

Porsche Engineering

Magazin

Ausgabe
1/2019

www.porsche-engineering.de



DERIVAT- UND SYSTEMENTWICKLUNG

Vom Detail zum großen Ganzen



**Wenn die Form der Funktion folgt,
dann sollte sie schon schnell sein.**

Der neue 911.

Äußerst dynamisch, auch in der 8. Generation: mit 3,0-Liter-6-Zylinder-Biturbo-Motor und 331 kW (450 PS). Verbindet Sport und Komfort: das weiterentwickelte Porsche Active Suspension Management (PASM). Ikonisches Design: durchgehendes Heckleuchtenband und breitere Spur. Mehr unter www.porsche.de/911

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) innerorts 11,1 · außerorts 7,8 · kombiniert 9,0; CO₂-Emissionen kombiniert 206 g/km



PORSCHE



Dr. Peter Schäfer,
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

als neues Mitglied der Geschäftsführung möchte ich Sie herzlich begrüßen und mit Ihnen den Blick auf den größten Wandel in der Geschichte der Automobilwelt richten. Während Elektromobilität, Vernetzung und hochautomatisiertes Fahren die Automobilbranche revolutionieren, müssen konventionelle Technologien zugleich konsequent mit hoher Qualität weiterentwickelt werden.

Für die Endkunden bietet sich eine nie gekannte Auswahl an unterschiedlichen Modellen und Vernetzungsfunktionen, die Entwickler müssen sich jedoch gleichzeitig einer immer größeren Komplexität stellen. Ihre Produkte sollen vielfältige Anforderungen im Hinblick auf Kundenbedürfnisse und gesetzliche Vorgaben unterschiedlichster Märkte erfüllen.

Darum steht diese Magazin-Ausgabe auch ganz im Zeichen dieses Themas: der Komplexität. Unser Schwerpunkt zur Derivat- und Systementwicklung zeigt, wie die zunehmende Derivatevielfalt durch intelligente Methoden und Tools sowie ein ausgeprägtes Gesamtfahrzeugverständnis aktiv vorangetrieben werden kann – immer unter der Berücksichtigung höchster Qualitätsansprüche und Effizienz. In der Rubrik „Trends und Technologien“ berichten wir, wie wir den vielschichtigen Herausforderungen bei Themen wie Vernetzung und Fahrerassistenzsystemen mittels 5G-Technologie begegnen. Wir ergänzen das Magazin schließlich mit aktuellen Einblicken in die Ladeinfrastruktur-Entwicklung, Technologie-Highlights des neuen Porsche 911 sowie einer Mond-Erkundung mit autonomen Robotern.

Wie wir all diese Themen realisieren? Mit unserem wichtigsten Erfolgsfaktor: dem Menschen.

Unsere Ingenieure begreifen die vielfältigen Herausforderungen der Zukunft nicht als Bedrohung, sondern als eine Chance. Die Chance, aus einer Vielzahl an Möglichkeiten die jeweils passendste zu identifizieren, zu perfektionieren und anzuwenden. Durch unsere Passion, zu verstehen, querzudenken, weiterzuentwickeln und die Zukunft gemeinsam mit unseren Kunden zu formen.

Ihr Peter Schäfer

Die neuen Cayenne Coupé-Modelle (von Seite 1)

CO₂-Emissionen kombiniert: 261–212 g/km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,4–9,3 l/100 km

Die neuen 911 Carrera S-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert: 208–205 g/km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 9,1–8,9 l/100 km



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. Das Leistungsspektrum von Porsche Engineering reicht von der Konzeption einzelner Komponenten bis hin zur Planung und Durchführung von Gesamtfahrzeugentwicklungen und wird über den Automobilbereich hinaus auch in andere Branchen übertragen.



48 High Power Charging: Ein neuer Gleichstromzähler macht es möglich.

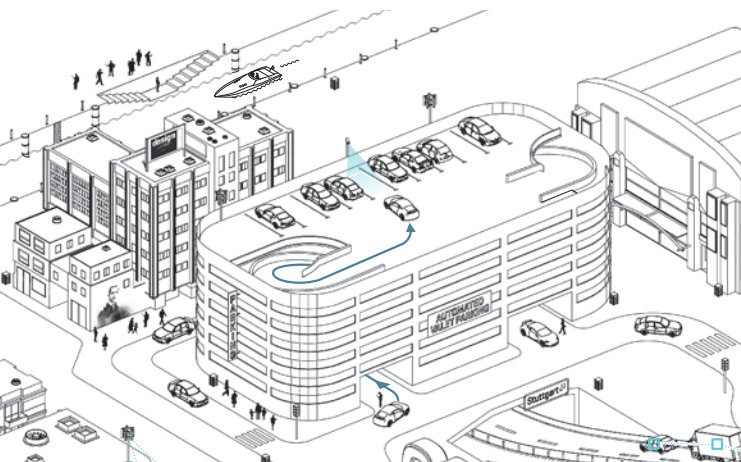


18 Erfolgreich entwickelt: Ein Gespräch über die Zukunft der Derivatentwicklung und die Zusammenarbeit beim Cayenne Coupé

DOSSIER

10-29

12 Gelungenes Coupé: Herausforderungen und Lösungen bei der Entwicklung des neuen Cayenne-Derivats



30 Vernetzt: 5G ermöglicht neue Fahrfunktionen.



KTM X-BOW (Sport und Drive)

CO₂-Emissionen
kombiniert:
228,8–200,9 g/km;
Kraftstoffverbrauch
kombiniert:
9,8–8,6 l/100 km

Die neuen Cayenne Coupé

Modelle
CO₂-Emissionen
kombiniert:
261–212 g/km;
Kraftstoffverbrauch
kombiniert:
11,4–9,3 l/100 km

44 Verheiratet: Applikation eines Automatikgetriebes für den KTM X-BOW

	03	Editorial
	04	Inhalt
	06	Meldungen
DOSSIER: DERIVAT- UND SYSTEMENTWICKLUNG	10	Die Kunst der Ableitung Dossierüberblick
	12	Das Derivat im Blick Die Entwicklung des Cayenne Coupé
	18	„Komplexität meistern“ Gemeinsamer Rückblick auf ein erfolgreiches Projekt
	22	Form folgt Performance Ein Blick auf das neue Cayenne Coupé
	26	Transfer innovativer Effizienztechnologien Kleine Ottomotoren profitieren von Automotive-Lösungen
TRENDS UND TECHNOLOGIEN	30	Schnelles Netz für smarte Autos Was 5G für die Mobilität der Zukunft bedeutet
ZUKUNFT	36	Kreativität am Rand des Chaos Lehren aus der Komplexitätsforschung
PERFORMANCE UND EXPERTISE	38	Wie auf Schienen durch den Schnee Momentensteuerung für E-Fahrzeuge
	44	Gelungene Hochzeit Der KTM X-BOW bekommt ein Automatikgetriebe
	48	Präzise Messtechnik für schnelles Laden Eichfähiger Zähler für DC-Schnellladesäulen
AUSKUNFT	52	Der Mann im Mond Roboter und autonomes Fahren: ein Besuch beim DFKI in Bremen
PORSCHE UND PRODUKT	56	Das Ohr an der Fahrbahn Der WET Mode macht das Fahren auf nassen Straßen deutlich sicherer
	60	Leichtbau in den Genen Wie das Leistungsgewicht des neuen 911 noch geringer wurde
QUER GEDACHT	64	Quer gedacht Empfehlungen für Denker, Tüftler und Nerds
HERKUNFT	66	Historische Derivate 911-Motoren für Luft, Schnee und Wasser
	67	Impressum

Mitwirkende



12 Johannes Winterhagen schreibt vor allem über Energie, Mobilität und Produktion, u. a. für die F.A.Z.



30 Richard Backhaus beschäftigt sich als Journalist seit über 20 Jahren mit Automobil-Themen.



30 Florian Müller: Der Illustrator aus Wien skizziert in diesem Heft die Zukunft des Fahrens.

Testcenter Nardò

Neuer Geschäftsführer, moderne Technik, lokales Engagement

Antonio Gratis ist seit November 2018 Vorsitzender der Geschäftsführung des Nardò Technical Center (NTC) in Apulien (Italien). Gratis hat zuvor bei Iveco, Bomag Alfonsine und der Bomag Fayat Group gearbeitet.

Auch technisch macht sich das Nardò Technical Center in Apulien fit für die Zukunft: Seit Januar 2019 entfernen Bauarbeiter den Asphalt der Teststrecke und versehen die fast 13 Kilometer lange Kreisbahn mit einem neuen Belag. Außerdem installieren sie ein neues, patentiertes Leitplanken-

system. Entlang der gesamten Strecke werden 26 Kilometer elektrische und 91 Kilometer fiberoptische Kabel verlegt. Sie ermöglichen neue Tests, unter anderem in den Bereichen Advanced Driver Assistance Systems, Konnektivität und Elektromobilität. Neben dem kreisförmigen „Car Circular Track“ erhält auch die großflächige „Car Dynamic Platform“ einen neuen Fahrbahnbelaag. Insgesamt werden ca. 100.000 Tonnen Asphalt eingebracht und mehr als 300.000 Quadratmeter Geogitter zur Vermeidung von Asphalttrissen eingebaut.

Zum Selbstverständnis des NTC gehört es auch, sich in die lokale Gemeinschaft einzubringen. Seit 2019 ist das Nardò Technical Center darum Sponsor der Jugendmannschaften des Fußballvereins A.C. Nardò: Turbo for Talents, ein Programm zur Unterstützung und Förderung junger Talente im Sport wurde hier ins Leben gerufen. Auftakt des Programms ist ein Fußball-Sommerncamp für bis zu 200 Kinder aus der Region.



Tongji Porsche Engineering Symposium



Treffen der Fahrwerk-Experten

Am 21. November 2018 hat Porsche Engineering erstmals in Kooperation mit der Tongji-Universität in Shanghai ein Fachsymposium zum Thema Fahrwerk veranstaltet. In 15 Fachvorträgen berichteten Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft im neuen Porsche Experience Center Shanghai über die neuesten Entwicklungen und Erkenntnisse im Bereich Fahrwerk. Die Teilnehmer hatten zudem die Möglichkeit, innerhalb einer Driving Experience auf den Rennstrecken des Porsche Experience Centers aktuelle Fahrwerktechnologien hautnah zu erleben. Porsche Engineering führt seit mehr als 20 Jahren Projekte für chinesische Kunden durch. Seit 2015 ist das Unternehmen mit einer eigenen Tochtergesellschaft in Shanghai direkt vor Ort.



Standort Ostrava

Digitalisierungs-Offensive in Tschechien

Porsche Engineering erweitert seine Digitalkompetenzen. Mitte 2018 hat der Ingenieurdienstleister eine neue Niederlassung in der tschechischen Stadt Ostrava eröffnet. Derzeit sind die rund 30 Software- und Hardware-Entwickler vor allem in den Bereichen künftige Chassis-Kontrollsysteme und Smart Charging Solutions für E-Autos aktiv. Sie arbeiten beispielsweise an einer völlig neuartigen Lösung im Bereich der Hochvolt-Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge der nächsten Generation.

Ein Grund für die Wahl des Standorts war die Nähe zu den Hochschulen Ostrava und Brno in Tschechien sowie zu weiteren Hochschulen in Polen und der Slowakischen Republik. Damit setzt

Porsche Engineering eine bewährte Tradition fort: Die Zusammenarbeit mit Universitäten bildet seit jeher einen Eckpfeiler der Wachstumsstrategie des Unternehmens.

Der neue Standort in Ostrava ergänzt die Kapazitäten, die seit 2001 in Prag bestehen. Die ersten Schritte in der Tschechischen Republik unternahm Porsche Engineering bereits im Jahr 1996 in Form einer Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Maschinenbau der Tschechischen Technischen Hochschule. Die damals geknüpften Bande sind im Laufe der Zeit ausgeweitet und intensiviert worden, sodass am Standort Prag derzeit mehr als 200 Mitarbeiter von Porsche Engineering arbeiten.



Studentischer Wettbewerb in Rumänien

Lösungen für die Mobilität der Zukunft

Lösungen für die Mobilität der Zukunft: Das war das Thema eines Wettbewerbs, zu dem Porsche Engineering am 6. und 7. April 2019 Studenten in Rumänien eingeladen hat. Zur Auswahl standen unter anderem die Bereiche Vehicle-to-Grid, Reverse Engineering, dynamische Fahrerassistenzsysteme und Batterieladesysteme. Unterstützt von professionellen Mentoren von Porsche Engineering hatten die Teams, bestehend aus zwei oder drei Teilnehmern, bis zu zwei Tage Zeit, ihre Lösungen auszuarbeiten und anschließend zu präsentieren. Die Jury bewertete die Vorschläge hinsichtlich Kreativität, möglichem Nutzen, Implementierbarkeit und Qualität des Pitches. Der Wettbewerb fand in den Räumlichkeiten von Porsche Engineering Romania in Cluj-Napoca statt.





Porsche Taycan

Soul, electrified

Mit dem Porsche Taycan geht dieses Jahr der erste rein elektrisch betriebene Sportwagen von Porsche in Serie. Zwei permanenterregte Synchronmotoren (PSM) mit einer Systemleistung von mehr als 440 kW (600 PS) beschleunigen den Taycan in weniger als 3,5 Sekunden auf Tempo 100 und in unter zwölf Sekunden auf 200 km/h. Mehrere Beschleunigungsvorgänge sind direkt hintereinander und ohne Leistungsverlust möglich. Der Allradler verfügt über eine 800-Volt-Architektur. Er lässt sich am Schnellladenetz in rund vier Minuten mit Energie für 100 Kilometer Reichweite nach NEFZ nachladen. Seine maximale Reichweite beträgt über 500 Kilometer gemäß NEFZ.

Hannover Messe

Premiere unter Strom



Porsche Engineering stellte in diesem Jahr erstmalig auf der Hannover Messe aus. Auf dem 100 Quadratmeter großen Messestand im Bereich „Integrated Energy“ konnten sich die Besucher von dem modularen und flexiblen Ladeparksystem überzeugen. Neben der Schnellladelösung wurde erstmals auch die von Porsche Engineering entwickelte Hochvolt-Batterie vom 919 Hybrid sowie das Original-Rennfahrzeug von 2017 ausgestellt.

01.–05. April 2019
<https://www.hannovermesse.de>

Wiener Motorensymposium

Expertise in allen Bereichen

Auf dem Wiener Motorensymposium, der renommierten Tagung für Verbrennungskraftmaschinen und Antriebstechnik, war Porsche Engineering dieses Jahr ebenfalls vertreten. Vorgestellt wurden Exponate aus den Bereichen Verbrennungsmotoren, Hybridsysteme und Ladeinfrastruktur.

