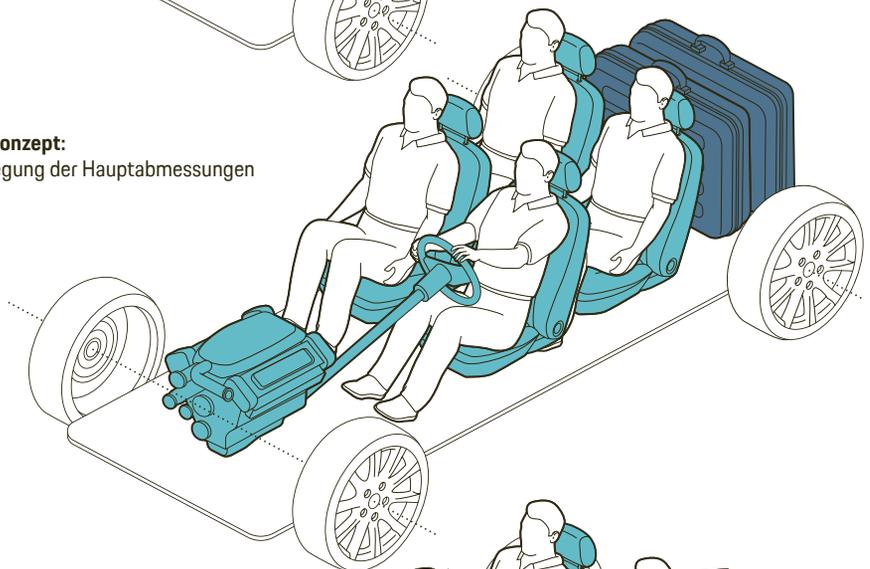
Das **Maßkonzept** beschreibt die geometrischen Werte und Zusammenhänge, außerdem berücksichtigt es gesetzliche Vorgaben und die Bauräume von Komponenten.

Das **Packagekonzept** garantiert schließlich, dass am Ende alles am richtigen Platz ist. Hier geht es unter anderem darum, die Ziele der Fachabteilungen mit ihren teilweise konträren Anforderungen in Einklang zu bringen.

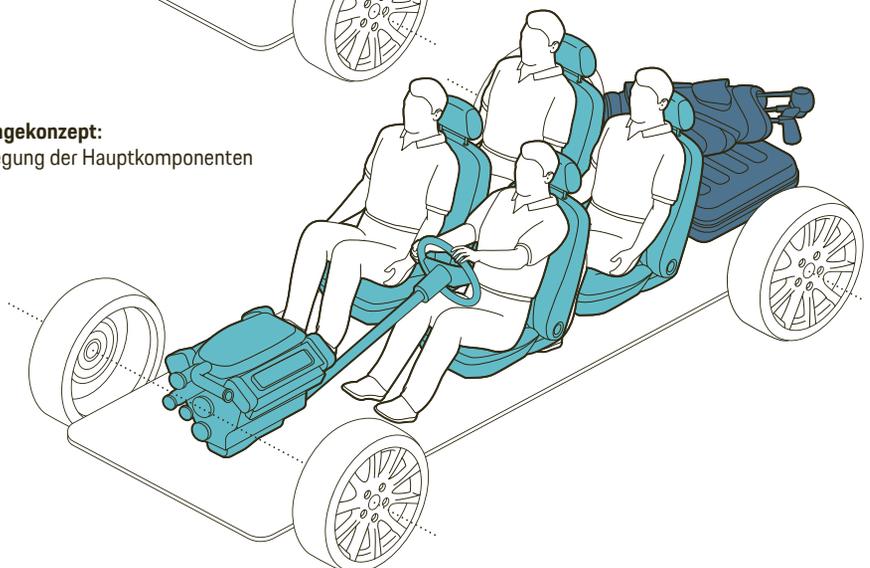
Ergonomiekonzept: Festlegung der Sitzpositionen



Maßkonzept: Festlegung der Hauptabmessungen

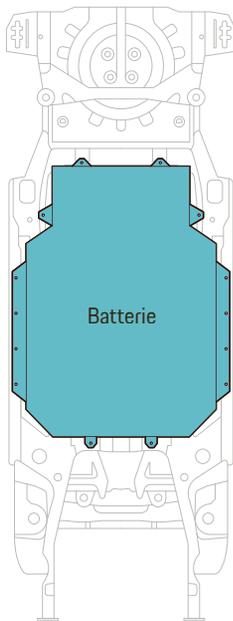


Packagekonzept: Festlegung der Hauptkomponenten

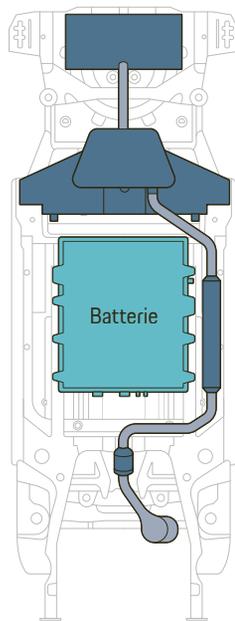


Gemeinsame Unterbodenstruktur

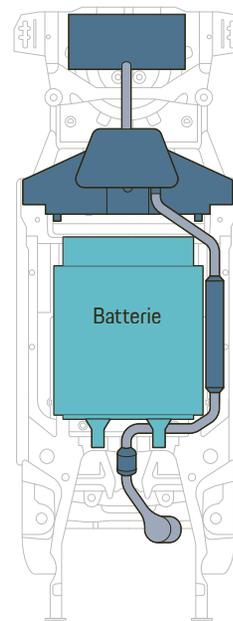
Unterschiedliche Aufnahmepunkte der gemeinsamen Unterbodenstruktur nehmen die verschieden großen Batterien der elektrifizierten Varianten auf. Die Batterie des rein elektrischen Fahrzeugs füllt dabei den gesamten verfügbaren Bauraum aus. Bei den Versionen mit Range-Extender und Hybridantrieb wurde hinter dem etwas kleineren Batteriepack noch der Kraftstofftank für den Verbrennungsmotor platziert.



Batterieelektrisches
Fahrzeug



Plug-in-Hybrid-
Fahrzeug



Elektrofahrzeug mit
Range-Extender

Idealerweise sollte ein Kunde darum schon im Vorfeld definieren, welche Segmente und Antriebskonzepte sowie Motorisierungen eine neue Plattform abdecken soll. Das gibt den für Konzept und Package verantwortlichen Ingenieuren Rahmenbedingungen sowie maximale Freiräume und die Möglichkeit, die Fahrzeugplattform gezielt zu entwickeln, wobei sie auch Faktoren wie die Produkt- und Markenstrategie des Automobilherstellers in ihre Überlegungen einfließen lassen können. Der Kunde profitiert dabei von einem effizienten Entwicklungsprozess, der in sehr kurzer Zeit zu optimalen Ergebnissen führt.

Kunden aus China arbeiten typischerweise nach einem sehr engen Zeitplan, der nicht mit den Entwicklungszyklen europäischer Automobilhersteller vergleichbar ist. „Beim oben genannten Projekt hatten wir rund sechs Wochen Zeit – von der Bedarfsanalyse bis zum fertigen Ergebnis. Um Kommunikationsprobleme im Abstimmungsprozess zu vermeiden, haben uns Resident Engineers des Kunden als Bindeglied zum Entwicklerteam in China unterstützt“, sagt de Campos do Carmo. „Diese vertrauensvolle und enge Zusammenarbeit war

ein entscheidender Faktor, um das Projekt innerhalb der Zeitvorgaben erfolgreich abschließen zu können.“

Die Definition von Konzept und Package eines neuen Fahrzeugs erfordert umfangreiche Erfahrungen auf allen Ebenen der Fahrzeugentwicklung und der Entwicklungsmethodenkette. „Wir haben Fachexperten aus allen Fahrzeugbereichen, und bei den Werkzeugen nutzen wir neueste Simulations- und Entwicklungstools“, so de Campos do Carmo. „Hinzu kommt die hohe Flexibilität und Kundenorientierung, mit der wir Entwicklungsprojekte bearbeiten und die auch unsere Partner aus China schätzen.“

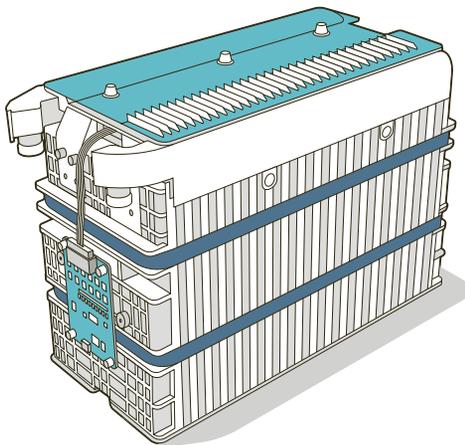
→ ZUSAMMENGEFASST

Idealerweise steht die Konzeptentwicklung ganz am Anfang eines Projektes. Aber auch aus einem bestehenden Fahrzeug lässt sich ein Plattformkonzept für weitere Antriebs- und Modellvarianten ableiten. Im Fall eines chinesischen Kunden ist dies Porsche Engineering durch Änderungen unter anderem an Fahrwerk, Kühlung und Unterboden gelungen.

Package von Hochvoltbatterien

China erlebt derzeit einen wahren Hybrid- und Elektrofahrzeug-Boom, der zur Entwicklung einer Vielzahl neuer Fahrzeugkonzepte führt. „Viele der Automobilhersteller sind Start-up-Unternehmen, denen wir bei der Integration der Hochvoltbatterie ins Fahrzeug technische Unterstützung geben können“, sagt Stefan Bender, Fachprojektleiter Batterie-Package bei Porsche Engineering.

Generell ist die **Hochvoltbatterie** das größte und schwerste Einzelmodul, das im Rahmen der Konzept- und Package-Entwicklung im Fahrzeug untergebracht werden muss. Die Anforderungen an die Crashesicherheit, die für die Fahrdynamik wichtige Schwerpunktlage des Fahrzeugs, die Verkabelung des Hochvolt-Bordnetzes und das Thermomanagement des Energiespeichers reduzieren den Spielraum der Entwickler bei der Platzierung des Bat-



Einzelmodul: Die Hochvoltbatterie hat große Auswirkungen auf Crashesicherheit und Fahrdynamik. Ihre Integration ist darum eine besondere Herausforderung.

teriesystems. „Da es bei Hochvoltbatterien sprichwörtlich um jeden Millimeter geht, ist eine genaue Definition der technischen Anforderungen die Grundvoraussetzung der Package-Entwicklung“, so Bender.

Bei vielen kleineren Unternehmen fehlt diese Analyse. „Oftmals führt das dazu, dass wir zusammen mit dem Kunden parallel zum eigentlichen Batterie-Package-Projekt einen auf seine Bedürfnisse abgestimmten Entwicklungsprozess erarbeiten“, sagt Bender. Als Beispiel nennt er einen Kunden, der eine zu groß dimensionierte Batterie in sein Fahrzeug integrieren wollte. „Gemeinsam mit ihm haben wir erst einmal festgelegt, welche Leistungsfähigkeit das Fahrzeug und damit die Batterie überhaupt haben muss.“

Um alle Vorgaben mit ihren gegenseitigen Wechselwirkungen erfüllen zu können, muss die Integration der Batterie in das Fahrzeug so früh wie möglich im Entwicklungsprozess angestoßen werden. Das gilt sowohl für reine Elektrofahrzeuge als auch für Hybridmodelle, die auf einer konventionellen, für Verbrennungsmotoren ausgelegten Fahrzeugplattform basieren und bei denen eigentlich keine Bauraumreserven für den Energiespeicher vorgesehen sind. Das Ziel ist immer, das Batteriemodul schon bei der Entwicklung so kompakt wie möglich zu konstruieren, um viele Freiheiten für die Platzierung zu lassen, und es dann anforderungsgerecht im Fahrzeug unterzubringen. „Gibt uns ein Kunde dabei das Zellmodul für sein Fahrzeugprojekt vor, integrieren wir es so, dass es alle Anforderungen bestmöglich erfüllt“, so Bender. „Zielführender sind allerdings Gesamtsystemlösungen, bei denen wir die Batterieeinheit individuell entwickeln und maßgeschneidert auf das Package abstimmen können.“



„Gibt uns ein Kunde das Zellmodul für sein Fahrzeugprojekt vor, integrieren wir es so, dass es alle Anforderungen bestmöglich erfüllt.“

Stefan Bender, Fachprojektleiter Batterie-Package

Dabei kann Porsche Engineering auf eine über Jahrzehnte gewachsene Expertise bei der Entwicklung und Optimierung der elektrischen, mechanischen und thermodynamischen Eigenschaften von Batterien zurückgreifen. Die Experten nutzen beispielsweise Rechenmodelle, die inhouse erstellt und validiert werden – etwa für das „Herz“ des Energiespeichers, die Batteriezelle. Für sie stehen neben den Simulationstools auch Prüfstände bereit.

„Beim Konzept und Package einer Traktionsbatterie berücksichtigen wir alle Details des Fahrzeugs. So ist bei einem Sportwagen im Gegensatz zu einem Stadtfahrzeug mit hohen Momentanströmen zu rechnen“, erklärt Bender. „Darauf stimmen wir beispielsweise die Verbindung der einzelnen Zellen innerhalb des Batteriepacks ab, damit die Übergangswiderstände und die daraus resultierende Wärmerückentwicklung während mehrerer kurz hintereinander folgender Beschleunigungsvorgänge nicht zu sehr steigen und die Motorleistung nicht aus Bauteilschutzgründen reduziert werden muss.“

Am Himmel befestigt

Text: Andreas Burkert Mitwirkende: Dr. Martin Braun, Johannes Wüst

Porsche Engineering hat für einen chinesischen Kunden eine Fahrwerkplattform inklusive variablem Dämpfersystem mit Skyhook-Funktion entwickelt. Die Herausforderung: In nur 18 Monaten sollte eine intelligente und kostenoptimierte Fahrwerkkonstruktion für eine Baureihe mit zwei Elektrofahrzeugen entstehen. Im März 2020 startete pünktlich die Serienproduktion.

Das Fahrwerk prägt den Charakter eines Fahrzeugs. Je besser das Zusammenspiel zwischen Radaufhängung, Reifen, Karosserie und dem Fahrer ist, umso souveräner lassen sich anspruchsvolle Fahrmanöver beherrschen, was für sportliche Fahrer oftmals kaufentscheidend ist. Daneben leistet das Fahrwerk aber auch einen bedeutenden Beitrag zur Fahrsicherheit und zum Fahrkomfort, der wegen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs und des Trends zum automatisierten Fahren in Zukunft von noch größerer Bedeutung sein wird als heute. Für die internationale Automobilbranche gehören disruptive Entwicklungen wie die E-Mobilität zu den größten Herausforderungen. Automobilunternehmen setzen deshalb auf fortschrittliche Entwicklungswerkzeuge, um den gestiegenen Anforderungen an Fahrdynamik und -komfort gerecht zu werden.

Welche Möglichkeiten moderne Fahrwerke bieten, zeigen unter anderem die Sportwagen, die Porsche bis heute entwickelt hat. Sie verfügen neben dem Fahrdynamikregelsystem zur Stabilisierung im fahrdynamischen Grenzbereich (Porsche Stability Management, PSM) auch über eine intelligente Drehmomentverteilung (Torque Vectoring). Ein ebenfalls etabliertes

Element eines semi-aktiven Fahrwerksystems ist das variable Dämpfersystem PASM (Porsche Active Suspension Management). Es reagiert während der Fahrt blitzschnell auf dynamische Veränderungen, etwa bei plötzlichen Ausweichmanövern. In Bruchteilen einer Sekunde erhöht PASM die Dämpferkraft an beiden Achsen, um die Seitenneigung oder das Aufschaukeln der Karosserie zu reduzieren. Damit sind äußerst präzise und sichere Fahrmanöver möglich.

Porsche Engineering nutzt seine Erfahrungen auf dem Gebiet der Fahrwerkkonstruktion von Sportwagen, um seinen Kunden Lösungen auf dem aktuellen Stand der Technik anbieten zu können – zum Beispiel im Fall eines chinesischen Unternehmens: „Wir wurden beauftragt, die Vorder- und Hinterachse für eine Baureihe mit mehreren Elektrofahrzeugen von Grund auf neu zu entwickeln, inklusive der Softwarealgorithmen und Regler für ein variables Dämpfersystem“, berichtet Johannes Wüst, Leiter Fachdisziplin Fahrwerkkonstruktion. Dr. Martin Braun, Leiter Fachdisziplin Fahrwerksysteme bei Porsche Engineering ergänzt, dass „der Kunde uns dazu Benchmark-Fahrzeuge vorgegeben hat, deren Performance innerhalb eines herausfordernden





Souverän in den Serpentin: Die neu entwickelte Fahrwerkplattform überzeugt durch Komfort und hohe Fahrdynamik.

Zeit- und Kostenrahmens erreicht oder übertroffen werden sollten“. Ziel war ein Fahrwerk, das sich in puncto Komfort und Fahrdynamik mit etablierten internationalen Wettbewerbern messen kann.

Die mechanische Konstruktion der Vorder- und Hinterachse war zwar klassisch, aber aufgrund der kurzen Entwicklungszeit sowie der zu betrachtenden Derivate in der gesamten Plattform dennoch anspruchsvoll. So ist ein Doppel-Querlenker-Achskonzept mit geschmiedeten Leichtmetalllenkern und Schwenklagern wesentlicher Teil der Vorderachse. Die untere Lenkerebene wurde aufgelöst, um Lenkrollradius und Spurdifferenzwinkel (Ackermann) zu optimieren. „Bei der Hinterachse haben wir großen Wert auf eine sehr gute Dämpferübersetzung und Längsfederung gelegt“, erklärt Wüst das Fünflenker-Konzept. „Außerdem achteten wir bei beiden Achsen auf hervorragende Werte für die Elastokinematik und Steifigkeit.“ Die Achskonzepte eignen sich zudem nicht nur für einen Sedan, sondern auch für einen SUV. Das betrifft die Anforderungen an Federwege und die maximal mögliche Achslast beziehungsweise Betriebsfestigkeit.

Um die geforderten Fahreigenschaften zu erreichen, haben die Ingenieure für die Dämpferregelung der Vorder- und Hinterachse eine spezielle elektronische Systemarchitektur entwickelt. Mit ihr lässt sich die



„Diese Art der softwarebasierten Regelung erlaubt es, die Produktionskosten gering zu halten.“

Dr. Martin Braun,
Leiter Fachdisziplin
Fahrwerksysteme

Dämpferregelung an die Steuersysteme im jeweiligen Zielfahrzeug optimal anpassen. Zugleich unterstützt sie verschiedene Sensoranordnungen, wodurch man maßgeschneiderte Lösungen in kurzer Zeit und zu geringen Kosten umsetzen kann. „Diese Art der softwarebasierten Regelung ist komplex“, sagt Braun. „Sie erlaubt es aber, die Produktionskosten gering zu halten, da zahlreiche Komfort- und Fahrdynamikfunktionen hauptsächlich durch Algorithmen abgebildet werden.“

Die Skyhook-Funktion hält den Fahrzeugaufbau möglichst ruhig

Am Ende kamen dadurch nur wenige Sensoren und Aktoren zum Einsatz. Anstatt vier Niveau- und acht Beschleunigungssensoren sowie einer inertialen Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) wurden lediglich zwei Beschleunigungssensoren und zwei Niveausensoren sowie eine IMU verbaut. So entstand eine kostenoptimierte, intelligente Dämpferregelung (Continuous Damping Control, CDC) auf Basis einer klassischen Skyhook-Funktion mit zahlreichen softwarebasierten Sonderfunktionen – unter anderem einer Schlaglocherkennung sowie einer Spurwechsel-Funktion. Im aktiven Zustand hält sie den Fahrzeugaufbau möglichst ruhig, unabhängig vom jeweiligen Fahrbahnzustand – als wäre das Fahrzeug am Himmel (sky) befestigt (hooked). Die Regelung schafft es dabei,

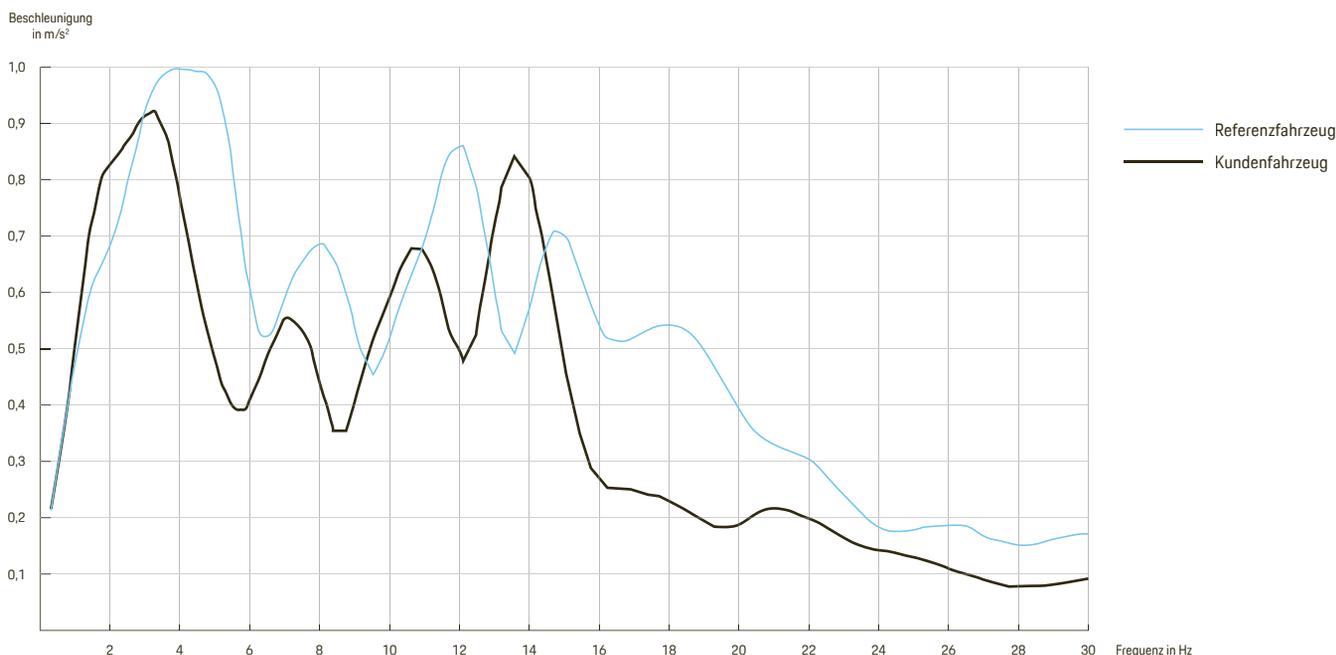
Aufbau der Dämpferregelung

Die Architektur des Reglers kann verschiedene Sensoranordnungen unterstützen. So lassen sich individuelle Kundenanforderungen in kurzer Zeit und zu geringen Kosten umsetzen.



Beschleunigung in Z-Richtung

Die Messergebnisse im Fahrzeug zeigen, dass sich hochfrequente Vibrationen im Frequenzspektrum von 16 bis 30 Hertz klar herausfiltern lassen.



während der Fahrt Vibrationen im gesamten Frequenzbereich und insbesondere höherfrequente Vibrationen im Bereich von 16 bis 30 Hertz zu dämpfen oder herauszufiltern.

Neben technischen Lösungen auf höchstem Niveau erwartete der chinesische OEM auch eine enge Zusammenarbeit und Unterstützung beim Aufbau seiner Kapazitäten. „Die Entwicklungsmannschaft unseres Kunden war anfangs mit unter 400 Mitarbeitern noch sehr klein und ist im Projektverlauf auf ein Vielfaches angewachsen“, berichtet Wüst. „Außerdem wurde neben dem Fahrzeug selbst auch eine komplett neue Produktionsinfrastruktur aufgebaut.“ In enger Zusammenarbeit mit der Produktion des Kunden haben die Entwickler von Porsche Engineering die Anforderungen der Massenfertigung diskutiert und bei ihren Designs berücksichtigt. Zudem ließen sie ihre Erfahrungen aus früheren Projekten sowie den Porsche-Produktionslinien in Zuffenhausen und Leipzig einfließen.

Herausfordernd war auch der sehr ambitionierte Zeitplan des Kunden. Nur 18 Monate nach dem Erstellen des ersten Prototyps sollte schon der Produktionsstart erfolgen. Um diese Vorgabe erfüllen zu können, hat



„Neben dem Fahrzeug selbst wurde auch eine komplett neue Produktionsinfrastruktur aufgebaut.“

Johannes Wüst,
Leiter Fachdisziplin
Fahrwerkkonstruktion

Porsche Engineering gleich zu Beginn der Entwicklungstätigkeiten Plattformen für Simulation und Rapid Prototyping eingesetzt. „So konnten wir sehr schnell erste lauffähige Prototypen realisieren“, erklärt Braun. Die eigens erstellten Entwicklungswerkzeuge erlauben es, vor allem in der frühen Entwicklungsphase innerhalb kürzester Zeit ein Achskonzept auf den Punkt auszuliegen. „So vermeiden wir größere Änderungsschleifen im Versuch“, sagt Wüst. „Das spart nicht nur Entwicklungszeit, sondern auch Versuchsteile, Prototyping-Werkzeuge und somit auch sehr viel Budget.“

Darüber hinaus bot das zeitgleiche Arbeiten an Regelsystem und Software weiteres Optimierungspotenzial. Hier lobt Wüst auch den chinesischen Auftraggeber, der die Entwicklungsziele und Fahrzeugvarianten schon zu Projektstart sehr klar definiert hatte. Auch wurden Richtungsentscheidungen basierend auf den Empfehlungen von Porsche Engineering sehr schnell und pragmatisch getroffen, was Verzögerungen vermied. „Ohne diese schnellen Entscheidungen wäre eine so kurze Entwicklungsdauer nicht möglich gewesen“, so Wüst. Am Ende wurde der ehrgeizige Zeitplan eingehalten, und die Serienproduktion der Baureihe konnte wie gefordert pünktlich im März 2020 starten. ◀



Technologiegigant: Tencent mit Sitz in Shenzhen ist eines der größten Internetunternehmen Chinas.

„Wir stärken die Kernkompetenzen der Automobilhersteller“

Interview: Jost Burger

Der chinesische Technologiekonzern Tencent treibt die Entwicklung neuer Mobilitätsformen und Services rund ums Fahrzeug voran. Im Interview spricht Cham Zhong, Vice President des Unternehmens, über den Automobilmarkt in China und die Kooperation von Tencent mit klassischen OEMs.



Vordenker: Cham Zhong will Fahrzeuge zu Datenknoten in Smart Cities machen.

Warum ist der Automobilmarkt für Tencent attraktiv?

— **CHAM ZHONG:** Für Tencent ist die Automobilindustrie eines der wichtigsten Anwendungsfelder des Internets der Dinge. Der chinesische Automarkt ist der größte der Welt, ganz zu schweigen von der hohen Akzeptanz und Nachfrage nach intelligenten Produkten bei den chinesischen Verbrauchern: Laut einer McKinsey-Umfrage würden 69 Prozent der chinesischen Kunden ihr Auto gerne in ein intelligent vernetztes Fahrzeug eintauschen. Die Automobilunternehmen wetteifern darum, sich vom Autohersteller zum Mobilitätsdienstleister zu wandeln. In den vergangenen Jahren sind wir mit 28 Automobilmarken aus dem In- und Ausland verschiedene Partnerschaften in den Bereichen intelligente Systeme, autonomes Fahren und Shared Mobility eingegangen. Als Spezialist für digitale Lösungen kann Tencent den Automobilherstellern helfen, den chinesischen Markt und die chinesischen Kunden besser zu verstehen.



Tencent

wurde 1998 gegründet und erwirtschaftete 2019 einen Umsatz von rund 49 Milliarden Euro.



63.000

Mitarbeiter hatte Tencent Ende 2019.

Können Sie uns dafür Beispiele nennen?

— **ZHONG:** Erstens bieten wir ganzheitliche intelligente Lösungen für Pkws an und bringen beliebte Internetdienste wie WeChat, QQ Music oder Tencent Maps ins Auto. Darüber hinaus sind wir führend bei der Entwicklung eines In-Car-Light-App-Frameworks – mit Cloud-Update, „Use and Go“-Apps und ohne dass die Nutzer manuelle Downloads durchführen müssen. Es ermöglicht Funktionen wie intelligentes Parken, Autowäsche, Tanken, Aufladen des Autos oder die Reservierung in Restaurants, die alle auf dem „Unconscious Payment System“ von WeChat basieren.

Zweitens erschließen wir das Feld des autonomen Fahrens, wobei wir uns vor allem auf drei Säulen stützen: eine Cloud-Plattform für Daten, eine Simulationsplattform und äußerst präzise Straßenkarten. Für die Simulationsplattform hat Tencent seine Game Engine mit Fahrdynamikmodellen in Industriequalität und ganzheitlichen, auf virtueller Realität beruhenden Verkehrssimulationen kombiniert. So können die Anwender das autonome Fahren in einer hochgradig realistischen Simulationsumgebung testen.

Darüber hinaus haben wir die „Smart 4S“-Lösung eingeführt, um 4S-Händler – Händler, die in einem Full-Service-Ansatz Verkauf (Sales), Service, Ersatzteile (Spare Parts) und Kundenfeedback (Surveys) zusammenführen – dabei zu unterstützen, Autos effizienter zu verkaufen. Durch digitale Tools und Plattformen wie WeChat sowie KI- und Big-Data-Technologien kann diese Lösung 4S-Händlern helfen, Kunden effizienter zu gewinnen. Mit seiner Automotive-Cloud-Plattform hilft Tencent den Automobilherstellern, den gesamten Produktlebenszyklus von der Herstellung über den Verkauf bis hin zum Kundendienst effizient im Griff zu behalten. Außerdem arbeitet das Tencent Keen Security Lab seit Jahren im Bereich der Informationssicherheit. Hier geht es um Internetzugang und Over-the-Air-Fähigkeiten für Fahrzeuge.

Wie wichtig ist die Cloud-Technologie im Zusammenhang mit Over-The-Air (OTA)?

— **ZHONG:** Man kann nicht über Digitalisierung sprechen, ohne die unverzichtbare Cloud dahinter zu erwähnen. Tencents Automobile Cloud bietet eine umfassende Lösung, die von Infrastructure-as-a-Service und Platform-as-a-Service über Software-as-a-Service bis hin zu Data-as-a-Service reicht.

Was genau sind potenzielle Anwendungen dieser Technologie?

— **ZHONG:** Mit der Nutzung von großen Datenmengen können Automobilhersteller in der F&E- und Fertigungsphase Kosten senken und die Effizienz

steigern. Big Data ist auch für eine genaue Generierung von Kundenkontakten unerlässlich und steigert so die Effizienz von Marketing und Vertrieb. Im Hinblick auf den After-Sales-Bereich hilft die Tencent Cloud den Herstellern bei der Einrichtung eines umfassenden Benutzermanagementsystems und der Bereitstellung von Mehrwert-Diensten wie Mitfahrgelegenheiten, die zu neuen Geschäftsmodellen führen können. Die datengesteuerten Dienste können auch Dienste wie die Schätzung der Batterielebensdauer oder die Analyse und Vorhersage von Teilefehlern bereitstellen.

Wie können Unternehmen wie Tencent und klassische OEMs von einer Zusammenarbeit profitieren?

— **ZHONG:** Die Automobilhersteller haben erstklassige Fertigungsmethoden entwickelt und unterhalten ein ausgeklügeltes Zulieferersystem. In der neuen digitalen Ära muss die Automobilindustrie aber den Weg ins Internet finden, während sich die Internetfirmen mit den Grundzügen der Automobilindustrie vertraut machen müssen. Tencent ist bereit, diese Lücke zu schließen, indem es flexible und modulare digitale Toolboxes anbietet.

Tencent stärkt die vier Kernkompetenzen der Automobilhersteller und hilft ihnen dabei, das Kundenerlebnis aufzuwerten. Erstens geht es darum, Kundenbedürfnisse zu erkennen: Intelligente Systeme speichern Sitzeinstellung, Lieblingsmusik und oft gefahrene Strecken. Wenn ein Kunde ein 4S-Autohaus betritt, wird er identifiziert, und dem Händler wird angezeigt, welches Anliegen der Kunde voraussichtlich hat. Zweitens geht es darum, die

„Im kommenden Jahrzehnt wird China ein goldenes Zeitalter des industriellen Internets einläuten.“

Autonomes Fahren:
Tencent setzt auf die Cloud, eine Simulationsplattform und präzise Straßenkarten.

Kundenkommunikation auf verschiedenen Wegen auszubauen: Ein Spracherkennungssystem erleichtert den Kunden die Bedienung ihres Fahrzeugs. Die Kunden könnten zum Beispiel über WeChat aktuelle Informationen über den Fahrzeugzustand und den Status der Wartung erhalten. Drittens geht es um vielfältige Angebote während der Fahrt: Die Autohersteller müssen ein breites Spektrum aus Entwicklern und Dienstleistungsanbietern zusammenbringen, um das Ökosystem für Apps im Auto zu erweitern. Viertens geht es darum, das Fahrzeug während seines gesamten Lebenszyklus mit cloudbasierten Diensten zu begleiten: Die lange und komplexe Lieferkette von der Herstellung über den Verkauf bis zum Kundendienst stellt die Autohersteller vor Herausforderungen, die sie mit Cloud-Lösungen besser bewältigen könnten.

Welche Rolle werden Fahrzeuge in der „Smart City“ der Zukunft spielen?

— **ZHONG:** Dank technischer Neuerungen wie Big Data, Cloud-Computing, KI und 5G wird es immer mehr Smart Cities geben. Fahrzeuge werden dort wichtige Datenknoten sein. Sie können die Umgebung wahrnehmen, Echtzeit-Verkehrsdaten in die Cloud laden und so bei der digitalen Verkehrssteuerung und beim Management der gesamten Stadt helfen. Selbstfahrende Autos sind außerdem vielseitiger einsetzbar. Sie können beispielsweise als Konferenzraum, Kino, Shop oder Arbeitszimmer fungieren, wobei die Grenzen dazwischen immer mehr verwischen. Außerdem werden sie Shared Mobility voranbringen, was zu weniger privaten Autos und mehr Platz in



den Städten führen wird. Es ist sogar denkbar, dass Autos sich abends von selbst einen Parkplatz in der Vorstadt suchen und morgens in die Stadt zurückkehren, um Fahrgäste abzuholen.

Wie denkt Tencent über die Entwicklung von automatisierten beziehungsweise autonomen Fahrzeugen auf Level 4 oder 5? Was muss hier noch getan werden – in technischer, gesellschaftlicher und rechtlicher Hinsicht?

— **ZHONG:** L4/L5 ist eine notwendige Voraussetzung für automatisiertes beziehungsweise autonomes Fahren und Shared Mobility. Gegenwärtig beschreiten wir zwei parallele Wege: Erstens treiben wir die Entwicklung von Algorithmen und die Erhebung von Daten für eine optimale L4/L5-Lösung voran. Zweitens berücksichtigen wir die Bedürfnisse der Kunden, indem wir Anwendungen für spezifische Szenarien vorantreiben. Wir arbeiten zum Beispiel an einer Lösung, die einen Autobahnpiloten und einen Staupiloten kombiniert, deren Einsatz uns viele Daten für unsere künftigen F&E-Bemühungen liefern wird.

Aus technischer Sicht ist das autonome Fahren auf hochpräzise Kartendaten, Cloud-Computing und Simulationstechniken angewiesen. Auf der politischen Ebene müssen die lokalen Verwaltungen die einschlägigen Richtlinien schrittweise lockern, um Tests auf öffentlichen Straßen zu ermöglichen. Wir müssen die Vorschriften für die Straßensicherheit und ethische Fragen klären. Und wir brauchen Infrastrukturen wie 5G-basierte intelligente Transport- und Verkehrssysteme. Was den sozialen Aspekt anbelangt, so müssen wir die öffentliche Akzeptanz des autonomen Fahrens erhöhen, die Sorgen der Verbraucher überwinden und das Vertrauen der Öffentlichkeit gewinnen.

Was schätzt die chinesische „digitale Generation“ an Infotainment im Pkw?

— **ZHONG:** Die Hauptkundschaft der chinesischen Automobilindustrie sind derzeit „Digital Natives“. Sie sind es gewohnt, ständig mit der digitalen Welt verbunden zu sein und ihre Angebote nutzen zu können. Im Auto werden diese Erwartungen enttäuscht, da man offline bleiben muss – es ist schwierig, das Smartphone zu überprüfen, während man hinter dem Steuer sitzt.

Um dieser „Offline-Angst“ zu begegnen und sicherzustellen, dass die Dienste von verschiedenen Endgeräten und in unterschiedlichen Situationen zugänglich sind, bietet Tencent „Super ID“ an. Das ist ein einheitliches Identifikationssystem, das für eine perfekte Servicekontinuität zwischen Mobiltelefon und Cockpit sorgt. Unser Auto-Intelligence-System ermöglicht eine effiziente und bequeme Verarbeitung verschiedener Dienste, dank seiner stabilen interaktiven Architektur und benutzerfreundlichen Apps. Im vergangenen Jahr haben wir WeChat fürs Auto eingeführt, um den Fahrern zu

Integration: Tencent Auto Intelligence (TAI) ermöglicht eine effiziente und bequeme Verarbeitung verschiedener Dienste.



Portfolio

Zur Produktpalette von Tencent gehört unter anderem WeChat, einer der meistverbreiteten Chat- und Payment-Dienste in China. Hinzu kommen Videospiele, Musik und zahlreiche Aktivitäten im Bereich Künstliche Intelligenz.

helfen, sicherer über die Sprach-Benutzeroberfläche zu kommunizieren.

Wie definiert Tencent „Luxus“ im digitalen Zeitalter?

— **ZHONG:** Luxus im digitalen Zeitalter berücksichtigt die angebotenen Dienstleistungen – und wie man dafür digitale Möglichkeiten nutzen kann. Traditionelle Markenimage-Kampagnen wirken leicht eintönig. Deshalb sollten wir unseren Schwerpunkt auf Dienstleistungen verlagern. Sie können den Unterschied ausmachen und eine Marke ihren Kunden näherbringen.

China entwickelt sich schnell. Wo wird das Land in den nächsten zehn Jahren stehen? In welchen Technologiebereichen wird es sich abheben?

— **ZHONG:** Im kommenden Jahrzehnt wird China ein goldenes Zeitalter des industriellen Internets einläuten. Digitale Technologien wie 5G, KI und Cloud-Computing werden dazu führen, dass verschiedene Branchen schneller intelligent werden. Die digitale Wirtschaft wird zum Wachstumsmotor für China und die ganze Welt werden. Gesegnet mit einem fruchtbaren Boden für neue Technologien, wird China die beispiellose Kommerzialisierung von Spitzentechnologien in großem Maßstab erleben.



Cham Zhong arbeitet seit 2004 für Tencent und ist jetzt Vice President des Unternehmens. Als Leiter des Intelligence Mobility Business und des Intelligent Platform Business ist er verantwortlich für Tencent Maps, Tencent Auto Intelligence, Tencent Autonomous Vehicle, Tencent Location-based Services, Tencent Cloud Xiaowei und Tencent AI Translation Teams.

Eng vernetzt

Recherche: François Baumgartner | Mitwirkender: Martin Stegelmeier | Illustration: Valerio Pellegrini

Die großen chinesischen Digitalkonzerne haben den Automotive-Markt für sich entdeckt. Auf Gebieten wie autonomem Fahren, vernetzten Fahrzeugen und Mobilitätsservices kooperieren sie mit etablierten OEMs und anderen Technologieunternehmen.

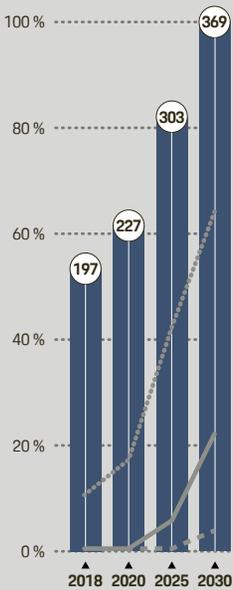
Zukunftstrends

Neue Technologien wie Konnektivität und autonomes Fahren spielen in China eine immer größere Rolle. Große lokale Technologieunternehmen treiben diese Entwicklung voran.

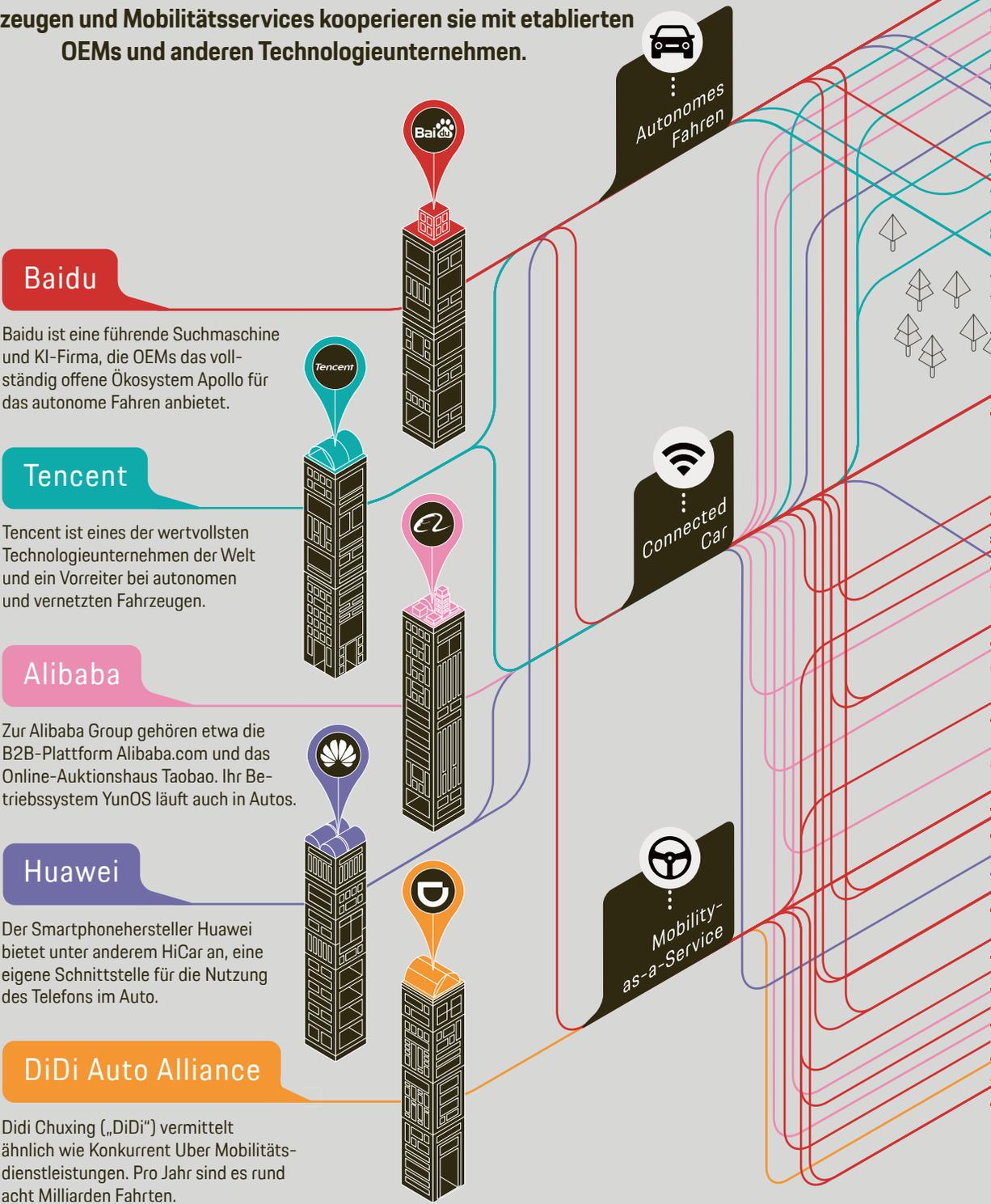
1 Zahl der Fahrzeuge in China (Mio.)

Anteil (in %)

- Connected Cars
- E-Fahrzeuge
- - - - - Autonome Fahrzeuge



(Quelle: PwC)



Baidu
Baidu ist eine führende Suchmaschine und KI-Firma, die OEMs das vollständig offene Ökosystem Apollo für das autonome Fahren anbietet.

Tencent
Tencent ist eines der wertvollsten Technologieunternehmen der Welt und ein Vorreiter bei autonomen und vernetzten Fahrzeugen.

Alibaba
Zur Alibaba Group gehören etwa die B2B-Plattform Alibaba.com und das Online-Auktionshaus Taobao. Ihr Betriebssystem YunOS läuft auch in Autos.