15.–17. Mai 2019
<https://wiener-motorensymposium.at>



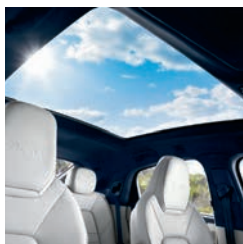
Die Kunst der Ableitung



Die neuen Cayenne Coupé-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert: 261–212 g/km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,4–9,3 l/100 km

Erfolgreiche Derivatentwicklung hat viele Facetten: den Einsatz neuester Methoden und Prozesse. Partnerschaftliche Beziehungen. Den Transfer von Technologien in neue Bereiche. Und vor allem: den Fokus für's Detail mit dem stetigen Blick für das große Ganze. Für einzigartige Ableitungen. Wie zum Beispiel das neue Porsche Cayenne Coupé.



- **12** **Das Derivat im Blick**
Die Entstehungsgeschichte des neuen Cayenne Coupé



- **18** **„Komplexität meistern“**
Ein Gespräch über Ingenieurskunst und hoch motivierte Teams



- **22** **Form folgt Performance**
Das neue Cayenne Coupé im Überblick



- **26** **Transfer innovativer Effizienztechnologien**
Wie Ottomotoren in Motorrädern oder Handhelds effizienter werden



Dem Himmel so nah: Das spektakuläre Glasdach des Cayenne Coupé eröffnet völlig neue Perspektiven.



Das Derivat im Blick

Text: Johannes Winterhagen Fotos: Matthias Just und Tobias Kempe

Porsche erweitert seine Cayenne-Familie: Die dritte Generation der erfolgreichen SUV-Reihe wird mit dem Cayenne Coupé um ein noch sportlicheres Fahrzeug ergänzt. Die Entwicklung des Derivats durch Porsche Engineering, das auf einem erfolgreichen Basismodell aufbaut, zeichnete sich durch den forcierten Einsatz digitaler Simulationsmethoden zur Reduzierung physischer Prototypen sowie neue Fertigungs- und Montageprozesse für das neue, einzigartige Glasdach aus.

Das neue Cayenne Coupé unterscheidet sich durch seine besonders dynamische Linienführung und spezifische Designelemente deutlich vom Cayenne. Serienmäßig verfügt es über ein 2,16 Quadratmeter großes Panorama-Festglasdach. Mit einer Durchsichtfläche von 0,92 Quadratmetern entsteht für alle Passagiere ein einzigartiges Raumgefühl. Optional ist für das Coupé auf Wunsch ein konturiertes Carbondach verfügbar. Zudem profitiert es von allen technischen Highlights der dritten Modellgeneration, die durch leistungsstarke Antriebe, innovative Fahrwerksysteme, ein digitalisiertes Anzeige- und Bedienkonzept und umfassende Konnektivität überzeugt.

Generalunternehmer für die Entwicklung des Derivates war Porsche Engineering. Ab der Projektphase „Konzeptentscheid“ steuerte das Unternehmen die Gesamtfahrzeugentwicklung sowie mit wenigen Ausnahmen auch die Entwicklung aller Baugruppen. Zum bearbeiteten Umfang gehörte nicht nur die Absicherung der technischen Eigenschaften, sondern auch die komplette Begleitung des Serienanlaufs im Volkswagen-Werk Bratislava.

Zum Zeitpunkt der Übergabe im Februar 2016 war das wesentliche technische Konzept für das Fahrzeug definiert und auf grundsätzliche Realisierbarkeit für die spätere Serienproduktion geprüft. Es umfasste auch die vorläufige Festlegung des Stylings, das im weiteren Entwicklungsprozess Detailänderungen erhielt. Eine wichtige Rolle spielten dabei Herstellbarkeitsanalysen. So waren die Abmessungen des Glasdachs zwar bereits mit dem Konzeptentscheid grob festgelegt – die geometrische Detaillierung wurde im weiteren Verlauf der Entwicklung aber von Porsche Engineering definiert. Sie berücksichtigt unter anderem die Anbindung an die Karosserie.

Durch die Erfahrung aus zahlreichen Kundenentwicklungsprojekten innerhalb und außerhalb des Konzerns war Porsche Engineering in der Lage, sowohl die Projektstruktur als auch bestehende Entwicklungsprozesse schnell zu übernehmen. Sie wurden bereits vor dem

Für die Entwicklung des Cayenne Coupé erstellte Porsche Engineering zehn digitale Prototypen, mit denen je nach Modellcharakter unterschiedliche Gesamtfahrzeugeigenschaften vorab analysiert werden konnten.

Konzeptentscheid installiert, um eine reibungslose Übergabe zu gewährleisten. Dazu gehörte die Definition von Simultaneous-Engineering-Teams mit eindeutig geregelter Bauteil-Verantwortlichkeit. Aufgrund der Größenordnung des Projekts lag ein Fokus des Projektmanagements darauf, das Zusammenspiel zahlreicher Fachexperten zu orchestrieren. Für die Entwicklung nutzte Porsche Engineering die Porsche-IT-Systemwelt, wobei die Mitarbeiter überwiegend auf eigenen Servern arbeiteten und die Daten zu festgelegten Terminen bereitstellten.

Baustufenlose Absicherung

Durch den konsequenten Einsatz digitaler Entwicklungsinstrumente reduziert Porsche die Anzahl physischer Prototypenfahrzeuge nachhaltig. Vor diesem Hintergrund wird bei der Entwicklung von Derivaten auf physische Prototypen aus Prototypen-Werkzeugen weitgehend verzichtet, um die damit verbundenen zeitlichen und finanziellen Vorteile zu realisieren. Die Absicherung einer baustufenlosen Entwicklung erfolgt im Wesentlichen durch digitale Werkzeuge, unterstützt allerdings durch zwei manuell aufgebaute Aggregateträger für Fahrwerk und Elektrik/Elektronik. Letzterer ist notwendig, um in einer frühen Entwicklungsphase die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit in den Abmessungen des Serienfahrzeugs festlegen zu können, da bereits geringfügige Varianten der Geometrie das Abschirmungsverhalten verändern können.

Für die Entwicklung des Cayenne Coupé erstellte Porsche Engineering zehn digitale Prototypen, mit denen je nach Modellcharakter unterschiedliche Gesamtfahrzeugeigenschaften vorab analysiert werden konnten. Eine wesentliche Rolle kam der Absicherung des Crashverhaltens zu, die komplett mithilfe von Finite-Elemente-Simulationen durchgeführt wurde. Das besondere Crashverhalten von Glas erforderte, das Modell für das Glasdach und insbesondere die Klebestellen vorab anhand von Ersatzversuchen anzupassen. Auch die Überprüfung der Rohbauteilfestigkeit

Durchsprache:

Details zum Sonnenrollo des Glasdachs werden anhand von Hardware und CAD-Daten erklärt. Von links nach rechts: Jürgen Ossenfort, Hermann Sturm, Helmut Flührer, Marco Schmidt und Holger Rudy.

Kontrolle: Akustik-experte Benjamin Bernard bereitet ein Bauteil für Versuche vor (unten).

**Cayenne-Modelle**

CO₂-Emissionen kombiniert:
261–207 g/km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
11,4–9,1 l/100 km

Die neuen Cayenne Coupé-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert:
261–212 g/km;
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
11,4–9,3 l/100 km

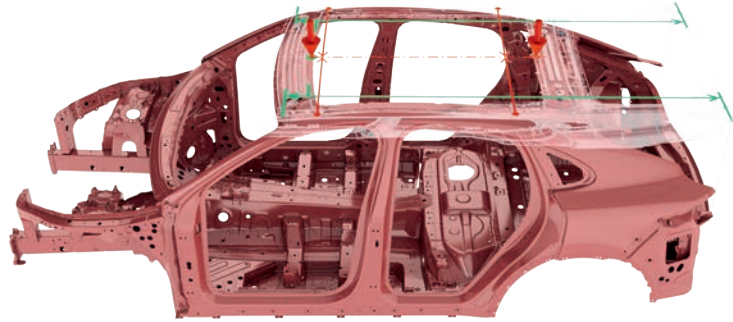
erfolgte ausschließlich numerisch. Die Ergebnisse dieser Berechnungen führten zu Einzelmaßnahmen wie zusätzlichen Versteifungen und der Verlegung von Anbindungspunkten.

Um an der Karosserie Bauraumuntersuchungen durchzuführen, beispielsweise für die Verlegewege von Kabeln, haben die Ingenieure entwicklungsbegleitend ein physisches DCA-Modell (Design Check Aufbau) gepflegt. Besonders wichtig war das für den Fondbereich, wo trotz des heruntergezogenen Dachs ausreichend Kopffreiheit für die Passagiere gewährleistet werden sollte.

Die Auslegung der aeroakustischen Fahrzeugeigenschaften erfolgte mithilfe eines Ersatzversuches, da Simulationsmodelle noch keine hinreichend genauen Ergebnisse liefern. Dafür wurde ein Clay-Modell im

Ausgefeiltes Toleranzmanagement

Um die vorgegebenen Toleranzen einhalten zu können, kommt beim Cayenne Coupé eine Referenzpunktesystematik zum Einsatz. Sie wird über den kompletten Herstellungsprozess von Dach und Rohbau bis zur Endmontage hin durchgängig verwendet.



Fit für alle Lebenslagen: Zum Entwicklungsumfang von Porsche Engineering gehörten auch Erprobungen sowie Dauerlauftests.

Porsche-Windkanal in Weissach getestet, mit dem potenzielle Schallquellen, die aus der Kontur der Außenhaut resultierten, frühzeitig identifiziert werden konnten. Die Aeroakustik zeigt auch die Grenzen der baustufenlosen Entwicklung: Eine finale Entscheidung über die Akustik im Innenraum kann noch immer nur anhand von Realfahrten getroffen werden.

Die Absicherung der Simulationsergebnisse erfolgte ausschließlich mit Vorserienfahrzeugen, die aus serienwerkzeugfallenden Bauteilen am Produktionsstandort in Bratislava gebaut wurden. Die Produktion der ersten Vorserienfahrzeuge wurde, verglichen mit einer baustufenbasierten Entwicklung, um circa drei Monate vorgezogen. Zum Entwicklungsumfang von Porsche Engineering gehörten auch die sich anschließenden Kalt- und Heißland-Erprobungen. Im Rahmen der ersten Kaltland-Erprobung haben die Entwickler auch derivatspezifische Misuse-Fälle simuliert, um die Performance des Glasdaches zu testen. Besonders die Kanten großer Glasflächen können durch Eigenspannungen aus dem Herstellungsprozess bei starken Temperaturschwankungen zu Spannungsrissen führen. Durch intensive Kontrolle der Eigenspannungen konnte frühzeitig eine hohe Güte der Gläser für das Cayenne Coupé sichergestellt werden, sodass keine Spannungsrisse im Testbetrieb auftraten. Teil der Absicherung unter der Regie von Porsche Engineering waren zudem die Dauerlauftests, die dem üblichen von Porsche definierten Prüfprogramm folgten.

Herausforderung Glasdach

Die Entwicklung des Glasdaches war aufgrund der Abmessungen von circa 1,8 mal 1,3 Meter und der großen Biegeradien wegen der abfallenden Dachlinie eine besondere technische Herausforderung. So galt es, gemeinsam mit den Lieferanten für das Verbund-Sicherheitsglas und das Komplettdach inklusive Rollo geeignete Fertigungs- und Montageprozesse zu entwickeln.

Der Produktionsprozess sieht zunächst einen voneinander unabhängigen Beschnitt und Randschliff der zwei Scheiben vor, die anschließend in einem Pressbiegeverfahren ihre gebogene Form erhalten. Der dauerfeste Verbund mit einer zwischenliegenden Folie aus Polyvinylbutyral (PVB) wird in einem Autoklaven hergestellt. Das Dachglas wird anschließend zweifach umschäumt, wobei der innere Ring der Befestigung und Dichtheit der Rollohalterung dient. Ein solcher Prozessschritt wurde nie zuvor auf ein Glasdach dieser Größe angewendet, sodass die erforderlichen Werkzeuge ebenfalls neu konstruiert werden mussten.

Besondere Aufmerksamkeit legten die Entwickler von Porsche Engineering auf das Toleranzmanagement in

Für das Glasdach wurden gemeinsam mit den Lieferanten neue Fertigungs- und Montageprozesse entwickelt.

der Fahrzeug-Endmontage. So kommt beim Cayenne Coupé eine Referenzpunktesystematik zum Einsatz, die über den kompletten Herstellungsprozess von Dach und Rohbau bis zur Endmontage hin durchgängig verwendet wird. So ließ sich eine Montage ohne Nacharbeit realisieren. Für die Handhabung des 30,4 Kilogramm schweren Glasdachs musste ein geeigneter Manipulator entwickelt werden. Er nimmt das Dach so auf, dass es freischwebend über der Rohkarosserie mithilfe von Zentrierpins ausgerichtet und dann eingedrückt wird.

Crash-Sicherheit, Temperaturverhalten und mechanische Festigkeit des Glasdaches wurden anhand numerischer Simulationen und Bauteilversuche vorab ausgiebig untersucht. Frühzeitig wurde entschieden, das Glasdach mit einer doppelt umlaufenden Klebenaut zu befestigen, um ein Maximum an Stabilität zu gewährleisten. Insgesamt lehnte sich die Erprobung stark an den Entwicklungsprozess für eine Windschutzscheibe an, wurde jedoch um Steinschlagversuche auf einer entsprechend präparierten Versuchsstrecke ergänzt. Zudem wurden automatisierte Dauerlaufversuche über 15.000 Zyklen mit dem Rollo durchgeführt, das aufgrund der Dachgeometrie über eine gebogene Welle und einen gebogenen Zugsriegel verfügt.

Wie viel Detailarbeit hinter dem technisch anspruchsvollsten Glasdach der Porsche-Geschichte steckt, werden die Fahrer des Cayenne Coupé allenfalls ahnen – das gilt selbst für den Service-Fall. Sollte das Glasdach ausgetauscht werden müssen, greift das ebenfalls von Porsche Engineering entwickelte Demontage-Konzept. Ausgebaut wird das Glasdach analog zu einer Windschutzscheibe mithilfe eines Schneidedrahts, der den Kleber durchtrennt.

Fazit

Komplexe Detailarbeit, intelligenter Einsatz digitaler Simulationsmethoden und stets der Blick für das große Ganze – beim neuen Derivat des Porsche Cayenne hat Porsche Engineering bewährte Werkzeuge angewandt und neue Methoden und Prozesse entwickelt. Das Ergebnis: ein erfolgreicher Projektverlauf bei hoher Komplexität. Und vor allem: das neue Porsche Cayenne Coupé. 

→ ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering war Generalunternehmer für die Entwicklung des neuen Cayenne Coupés. Ab dem Konzeptentscheid steuerte das Unternehmen die Gesamtfahrzeugentwicklung sowie die Entwicklung fast aller Baugruppen, wobei das Glasdach eine besondere Herausforderung war. Auch die angewandten Methoden waren innovativ: Porsche verzichtet bei der Entwicklung von Derivaten weitgehend auf physische Prototypen aus Prototypen-Werkzeugen. Die Absicherung erfolgte darum im Wesentlichen durch digitale Werkzeuge, unterstützt durch zwei manuell aufgebaute Aggregateträger für Fahrwerk und Elektrik/Elektronik. Dieser Verzicht auf eine Prototypen-Baustufe hat sich bei der Entwicklung des Derivates bewährt.

„Komplexität meistern“

Interview: Johannes Winterhagen Fotos: Frederik Laux

Aus Sicht eines Ingenieurs ist Derivatentwicklung eine Kunst – die Kunst, ein bestehendes Fahrzeug neu zu entwickeln und es trotzdem dasselbe sein zu lassen. Die Herausforderungen, denen Entwickler dabei begegnen, sind vielfältig. Wenn etwa Simulationsmethoden ganze Prototypen-Baustufen ersetzen und Erprobungen ausschließlich auf Basis von Serienwerkzeugen erfolgen, sind technischer Sachverstand, enge Zusammenarbeit und effizientes Projektmanagement gefragt. Wie die Ingenieure des Cayenne Coupé diese Aufgaben gelöst haben, diskutieren Hans-Jürgen Wöhler, Leiter der Baureihe SUV bei Porsche, Michael Schätzle, Leiter der Karosserie-Entwicklung bei Porsche, und Peter Schäfer, Geschäftsführer bei Porsche Engineering.

Porsche, das ist für viele Menschen vor allem der 911 ...

- **HANS-JÜRGEN WÖHLER:** Der 911 ist zweifellos das Herz der Marke. Doch zum Erfolg von Porsche tragen die SUV-Baureihen Macan und Cayenne mittlerweile maßgeblich bei.

Mittlerweile gibt es bei Porsche nicht nur deutlich mehr Modellreihen, sondern innerhalb der Baureihen deutlich mehr Varianten.

- **WÖHLER:** Im Grunde war es schon Teil des Erfolgs beim 911, den Kunden innerhalb der Baureihe möglichst viele Varianten anzubieten. Da ist es nur konsequent, dass wir auch bei den SUVs das Angebot auffächern und so unseren Anteil in diesem wachsenden Marktsegment steigern. Mit dem Cayenne Coupé bringen wir nun ein Modell auf den Markt, das die Alltagstauglichkeit eines SUVs mit den Fahreigenschaften eines Sportwagens verbindet.



2,16 m²

beträgt die Größe
der Glasfläche
des Cayenne Coupé.

Wie genau definieren Sie den Begriff Derivat?

- **MICHAEL SCHÄTZLE:** Wir verwenden den Begriff, sobald es gegenüber dem Basismodell zu Änderungen an der Karosserie kommt. Eine Besonderheit bei Porsche besteht darin, dass jede Antriebsvariante sich auch optisch differenzieren soll und daher auch mit Änderungen an der Karosserie verbunden ist.
- **DR. PETER SCHÄFER:** Wobei der Komplexitätsgrad von Derivaten sehr verschieden sein kann. So weist das Cayenne Coupé eine komplett neue Karosserieform auf, die es so bei Porsche noch nicht gab.

Wie viel Mehraufwand bedeutet ein solches Derivat in der Entwicklung?

- **WÖHLER:** Das hängt davon ab, wie hoch der Änderungsumfang gegenüber dem Basisfahrzeug ist. Da sich Änderungen an Karosserie, Antrieb und Fahrwerk zum Teil gegenseitig bedingen – etwa um für eine stärkere Motorisierung ausreichend



Resümee: Hans-Jürgen Wöhler, Dr. Peter Schäfer und Michael Schätzle (von links) blicken auf die Zusammenarbeit beim Cayenne Coupé zurück.

Kühlleistung zur Verfügung zu stellen –, sind pauschale Aussagen hierzu sehr schwierig. Idealerweise sind die Derivate schon definiert, wenn das Lastenheft für das Basisfahrzeug verabschiedet wird. Aber: Der Markt richtet sich nicht nach unseren Entwicklungszyklen, deshalb reagieren wir gegebenenfalls auch kurzfristiger. Für uns als Ingenieure ist es eine besonders spannende Aufgabe, dann trotzdem noch ein Derivat zu ermöglichen.

Das klingt nach hoher Komplexität, zumal die gesetzlichen Anforderungen an die Fahrzeughomologation steigen.

- **SCHÄTZLE:** Es ist alles komplexer geworden. Auf der anderen Seite haben wir heute einfachere und durchgängigere Entwicklungsprozesse. Das wiegt sich gegenseitig auf. Und damit erreichen wir unser Ziel: unseren Kunden mehr Vielfalt bieten zu können.
- **SCHÄFER:** Ohne den massiven Einsatz von Simula-

Cayenne-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert:
261–207 g/km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
11,4–9,1 l/100 km

Die neuen Cayenne Coupé-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert:
261–212 g/km;
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
11,4–9,3 l/100 km

tionsmethoden wäre die heutige Modellvielfalt überhaupt nicht mehr denkbar. Bei dem Cayenne Coupé sind wir noch einen Schritt weitergegangen und haben auf die erste Prototypen-Baustufe komplett verzichtet. Die Erprobung fand fast ausschließlich mit Fahrzeugen statt, die bereits auf Serienwerkzeugen basierten.

- **WÖHLER:** Das funktioniert allerdings nur, wenn das entsprechende Know-how in der Entwicklung vorhanden ist. Das war für uns ein wesentlicher Grund dafür, große Umfänge an der Entwicklung des Cayenne Coupé an Porsche Engineering abzugeben.

Worin besteht das Erfolgsgeheimnis, um ein solches Projekt erfolgreich abzuschließen? Ein ausgefeiltes technisches Projektmanagement?

- **SCHÄFER:** Es geht nicht nur um Projektmanagement, sondern auch um technische Expertise in der Breite und in der Tiefe. Denn keine Entwicklung ist ohne



„Ohne Expertise geht nichts, ohne flexibles Projektmanagement aber auch nicht. Wir drei sitzen ja hier auch nur stellvertretend für unsere Teams, in denen intensiv zusammengearbeitet wurde.“

Hans-Jürgen Wöhler

„Es ist alles komplexer geworden. Auf der anderen Seite haben wir heute einfachere und durchgängigere Entwicklungsprozesse. Das wiegt sich gegenseitig auf. Und damit erreichen wir unser Ziel: unseren Kunden mehr Vielfalt bieten zu können.“

Michael Schätzle

Überraschung – und dann benötigt man technischen Sachverstand, um auftretende Probleme rasch zu lösen.

- **WÖHLER:** Ohne Expertise geht da nichts, ohne flexibles Projektmanagement aber auch nicht. Wir drei sitzen ja hier auch nur stellvertretend für unsere Teams, in denen intensiv zusammengearbeitet wurde. Ich habe das als integrierte Arbeit empfunden.

Wo haben Sie bei der Entwicklung des Cayenne Coupé besonders eng zusammengearbeitet?

- **SCHÄTZLE:** Die Entwicklung der Heckklappe – der größten und schwersten, die Porsche je realisiert hat – war alles andere als eine Routineaufgabe. Bei dieser Klappe sowie bei Auslegung der Crashsicherheit haben wir intensiv zusammengearbeitet. Alles andere, von der Projektsteuerung bis zur Abstimmung mit dem Produktionswerk in Bratislava, hat Porsche Engineering weitgehend eigenständig gelöst.
- **WÖHLER:** Das ist umso beachtenswerter, als dass der Cayenne sich eine Plattform mit anderen Fahrzeugen im Konzern teilt – und somit ein Derivat nicht losgelöst vom Know-how anderer Marken entwickelt werden kann.

Was war denn die größte technische Herausforderung, die Sie zu bewältigen hatten?

- **SCHÄTZLE:** Das war wohl die Aerodynamik, wo ein erheblicher Zielkonflikt zwischen Akustik, Design und Fahrdynamik bestand.
- **SCHÄFER:** In solchen Situationen ist man in einer Welt voller komplexer Wechselwirkungen. Um dann



rasch Vorschläge zu erarbeiten, wie ein bestehender Zielkonflikt gelöst werden kann, muss man in interdisziplinären Teams eng vernetzt arbeiten. Zumal der zeitliche Spielraum sehr gering ist, insbesondere wenn es um Themen geht, die die Fahrwiderstände beeinflussen und damit die Typzulassung des Fahrzeugs. Die Aerodynamik gehört definitiv zu diesen Themen.

- **WÖHLER:** Da zeigt sich dann wahre Ingenieurskunst. Es gab aber auch sehr positive Überraschungen. Etwa die ersten Prototypen aus den Serienwerkzeugen. Die sind sofort gefahren, und zwar nicht schlecht.

Neben technischen und damit objektivierbaren Entwicklungszielen gibt es aber auch so etwas wie ein Porsche-typisches Fahrgefühl. Wie haben Sie sich darüber verständigt?

- **SCHÄTZLE:** Man muss ja erst mal festhalten, dass das Fahrwerk und der Antrieb grundsätzlich von einem sehr guten Basisfahrzeug übernommen wurden. Für das abgeleitete Derivat geht es dann darum, dass die Gesamtkomposition stimmt.
- **WÖHLER:** Allerdings gehen einem Entwickler die Ideen ja nie aus. Wenn die Entwicklung des Basisfahrzeugs bereits zu weit vorangeschritten ist, um etwas Neues noch einzubringen, kann ein Derivat auch einen Schritt vorangehen. Man wird spüren, dass das Fahrwerk des Cayenne Coupé deutlich sportlicher ausfällt.
- **SCHÄFER:** Um sich über den für Kunden relevanten Fahreindruck abzustimmen, gibt es nichts Effektiveres, als sich gemeinsam ins Auto zu setzen und einfach zu fahren. Das konnten wir schon immer gut miteinander.

Blicken wir zum Abschluss in die Zukunft: Wie verändert sich die Derivatentwicklung durch den Trend zur Elektrifizierung?

- **WÖHLER:** Kunden werden auch bei batterieelektrischen Fahrzeugen verschiedene Karosserie- und Antriebsderivate nachfragen – die Vielfalt bleibt also. Gleichzeitig nimmt die Zahl der Funktionen aber weiter zu. Unsere Aufgabe als Entwickler besteht darin, diese Komplexität zu meistern.
- **SCHÄTZLE:** In einem Übergangszeitraum wird ein Teil unserer Kunden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor wählen, ein anderer Teil reine E-Fahrzeuge. Beiden wollen wir die volle Spreizung unseres Angebots bieten.



„Der wichtigste Erfolgsfaktor sind die hoch motivierten und kompetenten Mitarbeiter, die Tag für Tag in ihren Teams einen tollen Job machen.“

Dr. Peter Schäfer



135 mm

fährt der Heckspoiler ab einer Geschwindigkeit von 90 km/h aus und erhöht so den Anpressdruck auf der Hinterachse.

- **SCHÄFER:** Es gehört zur Strategie von Porsche Engineering, dass wir neben der Gesamtfahrzeug- und Derivatentwicklung die Zukunftsfelder automatisiertes Fahren, Digitalisierung und Elektromobilität besetzen. Darauf bereiten wir uns, unter anderem mit dem Aufbau spezialisierter Auslandsstandorte, seit Jahren vor – und jetzt geht es in diesen Bereichen richtig los. Unser Ziel ist dabei, Porsche-typische Funktionen zunächst einmal unabhängig von einem bestimmten Fahrzeugmodell zu entwickeln. Das wiederum ist Voraussetzung dafür, eine Derivatentwicklung effizient zu gestalten. Der wichtigste Erfolgsfaktor sind aber die hoch motivierten und kompetenten Mitarbeiter, die Tag für Tag in ihren Teams einen tollen Job machen.



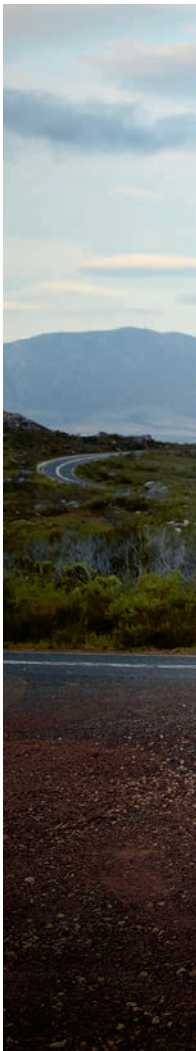
Michael Schätzle leitet die Karosserie-Entwicklung bei Porsche. Zuvor war er verantwortlich für die passive Sicherheit aller Porsche-Modelle und hat als Projektleiter Gesamtfahrzeug bis 2013 die Entwicklung des 911 geprägt.

Hans-Jürgen Wöhler leitet seit 2013 die Baureihe SUV. Damit trägt er die technische und wirtschaftliche Gesamtverantwortung für alle Modellvarianten des Cayenne und des Macan.

Dr. Peter Schäfer ist seit Mitte 2018 Geschäftsführer von Porsche Engineering. Zuvor war er im Entwicklungszentrum Weissach der Porsche AG für die Fahrwerkentwicklung und später für die Gesamtfahrzeugentwicklung verantwortlich.



Nach oben offen: Das serienmäßige Panorama-Glasdach ist eines der Highlights des neuen Cayenne Coupé.



Form folgt Performance

Das neue Cayenne Coupé glänzt nicht nur mit einer geschärften Form – auch bei der Ausstattung hat es einiges zu bieten, zum Beispiel Einzelsitze im Fond und zwei verschiedene Dachkonzepte.



Die neuen Cayenne Coupé-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert: 261–212 g/km

Kraftstoffverbrauch kombiniert: 11,4–9,3 l/100 km

Stark motorisiert: Das Cayenne Coupé mit Sechszylinder-Turbomotor und drei Litern Hubraum leistet 250 kW (340 PS) und entwickelt ein maximales Drehmoment von 450 Nm. Als Topmodell geht das Cayenne Turbo Coupé mit dem Vierliter-V8-Motor mit Biturbo-Aufladung, 404 kW (550 PS) und einem maximalen Drehmoment von 770 Nm an den Start.



Dynamisches Design: Die deutlich schneller nach hinten abfallende Dachlinie verleiht der Coupé-Variante des Cayenne einen noch dynamischeren Auftritt und positioniert es optisch als das sportlichste Modell im Segment. Unterstützt wird dieser Effekt von einem feststehenden Dachspoiler, der die coupéhafte Silhouette betont.

Lichtblick: Das Panorama-Glasfenster sorgt für ein einzigartiges Raumgefühl. Ein integriertes Rollo schützt vor Sonneneinstrahlung und Kälte. Als weitere Besonderheit verfügt das Coupé im Fond serienmäßig über eine Rückbank mit Einzelsitz-Charakteristik. Alternativ kann man ohne Aufpreis die aus dem Cayenne bekannte 2+1-Komfort-Fondsitzanlage bestellen.