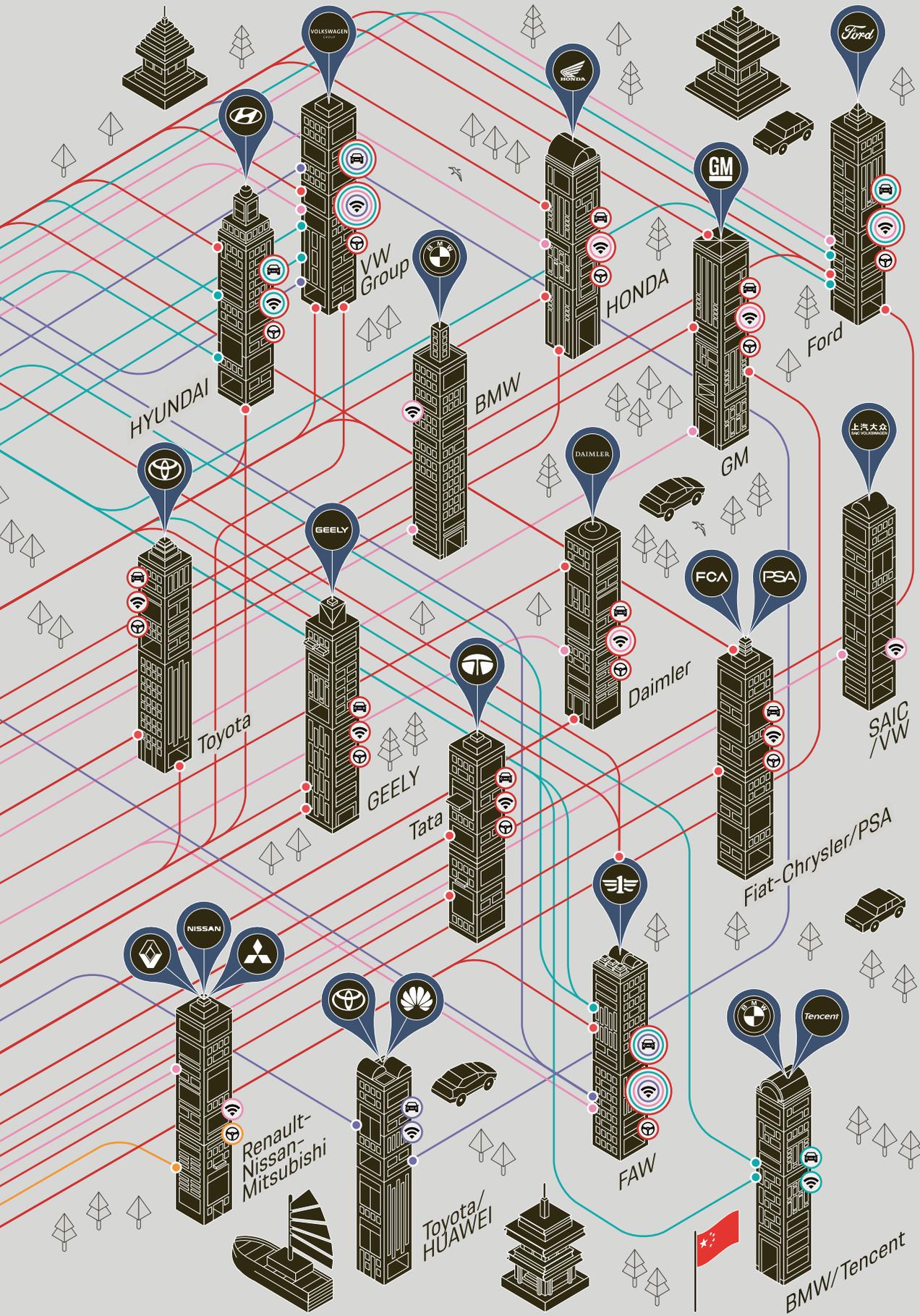
Huawei
Der Smartphonehersteller Huawei bietet unter anderem HiCar an, eine eigene Schnittstelle für die Nutzung des Telefons im Auto.

DiDi Auto Alliance
Didi Chuxing („DiDi“) vermittelt ähnlich wie Konkurrent Uber Mobilitätsdienstleistungen. Pro Jahr sind es rund acht Milliarden Fahrten.

Autonomes Fahren

Connected Car

Mobility-as-a-Service



Datengetriebene Strategien

Führungskräfte aus der Automobilindustrie sehen viele Wege, wie sich aus Daten neue Werte schaffen lassen:

Neue Erfahrungen

Personalisierte Berührungspunkte mit den Kunden schaffen.



Neue Expertise

Mit anderen Industrien neue Chancen erschließen.



Neuer Fokus

Neue Geschäftsmodelle formulieren und testen.



Neue Arbeitsformen

Eine reaktionsfähige Organisation ermöglichen.



(Quelle: IBM)



Allgegenwärtige Energiespeicher: Ohne Batterien geht nichts in der künftigen Mobilität - entsprechend intensiv werden sie weiterentwickelt.

Die perfekte Zelle

Text: Chris Löwer Mitwirkende: Dr. Stefanie Edelberg

Moderne Fahrzeugbatterien ermöglichen bereits heute hohe Reichweiten und komfortable Ladezeiten. Dennoch arbeiten Forscher an noch besseren Energiespeichern – auf Basis der bewährten Lithium-Ionen-Technologie und mithilfe neuer Ansätze.

Die Tester von der „Auto Bild“ waren beeindruckt. In rund 22 Minuten konnten sie den fast leeren Akku eines Porsche Taycan auf 80 Prozent aufladen. Eine Bestmarke, die in diesem Segment fast zwingend ist: Wer sportlich fährt, will auch schnell laden. „Insbesondere für Porsche spielen hohe Ladeleistungen eine große Rolle“, sagt Dr. Stefanie Edelberg, Entwicklungsingenieurin bei Porsche Engineering. „Durch sportliches Fahren wird die Batterie schneller leer, und der Kunde möchte keine Stunde warten müssen, um sie wieder voll zu laden.“

Das müssen die Fahrer inzwischen auch nicht mehr. „Die Akku-Technologie für Autos funktioniert in der Praxis gut, auch was Leistungsfähigkeit, Lade- und Lebensdauer anbelangt“, sagt Dirk Uwe Sauer, Professor am Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik der RWTH Aachen. „Allerdings lassen sich mehrere Extremeigenschaften nicht vereinen. Man kann nicht alles gleichzeitig



500 Wh/l

beträgt die Energiedichte moderner Lithium-Ionen-Batteriezellen.

haben.“ Ultraschnell laden bei hoher Energiedichte? Das geht nicht. Denn unter dieser Kombination würde die Lebensdauer leiden. Daher ist Sauer angesichts medialer Meldungen über vermeintliche Wunderbatterien skeptisch, denn meist wird dabei nur ein einziger Parameter zulasten anderer optimiert. „Einen universellen Alleskönner-Akku wird es nicht geben“, sagt er.

Lithium-Ionen-Zellen: hohe Energiedichte

Aber immer bessere Energiespeicher für E-Fahrzeuge, wobei auf absehbare Zeit Lithium-Ionen-Zellen die Technologie der Wahl bleiben werden. Denn die hohe Reaktivität des Lithiums und die hohe Energiedichte der Zellen ermöglichen es, auf geringem Raum relativ viel Energie zu speichern. Hinzu kommen ihre gute Lagerbarkeit und die Robustheit der Zellen, weswegen sie bei einem rein elektrisch betriebenen Fahrzeug bei großer Entladetiefe erst nach rund 2.000 Ladezyklen unbrauchbar werden. Entwickler halten aber

ein Mehrfaches davon für möglich. Außerdem kennen Lithium-Batterien keinen Memory-Effekt, unter dem Nickel-Cadmium-Akkus leiden. Bei häufiger Teilentladung „merken“ sie sich den typischen Energiebedarf und passen ihre Kapazität genau daran an.

Zudem gibt es bei der Lithium-Ionen-Technik noch viele Entwicklungsmöglichkeiten in Bezug auf Zellchemie und Zelldesign. Davon könnte zum Beispiel die Energiedichte profitieren: Laut Forschern des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) hat sie sich in den vergangenen zehn Jahren bei großformatigen Lithium-Ionen-Batteriezellen für E-Autos fast verdoppelt – auf mittlerweile durchschnittlich 250 Wh/kg spezifische Energie (beziehungsweise 500 Wh/l Energiedichte). Bis zum Jahr 2030 könnte die Energiedichte nochmals um den Faktor zwei zunehmen.

Auch die anderen Eigenschaften von Lithium-Ionen-Zellen lassen sich weiter verbessern. „Die größten Herausforderungen sind schnelles Laden und Sicherheit“, berichtet Prof. Dr. Stefano Passerini, Direktor der Forschungsgruppe Elektrochemie der Batterien am Helmholtz-Institut Ulm. „Ein schnelles Aufladen auf 80 Prozent in 15 Minuten oder weniger würde E-Fahrzeuge noch attraktiver machen. Die Sicherheitsanforderungen wachsen jedoch, wenn Schnellladen eingesetzt werden soll.“

Kapazität und Leistung der Batterie schwinden mit jeder zu schnellen Ladung

Das Schnellladen ist eine Herausforderung, weil sich beim Aufladen Lithium-Atome in die Kohlenstoffkristalle der Elektrode einlagern. Beim Entladen werden sie von dort wieder abgerufen. „Je schneller die Batterie geladen wird, desto größer ist die Gefahr, dass die Ladungsträger auf der Oberfläche der Kristalle haften bleiben, dort eine metallische Schicht bilden und dadurch die Zelle geschädigt wird“, erklärt Sauer. Kapazität und Leistung schwinden also mit jeder zu schnellen Ladung. Im Extremfall kommt es zum Kurzschluss. „Leider ist es nicht einfach zu sagen, was ‚zu schnell‘



„Insbesondere für Porsche spielen hohe Ladeleistungen eine große Rolle.“

Dr. Stefanie Edelberg,
Entwicklungsingenieurin

genau bedeutet“, sagt Sauer. „An Möglichkeiten, dies im Labor und dann vor allem im Fahrzeug selbst zu erkennen, wird allerorten intensiv geforscht.“

↓

C=10

würde bedeuten, dass man eine Batterie in etwa sechs Minuten aufladen kann. Heute liegt der Wert bestenfalls bei C = 4.

Auch weitere technologische Hürden warten auf die Entwickler: Die Ladestecker, Ladekabel und die fahrzeugseitige Infrastruktur müssen ebenfalls für die hohen Ströme ausgelegt sein. Dabei gilt „Ampere macht schwer“. Soll heißen: Hohe Ströme bedeuten dicke Kabel und damit Gewicht. Das kann jedoch durch eine höhere Spannung des Batteriesystems ausgeglichen werden. Darum wurde der Taycan bei Porsche mit einer Systemspannung von 800 Volt anstatt der bei Elektroautos üblichen 400 Volt ausgestattet.

Um die Ladezeiten von E-Fahrzeugen mit unterschiedlichen Batteriekapazitäten vergleichen zu können, bietet sich die C-Rate an (C steht für „Capacity“, Kapazität). Sie gibt das Verhältnis aus dem Lade- oder Entladestrom einer elektrochemischen Zelle in Ampere (A) zur Kapazität der Zelle in Amperestunden (Ah) an. Ein Wert von 1 bedeutet, dass das komplette Nachladen eine Stunde dauert. 2 steht für eine halbe Stunde, 3 für 20 Minuten.

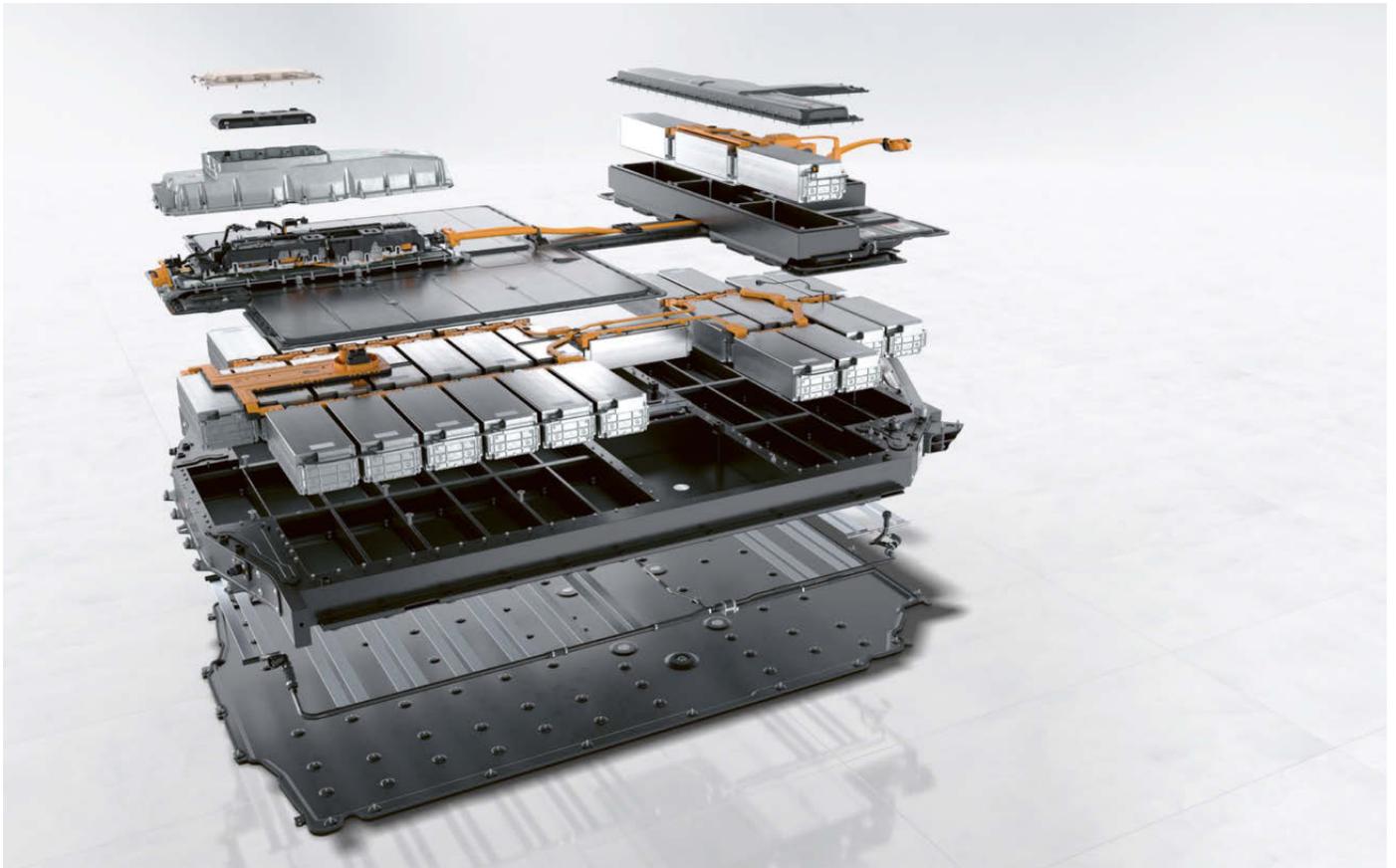
Die Entwickler streben eine C-Rate von 10 an, also etwa sechs Minuten Ladezeit – ähnlich wie beim Tanken. Davon ist man heute noch weit entfernt. Doch



Dr. Stefanie Edelberg arbeitet als Entwicklungsingenieurin bei Porsche Engineering in der Abteilung Elektro- und Hybridfahrzeug Konzepte und Package. Das Team beschäftigt sich mit der Konzeption, dem Packaging und der Entwicklung von HV-Batterien.

Prof. Dirk Uwe Sauer ist Professor am Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik der RWTH Aachen. Zusammen mit Prof. Martin Winter ist er seit 2009 wissenschaftlicher Leiter der Konferenz „Kraftwerk Batterie“.

Prof. Dr. Stefano Passerini ist Direktor der Forschungsgruppe Elektrochemie der Batterien am Helmholtz-Institut Ulm (HIU). Sein Team beschäftigt sich mit Energiespeichern sowie dem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, Umwelt und Ökonomie.



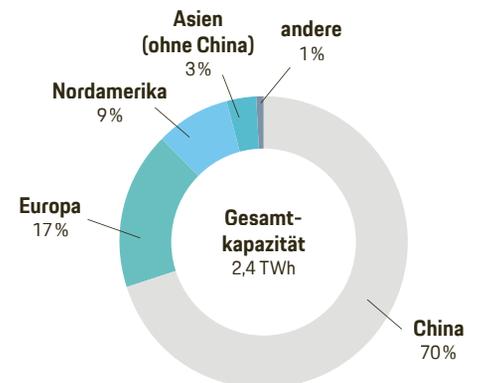
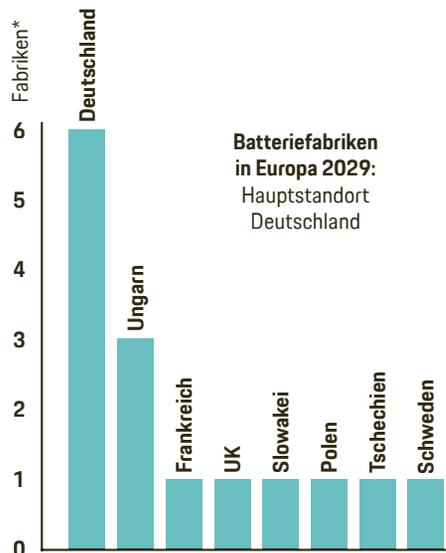
Energiebündel: Moderne Lithium-Ionen-Batterien könnten im Jahr 2030 bis zu 1.000 Wh/l speichern.

Produktionskapazitäten von Lithium-Ionen-Batterien

Auch wenn China mit weitem Abstand die größten Produktionskapazitäten für Lithium-Ionen-Batterien behalten wird – Europa und vor allem Deutschland holen auf. Ende des Jahrzehnts sollen dort Fabriken mit 413,5 GWh beziehungsweise 173 GWh jährlicher Kapazität zur Verfügung stehen.

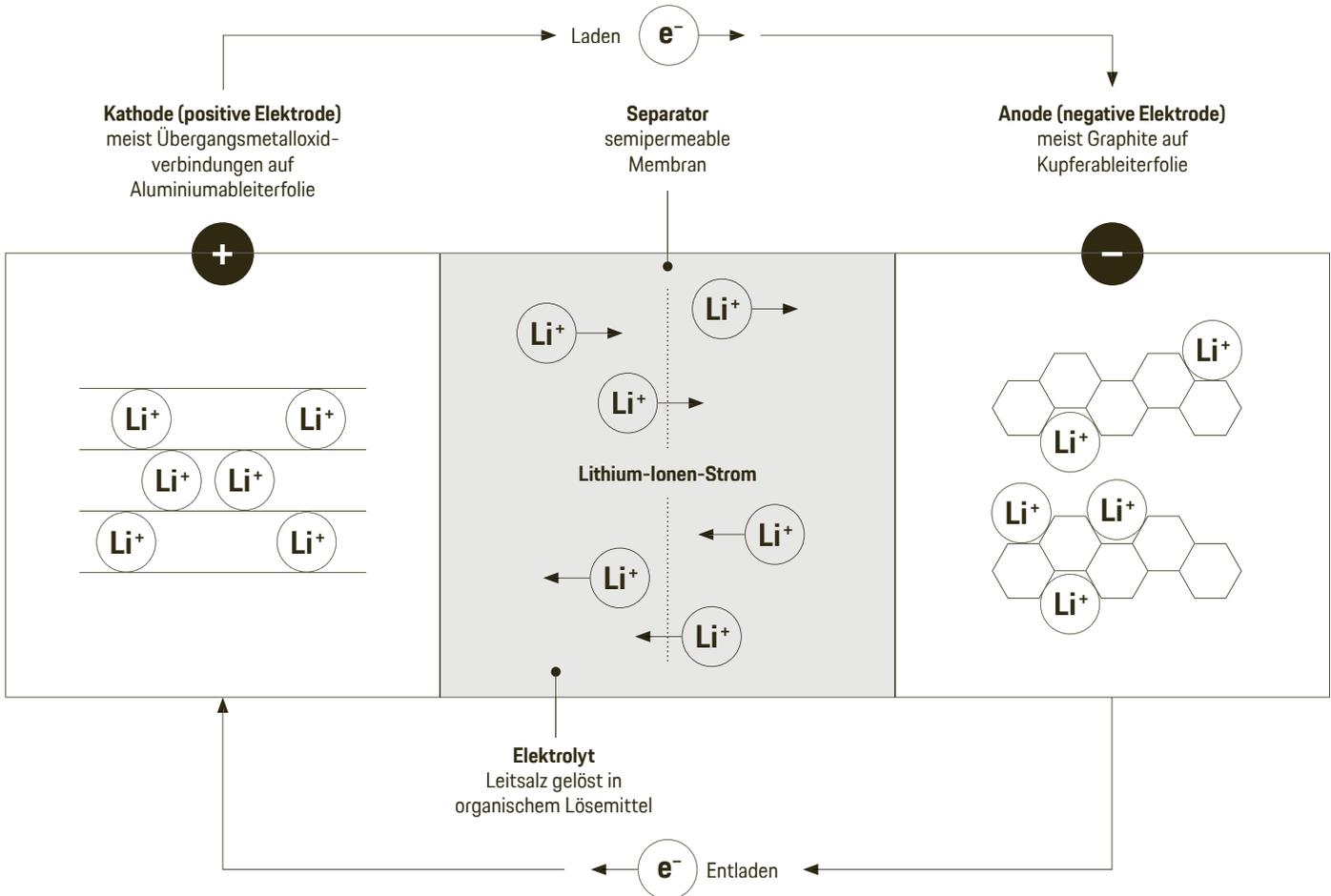


Nach einer Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung befinden sich Anfang 2020 weltweit über 7,5 Millionen E-Fahrzeuge auf den Straßen. Ihr Anteil an den globalen Autverkäufen wird je nach Marktstudie ab 2030 auf 25 bis 75 Prozent geschätzt. Dadurch dürfte die globale Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien stark ansteigen: von 500 GWh bis 1.500 GWh um 2025 auf 1.000 GWh bis 6.000 GWh im Jahr 2030. Ein Bedarf, der laut Fraunhofer-Forscher wohl gedeckt werden kann – vor allem durch Anbieter aus Asien, die derzeit rund 80 Prozent des Marktes beherrschen. Aber andere Weltregionen wollen bis Ende des Jahrzehnts ebenfalls massiv in neue Batteriefabriken investieren.



*Fabriken mit mehr als 5 GWh Produktionskapazität pro Jahr Quelle: Benchmark Mineral Intelligence

Laden und Entladen einer Lithium-Ionen-Batterie



In **Lithium-Ionen-Batterien** sind die negative Elektrode (meist aus Graphit) und die positive Elektrode (meist aus Übergangsmetallschichtoxiden) durch einen Separator getrennt. Positiv geladene Lithium-Ionen können in beide Richtungen frei durch ihn hindurch wandern. Beim Entladen fließen Elektronen von der **Anode** über den äußeren Stromkreis zur **Kathode**, gleichzeitig wandern positive geladene Lithium-Ionen durch den Separator ebenfalls dort hin und migrieren in die Kathodenstruktur. Beim Laden treibt eine von außen angelegte Spannung die Lithium-Ionen wieder in Richtung der negativen Elektrode. Lithium eignet sich besonders gut für

Batterien, weil das leichteste Metall des Periodensystems besonders gern eines seiner drei Elektronen abgibt. Zugleich führt ihre hohe **Reaktivität** aber auch dazu, dass die Lithium-Atome leicht chemische Bindungen eingehen. Um das zu verhindern, müssen sie in der Batterie vor Luft oder Wasser geschützt werden.

Die theoretische spezifische Kapazität von Lithiummetall beträgt

3.862

mAh/mg.

Li_1C_6

Beim Ladevorgang kann das Aktivmaterial Graphit bis zu ein Lithium-Atom auf sechs Kohlenstoff-Atome aufnehmen.

im Forschungsprojekt „FastCharge“ arbeiten unter anderem Siemens, Phoenix Contact E-Mobility und Porsche daran, die Energieversorgung von Elektrofahrzeugen zu verbessern. Das Industriekonsortium hat bereits große Fortschritte erzielt. Ein Porsche-Forschungsfahrzeug mit einer Batteriekapazität von circa 90 kWh erreichte eine Ladeleistung von 400 kW und ermöglichte damit Ladezeiten von weniger als drei Minuten für die ersten 100 Kilometer Reichweite. Ein kompletter Ladevorgang von 10 auf 80 Prozent an der Ultra-Schnellladestation dauerte 15 Minuten. C-Raten von 4 bis 5 sind also machbar. „Entscheidend war ein innovatives Kühlsystem der Batterie, des Fahrzeugs und des Ladesystems“, erklärt Edelberg.

Fortschritte in puncto Schnellladen und Sicherheit soll die Feststoffbatterie bringen. Bei ihr wird statt der Elektrolytflüssigkeit ein Polymer oder Keramik verwendet. Da keine Flüssigkeit mehr eingesetzt wird, werden die Batterien kompakter, wodurch sich ihre Energiedichte deutlich steigern lässt. Gleichzeitig sind die Zellen weniger entflammbar. „Wir erwarten, dass Festkörper-Lithium-Ionen-Batterien die Sicherheitsprobleme verringern, da Festkörperelektrolyte weniger anfällig für Feuer sind“, sagt Passerini. Theoretisch könnte also auch schneller geladen werden. „Die praktische Machbarkeit muss aber noch nachgewiesen werden“, schränkt Passerini ein.

Leichte Alternative: Lithium-Schwefel

Basis wird aber auch hier Lithium bleiben – wie auch bei einer weiteren Variante, an der derzeit intensiv geforscht wird: Lithium-Schwefel-Akkus. Bei ihnen besteht die Kathode aus einem Schwefel-Geflecht, das die gängige Gitterstruktur aus Kobalt, Mangan und Nickel komplett ersetzt. Dadurch sind die Akkus deutlich leichter als herkömmliche Energiespeicher. Aber momentan auch deutlich teurer, weswegen sie eher für künftige Flugtaxi eine Option sein könnten. Als problematisch gilt noch ihre Dauerhaltbarkeit.

Weitere Technologien zur Erhöhung der Energiedichte, die aktuell erforscht werden und bereits jetzt oder in den kommenden Jahren auf den Markt kommen könnten, sind Elektrodenmaterialien aus Silizium-Kohlenstoff-Kompositen, Nickel-reiche Kathodenmaterialien oder Hochvoltmaterialien, die etwa fünf Volt Zellspannung ermöglichen. „Forschungen auf diesen Gebieten sind schon näher an der Praxis“, sagt Sauer. Viele andere Ansätze hingegen bewegen



„Wir erwarten, dass Festkörper-Lithium-Ionen-Batterien die Sicherheitsprobleme verringern, da Festkörperelektrolyte weniger anfällig für Feuer sind.“

Prof. Dr. Stefano Passerini



400 kW

Ladeleistung erreichte ein Porsche-Forschungsfahrzeug. In 15 Minuten war ein kompletter Ladevorgang abgeschlossen.

5 Volt

Zellspannung erreichen Hochvoltmaterialien, an denen praxisnah geforscht wird.

107 Euro

kosteten 2019 Lithium-Ionen-Batterien pro kWh Speicherkapazität.

sich noch im Bereich der Grundlagenforschung, wie etwa Natrium-Ionen anstelle von Lithium-Ionen oder Metall-Sauerstoff-Kombinationen.

Sauer sieht bei allen Entwicklungen eine entscheidende Frage: die Kosten. „Letztlich ist die Reichweite eines Fahrzeuges nicht durch das Gewicht einer Batterie begrenzt, sondern durch ihren Preis.“ Zwar sind laut den Beratern von Horváth & Partners die Preise für Lithium-Ionen-Batterien pro kWh von 400 Euro im Jahr 2013 auf 107 Euro im Jahr 2019 gefallen, doch der Preisrückgang wird sich angesichts steigender Nachfrage so nicht fortsetzen. Was vor allem an den Rohstoffen liegt: „Der Rohmaterialeinkauf macht bis zu 75 Prozent der Kosten einer Batterie aus“, weiß Sauer.

Fest steht: Auch in der nächsten Dekade werden Lithium-Ionen-Akkus mit all ihren Weiterentwicklungen die dominierende Technologie bleiben. „Die Fortschritte werden evolutionär und nicht revolutionär sein“, sagt Sauer. „Ich erwarte keine großen Sprünge, da bereits heute die Grenzen der Naturgesetze ausgelotet werden.“ Was nicht schlecht sein muss: „Die Eigenschaften dieser Technologie sind zu gut, als dass sie durch etwas grundlegend anderes ersetzt werden müsste. Elektromobilität funktioniert mit dem, was Batterien heute hergeben, und dem Weiterentwicklungspotenzial der kommenden Jahre schon sehr gut“, unterstreicht Sauer. ◀

→ ZUSAMMENGEFASST

Schon heute bieten Lithium-Ionen-Batterien hohe Reichweiten und kurze Ladezeiten für elektrisch angetriebene Fahrzeuge. Aber die Entwicklung bleibt nicht stehen, sodass neue Technologien wie Feststoffbatterien oder neue Elektrodenmaterialien in Zukunft die Energiedichte weiter steigern und die Ladezeiten nochmals verkürzen könnten.

Die Datenreligion

Querdenken ist der Ursprung von Porsche Engineering. Ohne unkonventionelle Idee gibt es keine Innovationen – und keinen verantwortlichen Umgang mit neuen Technologien. Darum denken wir gerne quer und lassen uns regelmäßig von außen inspirieren. Zum Beispiel von Yuval Noah Harari. Der israelische Historiker und Bestsellerautor ist einer der gefragtesten Denker der Gegenwart. Sein Buch „Homo Deus“ beschäftigt sich mit der Frage nach der Zukunft der Menschheit. Im folgenden Auszug daraus geht es um die neue „Datenreligion“, die Tiere, Menschen und Gesellschaften lediglich als verschiedene Formen der Datenverarbeitung betrachtet.

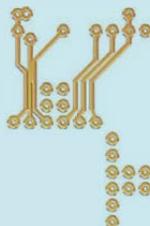
GASTAUTOR



Yuval Noah Harari ist ein israelischer Bestsellerautor und einer der bekanntesten Historiker weltweit. Der wiedergegebene Auszug stammt aus seinem Buch „Homo Deus“ (Verlag C. H. Beck). Ebenfalls von Harari sind erschienen: „21 Lektionen für das 21. Jahrhundert“ und „Fürsten im Fadenkreuz“.

D

em Dataismus zufolge besteht das Universum aus Datenströmen, und der Wert jedes Phänomens oder jedes Wesens bemisst sich nach seinem bzw. ihrem Beitrag zur Datenverarbeitung. Das mag manchem als exzentrische Außenseitermeinung erscheinen, doch in Wirklichkeit hat sie bereits einen Großteil des wissenschaftlichen Establishments erobert. Entstanden ist der Dataismus aus dem rapiden Zusammenfluss zweier wissenschaftlicher Flutwellen. In den 150 Jahren seit der Veröffentlichung von Charles Darwins Schrift *Über den Ursprung der Arten* haben die Biowissenschaften Organismen zunehmend als biochemische Algorithmen betrachtet. Gleichzeitig haben Computerwissenschaftler in den acht Jahrzehnten seit Alan Turings Erfindung der nach ihm benannten Maschine gelernt, immer ausgeklügeltere elektronische Algorithmen zu entwickeln. Der Dataismus bringt die beiden Entwicklungen zusammen und verweist darauf, dass für die biochemischen wie für die elektronischen Algorithmen genau die gleichen mathematischen Gesetze gelten. Damit reißt der Dataismus die Grenze zwischen Tieren und Maschinen ein und geht davon aus, dass elektronische Algorithmen irgendwann biochemische Algorithmen entschlüsseln und hinter sich lassen werden.



Für Politiker, Unternehmer und ganz gewöhnliche Konsumenten hat der Dataismus grundstürzende Technologien und ungeheure neue Möglichkeiten im Angebot. Für viele Wissenschaftler und Intellektuelle verspricht er zudem den Heiligen Gral zu liefern, der uns seit Jahrhunderten versagt bleibt: eine einzige übergreifende Theorie, die alle wissenschaftlichen Disziplinen von der Musikwissenschaft über die Ökonomie bis zur Biologie vereint. Glaubt man dem Dataismus, so sind Beethovens Fünfte Symphonie, König Lear und das Grippevirus nur drei Muster des Datenstroms, die sich mit den gleichen Grundbegriffen und Instrumenten analysieren lassen. Diese Vorstellung ist ungeheuer attraktiv. Sie verschafft allen Wissenschaftlern eine gemeinsame Sprache, überbrückt akademische Gräben und erleichtert den Export von Erkenntnissen über Fächergrenzen hinweg. Musikwissenschaftler, Ökonomen und Zellbiologen können sich endlich gegenseitig verstehen.

Im Zuge dessen kehrt der Dataismus die traditionelle Erkenntnispyramide um. Bislang galten Daten lediglich als der erste Schritt in einer langen Kette geistiger Aktivität. Man ging davon aus, dass Menschen aus Daten Informationen gewannen, Informati-

onen in Wissen verwandelten und Wissen in Klugheit. Dataisten dagegen glauben, dass Menschen die ungeheuren Datenströme nicht mehr bewältigen können und deshalb Daten nicht mehr zu Informationen und schon gar nicht mehr zu Wissen oder Klugheit destillieren können. Die Arbeit der Datenverarbeitung sollte man deshalb elektronischen Algorithmen anvertrauen, deren Kapazitäten die des menschlichen Gehirns weit übertreffen. Dataisten sind also, was menschliches Wissen und menschliche Klugheit angeht, skeptisch und vertrauen lieber auf Big Data und Computeralgorithmen.

Am festesten verankert ist der Dataismus in seinen beiden Mutterdisziplinen: der Computerwissenschaft und der Biologie. Die wichtigere von beiden ist die Biologie. Es war schließlich die biologische Übernahme des Dataismus, die aus einem begrenzten Durchbruch in der Computerwissenschaft eine welterschütternde Umwälzung machte, die womöglich die Natur des Lebens vollkommen verändert. Vielleicht lehnen Sie die Vorstellung ab, dass Organismen Algorithmen sind und Giraffen, Tomaten und Menschen nur unterschiedliche Methoden der Datenverarbeitung. Aber Sie sollten wissen, dass das gängige wissenschaftliche Lehre ist und unsere Welt gerade bis zur Unkenntlichkeit verändert.

Nicht nur individuelle Organismen gelten heute als Datenverarbeitungssysteme, sondern auch ganze Gesellschaften wie Bienenvölker, Bakterienkolonien, Wälder und menschliche Städte. Auch die Wirtschaft interpretieren Ökonomen zunehmend als Datenverarbeitungssystem. Laien glauben, die Wirtschaft bestehe aus Bauern, die Weizen anbauen, Arbeitern, die Kleidungsstücke herstellen, und Kunden, die Brot und Unterhosen kaufen. Experten betrachten die Ökonomie jedoch als einen Mechanismus, um Daten über Wünsche und Fähigkeiten zu sammeln und diese Daten in Entscheidungen zu verwandeln. [...]

Die Sapiens entwickelten sich vor Zehntausenden von Jahren in der afrikanischen Savanne, und ihre Algorithmen sind schlicht und einfach nicht dafür gemacht, die Datenströme des 21. Jahrhunderts zu bewältigen. Wir könnten deshalb versuchen, das menschliche Datenverarbeitungssystem zu optimieren, aber das reicht womöglich nicht aus. Das „Internet aller Dinge“ könnte schon bald derart riesige und schnelle Datenströme



erzeugen, dass selbst optimierte menschliche Algorithmen damit überfordert sind. Als das Auto die Pferdekutsche ersetzte, haben wir die Pferde nicht optimiert – wir haben sie in den Ruhestand geschickt. Vielleicht ist es Zeit, das Gleiche mit *Homo sapiens* zu tun.

Der Dataismus nimmt gegenüber der Menschheit eine streng funktionale Haltung ein und misst den Wert menschlicher Erfahrungen allein nach ihrer Funktion in Datenverarbeitungsmechanismen. Wenn wir

„Der Dataismus verweist darauf, dass für die biochemischen wie für die elektronischen Algorithmen genau die gleichen mathematischen Gesetze gelten.“

einen Algorithmus entwickeln, der die gleiche Funktion besser erfüllt, werden menschliche Erfahrungen ihren Wert verlieren. Wenn wir also nicht nur Taxifahrer und Ärzte, sondern auch Anwälte, Dichter und Musiker durch überlegene Computerprogramme ersetzen können, warum sollte es uns kümmern, dass diese Programme über kein Bewusstsein und keine subjektiven Erfahrungen verfügen? Wenn manche Humanisten nun die Ehrwürdigkeit menschlicher Erfahrung preisen, würden Dataisten das als sentimentalen Humbug abtun. „Die Erfahrung, die Sie da in den Himmel loben, ist nichts weiter als ein veralteter biochemischer Algorithmus. Vor 70.000 Jahren in der afrikanischen Savanne war dieser Algorithmus modern. Selbst im 20. Jahrhundert war er für die Armee und für die Wirtschaft noch zu gebrauchen. Aber schon bald werden wir über viel bessere Algorithmen verfügen.“ [...]

Die dataistische Revolution wird vermutlich ein paar Jahrzehnte, wenn nicht sogar ein oder zwei Jahrhunderte dauern. Aber auch die humanistische Revolution vollzog sich damals nicht über Nacht. [...]

Algorithmus mit Weitblick

Text: Constantin Gillies Mitwirkende: Björn Pehnert, David Kuhn, Ondrej Holub

Nur wenn Batterien optimal temperiert sind, lassen sie sich mit der maximalen Leistung aufladen. Das vorausschauende Thermomanagement von Porsche Engineering sagt den Fahrverlauf voraus und stellt so sicher, dass sich die Energiespeicher an der Ladesäule im bestmöglichen Temperaturbereich befinden.



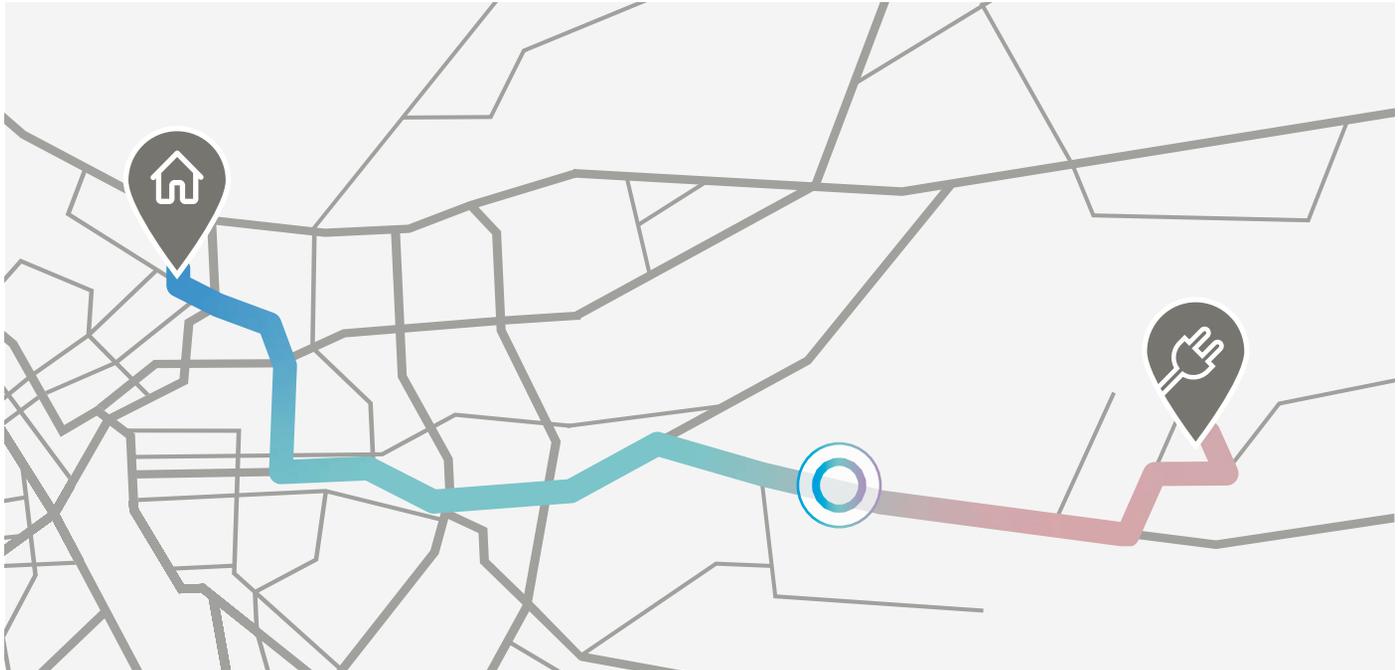
Büro

Der Fahrer macht sich auf den Heimweg. Die Batterie ist beim Start noch kalt, erwärmt sich aber allmählich.



Autobahn

Die Batterie hat sich erwärmt. Das Thermomanagement setzt ein und kühlt sie fürs spätere Aufladen herunter.



Kürzere Batterie-Ladezeiten und höhere Reichweiten: Das verspricht das vorausschauende Thermomanagement, das Porsche Engineering im vergangenen Jahr als Konzeptstudie entwickelt hat. Die Technologie sorgt dafür, dass Batterien für den Stopp an der Ladesäule optimal temperiert sind und das Schnellladen nur wenige Minuten dauert. Die Temperatur spielt dafür eine Schlüsselrolle: Sind die Zellen zu kalt oder zu heiß, sinkt die Ladeleistung. Dieses Phänomen könnte dank des prädiktiven Thermomanagements jedoch bald der Vergangenheit angehören: Eine Software im Auto soll den kommenden Fahrtverlauf voraussagen und alle thermischen Komponenten so steuern, dass die Batterie optimal temperiert ist. Durch diesen Blick in die Zukunft wird zudem unnötiges Aufheizen oder Abkühlen verhindert, was Energie spart und die Reichweite erhöht.

Diese Vorhersage unterscheidet das neue System vom herkömmlichen Thermomanagement, wie es derzeit in Fahrzeugen realisiert ist. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei heute um einen Regelkreis, der die Motortemperatur immer in einem sicheren Korridor hält. Das funktioniert aber meist rein reaktiv: Wird das Antriebsaggregat zu heiß, öffnet sich zum Beispiel die Kühlerjalousie, um die Temperatur zu senken. Bei Verbrennern funktioniert diese Ad-hoc-Regelung recht gut, da sich ein Motorblock in wenigen Minuten abkühlen lässt. Die bis zu 700 Kilogramm schweren Batterien in E-Fahrzeugen sind allerdings thermisch deutlich träger. „Bei ihnen lässt sich die Temperatur nur sehr langsam

Aufwärmen des Energiespeichers:

Beim Start ist die Batterie sehr kalt. Bis zur Ankunft an der Ladesäule hat das Thermomanagement sie durch Aufheizen in den optimalen Temperaturbereich gebracht.

regulieren“, erläutert Björn Pehnert, Fachprojektleiter Thermomanagement bei Porsche Engineering.

Um die große Batterie in E-Fahrzeugen rechtzeitig auf die richtige Temperatur fürs Laden zu bringen, muss die Fahrzeugsteuerung mögliche Belastungen früher erkennen. „Es wird unerlässlich, weiter in die Zukunft zu schauen“, fasst Pehnert zusammen. Genau diese Herausforderung haben die Ingenieure angenommen und ein vorausschauendes Thermomanagement entwickelt, das die Batterietemperaturen der kommenden Fahrt vorhersagt. Merkt das Prognoseprogramm zum Beispiel, dass der Fahrer eine Schnellladesäule ansteu-



„Um die Batterie auf die richtige Temperatur fürs Laden zu bringen, muss die Fahrzeugsteuerung weiter als bisher in die Zukunft schauen.“

Björn Pehnert, Fachprojektleiter Thermomanagement

ert, aktiviert das System mit dem nötigen Vorlauf die Kühl- oder Heizsysteme an Bord, sodass die Batterie bei Ankunft die perfekte Temperatur für einen schnellen Ladevorgang hat. Für solche komplexen Berechnungen in Echtzeit waren bis vor Kurzem noch leistungsstarke Großrechner nötig. Durch clevere Optimierung läuft die Software dagegen auf einem normalen Steuergerät.

Simulation des gesamten Fahrzeugs

Damit die Fahrzeugsteuerung entscheiden kann, wann kühlend oder heizend einzugreifen ist, muss sie zunächst wissen, wie die verschiedenen Komponenten zusammenspielen. Werden die Zellen zum Beispiel gekühlt, steigt der Stromverbrauch, was wiederum Reichweite kostet. Deshalb bildet eine Simulation des gesamten Fahrzeugs die Basis des Thermomanagements: In ihr wird alles – von der Batterie über Antrieb und Kühlung bis zur Klimaanlage – mittels Modellen nachgebildet. Dieser digitale Zwilling verhält sich genau wie ein echtes Fahrzeug. Wird zum Beispiel die Heizung aufgedreht, lässt sich an der Simulation genau ablesen, wie das den Ladezustand der Batterie beeinflussen wird.