Sportlich: Das optional erhältliche konturierte Carbondach ist mittig verprägt und besitzt eine sportwagentypische Optik – ähnlich wie beim Porsche 911 GT3 RS. Es ist Bestandteil eines von drei Leichtbau Sport-Paketen.



Alles an Bord: Zur umfangreichen Serienausstattung zählen der Parkassistent vorn und hinten, inklusive Rückfahrkamera. Die neuen achtfach elektrisch verstellbaren Sportsitze mit integrierten Kopfstützen bieten vorne hohen Komfort und optimalen Seitenhalt.



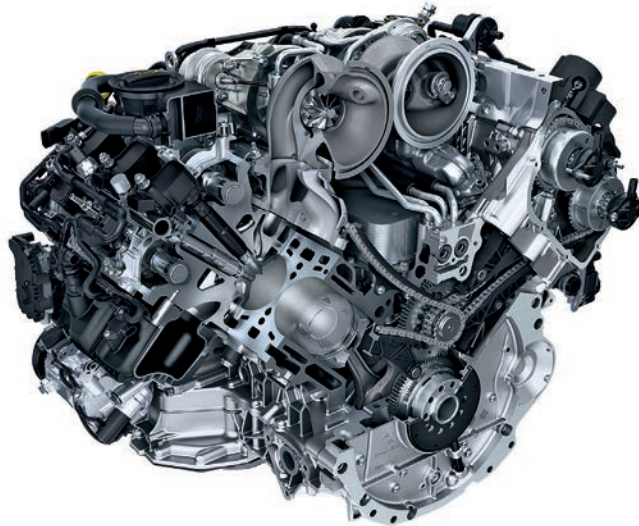
Transfer innovativer Effizienztechnologien



Einspritzung in Handheld-Geräten sorgt für mehr Performance bei verringertem Kraftstoffverbrauch und sinkenden Emissionen.



Ein variables **Verdichtungsverhältnis** kann bei Motorrädern einen Wirkungsgradvorteil von vier bis acht Prozent ergeben.



Wasserkühlung ist in nahezu allen Powersport-Anwendungen im Einsatz und trägt zur Effizienzsteigerung bei.



Ebenso wie Boote profitieren auch Quads bereits von effizienten Motoren mit **Wasserkühlung**.

Ottomotoren stecken nicht nur in Millionen Pkws – sie treiben auch Motorräder, Roller, Boote, Kleingeräte oder stationäre Arbeitsmaschinen an. In diesen Bereichen werden die gesetzlichen Vorgaben strenger, und auch die Ansprüche der Kunden steigen. Porsche Engineering kann innovative Technologien aus dem Auto in den Non-Automotive-Bereich übertragen.

Text: Christian Buck

Ottomotoren in Autos haben eine erstaunliche Entwicklung hinter sich: Zuerst angetrieben vom Wunsch nach mehr Leistung und Komfort, später von strengen Verbrauchs- und Emissionsvorgaben sind sie heute technisch komplexe Systeme und hochgradig für ihren Einsatzzweck optimiert. Dazu haben viele neue Technologien beigetragen, unter anderem Direkteinspritzung, Abgasnachbehandlung, Downsizing und Hybridisierung. Und auch wenn der Trend langfristig in Richtung elektrifizierte Fahrzeuge geht – Ottomotoren werden im Jahr 2050 voraussichtlich noch in 70 Prozent aller Pkws für Antrieb sorgen, dann allerdings meist als Hybridvariante in Kombination mit einem E-Motor.

Motorräder und -roller sowie Boote werden ebenfalls noch lange Ottomotoren nutzen. Allerdings werden auch in diesem Bereich die gesetzlichen Anforderungen schärfer und die Kunden anspruchsvoller. „Bei den Motorrädern hat die EU die Emissionsgrenzwerte bereits stark abgesenkt“, berichtet Klaus Fuoss, Leiter Fachbereich Motor bei Porsche Engineering. „Bis 2020 darf der Kohlenmonoxid-Ausstoß bei maximal 1.000 und der Ausstoß von Kohlenwasserstoffen bei 100 Milligramm pro Kilometer liegen, was den Pkw-Grenzwerten aus dem Jahr 2005 entspricht.“ Bei den Stickoxiden sind dann nur noch 60 Milligramm pro Kilometer erlaubt, entsprechend dem Pkw-Grenzwert aus dem Jahr 2009.

Eine ähnliche Entwicklung gibt es bei Kleingeräten (Handheld- und Non-Handheld) wie Motorsägen bzw. Rasenmähern. Je nach Hubraum des Motors dürfen

↓
60
Milligramm
Stickoxide pro Kilometer
dürfen Motorräder
ab 2020 noch ausstoßen.

Handheld-Geräte gemäß US- und EU-Vorgaben nur noch maximal 50 bzw. 72 Gramm Kohlenwasserstoffe und Stickoxide (kombiniert) pro Kilowattstunde Arbeit ausstoßen. Bei Non-Handheld-Geräten sind zwischen acht und zehn Gramm pro Kilowattstunde erlaubt.

Neben dem Gesetzgeber werden auch die Kunden anspruchsvoller, etwa bei Motorrädern aus dem Hochleistungsbereich. „Hier sind einerseits hohe Leistungen bei hohen Drehzahlen und andererseits bessere Fahreigenschaften bei niedrigen Drehzahlen gefordert“, so Fuoss. In Schwellenländern hingegen sind Millionen Menschen auf Motorroller angewiesen, die robust und effizient sind – und die immer strengere Abgasnormen mit kostengünstiger Technik einhalten können.

Bei den Arbeitsgeräten fordern die Nutzer einen besseren Schutz: Die deutschen Berufsgenossenschaften geben beispielsweise einen Grenzwert von 35 Milligramm Kohlenmonoxid pro Kubikmeter Atemluft vor. Das geruchlose Gas sammelt sich unter anderem in Gruben und hat eine toxische Wirkung. Auch die Kohlenwasserstoffe im Abgas sind problematisch: Sie verbreiten nicht nur einen unangenehmen Geruch, sondern enthalten auch krebserregende Benzolringe.

Der Ottomotor muss also sauberer werden – nicht nur im Pkw. Allerdings verfügen viele Unternehmen aus dem Non-Automotive-Bereich nicht über die großen Entwicklungsbudgets der Automobilhersteller. „Gefragt ist darum der intelligente Transfer reifer Technologien vom Auto in andere Anwendungen“, sagt Fuoss. „Am weitesten sind hier die Motorradhersteller, bei denen

die Gesetze meistens sechs bis acht Jahre hinter den Vorgaben für Pkws hinterherhinken.“ Vieles aus dem Auto findet sich darum bereits heute in hochpreisigen Zweirädern, zum Beispiel die mechanische Aufladung mit Kompressoren.

Vertraut mit allen Technologien

Porsche Engineering ist mit allen Effizienz- und Umweltschutz-Technologien aus dem Ottomotoren-Bereich vertraut und kann Unternehmen aus dem Non-Automotive-Bereich beim Transfer in ihre Produkte unterstützen – immer unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen wie geringe Kosten oder möglichst niedriges Gewicht. Allerdings ist nicht jede Technologie für jedes Produkt sinnvoll. „Eine genaue Analyse muss in jedem Einzelfall zeigen, ob sich die gesteckten Ziele wirtschaftlich sinnvoll erreichen lassen“, sagt Fuoss. Für eine bessere Orientierung haben die Experten von Porsche Engineering Technologien auf ihren Einsatz in Motorrädern sowie Handheld- und



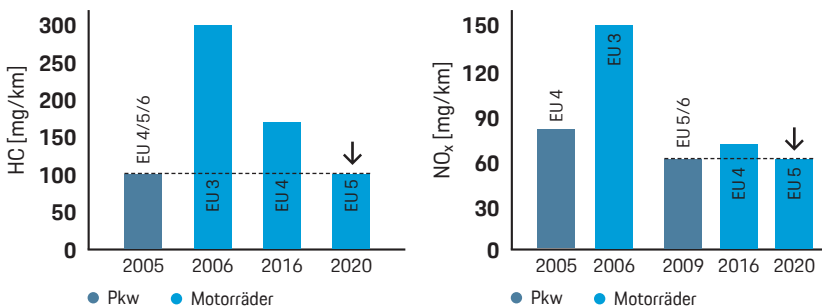
Analyse

Nicht jede Technologie aus dem Pkw-Bereich lässt sich sinnvoll übertragen. Eine genaue Analyse muss zeigen, was sinnvoll ist und was nicht.

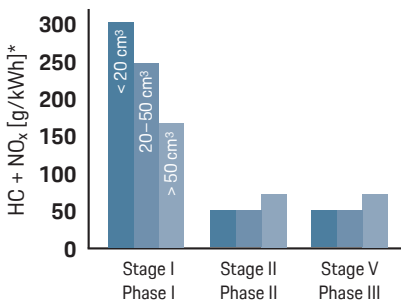
Emissionsanforderungen werden strenger

Ähnlich wie im Automotive-Bereich gelten auch bei Motorrädern, Handheld- und Non-Handheld-Geräten Grenzwerte für Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickoxide, die zunehmend verschärft werden. Um sie einhalten zu können, ist der Transfer von Effizienztechnologien aus dem Pkw-Bereich erforderlich.

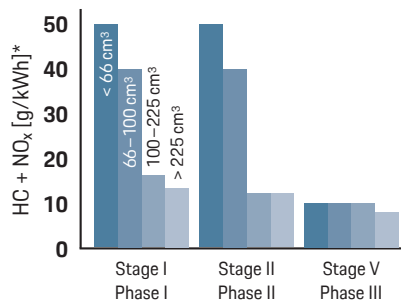
EU-Emissionsstandard: Auto vs. Motorrad



Handheld



Non-Handheld



*NO_x-Grenzwert für EU-Stages: 10 g/kWh, wenn nicht spezifiziert; Quelle: Porsche Engineering

Non-Handheld-Geräten untersucht: alternative Kraftstoffe, Einspritzung, Abgasnachbehandlung, variable Ventiltriebe, variable Verdichtung, Down- bzw. Rightsizing, Elektrifizierung und Wasserkühlung.

Am schnellsten ließen sich die Emissionen und der Kohlendioxid-Ausstoß durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe senken, etwa durch Methan als Benzin-Ersatz: Wegen des günstigen Verhältnisses von Wasserstoff- zu Kohlenstoffatomen würden Ottomotoren rund 25 Prozent weniger CO₂ ausstoßen. Regenerativ erzeugtes CH₄ – etwa per Elektrolyse aus erneuerbarem Strom und anschließender Methanisierung produziert – wäre sogar völlig klimaneutral. Hinzu kommt: In dem alternativen Kraftstoff sind weniger gesundheitsgefährdende Bestandteile enthalten. „Technisch ist es absolut sinnvoll, Benzin durch solche Alternativen zu ersetzen“, so Fuoss. „Zudem sind bei den Motoren nur minimale Anpassungen erforderlich.“

Auch die Einspritzung gehört zu den vielversprechenden Technologien für Non-Automotive-Anwendungen – selbst in Motorsägen. Die Technologie verspricht durch ein genaueres Timing und eine präzisere Gemischbildung mehr Performance bei verringertem Kraftstoffverbrauch und sinkenden Emissionen. Vor allem der Ausstoß von Kohlenwasserstoffen ließe sich senken. Was sich bei Motorrädern und Jet-Booten bereits bewährt hat, könnte in Zukunft also auch in Handheld- und Non-Handheld-Geräte Einzug halten. „Der Entwicklungsaufwand ist vertretbar, und auch das Zusatzgewicht von 100 bis 200 Gramm ist selbst bei Handheld-Geräten noch akzeptabel“, so Fuoss. „Wann und wie schnell die Einspritzung in diesem Bereich kommt, hängt aber entscheidend von den künftigen Emissionsgrenzwerten ab.“

Besonders sinnvoll wäre ihr Einsatz in Verbindung mit Abgasnachbehandlung. Dreivegekatalysatoren sind heute bei Motorrädern schon im Einsatz und reduzieren dort die Kohlenwasserstoff-, Kohlenmonoxid- und Stickoxidemissionen. Im Prinzip ließen sich mit ihnen auch Handheld-Geräte und stationäre Arbeitsmaschinen umweltfreundlicher machen. Allerdings hat das einen Preis: Durch die Begrenzung der Abgastemperatur sinkt die Leistung, außerdem nimmt der Kraftstoffverbrauch zu. „Wegen der teuren Edelmetalle in den Katalysatoren steigen auch die Kosten“, erklärt Fuoss. „Technisch gibt es zwar keine Hürden für die Abgasnachbehandlung in Handheld- und Non-Handheld-Geräten – sie wird aber ebenfalls nur kommen, wenn der Gesetzgeber das vorschreibt.“

Variable Ventiltriebe sind eine interessante Technologie für leistungsstarke Motorräder. Sie ermöglichen mehr Flexibilität beim Ladungswechsel, was zu einer höheren Performance, weniger Emissionen und einem sinkenden Kraftstoffverbrauch führt. Für Handheld- und Non-Handheld-Geräte sind variable Ventiltriebe wegen

Anwendungsspezifische Analyse erforderlich

Nicht jede Effizienztechnologie aus dem Pkw-Bereich eignet sich für den Transfer in andere Anwendungen. Faktoren wie Kosten, Gewicht oder Bauraum geben im Einzelfall den Ausschlag.

	Variabler Ventiltrieb bzw. -steuerung	Einspritzung (EFI)	Abgasnachbehandlung	Downsizing	Variables Verdichtungsverhältnis	Alternative Kraftstoffe	Elektrifizierung
Performance	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Kraftstoffverbrauch/CO ₂	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Emissionen	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●*
Komplexität/Gewicht	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Kosteneffizienz	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●
Zusätzlich benötigt	ECU	ECU	Closed-Loop-Lambdasteuerung	Aufladung, Direkteinspritzung	Turboladung	Tank, Gemisch-aufbereitung	Elektronik, Batterien
Umsetzbarkeit bei Motorrädern	Powersports ●●●●●	Massenmarkt ●●●●●	Großes Potenzial, sofern noch nicht implementiert ●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	Urbane Mobilität ●●●●●
Umsetzbarkeit bei Handhelds	●●●●●	●●●●●		●●●●●	●●●●●	●●●●●	Rein elektrisch ●●●●●
Umsetzbarkeit bei Non-Handhelds	●●●●●	●●●●●		●●●●●	●●●●●	●●●●●	Hybrid ●●●●●

●●●●● sehr gut geeignet
●●●●● nicht geeignet

* lokale Emissionen

der hohen Kosten allerdings keine Option. Ein ähnliches Bild ergibt sich für Motoren mit einem variablen Verdichtungsverhältnis: „Der Wirkungsgradvorteil von vier bis acht Prozent könnte für Motorräder in Zukunft interessant werden“, sagt Fuoss. „Hinzu kommt die Möglichkeit, in Verbindung mit dem Miller-Verfahren und Aufladung die Emissionen deutlich zu senken.“ Für Handheld- und Non-Handheld-Geräte ist diese Technologie aber ebenfalls zu komplex und zu teuer. Down- bzw. Rightsizing kann bei Motorrädern – ähnlich wie bei Autos – zu einem sinkenden Kraftstoffverbrauch führen.

Geringe Reichweiten bei E-Antrieben

Lokal völlig emissionsfrei werden Motorräder und Arbeitsgeräte durch elektrische Antriebe. Hier stellen sich aber noch viele Fragen, etwa nach der Betriebsdauer. „Elektrisch angetriebene Motorräder glänzen zwar mit hohen Beschleunigungen, bieten im Moment aber nur geringe Reichweiten – was schlecht für lange Touren

ist“, erklärt Fuoss. „Darum ist es im Moment schwer zu sagen, ob sie Erfolg haben werden.“ Wer Handheld- und Non-Handheld-Geräte elektrisch betreiben will, muss eine ausreichende Betriebsdauer eventuell durch den Einsatz mehrerer Akkus erkaufen – was die Kosten in die Höhe treibt.

Wasserkühlung trägt ebenfalls zur Effizienzsteigerung bei Verbrennungsmotoren bei und ist in nahezu allen Powersport-Anwendungen (unter anderem Motorräder, Boote und Quads) bereits im Einsatz. Kleingeräte nutzen vereinzelt vereinfachte Wasserkühlungssysteme, die sich aufgrund von Kosten und Gewicht jedoch noch nicht durchgesetzt haben.

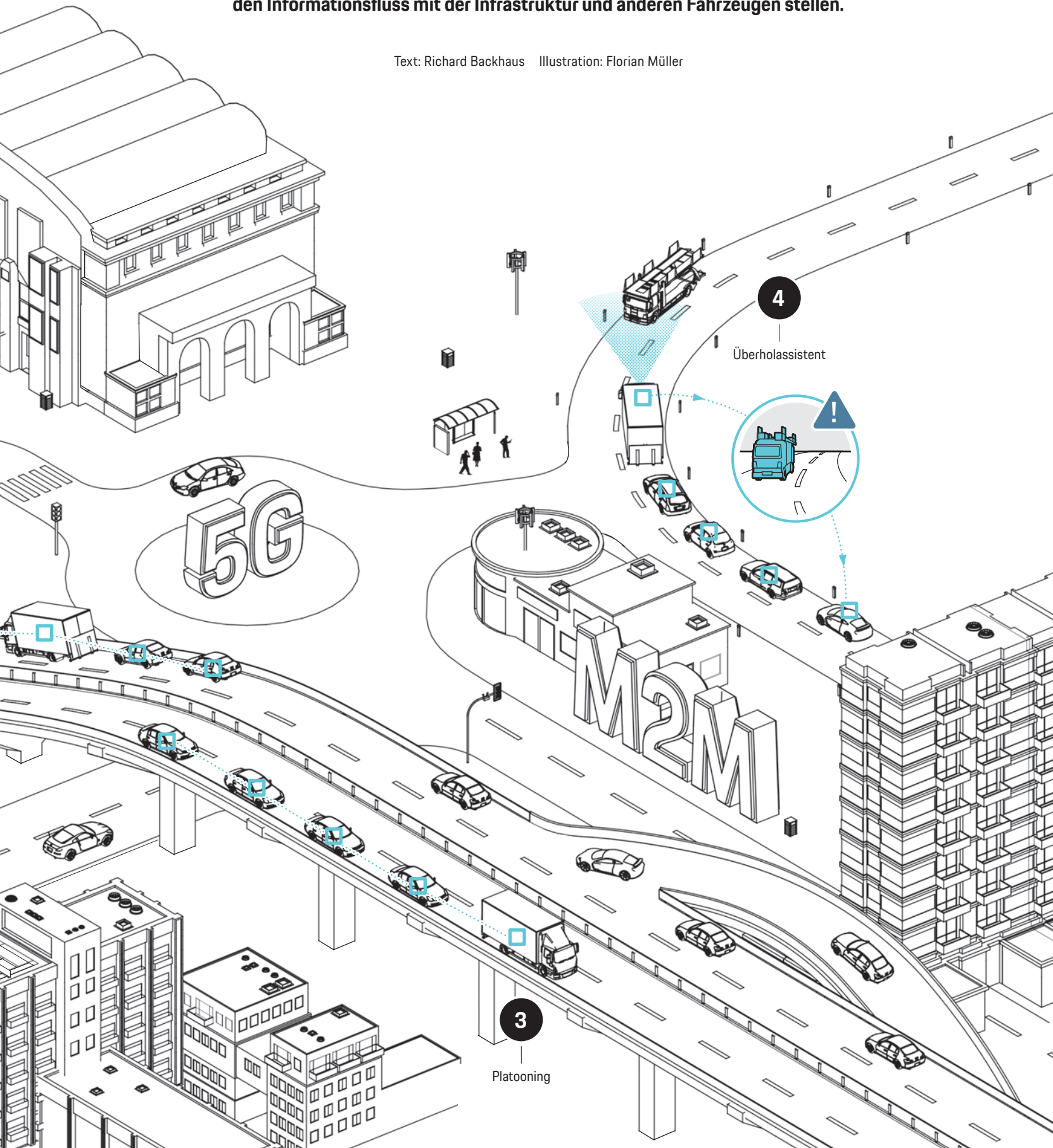
Somit spricht aus Sicht der Experten von Porsche Engineering vieles dafür, dass Ottomotoren auch jenseits des Autos noch lange ihre Berechtigung haben werden. Umso wichtiger ist es, innovative und ökonomisch sinnvolle Effizienztechnologien aus dem Pkw-Bereich in neue Anwendungen zu transferieren. ◀

Schnelles Netz für smarte Autos



Das 5G-Funknetz ermöglicht eine sichere und verzögerungsfreie Datenübertragung zwischen Maschinen. Davon profitieren auch vollautomatisierte Fahrfunktionen, die hohe Anforderungen an den Informationsfluss mit der Infrastruktur und anderen Fahrzeugen stellen.

Text: Richard Backhaus Illustration: Florian Müller



Die von Funknetzen zu übertragenden Datenmengen steigen immer weiter an, vor allem durch die zunehmende Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M-Kommunikation). Im Automobilbereich gilt insbesondere das vollautomatisierte Fahren als Treiber dieser Entwicklung: Liegen die pro Stunde zu übertragenden Datenvolumina bei aktuellen hochvernetzten Fahrzeugen noch im Gigabyte-Bereich, werden es 2025 schon mehrere Terabyte sein.

5G-Netzwerke spielen eine entscheidende Rolle für den Umgang mit diesen großen Datenmengen, denn im Gegensatz zum 3G- und 4G- bzw. LTE-Funknetz wurde 5G speziell auf die Eigenschaften und den Leistungsbedarf der M2M-Kommunikation abgestimmt. So bietet das Netz eine viel höhere Datenrate von 20 statt bisher 1 GBit/s. Zudem wurde die Latenzzeit – die Spanne zwischen einer Abfrage und dem Eintreffen der Antwort – auf nur noch eine statt zehn Millisekunden verringert. Das bedeutet, dass Daten nahezu in Echtzeit übertragen werden. Für technische Anwendungen wie die Fernsteuerung von Robotern oder automatisierte Fahrfunktionen ist das ein entscheidender Faktor, da über eine leistungsfähige Echtzeitvernetzung im Systemverbund neue Funktionen realisiert werden können.

Allerdings würde der theoretische Zeitgewinn des 5G-Netzes bei einer klassischen Netztopologie mit zentralem Rechnerzentrum durch die zu langen Übertragungswege von und zu den Sendemasten wieder zunichte gemacht. Für minimale Latenzzeiten ist beim 5G-Netz daher eine dezentrale Lösung geplant, bei der jede Sendestation einen eigenen Rechner erhält, der Daten empfängt, verarbeitet und selbsttätig wieder aussendet. Es bilden sich viele einzelne Mini-Datenclouds, sogenannte „Cloudlets“. Dieser Ansatz wird auch als Mobile Edge Computing bezeichnet, da sich Cloud und Rechner sozusagen am Rand des mobilen Netzes befinden. Darüber hinaus können die Maschinen im 5G-Netz bei Bedarf direkt miteinander und ohne den Umweg über eine Sendestation kommunizieren. Damit lässt sich die Übertragungszeit zusätzlich minimieren.

Weiterer Vorteil: 5G kann im Vergleich zu 4G eine viel größere Anzahl an Endgeräten pro Funkzelle versorgen. Dabei priorisiert das Netz die Anwendungen und passt die Übertragung – falls notwendig – auch der Auslastung an. Die Daten zeitkritischer Anwendungen werden schneller durch das Netz geleitet als andere Daten, etwa ein Videostream privater Nutzer.

1

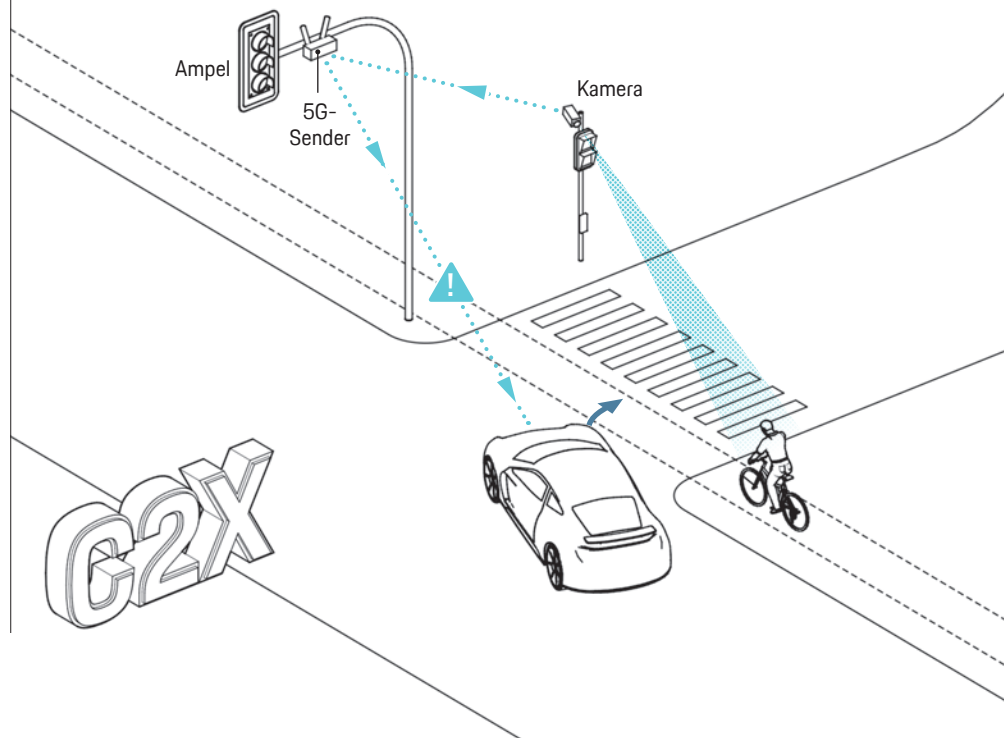
Abbiege-assistent

Der Informationsaustausch zwischen Auto und Infrastruktur wird künftig selbstverständlich sein – via 5G oder WLAN. So lassen sich beispielsweise Unfälle beim Abbiegen vermeiden.

Grundsätzlich müssen automatisierte Fahrfunktionen aus Sicherheitsgründen so konzipiert sein, dass alle während der Fahrt auftretenden Eventualitäten allein mit den fahrzeugeigenen Assistenzsystemen erfasst und beherrscht werden können. Das gilt sowohl auf Autobahnen und Landstraßen als auch in Innenstädten. In Grenzsituationen, beispielsweise bei schlechter Sicht oder in unübersichtlichen Verkehrssituationen, können ergänzende Informationen durch den Datenaustausch mit der Infrastruktur oder anderen Fahrzeugen – die sogenannte C2X-Kommunikation – die Regelgüte der bordeigenen Systeme allerdings erheblich verbessern.

Komplette Wegstrecke berücksichtigen

„Die Sensorik des Fahrzeugs reicht aktuell nur maximal 300 Meter weit um das Fahrzeug herum. Mithilfe der Sensordaten anderer Fahrzeuge und der Infrastruktur können Informationen entlang der kompletten Wegstrecke berücksichtigt werden“, erläutert Jaime Arveras, Funktionsverantwortlicher Connected Car bei Porsche Engineering. „Fahrmanöver lassen sich dadurch viel besser an die Erfordernisse anpassen und Gefahrensituationen frühzeitig erkennen.“ Das eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Fahrerassistenz. Beispielsweise könnten Abbiegeassistenzsysteme mithilfe einer C2X-Anbindung schon vor dem Richtungswechsel erkennen, dass sich Fußgänger hinter der Einmündung auf der Fahrbahn befinden oder die Strecke durch einen Unfall blockiert ist.



Automated Valet Parking

Der Fahrer steigt im Eingangsbereich aus und übergibt sein Auto der zentralen Parkplatzsteuerung. Sie fährt es automatisch zur Stellfläche und bringt es später wieder zurück.

In abgeschlossenen Räumen wie Parkhäusern macht die C2X-Kommunikation das sogenannte Automated Valet Parking möglich: Der Fahrer steigt im Eingangsbereich aus und übergibt das Auto der zentralen Parkplatzsteuerung. Sie fährt das Fahrzeug dann vollautomatisiert zur Stellfläche und bringt es später auch wieder zurück. Eine weitere Beispielanwendung auf Basis der C2X-Kommunikation wird derzeit erprobt: das koordinierte Fahren mehrerer Fahrzeuge hintereinander mit geringem Abstand. Dieses „**Platooning**“ nutzt den Windschatten besser aus und soll vor allem bei Nutzfahrzeugen durch Autobahn-Kolonnenfahrten den Kraftstoffverbrauch senken. Ohne schnelle Kommunikation ist das nicht möglich: Wenn ein Fahrzeug der Reihe bremst, muss das Signal ohne Verzögerung an die folgenden Fahrzeuge übertragen und dort automatisch eine Bremsung eingeleitet werden, um Auffahrunfälle zu verhindern.