700 Kilogramm

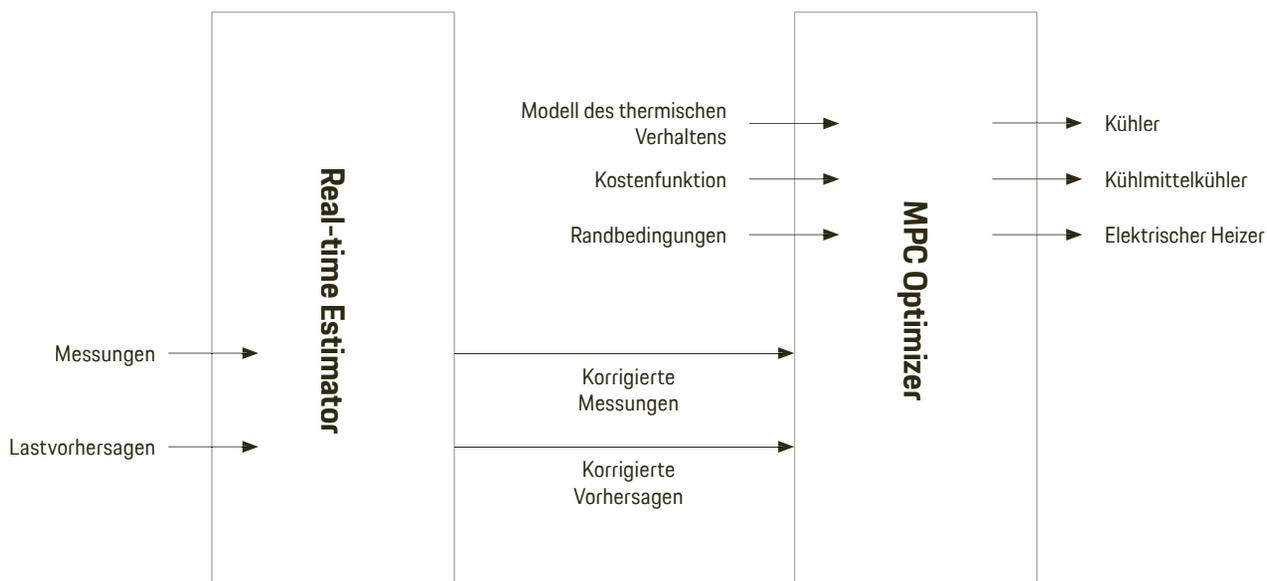
kann eine Batterie im Fahrzeug wiegen. Die Energiespeicher sind thermisch träge und lassen sich nur langsam temperieren.

Das im Rechner nachgebaute Auto liefert jedoch nur einen Soll-Zustand. In der Realität beeinflussen viele weitere und oft nicht direkt messbare Faktoren das Verhalten eines Fahrzeugs: der Fahrstil, die Zuladung, die Straßenoberfläche, sogar Verschmutzungen an der Karosserie oder die Farbe der Lackierung (bei schwarzen Modellen heizt sich der Innenraum stärker auf). Deshalb sorgt ein spezielles Software-Modul (Real-time Estimator, RTE) dafür, dass auch diese thermischen Einflüsse berücksichtigt werden. Es vergleicht das tatsächliche Verhalten des Fahrzeugs mit der Simulation und passt das Modell so schrittweise an die Realität an.

Um in die Zukunft blicken zu können, muss das Fahrzeug natürlich wissen, wohin die Reise gehen wird. Doch kaum jemand gibt jedes Ziel ins Navigationsgerät ein. Deshalb kann der Fahrer seinem Auto auch einfach erlauben, die Fahrten zu „lernen“. Es verfolgt dann per GPS die Routen und identifiziert von selbst häufig gefahrene Strecken. Aufgrund dieser Erfahrungswerte kann das System später bereits kurz nach dem Start die vor ihm liegende Fahrt erkennen und intern eine Karte der kommenden Strecke erstellen. Zum Beispiel

Blick in die Zukunft

Der Real-time Estimator (RTE) sagt voraus, welche thermische Last das Fahrzeug in Zukunft (zum Beispiel in 40 Minuten) erzeugen wird. Dazu kombiniert er den aktuellen Zustand des Fahrzeugs, von außen gelieferte Lastvorhersagen und das Modell des Fahrzeugverhaltens. Der MPC Optimizer (Model Predictive Control) steuert das Heiz- und Kühlsystem, wobei er neben den Berechnungen des RTE auch Anforderungen an Komfort und Effizienz berücksichtigt (ausgedrückt durch die Kostenfunktion und die Randbedingungen).



„fünf Kilometer Stadtverkehr gefolgt von 20 Kilometern Autobahn mit 120 km/h“.

Kern des vorausschauenden Thermomanagements ist der Optimizer. Er nimmt die Daten des simulierten Fahrzeugs plus die Routeninformationen und berechnet daraus die optimale thermische Reaktion des Autos. Wann muss die Wärmepumpe aktiviert werden, um die Batterie vorzuheizen? Wann empfiehlt es sich, sie mithilfe von Kühler oder der Klimaanlage auf eine niedrigere Temperatur zu bringen?

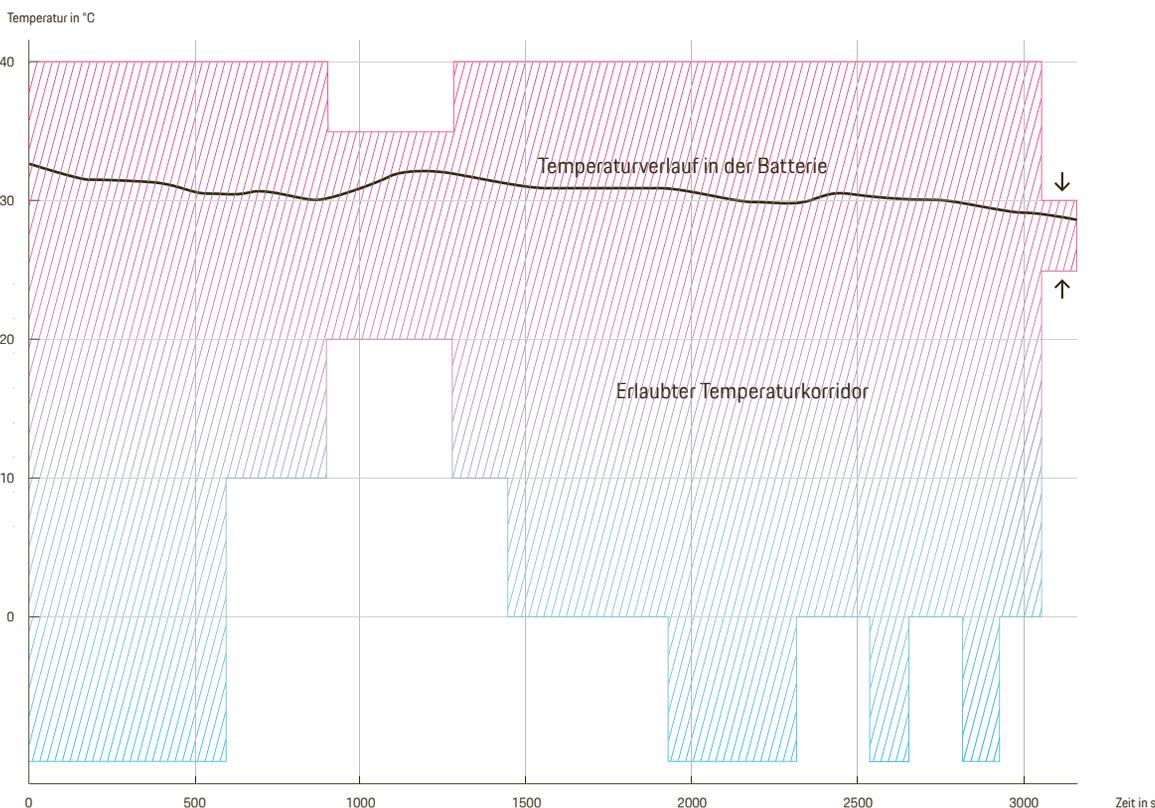
Welches Ziel dabei verfolgt wird, legt die sogenannte Kostenfunktion fest. Standardmäßig versucht der Algorithmus, sowohl die Ladezeit als auch den Energieverbrauch zu minimieren. Theoretisch könnte die Priorität jedoch auch auf Leistung gelegt werden: Das Thermomanagement würde in diesem Fall die Batterie

schon vor dem Erreichen einer Autobahnauffahrt vorheizen, damit schneller beschleunigt werden kann. Das Besondere am Optimizer ist, dass er seine Prognose alle paar Sekunden neu berechnet und an die Realität anpasst. Zieht sich der Fahrer zum Beispiel die Jacke aus und schaltet die Heizung herunter, würde der Algorithmus das bemerken und die Auswirkungen in seiner nächsten Prognose berücksichtigen.

Der ständige Blick in die Zukunft bringt etliche Vorteile: Wird ein E-Auto beispielsweise überwiegend für kurze Innenstadtfahrten genutzt, lernt das Steuergerät dieses Muster und kann die Batterietemperatur über den normalen Korridor hinaus – aber dennoch im sicheren Bereich – ansteigen lassen. Denn es weiß, dass die Fahrt ohnehin bald zu Ende sein wird und das Fahrzeug sich beim Parken dann von selbst abkühlt. So würde keine Energie für eine überflüssige

Genau im optimalen Temperaturbereich

Die schwarze Kurve zeigt, wie sich die Temperatur der Batterie im Lauf der Zeit entwickelt. Bei der Ankunft an der Ladesäule ist sie dank des prädiktiven Thermomanagements genau im optimalen Bereich, der zwischen 25 und 30 °C liegt. So kann die Batterie mit der maximalen Leistung in nur wenigen Minuten aufgeladen werden.



Immer im Korridor:
Auch während der Fahrt muss die Batterie in einem bestimmten Temperaturbereich sein. Er hängt vor allem davon ab, ob das Fahrzeug auf der Autobahn, über Land oder in der Stadt unterwegs ist.

„Wir haben das Beste aus der akademischen und automobilen Welt zusammengebracht.“

Prof. Michal Kvasnica,
Technische Universität Prag

Kühlung verschwendet werden. Vorausschauendes Thermomanagement kann dadurch nicht nur das Laden verkürzen, sondern auch die Reichweite des Fahrzeugs verbessern. „10 bis 30 Prozent Energieeinsparung sind theoretisch möglich“, sagt Ondrej Holub, der ein Team der Softwareentwicklung bei Porsche Engineering in Prag leitet.

Rechenintensive Methode fürs Steuergerät

Mathematisch handelt es sich bei der Temperatursteuerung um eine modellbasierte prädiktive Regelung (Model Predictive Control, MPC). Sie kommt überall dort zum Einsatz, wo viele Faktoren auf ein System einwirken und kommende Ereignisse berücksichtigt werden müssen. Die Ölindustrie nutzt MPC zum Beispiel, um Raffinerien zu steuern. Allerdings hat die Methode auch einen Nachteil: Sie ist sehr rechenintensiv. „Traditionell laufen solche Optimierungen auf extrem leistungsfähigen Computern“, erklärt Professor Michal Kvasnica von der Tschechischen Technischen Universität Prag, der mit seinem Team den Kern des Prognose-Codes entwickelt hat.

Die größte Herausforderung für die Mathematiker bestand darin, das hochkomplexe Optimierungsprogramm so zu verändern, dass das Steuergerät eines normalen Autos die Berechnungen stemmen kann. Dafür waren einige Kniffe nötig, weil dort in der Regel weniger Rechenleistung als in einem Smartphone zur Verfügung steht. Darum arbeitet das Programm

beispielsweise mit Look-up-Tables, in denen diskrete Werte stehen, etwa über den Zusammenhang zwischen Temperatur und Batteriewiderstand. Das spart Rechenzeit. „Zudem mussten wir ein robustes System schaffen, das niemals versagt“, ergänzt Professor Kvasnica. „Alle paar Sekunden eine komplett neue Prognose zu erstellen bedeutet bei durchschnittlicher Fahrleistung mehrere Hunderttausend Vorhersagen pro Jahr – und jede muss stimmen.“

Die Entwicklung der Prognose-Software stellte Schritt eins dar. Der zweite bestand darin, die neue Technologie erlebbar zu machen und in einem Prototyp zu implementieren. „Wir mussten eine Lösung finden, die mit existierenden Steuergeräten funktioniert, ohne weitere Unterstützung durch einen Zulieferer“, sagt David Kuhn, Entwicklung Gesamtfahrzeug Thermomanagement bei Porsche Engineering. Der Code wurde zunächst an die Fahrzeugarchitektur angepasst, danach in einem Demonstrator-Fahrzeug vom Typ Porsche Taycan getestet und kalibriert. Dabei wählten die Entwickler realitätsnahe Fahrten aus, also zum Beispiel durch die Stadt, über Landstraßen oder die Autobahn, inklusive Stau. Es wäre sinnlos, ein solches System auf einer Teststrecke zu erproben. Denn dort geschieht nur wenig Unvorhersehbares, was in einer Prognose berücksichtigt werden müsste. Nach sechs Monaten war die Umsetzung geschafft. Spürt der Fahrer etwas vom Eingreifen der Software? „Nein, und genau das ist das Ziel“, so Kuhn. „Es geht darum, die Erwartungen des Kunden zu jedem Zeitpunkt zu erfüllen.“

Mittlerweile ist das Projekt abgeschlossen. Die Konzeptstudie hat gezeigt, dass das prädiktive Thermomanagement ein hohes Potenzial für die Serienentwicklung hat und in Zukunft in ein Kundenfahrzeug eingebaut werden kann. Wobei „eingebaut“ eigentlich das falsche Wort ist. Denn es handelt sich um eine typische Innovation des 21. Jahrhunderts, die nur aus Code besteht, nicht aus Hardware – allein ein Algorithmus bringt hier den Fortschritt, in diesem Fall bis zu 30 Prozent weniger Energieverbrauch. Das Fazit von Mathematiker Kvasnica: „Wir haben das Beste aus der akademischen und automobilen Welt zusammengebracht.“

Durch prädiktive Optimierung sind

10 bis 30 %

Energieeinsparung im Thermomanagement möglich.

→ ZUSAMMENGEFASST

Was bisher nur auf Großrechnern möglich war, lässt sich jetzt auch mit einem Steuergerät realisieren: Eine Software, die während der Fahrt in die Zukunft blickt und die Batterie in einem E-Fahrzeug pünktlich zur Ankunft an der Ladesäule optimal temperiert. Testfahrten belegen, dass die Lösung großes Potenzial für die Serienentwicklung hat.

Permanenter Gesundheitscheck

Text: Christian Buck Mitwirkende: Jiří Valtr, Dr. Joachim Schaper

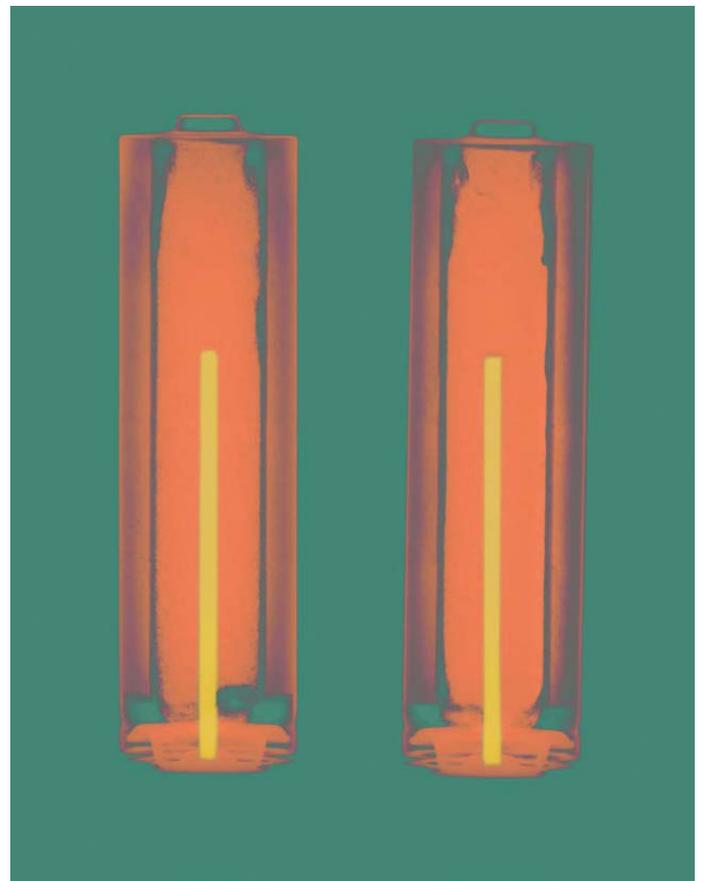
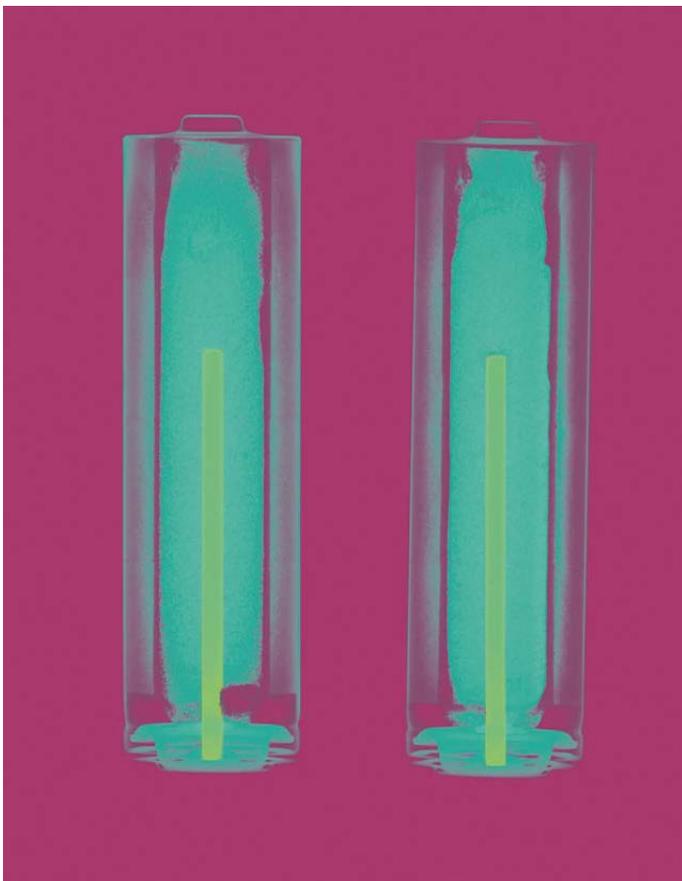
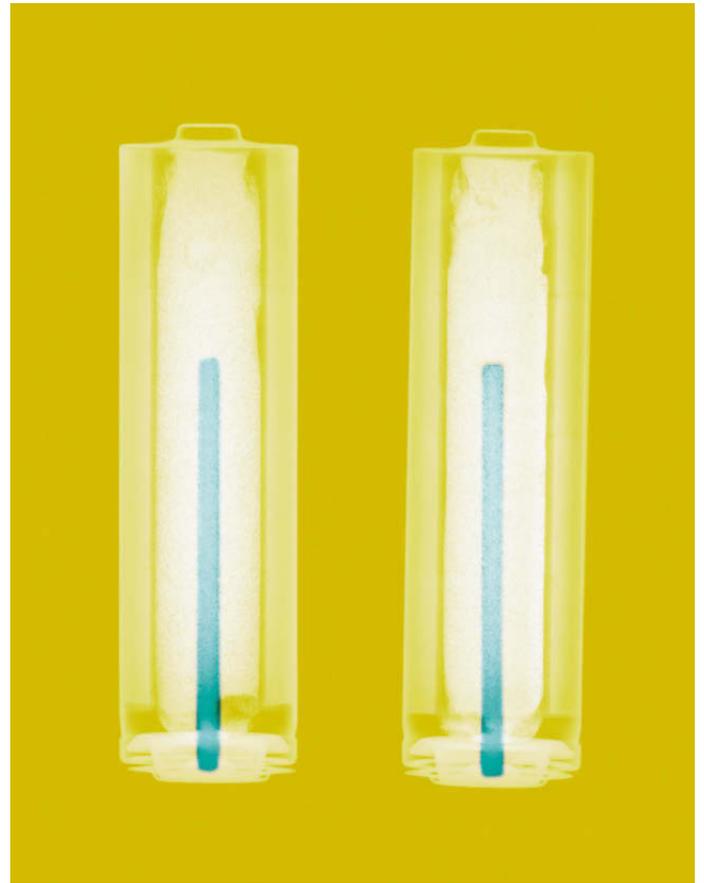
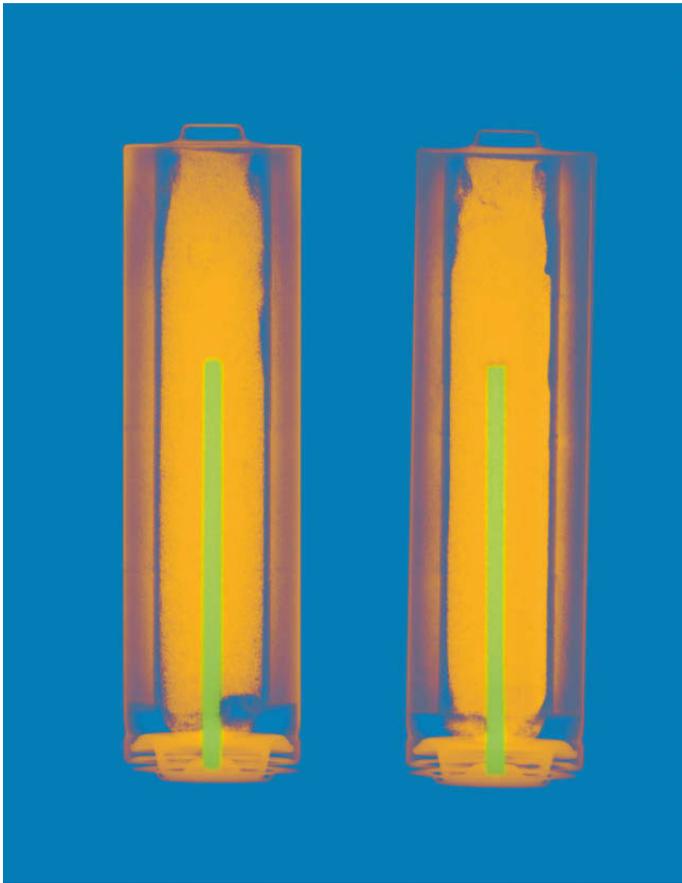
Porsche Engineering hat eine neue Methode entwickelt, den aktuellen Innenwiderstand von Fahrzeugbatterien zu bestimmen. Von dem KI-basierten Ansatz profitieren Fahrer und OEMs gleichermaßen.

Wegen ihrer hohen Energie- und Leistungsdichte sind Lithium-Ionen-Batterien derzeit erste Wahl als Energiespeicher für Elektrofahrzeuge. Allerdings verändern sich ihre Eigenschaften im Laufe eines Fahrzeuglebens: Durch Alterung verringern sich die Speicherkapazität und die maximal abrufbare Leistung. Diese Effekte kennt man auch aus anderen Anwendungen, zum Beispiel in Smartphones oder Notebooks. Sie sind Folge der chemischen Prozesse in den Batterien und prinzipiell nicht zu vermeiden (siehe den Kasten zur Alterung von Batterien auf Seite 51).

Für die Fahrer von Elektrofahrzeugen ist der aktuelle Zustand der Batterie eine wichtige Information. „Mit seiner Hilfe lässt sich die verbleibende Reichweite bei

einem bestimmten Ladestand sehr präzise abschätzen“, erklärt Dr. Joachim Schaper, KI-Experte bei Porsche Engineering. „Aber auch die Fahrzeughersteller können aus der Alterung der Batterien wichtige Informationen ableiten, zum Beispiel die maximal abrufbare Leistung oder technische Auffälligkeiten, die einen Werkstattbesuch nötig machen.“ Gesucht ist darum eine Methode, die möglichst zuverlässig Auskunft über den Zustand einer Batterie gibt.

Der wichtigste Indikator dafür ist ihr Innenwiderstand. Er steigt wegen der irreversiblen Veränderungen innerhalb des Energiespeichers während der Lebensdauer kontinuierlich an, weswegen der aktuelle Wert ein guter Gradmesser für den „Gesundheitszustand“ der



Blicke ins Innenleben: Röntgenstrahlen zeigen, was in Batterien steckt. KI findet heraus, wie es den Energiespeichern geht.

Batterie ist. Allerdings lässt er sich nicht direkt bestimmen und muss aus verschiedenen Messwerten berechnet werden. Dafür kommen in den Batterien Sensoren zum Einsatz, die in kurzen Abständen regelmäßig die Stromstärke, die Spannung einzelner Batteriezellen und die Temperatur von Zellgruppen ermitteln.

Ihre Messwerte werden genutzt, um mithilfe einer elektrischen Ersatzschaltung den aktuellen Zustand der Batterie zu berechnen. Das Verhalten des Energiespeichers wird dabei durch den Innenwiderstand und die Batteriekapazität sowie zwei Kombinationen von Widerständen und Kondensatoren (RC-Glieder) modelliert. „Während der Fahrt ändert sich der Stromverbrauch immer wieder, etwa wenn der Fahrer aufs Gaspedal tritt. Das führt zu Sprüngen bei den gemessenen Werten von Strom und Spannung. Aus diesen

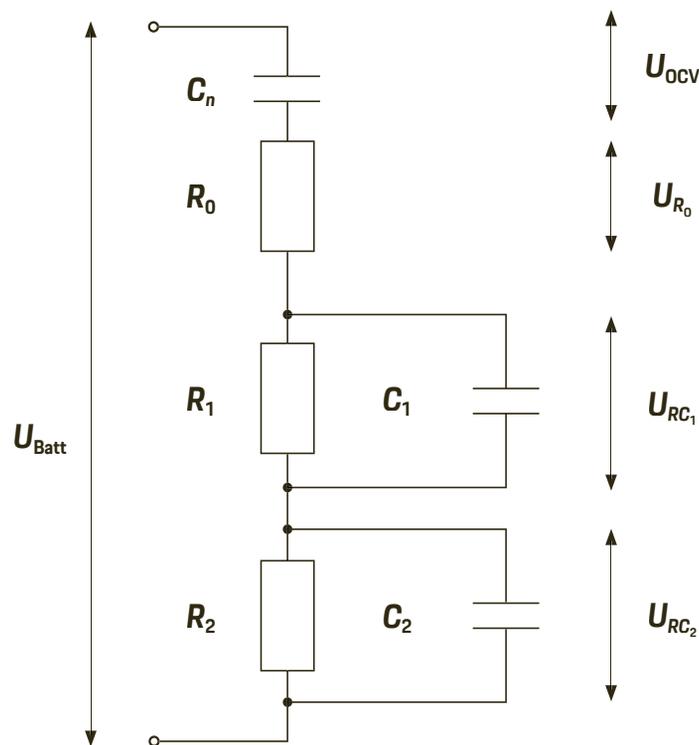


„Wir wollten das herkömmliche Modell durch einen fortschrittlicheren Ansatz zur Bestimmung des Innenwiderstandes ersetzen.“

Jiří Valtr,
Porsche Engineering Prag

Ersatzschaltbild der Batterie

Reale Batterien lassen sich als Kombination einer idealen Spannungsquelle mit Widerständen (R) und Kondensatoren (C) modellieren. So kann man ihr Verhalten unter statischer und dynamischer Belastung beschreiben – etwa den Spannungsrückgang bei Stromanstieg.



C_n repräsentiert die Kapazität der Batterie, R_0 ihren Innenwiderstand. U_{Batt} ist die an den Anschlüssen gemessene Spannung, U_{OCV} gibt die Spannung ohne Belastung (Open Circuit Voltage, OCV) an, U_{R_0} den Spannungsabfall am Innenwiderstand. U_{RC_1} und U_{RC_2} hängen vom Verlauf des Stromflusses ab (mit verschiedenen Zeitskalen).

Sprünge können wir den Innenwiderstand der Batterie berechnen“, erklärt Jiří Valtr von Porsche Engineering Prag. „Dabei gilt: Je höher die Spannungssprünge aufgrund eines gegebenen Stromsprungs sind, desto höher ist der Innenwiderstand.“

Die konventionelle Methode hat allerdings einige Nachteile: Die Werte der Widerstände und Kondensatoren im Ersatzschaltbild sind keine Konstanten, sondern hängen von der Temperatur und vom Ladezustand der Batterie (State of Charge, SoC) ab. Und selbst wenn man all diese Einflüsse berücksichtigt, repräsentiert das Modell den wirklichen Zustand der Batterie immer noch nicht präzise genug. „Ursachen dafür sind unter anderem Nichtlinearitäten bei niedrigen Temperaturen. Dann verhält sich die Batterie nicht wie ein herkömmlicher elektrischer Widerstand“, erklärt Valtr. „Darum wollten wir das herkömmliche Modell durch einen fortschrittlicheren Ansatz zur Bestimmung des Innenwiderstandes ersetzen.“ Er gehört zu einem Team, das seit 2012 bei Porsche Engineering Prag die Batterie-Management-Software entwickelt. So konnten die Experten ihre Arbeit auf profunde Kenntnisse und jahrelange Erfahrungen aus der Entwicklung von Seriensoftware stützen, die vom gesamten VW-Konzern genutzt wird.

Dabei setzen die Entwickler auf Künstliche Intelligenz (KI). Zuerst messen sie den Innenwiderstand der Batterie unter bestimmten Randbedingungen auf dem Prüfstand. Zusätzlich wird während realer Fahrten mit maschinellem Lernen ein Korrekturfaktor ermittelt, der die Berechnung des Innenwiderstandes der Batterie deutlich präziser macht, indem unter anderem äußere Einflüsse wie Temperatur und Ladezustand berücksichtigt werden. Die Daten für die Berechnung des Korrekturfaktors stammen aus verschiedenen Quellen.

Alterungsprozesse in Batterien

Bei der **Alterung von Batterien** überlagern sich zwei Effekte: die **kalendrische** und die **zyklische** Alterung. Die kalendarische Alterung hängt nicht von der Nutzung ab und beschränkt die mögliche Lebensdauer des Energiespeichers grundsätzlich – auch ohne Belastung. Sie hängt vor allem vom Ladezustand (State of Charge, SoC) und der Lagertemperatur ab.

Je höher die Batterie aufgeladen ist, desto schneller nimmt ihre Kapazität ab. **Hohe Temperaturen** beschleunigen die kalendarische Alterung ebenfalls. Hier gilt: Eine Erhöhung der Temperatur um 10 Kelvin verdoppelt ungefähr die Alterungsgeschwindigkeit ihrer elektrochemischen Komponenten.

Beim Betrieb von Batterien wird die kalendarische Alterung zusätzlich von der zyklischen Alterung überlagert.

Dabei spielt die **Entladungstiefe** (Depth of Discharge, DoD) eine wichtige Rolle. Sie gibt das Verhältnis von genutzter Energie zur Gesamtbatte-rieenergie an. Ein DoD von 80 Prozent bedeutet beispielsweise, dass nur 80 Prozent der Gesamtenergie genutzt werden. Je höher der DoD, desto schneller altert die Batterie. Dabei müssen auch die Ladezustandsgrenzen betrachtet werden. Ein DoD von 80 Prozent kann durch eine Ladung von 20 Prozent SoC auf 100 Prozent SoC erzielt werden. Aber auch eine Ladung von 10 Prozent auf 90 Prozent SoC ergibt einen DoD von 80 Prozent. Generell führt ein höherer SoC zu einer stärkeren zyklischen Alterung.

Auch die **Stromraten (C-Raten)** haben einen großen Einfluss auf die zyklische Alterung. Grundsätzlich beschleunigen hohe C-Raten und damit

hohe Ströme die zyklische Alterung, wobei sich hohe Ladeströme deutlich schneller auf die zyklische Alterung auswirken als hohe Entladeströme.

Beim **Schnellladen** mit hohen Strömen können ungewollte chemische Nebenreaktionen in den Batteriezellen in Gang gesetzt werden: Metallisches Lithium kann sich auf der Anodenoberfläche absetzen (Lithium-Plating). Das metallische Lithium reagiert mit dem Elektrolyten und bildet neue Deckschichten aus, wodurch weitere Lithium-Ionen verbraucht werden. Somit stehen weniger Lithium-Ionen für die Energiespeicherung zur Verfügung, was zu einem irreversiblen Kapazitätsverlust führt. Um solche Nebenreaktionen zu vermeiden, werden spezielle **Schnellladeprofile** entwickelt, die auf die jeweilige Batteriezelle exakt angepasst sind.



DoD

Die Entladungstiefe (Depth of Discharge) gibt das Verhältnis von genutzter Energie zur Gesamtbatte-rieenergie an.



10 Kelvin

Temperaturerhöhung verdoppeln ungefähr die kalendarische Alterung von Batterien.

Eine davon sind Langzeit-Prüfstandmessungen des Innenwiderstandes unter verschiedenen Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Fahrzyklus und Ladeverhalten. Weiteren wertvollen Input liefern unter anderem Daten einer Testfahrzeugflotte. „In all diesen Daten sind auch Einflüsse enthalten, die wir bisher nicht berücksichtigen konnten“, sagt Valtr. „Dazu gehören unter anderem die Außentemperatur, die Zahl der bereits durchgeführten Lade- und Entladezyklen sowie der Fahrstil.“

Genauere Prognosen zur Restreichweite

Das neue Verfahren liefert Fahrzeugbesitzern genauere Prognosen über die Restreichweite, wobei das System mit der Zeit immer mehr dazulernt und beispielsweise auch den persönlichen Fahrstil des Besitzers zunehmend besser berücksichtigen kann. Außerdem ermöglicht es eine Lade-strategie, die an den Gesundheitszustand der Batterie angepasst ist: Falls der Energiespeicher bereits deutliche Alterungserscheinungen zeigen sollte, kann man ihn mit besonders sachtem Aufladen schonen. Das neue Verfahren ist auf die begrenzte Rechenkapazität der Steuergeräte in Fahrzeugen zugeschnitten und zum Patent angemeldet.



KI

kann auch Einflüsse wie Temperatur oder Fahrstil berücksichtigen, die bisher nicht in die Berechnung des Innenwiderstandes eingegangen sind.

Noch umfassendere Informationen über den Gesundheitszustand der Batterie lassen sich durch Auswertungen in der Cloud gewinnen, weil hier die Rechenkapazität praktisch unbegrenzt ist. Fahrzeughersteller können dort beispielsweise Temperaturverläufe in den Batterien auswerten und daraus den Zustand ganzer Fahrzeugflotten ableiten. „Aus diesen Analysen können die OEMs neue Zusammenhänge erkennen“, so Schaper. „Interessant ist unter anderem die Frage, welche Faktoren die Alterung einer Batterie bestimmen. Das kann die Fahrweise des Kunden sein, aber auch an Problemen der Ladesoftware oder am Zell-Lieferanten liegen.“ Ziel ist es letztlich, mit den Datenanalysen künftige E-Fahrzeuge weiter zu verbessern.

Der neue Ansatz zur Berechnung des Innenwiderstandes von Batterien ist bereits weit fortgeschritten. Die Entwickler können mithilfe des maschinellen Lernens aus Prüfstanddaten, aus Daten von Testfahrzeugen sowie aus den Protokolldateien von Kundenfahrzeugen bereits Modelle für den Alterungsprozess erstellen. Die Cloud-Lösung ist derzeit in Arbeit. Kunden dürften in etwa zwei Jahren von der neuen Reichweitenberechnung profitieren, die dann schrittweise in diverse Fahrzeugmodelle integriert werden soll.



Senkrechtstarter: Firmengründer Mate Rimac an der Öffnung einer Autoklave, in der sein Unternehmen Komponenten aus Verbundfaserwerkstoffen herstellt.



Verrückt nach Autos

Mate Rimac ist seit seiner Kindheit mit dem PS-Virus infiziert. Heute leitet er Rimac Automobili, den einzigen Automobilhersteller in seiner Heimat Kroatien.

Unter Strom

Text: Christian Buck Fotos: Alexander Babic

Mate Rimac baut in Kroatien elektrisch angetriebene Supersportwagen und hat sich als Zulieferer von zuverlässigen und leistungsstarken Batteriesystemen für OEMs etabliert. Auch Porsche hat in Rimac Automobili investiert und arbeitet mit dem Unternehmen im Bereich der Batterietechnologie zusammen.

S

ein Lebensweg war bereits früh vorgezeichnet. „Ich war schon immer verrückt nach Autos, noch bevor ich laufen oder sprechen konnte“, erinnert sich Mate Rimac. „Ich weiß nicht, woher das kommt. Mit meiner Familie hat es jedenfalls nichts zu tun.“ Aber ganz egal, wann und wie der 32-Jährige mit dem PS-Virus infiziert wurde, seit seiner Kindheit drehte sich bei ihm fast alles um Autos. Inzwischen hat Mate Rimac seine Leidenschaft zum Beruf gemacht: Seit 2009 leitet er Rimac Automobili, den einzigen Automobilhersteller seines Heimatlandes Kroatien mit Sitz in Sveta Nedelja nahe der Hauptstadt Zagreb. Porsche ist seit 2018 an dem Unternehmen beteiligt.

Rimacs Spezialität sind elektrisch angetriebene Supersportwagen, von denen zwei Exemplare in der Empfangshalle des Unternehmens stehen. Sie gehören zu den nur acht Stück des ersten Modells „Concept_One“, das mehr als 1.200 PS Leistung, 1.600 Nm

Drehmoment und eine Beschleunigung von 0 auf 100 km/h in 2,5 Sekunden aufweist. Seine Höchstgeschwindigkeit liegt bei 355 km/h. Auf dem Genfer Auto-Salon 2018 präsentierte Rimac Automobili den Nachfolger „C_Two“, der mit vier Elektromotoren – einem pro Rad – mehr als 1.900 PS und 2.300 Nm auf die Straße bringt. Mit Rennreifen schafft er den Sprint von 0 auf 100 km/h in weniger als zwei Sekunden. Bei maximal 412 km/h bleibt die Tachonadel dank der elektronischen Abregelung stehen. 150 Stück des zwei Millionen Euro teuren Elektro-Sportwagens will das Unternehmen bauen.

Die Prototypen Nummer vier und fünf des C_Two stehen in der Werkstatt, wo sich Rimac-Techniker gerade an ihrer Elektronik zu schaffen machen. Im Gang lagert das schwarze, 198 Kilogramm leichte Carbon-Monocoque für ein weiteres Exemplar, nur wenige Schritte von den beiden großen Autoklaven entfernt.

In den zylinderförmigen Öfen stellt das Unternehmen alle Komponenten aus Verbundfaserwerkstoffen bei Temperaturen von bis zu 350 °C selbst her. Schräg gegenüber sind Rimac-Mitarbeiterinnen gerade dabei, in Handarbeit CFK-Matten Lage für Lage in Formen aufeinanderzuschichten. Rund 2.000 Stunden Arbeit stecken in jedem Auto.

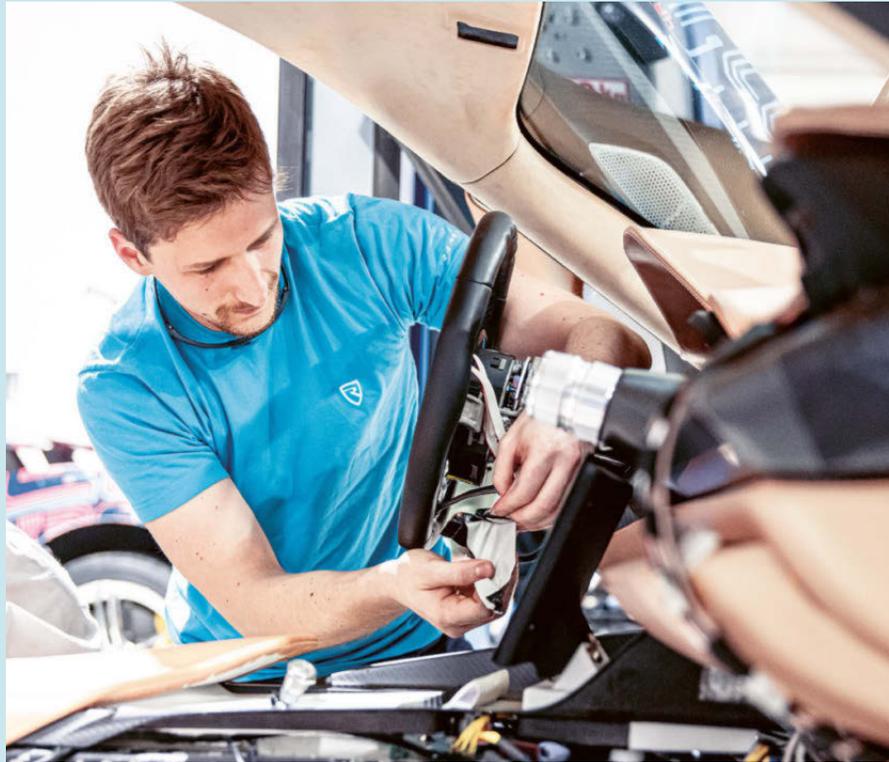
Mit Handarbeit zum Erfolg

Am Anfang der Rimac-Erfolgsstory stand ebenfalls eine Menge Handarbeit. Als 18-Jähriger kaufte sich der junge PS-Liebhaber einen 3er BMW, der 1984 vom Band gerollt und somit vier Jahre älter war als er. Doch schon beim zweiten Drifting-Rennen platzte der bereits in die Jahre gekommene Motor durch die Überlastung. So kam der passionierte Elektronik-Bastler auf die Idee, es mit einem elektrischen Antriebsstrang zu versuchen. Mit dem E-Motor aus einem Gabelstapler und alten Batterien trat er wieder an und erntete zuerst nur Spott. „Kann ich mit deinem Auto mein Handy laden?“, lautete nur eine der ironischen Fragen von damals.

Aber Rimac war ausdauernd und zeigte es schließlich den Skeptikern. Nach vielen Umbauten schlug er mit seinem elektrifizierten BMW die Konkurrenten mit Verbrennungsmotor und stellte mit dem Oldtimer 2011 gleich fünf FIA-Beschleunigungsweltrekorde auf. Kein Wunder: Dank technischer Verbesserungen hatte das Auto mittlerweile 600 PS Leistung, 900 Nm Drehmoment und konnte in 3,3 Sekunden von 0 auf 100 km/h beschleunigen. Die extremen Leistungswerte in Kombination mit der grünen Lackfarbe brachten dem BMW den Spitznamen „Grünes Monster“ ein. Beim Rundgang über das Firmengelände sucht man ihn allerdings vergebens. „Der BMW muss restauriert werden, weil ein Freund damit vor einigen Jahren gegen eine Wand gefahren und das Auto darum stark beschädigt ist“, sagt Rimac.

Ebenfalls stark mitgenommen ist ein Batteriesystem, das in einer Vitrine auf dem Firmengelände ausgestellt ist. Es musste bei einem Test zwei Minuten im Feuer überstehen und beweisen, dass es auch dieser Extrembelastung standhält. Solche zuverlässigen und leistungsfähigen elektrischen Energiespeicher und ihre Elektronik sind eine Spezialität von Rimac Automobili. Sie werden ebenfalls selbst entwickelt und produziert, einige Kilometer vom Hauptsitz in Sveta Nedelja entfernt und sorgfältig abgeschirmt von neugierigen Blicken. Denn dort entstehen nicht nur Bauteile für den eigenen Bedarf.

„Wir machen 80 Prozent unseres Umsatzes mit dem Verkauf von Komponenten“, erklärt Rimac. „Unsere eigenen Autos sind dafür die besten Aushängeschilder und die perfekte Spielwiese für neue Technologien.“ Zum Zulieferer wurde er aus der Not heraus. Nach seiner Gründung stand das junge Unternehmen



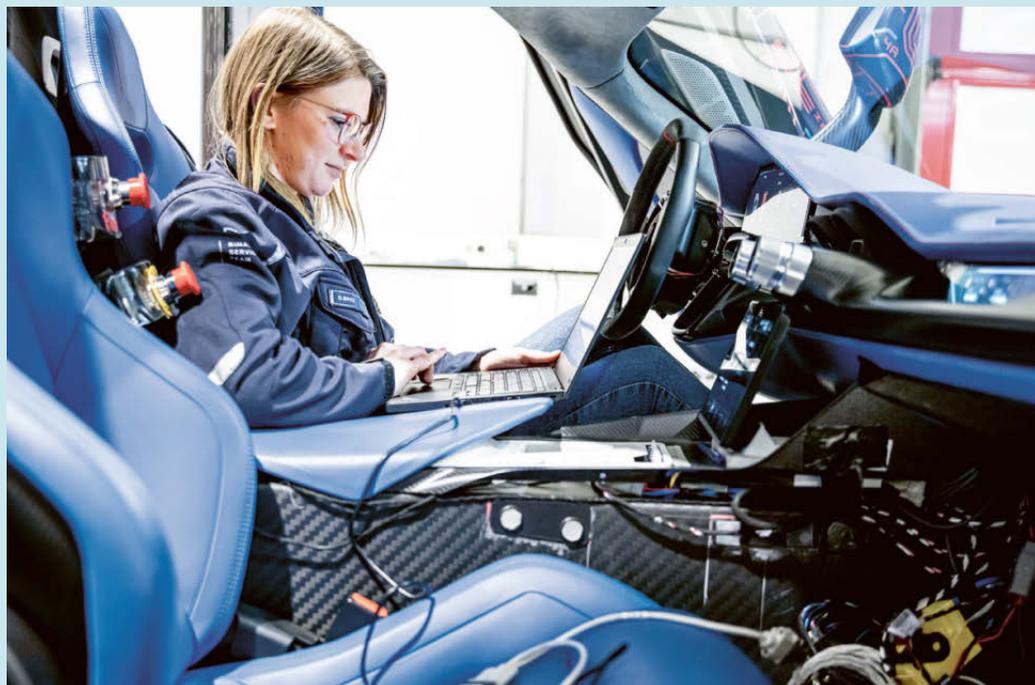


Firmensitz



Sveta Nedelja

ist eine Kleinstadt mit rund 18.000 Einwohnern, die etwa 17 Kilometer vom Stadtzentrum der kroatischen Hauptstadt Zagreb entfernt liegt.