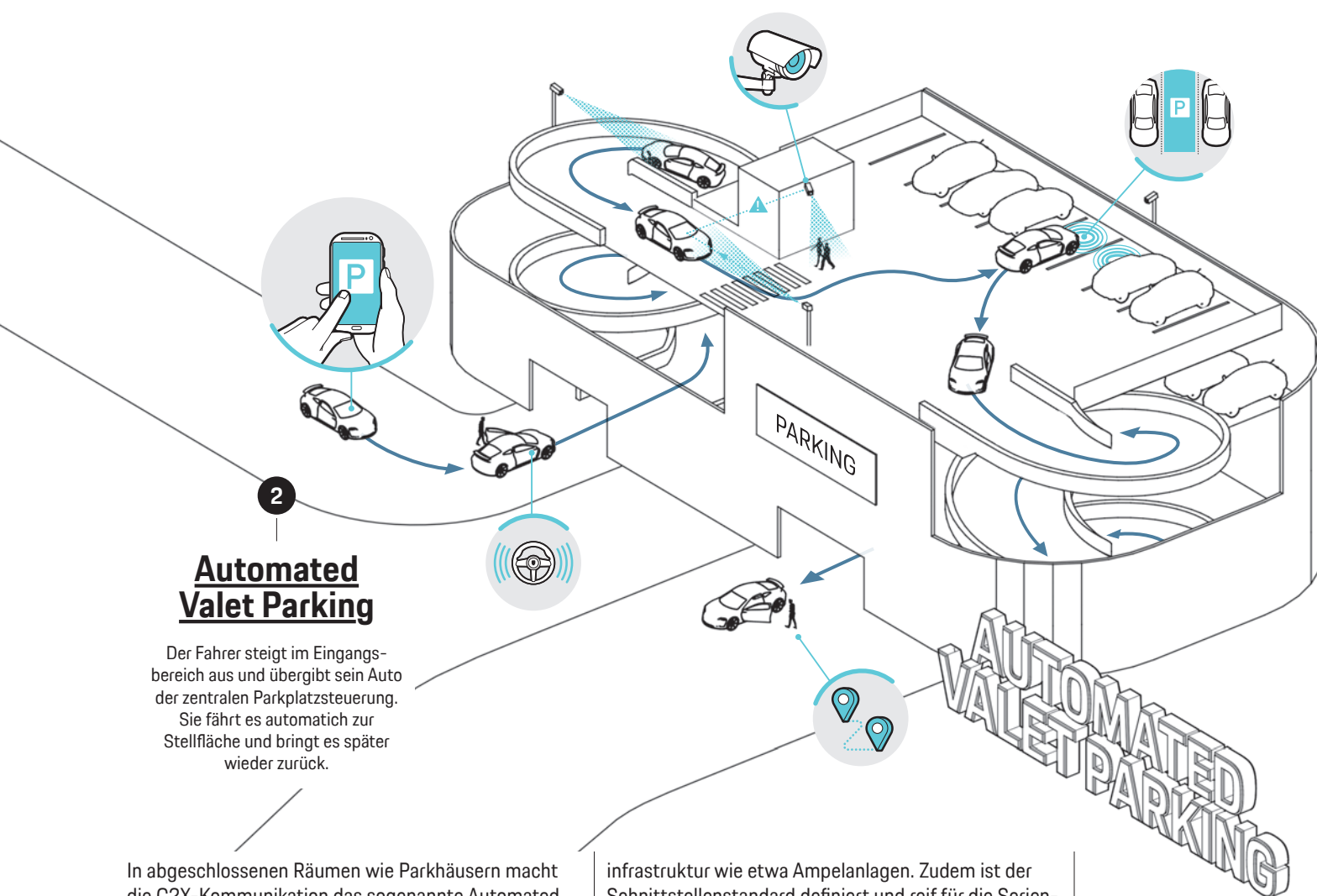
Das 5G-Mobilfunknetz ist besonders gut für die C2X-Kommunikation geeignet, weil es einen schnellen, abgesicherten Austausch großer Datenmengen über weite Strecken ermöglicht. Als technische Alternative nutzen OEMs dafür auch den WLAN-basierten Standard ITS-G5. Für ihn spricht die vergleichsweise einfache Implementierung in die vorhandene Verkehrs-

infrastruktur wie etwa Ampelanlagen. Zudem ist der Schnittstellenstandard definiert und reif für die Serien-einführung. So plant Volkswagen, neue Fahrzeugmodelle von 2019 an mit der WLAN-C2X-Kommunikation auszurüsten. „Beide Konzepte haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Mittelfristig wird sich daher vermutlich zunächst einmal ein Hybridsystem etablieren, bei dem die Pfade redundant genutzt werden“, so Dominik Raudszus, Teamleiter Vernetzung und Testing am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen. Langfristig dürfte sich das kommende Mobilfunknetz allerdings gegenüber anderen Übertragungsarten wie WLAN durchsetzen.

„Die C2X-Kommunikation über 5G wird oftmals die heutige Abstimmung zwischen den Fahrern untereinander ersetzen, die durch Sensoren nicht abgebildet werden kann“, sagt Kai Schneider, der als Entwicklungsingenieur für Konnektivität bei der Porsche AG an 5G-basierten C2X-Konzepten arbeitet. „Das gilt beispielsweise für einen flüssigen und schnellen Einfädelvorgang auf der Autobahn. Für ein vollautomatisiertes Fahren auf hohem Komfortniveau, das sich reibungslos in den bestehenden Verkehr integrieren soll, kommt man an der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen daher nicht herum.“

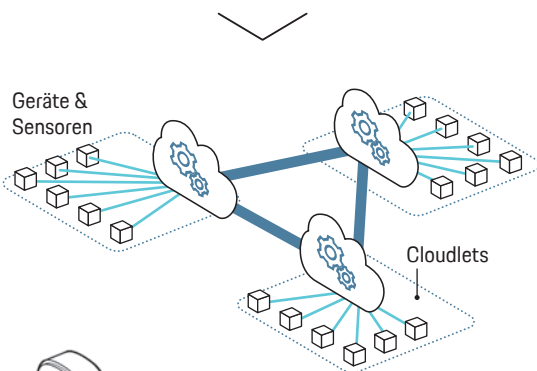
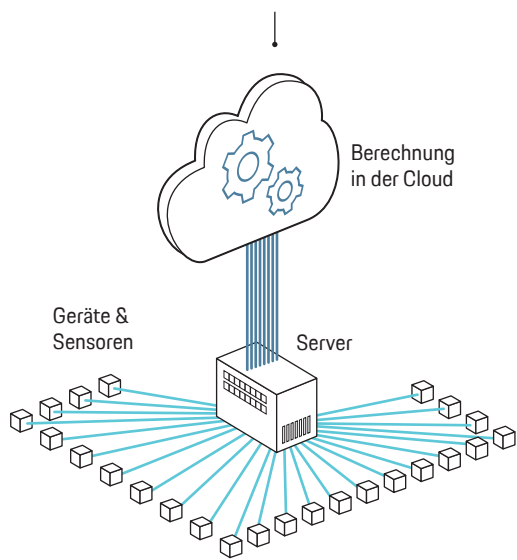
400

Milliarden Dollar will China bis 2020 in den Ausbau seines 5G-Netzes investieren.



Verteilte Rechenleistung

Für minimale Latenzzeiten ist beim 5G-Netz eine dezentrale Lösung geplant, bei der jede Sendestation einen eigenen Rechner erhält. So bilden sich viele einzelne Mini-Datenclouds, genannt „Cloudlets“.



CLOUDLETS

3G

42 MBit/s

Im Jahr 2004 startete der UMTS-Standard (Universal Mobile Telecommunications System) in Deutschland. Er erlaubte zuerst die Übertragung von Sprache und Daten mit bis zu 384 KBit/s. Das mobile Surfen konnte beginnen. Weiterentwicklungen brachten Geschwindigkeiten von zunächst 7,2 MBit/s, dann 42 MBit/s.

4G

1.000 MBit/s

Der aktuelle Standard für Smartphones ist LTE (Long Term Evolution), der 2010 in Deutschland startete. Er erlaubt Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 1.000 MBit/s. Praktisch muss man aufgrund der begrenzten Netzkapazität aber meist mit 50 MBit/s zufrieden sein.

5G

20 GBit/s

Die fünfte Generation des digitalen Mobilfunks ist bis jetzt noch Zukunftsmusik. Der neue Standard soll Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 20 GBit/s möglich machen. Die Latenzzeit soll maximal eine Millisekunde betragen, was besonders für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation wichtig ist, etwa im Straßenverkehr oder in der Industrie.

Aber selbst wenn noch keine vollautomatisierten Fahrfunktionen im Fahrzeug realisiert sind, lassen sich über die hohe Geschwindigkeit der 5G-Kommunikation neue Assistenzfunktionen realisieren. Zum Beispiel für mehr Überblick in unübersichtlichen Situationen, etwa wenn die Sicht auf den Gegenverkehr eingeschränkt ist. Ein vorausfahrender Lkw könnte dazu sein Videobild der Straße in Echtzeit auf das Display des folgenden Fahrzeugs übertragen. Dessen Fahrer würde anhand der Videobilder sehen, was weiter vorne los ist.

Ein branchenübergreifendes Bündnis treibt den Einsatz von 5G voran

Der Einsatz der 5G-Technologie für das automatisierte Fahren wird von einem branchenübergreifenden Bündnis aus Telekommunikationsanbietern, Automobilherstellern und Forschungsinstituten im Rahmen unterschiedlicher Projekte untersucht. „Nur im Zusammenspiel verschiedener Technologien und mit Partnern im und um das Auto herum kann das Fahrzeug vorausschauend fahren, Gefahren frühzeitig erkennen und uns effizient von A nach B bringen“, so Dr. Johannes Springer, Leiter 5G Programm Automotive bei der Deutschen Telekom. Eine der größten nationalen Initiativen ist das Projekt „5G-ConnectedMobility“, an dem sich Ericsson, die BMW Group, die Deutsche Bahn, die Deutsche Telekom, Telefónica Deutschland, Vodafone, 5G Lab Germany (TU Dresden), die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und die Bundesnetzagentur (BNetzA) beteiligen. Auf der A9, Deutschlands offiziellem „Digitalen Testfeld Autobahn“, wurde dazu ein Testnetzwerk installiert. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl kleinerer Einzelprojekte. So hat Vodafone beispielsweise das Aldenhoven Testing Center der RWTH Aachen mit einem 5G-Forschungsnetz ausgestattet. Die Telekom wiederum betreibt unter anderem ein 5G-Testnetz in Hamburg und am Lausitzring. Zusammen mit dem Streckenbetreiber DEKRA hat sie dort auf 545 Hektar Fläche das europaweit größte Testfeld für automatisierte Fahrfunktionen aufgebaut. In Nardò widmet sich Porsche Engineering gemeinsam mit unterschiedlichsten Herstellern der Weiterentwicklung des Testgeländes in Bezug auf die Erprobung vernetzter Fahrfunktionen.

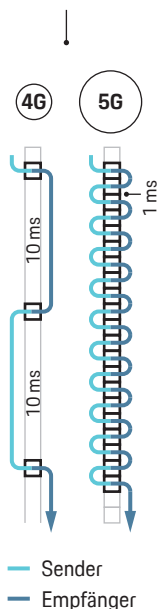
Im Vergleich zum 3G- und 4G-Netz arbeitet der aktuell in Deutschland vorgesehene 5G-Standard mit höheren Frequenzen von 2 und 3,6 GHz. Mit ihnen können größere Datenraten übertragen werden, physikalisch bedingt haben sie jedoch eine geringere Reichweite. Für den Netzaufbau müssen darum sehr viel mehr

Schnelle Reaktion

Bei 5G soll zwischen einer Anfrage und der Antwort maximal eine Millisekunde liegen. Bisher dauert es meist zehnmal so lang.

Sendemasten als bei 3G und 4G installiert werden. Er wird – sofern nicht vom Gesetzgeber zur Umsetzung der notwendigen Netzabdeckung vorgegeben – von den Netzbetreibern anhand der lokalen Anforderungen gesteuert: Wo ein großer Datenaustausch erforderlich und es wirtschaftlich sinnvoll ist, installieren sie Basisstationen. Für das automatisierte Fahren wird ein ultraschnelles Hochleistungs-Datennetzwerk entlang der Verkehrswege entstehen (an Autobahnen sowie Bundes- und Landstraßen und in Innenstädten).

Die Lizenzen zur Nutzung der 5G-Funkfrequenzen wurden in Deutschland Anfang 2019 versteigert. Der Erlös soll einem Investmentfonds für den Ausbau der digitalen Infrastruktur zugutekommen. Nach aktueller Zeitplanung sollen 2020/2021 die ersten 5G-Funkzellen in Deutschland ans reguläre Netz gehen. Der weitere Ausbau wird dann bedarfsorientiert erfolgen. In den USA wollen erste Anbieter bereits 2019 5G-Angebote für Endkunden vorstellen. Die erste Frequenzauktion in den USA wird aber voraussichtlich erst 2020 abgeschlossen sein. Eine internationale Vorreiterrolle beim 5G-Netzausbau nimmt China ein: Die Volksrepublik verfügt einer Studie von Analysis

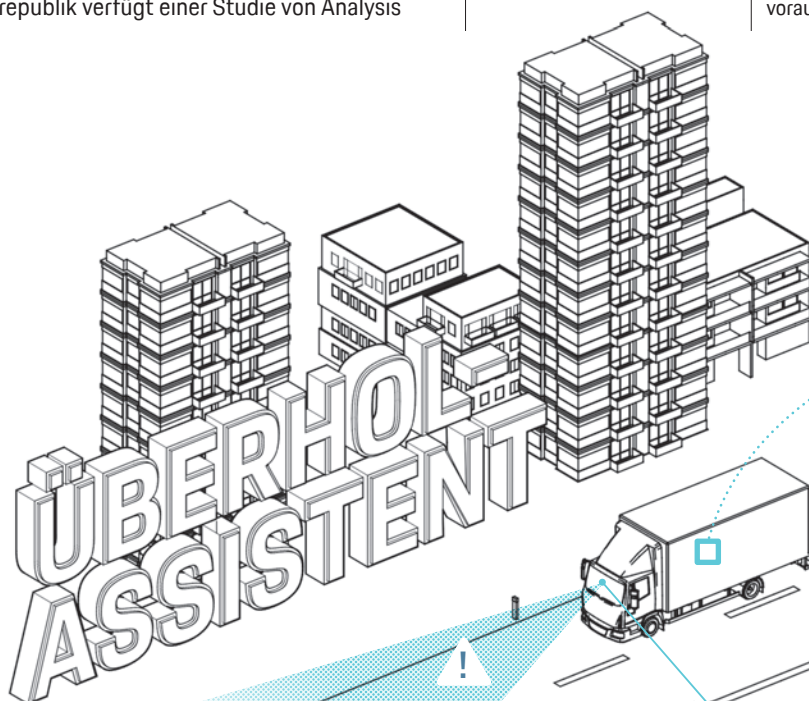


Mason zufolge derzeit über mehr als 350.000 Mobilfunkmasten, die 5G-Kommunikation unterstützen – zehnmal mehr als die USA. Laut aktuellem Fünfjahresplan will die Regierung bis 2020 400 Milliarden US-Dollar für den Ausbau des 5G-Netzes investieren.

Um die internationale Kompatibilität von 5G-Komponenten gewährleisten zu können, müssen weltweit verbindliche Normen gelten. Auch hier wurde ein wichtiger Meilenstein schon genommen: Im Juni 2018 sind erste 5G-Standards vom zuständigen Gremium Third Generation Partnership Project (3GPP) verabschiedet worden.

→ ZUSAMMENGEFASST

Vor allem das automatisierte Fahren wird dazu führen, dass im Verkehr immer größere Datenmengen übertragen werden. Das neue 5G-Mobilfunknetz spielt hier eine Schlüsselrolle: Es ist speziell für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation ausgelegt und weist Latenzzeiten von nur noch rund einer Millisekunde auf. Durch 5G werden auch neue Fahrerassistenzsysteme möglich, etwa Überholassistenten, die das Videobild vorausfahrender Fahrzeuge nutzen.



4

Überholassistent

Das hintere Fahrzeug empfängt das Videobild des vorausfahrenden Lkws. Der Fahrer sieht sofort, dass er jetzt nicht überholen kann.

GASTAUTOR



Univ.-Prof. em. Dr. Klaus Mainzer ist Emeritus of Excellence an der Technischen Universität München, Seniorprofessor der Eberhard-Karls-Universität Tübingen und Autor der Bücher „Komplexität“ (UTB 2008) und „Künstliche Intelligenz. Wann übernehmen die Maschinen?“ (Springer, 2. Aufl. 2019).

Foto: Udo Keller
Stiftung/Hamburg



Kreativität am Rand des Chaos

Komplexität ist ein hochaktuelles Forschungsgebiet. Können wir aus der Entstehung von Ordnung und Selbstorganisation in der Natur lernen, komplexe Prozesse unserer technischen und sozialen Systeme zu steuern?

Komplexe Systeme bestehen aus vielen Elementen, deren Wechselwirkungen kollektive Ordnungen und Muster erzeugen. Die Gesetze dieser dynamischen Prozesse untersucht die Komplexitätsforschung – von komplexen atomaren, molekularen und zellulären Systemen in der Natur bis hin zu komplexen sozialen und wirtschaftlichen Systemen. Die Komplexitätsforschung beschäftigt sich fachübergreifend mit der Frage, wie durch die Wechselwirkung vieler Elemente eines komplexen Systems (zum Beispiel Moleküle in Materialien, Zellen in Organismen oder Menschen in Märkten und Organisationen) Ordnungen und Strukturen entstehen können – oder Chaos und Turbulenzen. Chaotisch ist ein System dann, wenn es empfindlich von kleinsten Veränderungen seiner Anfangsbedingungen abhängt. Man spricht auch vom „Schmetterlingseffekt“, weil der Flügelschlag eines Schmetterlings bei einer instabilen Wetterlage eine globale Wetterveränderung auslösen könnte.

Märkte und Unternehmen sind Beispiele für komplexe ökonomische Systeme, in denen Menschen in vielen Funktionen interagieren. Ein gutes Beispiel ist die Automobilindustrie, deren Produkte und Geschäftsmodelle sich in

den vergangenen Jahren sehr stark verändert haben. Neben der Bearbeitung klassischer Fahrzeugentwicklungsaufgaben beschäftigen sich die Unternehmen insbesondere mit den schnell wachsenden Bereichen Digitalisierung und künstliche Intelligenz. Die zunehmende Vielfalt von Produktvarianten und Technologien führt hier zu steigender Komplexität.

In der Tradition des klassischen Liberalismus und analog zur klassischen Physik des 18. und 19. Jahrhunderts wurde diese Komplexität bisher in ökonomischen Systemen nicht berücksichtigt. Stattdessen nahm man häufig eine lineare Gleichgewichtsdynamik an, nach der die freie Selbstorganisation ökonomischer Kräfte automatisch zum „Wohlstand der Nationen“ (Adam Smith) führen sollte. Als offenes System, das in ständigem Stoff-, Energie- und Informationsaustausch mit anderen Märkten und der Natur steht, kann aber Marktwirtschaft keinem finalen Gleichgewichtszustand zustreben. Analog einem biologischen Ökosystem ist sie in ständiger Veränderung und reagiert empfindlich auf geringste Veränderungen der Randbedingungen. Zudem sind die Agenten eines Wirtschaftssystems lernfähige Menschen: Kurzfristige Schwankungen von Konsumpräferenzen, unflexibles Reagieren im Produktionsverhalten, aber auch Spekulationen auf Rohstoff- und Grundstücksmärkten liefern Beispiele für sensible Reaktionen im Wirtschaftssystem. Solche hoch rückgekoppelten Systeme nennt man „nichtlinear“. Darum zeigt nur ein nichtlineares Modell, wie sich der Wettbewerb zwischen zwei konkurrierenden Produkten bei positiver Rückkopplung unter der Bedingung zunehmender Erträge durch zufällige Anfangsfluktuationen entscheidet. Geringste Marktvorteile in der Anfangsphase (zum Beispiel größere Marktanteile in einer Region, politische Kontakte, bessere „Beziehungen“) können sich im Lauf des Wettbewerbs aufschaukeln und zum Durchbruch eines Produkts führen. Dann wird sich eine Technologie immer leichter und deutlicher durchsetzen, ohne dass diese Entwicklung am Anfang vorausgesagt werden konnte.

Für ein Unternehmen gilt es herauszufinden, wie weit es sich in die Nähe von Instabilitäten mit ihren typischen Fluktuationen bewegen sollte, um Innovations-schübe auszulösen.

Selbst wenn ein technischer Standard (etwa ein Computerbetriebssystem) nicht die beste Lösung unter fachlichen Gesichtspunkten sein sollte, kann sie sich am Ende durchsetzen. Nichtlineare Dynamik zeigt, dass sich nicht automatisch die beste Variante etabliert – ob in der Evolution, in der Wirtschaft oder in der Politik. Wir sollten das wissen, um gleich am Anfang eines Wettbewerbs darauf zu achten, kleinste Veränderungen der Umstände nicht zu unterschätzen und den Anfängen zu wehren.

Der menschliche Verstand ist überfordert damit, den Gesamtverlauf mit allen Details zu kontrollieren – zum Beispiel bei der Systementwicklung, die durch eine rasante Zunahme von Komplexität bestimmt ist. In Produktion und Vertrieb wird daher verstärkt Machine Learning eingesetzt, um Systemkomponenten wie Roboter für ihre Aufgaben zu trainieren, die sie in Kooperation mit Menschen bewältigen müssen (Industrie 4.0).

Dennoch wird es auf Märkten auch in Zukunft entscheidend auf die Aktivität von Menschen ankommen, die das Innovationspotenzial einer Firma antreiben. Komplexitätsmanagement ist dann erfolgreich, wenn wir die nichtlineare Dynamik komplexer Systeme ausnutzen. Von besonderem Interesse ist das Verhalten am „Rand des Chaos“: Für ein Unternehmen gilt es herauszufinden, wie weit es sich in die Nähe von Instabilitäten mit ihren typischen Fluktuationen bewegen sollte, um Innovationsschübe auszulösen. Denn am „Rand des Chaos“ kann es zu außerordentlicher Kreativität kommen.

Ein Beispiel wäre ein stabiler Konzern, der sich mit einem Ring von Start-ups umgibt und damit innovative Fluktuation mit ungewissem Ausgang riskiert: Das Unternehmen operiert kontrolliert am Rande des Chaos – das Erfolgsrezept des Silicon Valley. Unternehmen, die übervorsichtig in der Pfadabhängigkeit ihres bisherigen Erfolgs verharren, werden am Ende überholt und untergehen. Übrigens zeigt ein historisches Beispiel globalen Ausmaßes, wie man erfolgreich am Rande des Chaos überleben und erfolgreich sein kann: Das kommunistische China ließ kontrollierte und schrittweise kapitalistische Freihandelszonen zu und ermöglichte so einen unvergleichbaren wirtschaftlichen Aufschwung, während die alte Sowjetunion am Ende in ihrer Kommandowirtschaft erstarrte und daran zerbrach. ◀





Wie auf Schienen durch den Schnee

Text: Constantin Gillies Foto: Tobias Habermann

E-Fahrzeuge mit getrennt angetriebenen Rädern können dank der variabel verteilbaren Antriebskraft auch in kritischen Situationen stabil bleiben – wenn die Momentensteuerung Abweichungen vom Soll-Zustand zuverlässig erkennt und sofort reagiert. Porsche Engineering hat eine Lösung für E-SUVs entwickelt und getestet, die genau das leistet. Ohne zusätzliche Sensorik, ausschließlich per Software.

Es ist eine Situation, wie sie jeder Autofahrer fürchtet: eine schneebedeckte Straße, eine über- raschend enge Kurve, kaum noch Zeit zu bremsen. Mit einem normalen Fahrzeug droht eine gefährliche Rutschpartie. Das Heck könnte ausbrechen, der Wagen unkontrolliert drehen und im Graben landen. Doch in diesem Test läuft alles anders: Der Fahrer lenkt ein, der SUV geht souverän in die Kurve – und verliert nicht mal an Tempo. Spätestens beim Blick aufs Tachometer (es zeigt 80 km/h) wird klar, dass hier kein gewöhn- liches Fahrzeug unterwegs ist. Bei dem SUV, der in winterlicher Umgebung getestet wird, handelt es sich um ein elektrisch angetriebenes Allradfahrzeug mit vier Motoren – für jedes Rad einen.

Bislang war diese Antriebstechnik nur bei Mars-Rovern zu finden, jetzt ist sie im Alltag angekommen: Porsche Engineering hat unlängst für elektrisch angetriebene Serien-SUVs eine Drehmomentsteuerung entwickelt. Das bedeutete echte Pionierarbeit. „Vieles mussten wir komplett neu erarbeiten“, sagt Dr. Martin Rezac, Team Leader Funktionsentwicklung bei Porsche Engineering. Hinzu kam eine weitere Herausforderung: Die Fahreigenschaften sollten allein durch Software optimiert werden. Die Porsche-Ingenieure konnten keine zusätzlichen Sensoren einbauen und mussten die vorhandenen Steuergeräte nutzen. Gefordert war also quasi Fahrstabilität als App.

Drehmoment rein elektronisch geregelt

Grundsätzlich hat ein E-Allradfahrzeug mit mehre- ren Motoren gegenüber Benzinern und Dieseln einen großen Vorteil: Vorder- und Hinterachse bzw. alle vier Räder verfügen über eigene E-Maschinen, sodass sich die Antriebskraft sehr variabel verteilen lässt. „Das ist, als ob man für jede Achse oder jedes Rad ein eigenes Gaspedal hätte“, erklärt Ulf Hintze von Porsche Engineering. Im konventionellen Allradfahr- zeug arbeitet nur ein Motor, dessen Kraft über ein Zentraldifferenzial auf die Achsen verteilt wird. Das Drehmomentverhältnis ist dabei in der Regel fest vorgegeben, also zum Beispiel ein Drittel vorne, zwei Drittel hinten. Theoretisch lässt sich das Verhältnis zwar ändern, doch dafür ist zusätzliche Mechanik nötig (eine Reiblamellenkupplung) – und die arbeitet relativ träge. Beim E-Auto dagegen wird das Drehmoment rein elektronisch geregelt, was wesentlich schneller geht als über mechanische Kupplungen. In jeder Milli- sekunde dosiert eine intelligente Software die Kräfte so, dass sich das Fahrzeug immer neutral verhält.



„Das Fahrzeug fühlt sich spürbar stabiler an.“

Dr. Martin Rezac,
Porsche Engineering

Allradautos

mit E-Antrieb verfügen für jedes Rad über einen eigenen Motor. Dadurch lässt sich die jeweilige Antriebskraft sehr variabel einstellen.

Etwa **50 ms** dauert es, bis die Software die Kräfte an den Rädern neu dosiert. Das ist viel schneller als bei mechanischen Lösungen für konventionelle Antriebe.

Auswahl

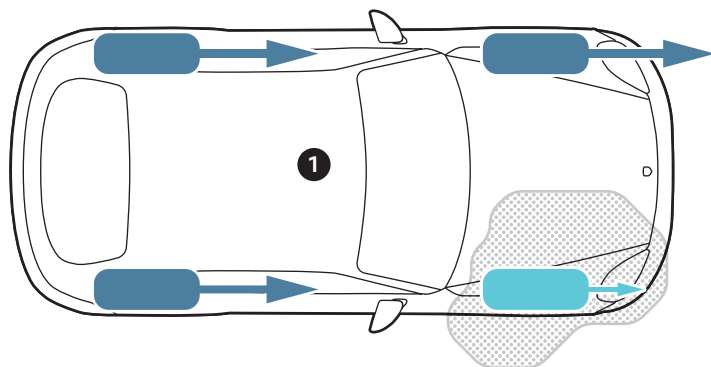
Wegen der elektronischen Optimierung der Kräfte könnte man dem Fahrer verschiedene Modi anbieten, etwa für sportliches oder ruhiges Fahren.

Genau eine solche Momentensteuerung hat Porsche Engineering für allradgetriebene SUVs realisiert. Die Software kann für unterschiedliche Konstellationen und Motoranordnungen eingesetzt werden – natürlich auch bei anderen E-Fahrzeugtypen. In der Regel wird zunächst die Basisverteilung entwickelt, also eine Soft- ware, die regelt, wie viel Kraft jeweils auf Vorder- und Hinterachse übertragen wird. Bei Geradeausfahrt und gleichmäßig verteiltem Gewicht wäre zum Beispiel eine Verteilung von 50/50 sinnvoll. Wenn der Fahrer beschleunigt, schaltet die Software auf kompletten Heckantrieb um – oder in einer scharfen Kurve auf reinen Frontantrieb. „Das Fahrzeug fühlt sich so spürbar stabiler an, selbst für den Beifahrer“, so Funktions- entwickler Rezac. Da die Optimierung rein elektronisch erfolgt, ist es theoretisch sogar möglich, dem Fahrer verschiedene Konfigurationen anzubieten: etwa einen Modus für den Sportwagen-Antritt, einen anderen für sanftes Cruisen.