Schmiede elektrischer Supersportwagen:

Derzeit bauen und testen die Mitarbeiter von Rimac Automobili die Prototypen des neuen Modells C_Two, dessen Monocoque aus Carbon besteht und nur 198 Kilogramm wiegt. Alle Komponenten stellt das Unternehmen selbst her, einen großen Teil davon in aufwendiger Handarbeit. Im Showroom können Besucher die Rennwagen und High-End-E-Bikes der Rimac-Schwestermarke „Greyp“ besichtigen.

„Wir wissen, wie man viel Leistung auf wenig Raum unterbringen kann.“

Mate Rimac

Rimac Automobili hat

650

Mitarbeiter.

Die Porsche AG hält

15,5%

der Rimac-Anteile.



Erfolgreicher Unternehmer: Nur wenigen ist es in den letzten Jahrzehnten gelungen, einen neuen Automobilhersteller zu etablieren. Mate Rimac ist einer davon – dank seiner Erfahrungen als Komponentenlieferant. Seine eigenen Produkte wie der C_Two (unten ein Windkanalmodell) dienen ihm als Aushängeschilder.



ständig vor dem finanziellen Aus. „Uns wurde der Strom abgeschaltet, und ich wusste nicht, wie ich die Löhne bezahlen sollte“, erinnert sich Rimac. „In dieser Zeit bin ich schnell erwachsen geworden.“ Kurz bevor seine letzten Reserven erschöpft waren, fuhr er 2011 nach Frankfurt am Main auf die Internationale Automobilausstellung (IAA), um sein erstes eigenes Auto vorzustellen – und kam mit seinem ersten Auftrag als Zulieferer zurück. Ein Kunde wollte ein Elektroauto bauen und bat Rimac um Unterstützung. „Das war mein Weg, zu überleben und meine damals sechs Mitarbeiter zu bezahlen, denn nun waren sofort Umsätze da.“ Danach wurden es immer mehr Projekte, darunter ganze elektrische Antriebssysteme und Prototypen für Zulieferer und Technologieunternehmen.

Für Mate Rimac war der Schwenk zum Komponentenlieferanten aber nicht nur die Rettung aus einer akuten finanziellen Notlage: „Ohne diese Erfahrungen mit Kunden wären wir wahrscheinlich in die falsche Richtung gelaufen, hätten das Geld von Investoren einfach verbrannt und wären heute wohl tot. Stattdessen haben wir ein Team und Kompetenzen aufgebaut und uns einen Namen als zuverlässige Technologiefirma gemacht.“ So schaffte Rimac ein höchst seltenes Kunststück: Er gründete einen erfolgreichen neuen Automobilhersteller, der inzwischen rund 650 Mitarbeiter beschäftigt.

Seine Expertise auf dem Gebiet elektrischer Antriebe hat nicht nur Kunden aus aller Welt, sondern auch Investoren nach Kroatien gelockt. So hat Porsche beispielsweise seinen Anteil nach dem Einstieg im Jahr 2018 mittlerweile auf 15,5 Prozent erhöht. „Uns war schnell klar, dass Porsche und Rimac viel voneinander lernen können“, sagt Lutz Meschke, stellvertretender Vorstandsvorsitzender und Vorstand Finanzen und IT der Porsche AG. „Wir sind von Mate Rimac und seiner Firma überzeugt, deshalb haben wir jetzt unsere Anteile erhöht und bauen unsere Zusammenarbeit im Bereich der Batterietechnologie aus.“

Dass batterieelektrischen Antrieben die Zukunft gehört, steht für Mate Rimac fest: „Brennstoffzellen sind keine Alternative, weil man für die Produktion von Wasserstoff sehr viel Energie braucht. Sie bieten höchstens in wenigen Nischen Vorteile, etwa für Busse oder Lkws.“ Für die etablierten OEMs und Zulieferer sieht er durch den neuen Antrieb keine Gefahr heraufziehen: „Früher hat man Verbrennungsmotoren in die Autos eingebaut, in Zukunft werden es eben E-Motoren sein. Das macht zunächst keinen großen Unterschied.“

Ein wesentlich größerer Umbruch komme durch das veränderte Nutzerverhalten auf die Branche zu. „Für junge Menschen ist das Auto kein Statussymbol



Rimac

Meilensteine einer Erfolgsgeschichte

1988

Mate Rimac

kommt in Livno im ehemaligen Jugoslawien zur Welt.

2009

Rimac Automobili

wird gegründet. Zuvor hatte Mate Rimac einen BMW E30 (Baujahr 1984) zu einem E-Fahrzeug umgebaut. Er heißt „Grünes Monster“.

2011

Rekordjahr und Concept_One

Das „Grüne Monster“ stellt am 17. April fünf Weltrekorde auf, unter anderem über einen Kilometer (23,26 Sekunden) und eine Meile (35,35 Sekunden). Auf der IAA wird das erste Modell Concept_One vorgestellt.

2018

C_Two

Auf dem Genfer Auto-Salon präsentiert Rimac Automobili den Supersportwagen C_Two.

mehr, sondern bloßes Mittel zum Zweck. Und warum sollten sie monatelang fahren lernen, wenn autonome Fahrzeuge bald viel sicherer und effizienter unterwegs sein werden? Heute verursachen Unfälle noch mehr als eine Million Tote weltweit und große volkswirtschaftliche Schäden – unter anderem, weil Menschen nur mit ‚zwei schlechten Kameras‘ ausgestattet sind. Autonome Fahrzeuge haben nicht nur bessere Kameras, sondern auch Radar- und Lidar-Sensoren. Darum wird der Computer der bessere Fahrer sein.“

In der Mobilitätswelt der Zukunft sind Privatautos etwas für Liebhaber

In Rimacs Zukunftsvision werden darum die meisten Menschen in autonomen und vorwiegend elektrisch betriebenen Fahrzeugen von Carsharing- oder Ride-Hailing-Anbietern unterwegs sein. „Natürlich wird es auch dann noch Autos im Privatbesitz geben, aber sie werden so sein wie Pferde heute: etwas für Liebhaber. Autos sind die Rennpferde von morgen.“ Kunden der Automobilindustrie wären in der neuen Mobilitätswelt dann keine Privatpersonen mehr, sondern Flottenbetreiber mit ganz klaren Anforderungen an die Fahrzeuge – gewonnen aus den riesigen Datenmengen, die beim täglichen Betrieb anfallen. Sie werden unter anderem Informationen über die Nutzungsgewohnheiten oder das Verhalten der Passagiere während der Fahrt liefern, woraus sich wiederum die geforderten Reichweiten oder Ausstattungsmerkmale ableiten lassen.

Sein eigenes Unternehmen sieht Rimac gut aufgestellt für die Zukunft. „Wir wissen, wie man viel Leistung auf wenig Raum unterbringen kann. Darum kommen alle zu uns, die ein E-Fahrzeug oder einen Hybriden mit hoher Performance bauen wollen. Wir können aber auch elektrischen Fahrspaß in den Massenmarkt bringen.“ Mit dem autonomen Fahren befassen sich die Ingenieure in Kroatien ebenfalls, wenn auch für eine sehr spezielle Nische: Der modifizierte C_Two wird einen computergestützten „Driver Coach“ enthalten, der seinem Besitzer dabei helfen soll, bei 300 km/h auf der Rennstrecke ein besserer Fahrer zu werden. „Fahrspaß und autonomes Fahren verbinden“, nennt Mate Rimac das. ◀

➔ ZUSAMMENGEFASST

Rimac Automobili ist ein etablierter Hersteller von elektrisch angetriebenen Supersportwagen und Zulieferer von leistungsstarken Batteriesystemen für OEMs weltweit. Gründer Mate Rimac stellte mit einem auf E-Antrieb umgerüsteten BMW diverse Weltrekorde auf und glaubt, dass in Zukunft die meisten Menschen in autonomen E-Autos unterwegs sein werden.



Von der Boxengasse ins Autohaus

Technische Innovationen aus dem Rennsport fließen bei Porsche seit jeher in die Serienentwicklung ein. Das gilt jetzt auch für die Formel E, in der seit letztem Jahr das TAG Heuer Porsche Formel-E-Team startet.

Text: Constantin Gillies

Mitwirkende: Christian Wiedenbrügge, Martin Füchtner



Das Ambiente erinnert an ein Raumschiff: weiße Wände, klinisch sauberer Boden, helles Neonlicht. Orangefarbene Kabel schlängeln sich zu einer Maschine in der Mitte des Raumes. Die Warnfarbe hat ihren Grund: Die Leitungen führen 800 Volt Spannung. Denn hier im Hochvoltverbundprüfstand im Porsche Entwicklungszentrum Weissach werden Elektromotoren getestet. Aktuell steht ein ganz besonderes Exemplar auf dem Prüfstand: der Motor des Porsche 99X Electric. Er treibt den Rennwagen an, mit dem Porsche seit letztem Jahr in der Formel E startet. Die E-Maschine beschleunigt den schwarz-weiß-roten Rennwagen in nur 2,8 Sekunden von 0 auf 100 km/h.

Auf dem Prüfstand wollen die Ingenieure den Wirkungsgrad des Antriebs weiter optimieren. Dafür muss er zahllose Runden auf einer virtuellen Rennstrecke drehen, wobei er den gleichen Beschleunigungs- und Bremsvorgängen wie im realen Betrieb ausgesetzt wird. Die Tests sollen jedoch nicht nur dabei helfen, den Rennwagen aufs Podium zu bringen. Porsche will langfristig auch möglichst viele Innovationen aus dem Rennsport in Serienfahrzeugen einsetzen. „Wir haben den Auftrag, Rennen zu gewinnen. Aber es geht auch immer darum, den Weg zur Serie zu ebnen“, erklärt Martin Füchtner, Leiter Entwicklung Hochvoltantriebe, Motorsport.

Die E-Mobilität als Ganzes voranbringen – dieses Ziel verfolgen auch die Veranstalter der Formel E. Die Rennserie soll kein isoliertes Technikreservat sein, sondern auch ein Ansporn für Serieninnovationen. Deshalb gelten hier völlig andere Gesetze als bei den Verbrennern. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass die Rennställe größtenteils identische Fahrzeuge verwenden müssen. Die Formel E stellt das Fahrzeugchassis und die Einheitsbatterie. Sämtliche Antriebskomponenten sind dagegen Eigenentwicklungen. Dazu gehören Elektromotor, Umrichter, Brake-by-Wire-System, Getriebe, Differenzial, Antriebswellen, die tragende Struktur und



„Wir haben den Auftrag, Rennen zu gewinnen. Aber es geht auch immer darum, den Weg zur Serie zu ebnen.“

Martin Füchtner, Leiter Entwicklung Hochvoltantriebe, Motorsport



Wechselwirkung: Mit dem Porsche Taycan Turbo S (links) und dem Porsche 99X Electric wird der Technologietransfer zwischen Rennsport und Serie bei Porsche weitergehen.

Taycan Turbo S

Stromverbrauch
kombiniert:
26,9 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
0 g/km
Effizienzklasse:
Deutschland: A+
Schweiz: B

die dazugehörigen Fahrwerksteile an der Hinterachse sowie Kühlsystem und Steuergerät. So müssen die Teams weniger Teile selbst entwickeln, wovon weniger kapitalstarke Teilnehmer profitieren. Außerdem konzentrieren sich die Ingenieure auf den eigentlichen Elektroantrieb, anstatt viel Geld in kostspielige Nebenschauplätze wie die Aerodynamik zu investieren.

Seinen Auftrag umreißt E-Antriebsexperte Füchtner so: „Wir müssen die Grenzen des technisch Machbaren austesten.“ Zwei Bauteile stehen dabei momentan ganz besonders im Fokus: E-Maschine und Umrichter. Die E-Maschine wandelt Wechselstrom in Drehmoment um, welches zum Antrieb des Fahrzeugs zur Verfügung steht. Es gilt interne Wirbelstrom- und Leitungsverluste zu minimieren und ein minimales Bauteilgewicht zu erzielen. Dabei kommt dem Team die bereits zu Zeiten des Le-Mans-Prototypen (LMP) begonnene Grundlagenforschung zugute, die neue Maschinentopologien und Werkstoffe hervorgebracht hat. „Es ist faszinierend zu sehen, welchen immensen Technologiesprung wir in den letzten Jahren geschafft haben – heute bietet ein Antrieb mit kaum fünf Litern Volumen bereits Antriebsleistungen eines ausgewachsenen Sportwagenmotors. Und das bei kaum für möglich gehaltenen Wirkungsgraden.“



Doch es reicht nicht, nur eine Komponente zu optimieren – das Zusammenspiel des Triebstrangs ist entscheidend. So kann es sinnvoll sein, Wirkungsgradeinbußen bei der E-Maschine in Kauf zu nehmen, um beim Umrichter mehr zu gewinnen. Oder umgekehrt. Was zählt, ist das Gesamtergebnis. Der Umrichter ist der Partner der E-Maschine und wandelt den Gleichstrom der Batterie in Wechselstrom um. Dafür ist ein Halbleiterbauelement zuständig, das viele Tausend Mal pro Sekunde umschaltet und bei jedem Schaltvorgang kleine Verluste produziert. Diese versucht Porsche Schritt für Schritt zu reduzieren – eine echte Hightech-Aufgabe. Denn bei der Suche nach dem effizientesten Halbleiter für den Schalter bewegen sich die Ingenieure auf der atomaren Ebene. Siliciumcarbid (SiC) gilt derzeit als Material der Wahl, ein in reiner Form sehr teurer Werkstoff.

Eine zweite Stellschraube für effizientere E-Antriebe ist das Taktmuster des Umrichters, also die Art und Geschwindigkeit, in der er schaltet. Komplexe mathematische Algorithmen bestimmen dieses Muster, und selbst kleinste Veränderungen können auf der Rennstrecke über Sieg oder Niederlage entscheiden. „Über verschiedene Generationen von Halbleitern und Algorithmen hinweg haben wir jetzt einen außerge-



2,8 Sekunden

braucht der Porsche 99X Electric für den Sprint von 0 auf 100 km/h.

SiC

Der Verbindungshalbleiter Siliciumcarbid (SiC) eignet sich besonders gut für effiziente Schalter – im Rennsport und in der Serie.



„Ein Großteil der Taycan-Mannschaft stammt aus dem Team, das vorher den 918 Spyder entwickelt hat.“

Christian Wiedenbrügge,
Teamleiter Software und Applikation

wöhnlich hohen Wirkungsgrad erreicht“, freut sich Füchtner. Bei der Weiterentwicklung von Umrichter und Maschine profitiert das Team von seinen engen Verbindungen zur Forschung. Viele Mitarbeiter kommen frisch von der Uni und bringen das neueste Wissen mit. „Ich staune immer, wie versiert sie mit hochkomplexen Themen umgehen“, lobt Füchtner.

Was die jungen Talente anzieht, ist unter anderem die flache Hierarchie im Werksteam. Man kann viel experimentieren, schnell umsetzen und produktive Fehler machen. Gleichzeitig müssen sich die jungen Ingenieure keine Gedanken über Gewährleistung und die zeitlichen Vorläufe in der industriellen Umsetzung machen. Nur in einer solchen Kultur sei es möglich, in kurzer Zeit große technologische Sprünge zu machen, ist Füchtner überzeugt: „Wir haben Start-up-Charakter.“

Entscheidung für 800 Volt unterstützt

Von den Innovationen aus dem Rennsport profitiert regelmäßig auch die Serienentwicklung (siehe Kasten Seite 62/63). Ein aktuelles Beispiel: Der Porsche Hybrid 919 gewann drei Hersteller-WM-Titel sowie drei Siege beim 24-Stunden-Rennen von Le Mans in den Jahren 2015, 2016 und 2017. Beim LMP war es entscheidend, dass er Energie schnell speichern und abrufen konnte. Deshalb entschieden sich die Ingenieure für eine interne Spannung von 800 statt der sonst üblichen 400 Volt. Die Erfahrungen von der Rennstrecke – insbesondere mit der hohen elektromagnetischen Abstrahlung – halfen bei der Umsetzung in der Serie. „Der LMP hat die Entscheidung für 800 Volt beim Taycan unterstützt“, so Füchtner.

Am meisten Anknüpfungspunkte gibt es bei der Prüfstandstechnik. Auf diesen Anlagen lassen sich einzelne Komponenten unter genau kontrollierten Bedingungen

Serien-Innovationen aus dem Motorsport



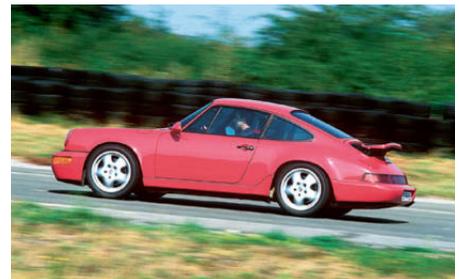
Synchronisiertes Fünfgang-Getriebe (1955)

Porsche entwickelt für den 550 Spyder ein synchronisiertes Fünfgang-Getriebe, das schnelleres Schalten ermöglicht. Ab 1963 wird es auch in die Serienmodelle 911 eingebaut.



Antiblockiersystem (1968)

Der Porsche 908 KH wird als Testplattform für ein erstes Antiblockiersystem (ABS) genutzt, das stabileres Einbremsen in die Kurven ermöglicht. Ab 1983 wird ABS als Sonderwunsch, ab 1986 dann serienmäßig im Porsche 928 S angeboten.



Aktive Aerodynamik (1969)

Um mehr Anpressdruck in den Kurven zu bekommen, baut Porsche im Rennwagen 917 zeitweise bewegliche Klappen am Heck ein, die beim Einlenken ausfahren. Das ist der erste Schritt zur aktiven Aerodynamik, die mit dem automatischen Heckspoiler ab der Elfer-Generation 964 in Serie geht.

testen, ohne dass Runden auf einer realen Teststrecke gedreht werden müssen. Das spart immens Zeit. „Um die gesetzlich vorgeschriebenen Testzyklen zu absolvieren, sind im realen Fahrzeug zehn Tage nötig. Auf dem Prüfstand reichen ein Arbeitstag und eine Nachtschicht“, erklärt Christian Wiedenbrügge, Teamleiter Antriebssoftware und Applikation für batteriebetriebene Fahrzeuge.

Natürlich verfolgen die unterschiedlichen Teams bei den Prüfstandstests unterschiedliche Ziele. Der Rennstall würde zum Beispiel die Nordschleife des Nürburgrings simulieren, um ein Bauteil auf schnellste Rundenzeit zu trimmen, während der Serienentwickler auf der Jagd nach noch mehr Reichweite womöglich eine virtuelle Fahrt durch den Schwarzwald wählt. „Die Methoden sind jedoch die gleichen“, betont Wiedenbrügge. Beide Seiten treiben zudem die Technik der Prüfstände voran. Die Rennwagen-Ingenieure haben zum Beispiel die Temperierung der Prüflinge

verfeinert, weil beim E-Antrieb jedes Zehntelgrad eine Rolle spielt. Aus der Serie kamen Verbesserungen in der Automatisierung der Prüfläufe.



Ein Tag

reicht aus, um die gesetzlich vorgeschriebenen Testzyklen auf dem Prüfstand zu absolvieren.

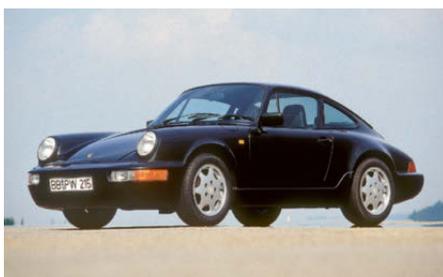
Expertenkreise für den internen Austausch zwischen Rennsport und Serie

Doch man trifft sich nicht nur auf dem Prüfstand, um gemeinsam den E-Antrieb voranzubringen. Porsche hat intern Expertenkreise zu bestimmten Komponenten eingerichtet, die etwa alle acht Wochen zusammenkommen. Hier sprechen zum Beispiel Umrichter-Fachleute aus Serie und Rennsport miteinander. Das hat sich bewährt. Wenn sich die Technikexperten treffen, fangen viele Sätze an mit: „Wir haben da was, das für euch interessant sein könnte...“. Genau das ist gewünscht. Renn- und Serienentwickler sollen beim jeweils anderen die eigenen Herausforderungen wiedererkennen und sich über mögliche Lösungen austauschen.



Porsche Doppelkupplungsgetriebe (1983)

Um Gangwechsel ohne Unterbrechung der Zugkraft zu ermöglichen, kombiniert Porsche beim Rennwagen 956 zwei Getriebe zu einem. Fortschritte in der Steuerungstechnik ermöglichen es im Modelljahr 2009, dieses Doppelkupplungsgetriebe erstmals in ein Serienfahrzeug einzubauen, den Porsche 911 Carrera 4.



Geregelter Allradantrieb (1986)

Mit dem 959 gelingt Porsche Anfang der 1980er-Jahre der Durchbruch im Rallyesport, unter anderem mit einem Sieg beim Klassiker Paris–Dakar. Basis des Erfolgs ist ein programmgesteuerter Allradantrieb, der das Drehmoment flexibel auf die Achsen verteilt. Ab der Elfer-Generation 964 ist er auch im 911 Carrera 4 eingebaut.



800-Volt-Technik (2014)

Nach 16 Jahren Abwesenheit kehrt Porsche 2014 mit dem revolutionären 919 Hybrid nach Le Mans zurück. Um schneller die Energie aus den Akkus abrufen zu können, legen die Ingenieure die E-Technik auf 800 Volt aus – 400 Volt waren bis dato üblich. Drei aufeinanderfolgende Gesamtsiege zeigen, dass die Entscheidung richtig war. Sie wird 2019 im Taycan übernommen.

Vielleicht ist am wichtigsten jedoch der Technologietransfer über Köpfe. „Ein Großteil der Taycan-Mannschaft stammt aus dem Team, das vorher den 918 Spyder entwickelt hat“, berichtet Wiedenbrügge. Solche Seitenwechsel sind bei Porsche an der Tagesordnung. So hat ein Experte für Schwingungstechnik aus der Serie den Motorsportlern geholfen, die Schwingungen an den E-Boliden in den Griff zu bekommen. Eine wichtigere Rolle spielt auch die örtliche Nähe: Das Porsche Entwicklungszentrum ist nur rund 1.000 Meter von der Motorsportbasis entfernt. „Wir benutzen alle den gleichen Eingang – und wir essen zusammen“, sagt Füchtner und lacht. Er weiß: So manche gute Idee für den ersten Formel-E-Sieg könnte in der Kantine in Weissach entstehen.

An Verbesserungsideen mangelt es bislang nicht – allerdings lassen sich noch nicht alle umsetzen. „Es wäre toll, wenn die Formel-E-Teams auch ihre Batterien selbst entwickeln könnten. Hier schlummert noch

Taycan Turbo S

Stromverbrauch kombiniert:
26,9 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
0 g/km
Effizienzklasse:
Deutschland: A+
Schweiz: B

Porsche 911 Carrera 4

Kraftstoffverbrauch innerorts: 12,6 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts: 7,8 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 9,6 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
218 g/km
Energieeffizienzklasse: G

eines der größten Entwicklungspotenziale für elektrische Fahrzeuge, denn beim Antrieb sind wir schon sehr gut aufgestellt“, ist Füchtner überzeugt. „Andererseits könnte der Batteriewettbewerb der Formel E schaden, da hohe Kosten anfallen und dadurch ein verzerrter Wettbewerb entstehen würde. Wir haben reichlich Ideen für Zelltechnologien, die über eine ganze Saison halten und auch für die Serienproduktion interessant sein könnten.“

→ ZUSAMMENGEFASST

Rennsport und Serie: Der Austausch zwischen beiden Bereichen hat bei Porsche Tradition. Das gilt auch für E-Fahrzeuge. So hat der Taycan von den Erfahrungen profitiert, die Porsche mit dem 919 Hybrid gesammelt hat. Gemeinsame Expertenkreise garantieren, dass auch künftig neue Ideen schnell zwischen Renn- und Serienteams ausgetauscht werden.

Die Kraft der Evolution

Text: Hans Oberländer

Stärker, fahrdynamischer, komfortabler: Mit dem neuen 911 Turbo S und 911 Turbo S Cabriolet setzt Porsche in der Liga der Sportwagen erneut ein Ausrufezeichen. Zahlreiche Verbesserungen machen das Fahren zum sicheren und alltagstauglichen Vergnügen.

Der neue 911 Turbo S ist wieder ein Hochleistungssportler und fühlt sich beim Sprint am wohlsten. Denn dann kann er seine ganze Kraft und seine phänomenale Beschleunigung zeigen: Geschaltet von einem Achtgang-Porsche-Doppelkupplungsgetriebe benötigt der 911 Turbo S von 0 auf 100 km/h gerade einmal 2,7 Sekunden. In 8,9 Sekunden ist er bei 200 km/h – eine volle Sekunde früher als sein Vorgänger aus der Modellreihe 991. Und erst bei 330 km/h hat der jüngste Spitzen-Elfer die Höchstgeschwindigkeit erreicht.

Eine zweite Neuerung ist der Sechszylinder-Boxermotor mit zwei VTG-Ladern. Der Biturbo hat 650 PS und 800 Nm Drehmoment. Das sind 70 PS und 50 Nm mehr als im Vorgänger. Das neue Triebwerk basiert auf dem 3,0-Liter-Biturbo des 992 Carrera. Hinzu kommen eine völlig neu gestaltete Ladeluftkühlung, größere und symmetrisch aufgebaute VTG-Turbolader mit elektrisch verstellbaren Wastegate-Klappen sowie Piezo-Einspritzventile. Sie verbessern Ansprechverhalten, Drehfreude und Leistungsfähigkeit. Ottopartikelfilter optimieren das Emissionsverhalten.

Seine gesteigerte Dynamik demonstriert der Porsche 911 Turbo S auch deutlich sichtbar: Nie war ein Elfer

↓
**2,7
Sekunden**

benötigt der neue
911 Turbo S für den Sprint
von 0 auf 100 km/h.

↑
330 km/h
beträgt seine
Höchstgeschwindigkeit.

breiter. Vorne hat er 45 Millimeter zugelegt und misst jetzt 1,84 Meter, über der Hinterachse ist er um 20 Millimeter auf 1,90 Meter gewachsen. Erstmals hat der Turbo S Räder mit verschiedenen Zollgrößen und Mischbereifung. An der Vorderachse trägt er 255/35er-Reifen auf 20-Zöllern, hinten imposante 315/30er auf 21-Zoll-Rädern. Mit dieser Dimensionierung von Rädern und Reifen wird eine weitere Verbesserung der fahrdynamischen Eigenschaften des 911 Turbo S erreicht.

Das Porsche Active Suspension Management (PASM) regelt elektronisch das Stoßdämpfersystem für jedes einzelne Rad, abhängig von Fahrbahnzustand und Fahrweise und reduziert so die Bewegungen der Karosserie. Im serienmäßigen PASM-Adaptiv-Fahrwerk des Turbo S arbeiten die Stoßdämpfer nun noch schneller und präziser: Ein durch Magnetkraft stufenlos verstellbares Steuerventil und eine spezielle Software passen fahrsituationsabhängig und radselektiv die Dämpfungskraft an, exakt und in Sekundenbruchteilen. Und das im Vergleich zum bisherigen System deutlich weicher oder auch straffer – mit erheblichen Vorteilen in Bezug auf Wankstabilität, Fahrbahnanbindung, Einlenkverhalten und mögliche Kurvengeschwindigkeiten.

911 Turbo S Cabriolet

Kraftstoffverbrauch innerorts:
15,9 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts:
8,6 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
11,3 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
257 g/km
Energieeffizienzklasse: G



Optimierte Fahrdynamik: Erstmals hat der 911 Turbo S verschiedene Radgrößen sowie Mischbereifung vorne und hinten (oben). Das Porsche Communication Management (unten links) erkennt Handschriften und lässt sich per Sprache steuern. Der Heckspoiler (unten rechts) ist Teil der adaptiven Aerodynamik und sorgt für ausreichend Abtrieb und Sicherheit.

Wer es ganz besonders sportlich mag: Erstmals ist ein PASM-Sportfahrwerk mit zehn Millimetern Tieferlegung bestellbar.

Mehr Sicherheit bei nasser Fahrbahn

Allradantrieb und Allradlenkung sorgen für verlässliche Bodenhaftung, und eine weiter verfeinerte adaptive Aerodynamik, die mit dem Vorgängermodell als Weltneuheit eingeführt wurde, garantiert zusätzliche Sicherheit. Der neu geformte, pneumatisch ausfahrbare Frontspoiler und der vergrößerte Heckflügel schaffen 15 Prozent mehr Abtrieb. Neu sind die Funktionen „Wet Mode“ und „Airbrake“: Bei nasser Fahrbahn erhöhen sich die Anpresskraft auf der Hinterachse und der Kraftschluss zwischen Reifen und Straße. Bei einer

Vollbremsung aus hohen Geschwindigkeiten lässt Airbrake den Bugspoiler und Heckflügel in die Performance-Stellung fahren. Durch den höheren Luftwiderstand und den verstärkten Anpressdruck verkürzt sich der Bremsweg, und die Fahrstabilität wird verbessert. Und auch die weiterentwickelte Keramikbremsanlage mit ihren Bremscheiben von bis zu 420 Millimetern Durchmesser packt kraftvoller zu als je zuvor.

1974 war der erste Porsche 911 Turbo eine Revolution im Automobilbereich. 46 Jahre später ist der 911 Turbo S ein Musterbeispiel für die schöpferische Kraft der Evolution. Das beweist zum Beispiel die Lithium-Eisenphosphat-Batterie, die im 911 Turbo S erstmals serienmäßig verbaut ist. Im Vergleich zur konventionellen Bleibatterie hat sie ein deutlich gerin-

Technische Daten des 911 Turbo S



300 Lux

Ausleuchtung bieten die Matrixscheinwerfer mit 84 Pixeln.

15%

mehr Abtrieb erzeugen der neue Bugspoiler und der vergrößerte Heckflügel.

10,9 Zoll

Bildschirmdiagonale hat der Centerscreen des Porsche Communication Managements.

570 Watt

liefert das serienmäßige BOSE® Surround-Sound-System mit zwölf Lautsprechern.



911 Turbo S

Kraftstoffverbrauch
innerorts: 15,5 l/100 km
Kraftstoffverbrauch
außerorts: 8,6 l/100 km
Kraftstoffverbrauch
kombiniert: 11,1 l/100 km
CO₂-Emissionen
kombiniert: 254 g/km
Energieeffizienzklasse: G

Noch nie war ein Elfer breiter. Neu ist auch die Mischbereifung.

1.840 Millimeter

Breite vorne

20 Zoll

Ø Räder vorne

1.900 Millimeter

Breite hinten

21 Zoll

Ø Räder hinten

Das neu entwickelte Triebwerk basiert auf der aktuellen 911 Carrera-Motorengeneration und bietet einen deutlichen Leistungssprung.

650 PS

800 Nm



1974

Porsche stellt einen Hochleistungs-Sportwagen vor, der Maßstäbe bei Leistung und Luxus setzt: Der 911 Turbo 3.0 leistet 260 PS aus drei Litern Hubraum und ermöglicht eine Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h. Damit ist er lange Zeit Deutschlands schnellster Straßensportwagen.



1995

Der 911 Turbo der Generation 993, ein neues Highlight im Sportwagenbau: Mit 408 PS und jetzt serienmäßigem Allradantrieb beschleunigt der 3,6-Liter-Motor von 0 auf 100 km/h in 4,5 Sekunden, die Höchstgeschwindigkeit beträgt 290 km/h.



2009

Der erste von Grund auf neu konstruierte Turbomotor mit 500 PS verfügt über Benzin-Direkt-einspritzung und reduziert den Verbrauch im Vergleich zum Vorgänger um bis zu 16 Prozent.

geres Gewicht sowie eine höhere Spannungsstabilität und einen deutlich geringeren Innenwiderstand. Für den Fahrer bedeutet das: kürzere Reaktionszeit und die Möglichkeit, die kraftstoffsparende Start-Stopp-Funktion häufiger zu aktivieren. Denn der leistungsfähigere Stromspeicher lässt auch bei niedrigem Ladezustand einen erheblich längeren Betrieb energieintensiver und elektrischer Bordsysteme zu, etwa des Soundsystems bei ausgeschaltetem Verbrennungsmotor.

Serienmäßige LED-Matrixscheinwerfer mit dunklen Innenblenden, die optional sogar in einer noch dunkleren Ausprägung erhältlich sind, unterstreichen den markanten Auftritt des Turbo S. Das Modul ermöglicht eine Ausleuchtung mit über 300 Lux und zahlreiche Funktionen. Leuchtweite und Kurvenausleuchtung lassen sich individuell und dynamisch regeln. Autobahnlicht, Nebel- und Schlechtwetterlicht leuchten das Sichtfeld angepasst aus, gezieltes Dimmen verhindert, dass Schilder blenden.

Zwölf Lautsprecher machen die Kabine zum Konzertsaal

Evolutionären Fortschritt spürt man auch im Innenraum des 911 Turbo S. Das Porsche Communication Management (PCM) mit Online-Navigation vereint eine intuitive Steuerung mit einer Vielzahl von Infotainment-Angeboten. Einfache Wischbewegungen, Vergrößern, Verkleinern oder Drehen der Anzeige mit zwei Fingern –



12,75 Kilogramm

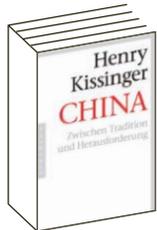
wiegt die Batterie des Porsche 911 Turbo S. Erstmals kommt eine Lithium-Eisenphosphat-Batterie zum Einsatz, wodurch das Gewicht des Bordakkus um mehr als die Hälfte sinkt.

kein Problem für das PCM. Darüber hinaus erkennt das Display Handschriften und auch über die Sprachbedienung lassen sich viele Funktionen komfortabel nutzen. Eine neuartige optionale Geräuschschutzverglasung macht ihrem Namen alle Ehre und erhöht den Genuss, wenn die Kabine zum Konzertsaal wird: Das BOSE® Surround-Sound-System mit einer Gesamtleistung von 570 Watt liefert über zwölf Lautsprecher akustische Finesse. Extreme Sportlichkeit und luxuriöser Komfort: Im Porsche 911 Turbo S sind es Gegensätze, die sich ergänzen. Soundanlage, GT-Sportlenkrad, Carbon-Deko, Sport Chrono Paket – alles ab Werk, ebenso die bequemen, langstreckentauglichen Ledersitze. Mit ihrer speziellen Steppung erinnern sie an den ersten 911 Turbo.

Wie bei den aktuellen 911 Carrera-Modellen wurde auch beim neuen 911 Turbo S Cabriolet die Klimatisierungsfunktion bei geöffnetem Verdeck deutlich verbessert. Neu sind die automatische Anpassung und Regelung der Klimaautomatik nach dem Öffnen des Verdeckes. Unter Berücksichtigung von Außentemperatur, Sonneneinstrahlung und vielen weiteren Parametern passen sich Gebläsesteuerung, Temperaturregelung und die Luftverteilung im Innenraum an die jeweilige Situation an.

Natürlich ist der Porsche 911 Turbo S absolut alltags-tauglich. Doch viel mehr noch ist er ein Fahrzeug, um den Alltag hinter sich zu lassen.

Wissen vertiefen



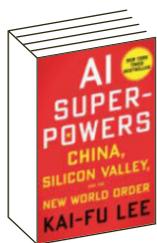
Tradition und Herausforderung

Der ehemalige US-Außenminister Henry Kissinger ist ein exzellenter Kenner Chinas und erzählt in diesem Buch die Geschichte des Landes von

den frühen Dynastien bis zur Gegenwart – teils auf Basis eigener Erfahrungen mit den politischen Führern der heutigen Supermacht.

China

Henry Kissinger
Pantheon



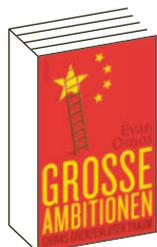
Wettrennen der KI-Supermächte

In seinem Bestseller wirft der KI-Experte und Investor Kai-Fu Lee einen Blick auf die Zukunft der künstlichen Intelligenz und auf das Wettrennen der beiden

„KI-Supermächte“ China und USA. Ein faszinierendes Buch über Technologie und unser Leben im 21. Jahrhundert.

AI Superpowers

Kai-Fu Lee
Mariner Books



Chinas grenzenloser Traum

Der Journalist Evan Osnos gilt als einer der besten Kenner des heutigen Chinas. Für dieses Buch sprach er mit vielen Menschen über ihre Hoffnungen

und Erwartungen. Er traf Glücksritter auf der Jagd nach Reichtum und begleitete bekannte Persönlichkeiten.

Große Ambitionen

Evan Osnos
Suhrkamp

Über den Tellerrand



Ignorierte Hälfte der Menschheit

Die These der Autorin Caroline Criado-Perez lautet: Unsere Welt ist von Männern für Männer gemacht und tendiert dazu, die Hälfte der Bevölkerung zu ignorieren – etwa durch geschlechtsspezifische Unterschiede bei der Erhebung wissenschaftlicher Daten.

Unsichtbare Frauen
Caroline Criado-Perez
btb Verlag

„Ein Buch über die ganze Welt – und eine Pflichtlektüre für die ganze Welt.“

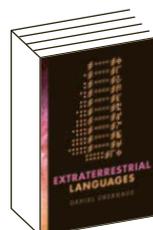
Österreichischer Rundfunk



Wie man's hinkriegt

Dieses Buch verspricht „absurde, wirklich wissenschaftliche Empfehlungen für alle Lebenslagen“. Auf der Suche nach einer Lösung für Probleme gibt es laut Randall Munroe neben dem richtigen und dem falschen auch den offensichtlich absurden Weg. Diesen Ansatz propagiert der neue Bestseller Munroes.

how to
Randall Munroe
Penguin



Plaudern mit den Aliens

Wie würden wir mit Außerirdischen sprechen, wenn wir eines Tages wirklich auf sie treffen sollten? Der „WIRED“-Autor Daniel Oberhaus nimmt in seinem Buch verschiedene Möglichkeiten unter die Lupe, darunter Mathematik und Kunst.

Extraterrestrial Languages
Daniel Oberhaus
The MIT Press

Für das Kind in uns



⤴ Action Cam zum Zusammenstecken

Die modulare Action-Kamera Insta360 ONE R lässt sich mit wenigen Handgriffen auseinandernehmen und neu zusammensetzen. Auf dem Akku haben das Bedienmodul mit Display und ein Kameramodul Platz. Je nach Konfiguration kann man Weitwinkel- oder 360-Grad-Aufnahmen machen (Fotos und Videos). In China ist die Kamera ein Hit.

Insta360 ONE
www.insta360.com



⤵ Einstieg in die Spieleprogrammierung

Einfache Videospiele für das iPad selbst programmieren: Das macht der Arcade Coder

möglich. Schon Kinder ab sechs Jahren werden durch das Board mit 144 programmierbaren LED-Knopfen an die Grundlagen von Grafik und Spieleprogrammierung herangeführt.

Arcade Coder
www.techwillsaveus.com/shop/arcade-coder

Intelligent unterhalten



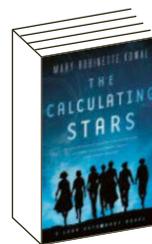
⤵ Unerkannte Heldinnen

Im Mittelpunkt dieses mehrfach Oscar-nominierten Films stehen die drei afroamerikanischen Mathematikerinnen Katherine Johnson, Dorothy Vaughan und Mary Jackson, die während der Zeit der Rassentrennung in den USA in der Abteilung „Colored Computers“ wichtige Berechnungen für das Mercury- und Apollo-Programm der NASA durchgeführt haben (das Wort „Computer“ stand damals auch für Menschen).

Hidden Figures
Theodore Melfi (Regisseur), 2016



Gegen alle Widerstände



Ein Meteorit trifft in den 50er-Jahren auf die Ostküste der USA. Die Mathematikerin und Pilotin Elma York erkennt in diesem mehrfach ausgezeichneten Roman, dass der dadurch hervorgerufene Klimawandel die Erde unbewohnbar machen wird. Sie tritt der International Aerospace Coalition bei

und will die erste Astronautin überhaupt werden – ein Bruch mit allen Konventionen ihrer Zeit.

The Calculating Stars
Mary Robinette Kowal
Tor Books



Familienauto für China: Die Optik des „C88“ orientierte sich an Elementen der chinesischen Kultur.

1994

In nur vier Monaten entwickelte Porsche Engineering das Konzept für ein Familienauto für den chinesischen Markt. Der „C88“ sollte in drei Versionen gebaut werden. Sein Design und die Technik wurden an die Anforderungen des noch jungen Automarktes angepasst. An der Entwicklung waren auch chinesische Mitarbeiter beteiligt.

P

orsche Engineering blickt auf eine lange Tradition von Entwicklungsprojekten in China zurück. Im November 1994 präsentierten das Unternehmen und mehrere internationale OEMs auf Einladung der chinesischen Regierung unter anderem auf dem „Familienauto-Kongress“ in Peking eine Studie für ein Fahrzeug für den damals noch recht jungen Automarkt.

Die „C88“-Konzeptstudie war in nur vier Monaten entwickelt worden. Das Fahrzeug sollte in drei Versionen auf den chinesischen Markt kommen. Die günstige Einstiegsvariante mit vier Sitzen hatte zwei Türen, einen Vierzylinder-Benzinmotor mit 35 kW Leistung, ein Viergang-Getriebe und sollte rund 45.000 Renminbi (circa 4.000 Euro) kosten. Die Standardvariante hatte die gleiche Motorisierung, war etwas größer und lag je nach Ausstattung zwischen 60.000 und 65.000 Renminbi (circa 5.800 Euro). Die Luxusvariante bot für rund 80.000 Renminbi (circa 7.000 Euro) noch mehr Platz, hatte vier Türen sowie einen stärkeren Motor mit 50 kW Leistung und einem Fünfgang-Getriebe. Als Sonderausstattung sollte auch ein Viergang-Automatikgetriebe angeboten werden.

Um den Geschmack der chinesischen Käufer zu treffen, sprachen die Entwickler nicht nur mit chi-

nesischen Experten und Journalisten. Sie banden auch einen Techniker und einen Designer aus China in das Projekt mit ein.

Am Ende entstand ein Auto, das sich durch eine ruhige Linienführung, hohe Sicherheit und Qualität sowie eine vergleichsweise einfache Fertigung auszeichnete. Ein langer Radstand und kurze Überhänge ergaben zukunftsorientierte Proportionen, 15-Zoll-Stahlräder gewährleisteten komfortable Abrolleigenschaften. Das Interieur wies eine auf die chinesische Bevölkerung abgestimmte Ergonomie auf. Dort dominierten benutzerfreundliche Materialoberflächen, und der großzügig bemessene Innenraum sorgte für Wohnlichkeit und Komfort. Die Ästhetik orientierte sich an Elementen der chinesischen Kultur.

Das Porsche-Logo suchte man damals aber vergebens auf dem Showcar. Stattdessen waren an der Front drei Kreise zu sehen, die die chinesische Ein-Kind-Politik symbolisieren sollten. Auch der Name hatte einen Bezug zum Reich der Mitte: Das „C“ stand für „China“, und die Zahl „88“ bedeutet dort „viel Glück“. Am Ende ließ die chinesische Regierung allerdings weder Porsche Engineering noch einen anderen Bewerber zum Zug kommen. Vom „C88“ gibt es darum nur ein einziges Exemplar, das heute im Porsche Museum in Stuttgart steht. ◀

Porsche Engineering Magazin

Ausgabe
1/2020



Impressum

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: Marie Fischer
Bildredaktion: Farimah Justus, Gesche Wendt

Autoren

Richard Backhaus, François Baumgartner, Jost Burger,
Andreas Burkert, Constantin Gillies, Thomas Kern,
Chris Löwer, Hans Oberländer

Gastautor

Yuval Noah Harari

Art Direction

Christian Hruschka, Juliane Keß, Maria Christina Klein

Übersetzung

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

Kontakt

Porsche Engineering Group GmbH
Porschestraße 911
71287 Weissach
Tel. +49 711 911 0
Fax +49 711 911 8 89 99
Internet: www.porsche-engineering.de

Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

Druck

Eberl Print GmbH, Immenstadt

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: Getty Images; S. 4: Claudia Klee+Julia Gonser, Alexander Babic, Kai Hartmann; S. 10: Jacob Wagner;
S. 11: Kai Hartmann, Florian Müller, Getty Images, Tencent, Valerio Pellegrini; S. 25: Getty Images; S. 28: Tim Griffith; S. 29–31: Tencent;
S. 34: Claudia Klee+Julia Gonser; S. 40: Getty Images; S. 49: Science Photo Library/Gustoimages; S. 69: © 2017 Twentieth Century Fox

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

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

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



PORSCHE DESIGN

VON ZELL AM SEE NACH LOS ANGELES. AUF KNOPFDRUCK.

Allzeit bereit – weltweit. Der innovative Porsche Design 1919 Globetimer UTC definiert eine neue Generation von Reiseuhren und begeistert durch einen innovativen Schaltmechanismus, der Maßstäbe setzt: Über einen Drücker kann die aktuelle Zeitzone im 1-Stunden-Takt ohne Verlust der exakten Zeiteinstellung [Min./Sek.] verstellt werden.

1919 GLOBETIMER UTC

PORSCHE DESIGN KALIBER WERK 04.110

www.porsche-design.com/GlobetimerUTC