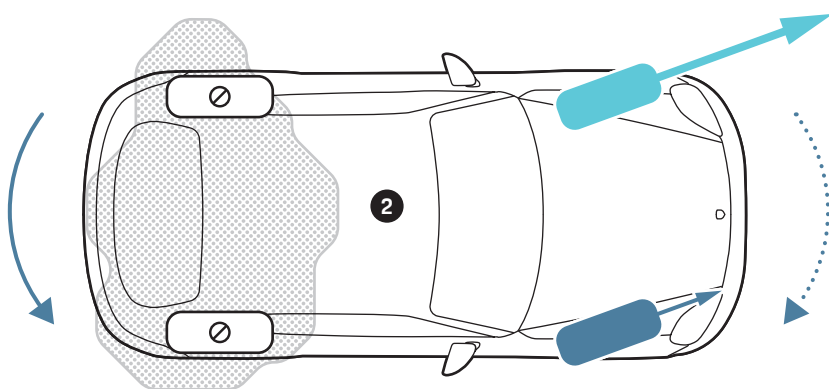
Die zweite Aufgabe der Steuerungssoftware besteht darin, das Drehmoment an die Radgeschwindigkeit an- zupassen. Dabei verfolgen die Algorithmen ein simples Ziel: Alle Räder sollen sich möglichst gleich schnell drehen. Auf einer trockenen Autobahn lässt sich das leicht erreichen, beim Fahren auf einer verschneiten Berg- straße dagegen ist die Aufgabe deutlich schwieriger. Berühren die Vorderräder beispielsweise eine vereiste Fläche, könnten sie – ohne elektronische Eingriffe – durchdrehen. Doch die Momentensteuerung erkennt die nicht-optimale Situation sofort und lenkt das Drehmoment in Sekundenbruchteilen auf jene Räder um, die sich langsamer drehen und noch Grip haben. In der Welt der Verbrennungsmotoren gibt es zwar etwas Ähnliches – das drehzahlfühlende Sperrdifferenzial, auch unter dem Handelsnamen „Visko Lok“ bekannt. In

Präzise dosierte Kräfte

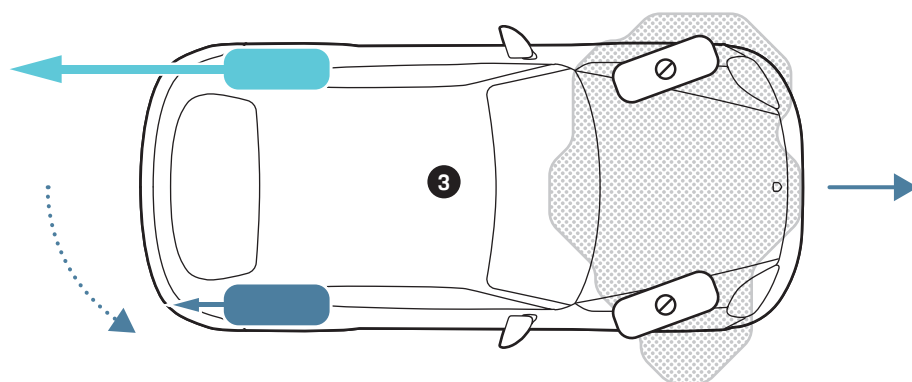
In jeder Situation kann ein Reifen nur eine bestimmte Kraft übertragen, egal in welche Richtung. Das bedeutet: Je mehr Antriebs- oder Bremskraft man ihm auflädt, desto weniger Seitenkraft kann er zum Beispiel übertragen. Genau das nutzt die elektronische Momentensteuerung: Sie entlastet einen Reifen beispielsweise von Antriebskräften, damit er das Auto in die gewünschte Richtung drücken kann.



Situation 1: Der Fahrer möchte so stark wie möglich beschleunigen. Das rechte Vorderrad hat wenig Reibung (zum Beispiel wegen einer Pfütze oder Eis) und fängt an, durchzudrehen. Die Antriebsmomente werden darum auf die andere Seite und nach hinten verteilt (dunkle Pfeile).



Situation 2: Das Auto fährt in einer Linkskurve. Die hinteren Räder überqueren eine glatte Stelle, sodass das Fahrzeug mit der Hinterachse wegrutscht (durchgezogener Pfeil). Die Software nimmt sämtliche Antriebsmomente von den hinteren Rädern, um ihnen die Arbeit zu erleichtern. Zusätzlich schiebt sie sehr viel Moment nach vorne links, um einen Drall zu erzeugen, der dem Wegrutschen entgegenwirkt (gestrichelter Pfeil).



Situation 3: Der Fahrer möchte in eine Linkskurve fahren, aber die Vorderräder rutschen weg. Das Auto fährt geradeaus (Pfeil vorne). Die Software entlastet die Vorderräder und bremst das linke Hinterrad wesentlich stärker ab als das rechte, um einen Drall in die Kurve zu erzeugen (gestrichelter Pfeil).



„Es ist, als ob man für jede Achse ein eigenes Gaspedal hätte.“

Ulf Hintze, Porsche Engineering

diesem Bauteil sorgen Zahnräder und Hydraulik dafür, dass sich kein Rad schneller als das andere dreht. Doch Mechanik ist träge. Beim elektrischen SUV dagegen übernimmt Software die Rolle des Differenzials – viel reaktionsschneller und natürlich völlig verschleißfrei.

Die dritte und vielleicht wichtigste Funktion der Momentensteuerung besteht in der Kontrolle der Querdynamik, also darin, kritische Fahrsituationen zu entschärfen. So wie die eingangs erwähnte: rutschiger Untergrund, eine enge Kurve, hohes Tempo. Ein unregelmäßiges Fahrzeug würde hier schnell untersteuern. Das heißt, der Fahrer schlägt das Lenkrad ein – doch das Fahrzeug rutscht mit unvermindertem Tempo weiter geradeaus. Die Steuerungssoftware im E-SUV unterbindet ein solches Untersteuern sofort. In einer Linkskurve würde sie das linke Hinterrad abbremst und das rechte beschleunigen, bis wieder eine neutrale Fahrsituation hergestellt ist. Ähnliche Maßnahmen ergreift das System, sobald Übersteuern auftritt (das Heck bricht aus). Dabei bekommt der Fahrer von den Eingriffen bestenfalls nichts mit, weil die Momentensteuerung sehr subtil und schnell handelt. „Es fühlt sich an, wie auf Schienen zu fahren – ein SUV verhält sich so agil wie ein Sportwagen“, fasst Hintze den Effekt zusammen.

Das Beobachter-Modul passt auf

An allen Entscheidungen zum Eingreifen ist der Fahrzeugzustandsbeobachter (von den Entwicklern nur „Beobachter“ genannt) beteiligt. Dieses Software-Modul kontrolliert ständig eine Vielzahl von Faktoren: wie stark das Lenkrad eingeschlagen wurde, wie viel Gas der Fahrer gibt und wie stark sich das Fahrzeug um die vertikale Achse dreht. Die Daten liefert ein Giersensor. Dieser Ist-Zustand wird mit einem Dynamikmodell



Drei Funktionen

sorgen für Fahrstabilität und Sicherheit:



Basisverteilung

Je nach Achslast wird die Kraft zwischen den Vorder- und Hinterrädern verteilt.



Drehmomentanpassung

Bei schwierigem Untergrund lenkt die Steuerung die Kräfte sofort auf die Räder mit dem meisten Grip.



Querdynamikkontrolle

Sie entschärft kritische Fahrsituationen wie Über- und Untersteuern.

des Fahrzeugs verglichen, das den Soll-Zustand unter normalen Bedingungen repräsentiert. Stellt der Beobachter Abweichungen fest, etwa weil über- oder untersteuert wird, greift die Software ein. Biegt das Fahrzeug zum Beispiel nicht so schnell in eine Kurve ein, wie es das beim aktuellen Lenkradeinschlag und Tempo zu erwarten wäre, werden einzelne Räder selektiv abgebremst, bis die Richtung wieder stimmt.

Das leistet zwar ein herkömmliches Fahrstabilitätsprogramm (ESP) auch – doch beim elektrisch angetriebenen Allradfahrzeug kann das Sicherheitssystem mehr: Während ein klassisches ESP ausschließlich abbremst, können beim Stromer einzelne Räder zusätzlich beschleunigen. So wird das Fahrzeug wieder in die richtige Spur „gezogen“ und verliert nicht an Geschwindigkeit. Außerdem ist der Eingriff weniger ruppig als beim hydraulischen ESP; das typische Ruckeln, wie man es vom Antiblockiersystem kennt, fällt weg.

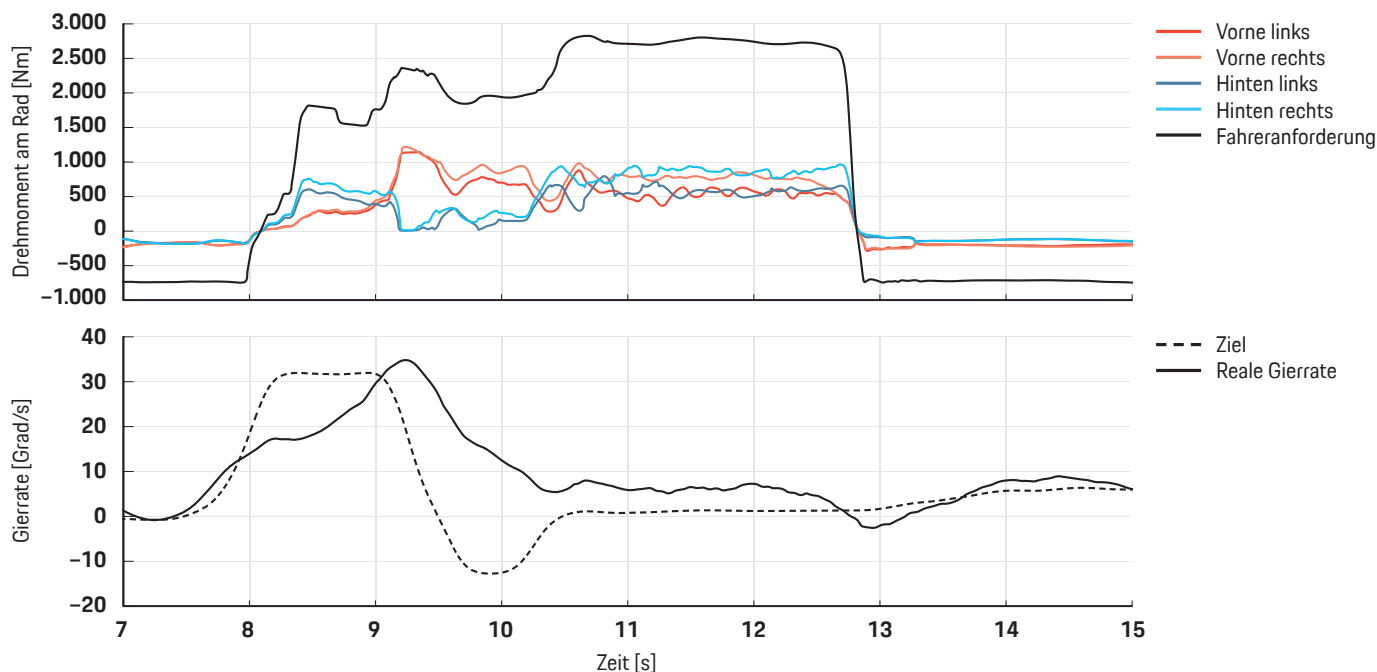
„Die Entwicklung des Fahrzeugzustandsbeobachters war die größte Herausforderung“, so Rezac. Dass hier so viel Entwicklungsarbeit nötig war, liegt an einem grundsätzlichen Problem: Ein Auto weiß nur relativ wenig über seinen eigenen Zustand. Es kennt nicht seine eigene Geschwindigkeit, sondern kann sie nur aus der Drehung der Räder ableiten, was gerade auf Eis und Schnee schwierig ist. Deshalb muss der Beobachter zusätzliche Informationen über Längs- und Querschleunigung verwenden, um die Geschwindigkeit zu schätzen. Ebenso vage sind die Informationen über die Gewichtsverteilung. Die Federung erfasst zwar die Last auf den einzelnen Rädern, doch selbst diese Daten bieten keine Gewissheit, sondern höchstens Anhaltspunkte. Wenn die Stoßdämpfer zum Beispiel auf der Hinterachse ein erhöhtes Gewicht melden, kann das daran liegen, dass das Fahrzeug am Hang parkt – oder nur schwer beladen wurde.

Die Datenlage ist also dürftig. Und da laut Vorgabe des Kunden keine zusätzlichen Sensoren eingebaut werden durften, war beim SUV-Projekt die Kreativität der Softwareentwickler gefragt. „Der Beobachter muss die wichtigen Parameter des Fahrzeugs schätzen“, erklärt Rezac. Dafür werden auch ungewöhnliche Datenquellen genutzt: So kommuniziert die Momentensteuerung unter anderem mit einem Sensor, der den Neigungswinkel des Autos erkennt und üblicherweise für die automatische Einstellung der Scheinwerfer genutzt wird.

Das gesamte Softwarepaket musste nicht nur entwickelt, sondern auch bei realen Testfahrten kalibriert werden. Und das zudem in sehr kurzer Zeit: Es standen

Protokoll einer Linkskurve

Die Gierrate beschreibt, wie schnell sich ein Fahrzeug in einer Kurve um die eigene Achse dreht. Die beiden unteren Linien zeigen die vom Fahrer gewünschte Gierrate (gestrichelt) und die gemessene Gierrate (durchgezogen). Die vier Linien oben (rot, orange, dunkelblau, hellblau) zeigen die Antriebsmomente, die schwarze Linie ganz oben die Gaspedalposition. Man sieht, dass das Auto zuerst untersteuert. Bei etwa neun Sekunden rutscht die Hinterachse weg, und das Auto beginnt zu schleudern. Ab ca. 10,5 Sekunden stabilisiert sich das Fahrverhalten zu einem moderaten Untersteuern. Die Antriebsmomente liegen hauptsächlich an den beiden rechten Rädern.



nur zwei Winter zur Verfügung, in denen die Abstimmung auf einem zugefrorenen Fluss erprobt werden konnte. Dabei stellte sich unter anderem heraus, dass der große Vorteil der Elektromotoren – ihre kurze Reaktionszeit – manchmal unerwünschte Nebenwirkungen entfaltet. „Die E-Maschinen regeln so schnell, dass Schwingungen entstehen können“, berichtet Hintze, der mit seinem Team die Testfahrten durchführte. In einigen Situationen verlagerte die Software das Drehmoment in immer kürzeren Abständen zwischen den Achsen hin und her, was zu einem hörbaren Hochdrehen der Motoren führte. Durch eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Kalibrierungs-Team und der Entwicklerrmannschaft von Martin Rezac gelang es jedoch schnell, dieses Aufschaukeln durch eine Anpassung der Steuerungssoftware zu unterbinden.

Genau in dieser Detailarbeit liegt die Herausforderung bei solchen Projekten. Da die Software in einem Serienfahrzeug eingesetzt werden soll, muss sie für alle nur denkbaren Situationen getestet werden, ganz gleich, wie unwahrscheinlich sie erscheinen mögen. Meldet ein Sensor zum Beispiel fehlerhafte Daten, muss die Momentensteuerung entscheiden, ob sie auch ohne die Datenquelle weiter funktionieren darf – oder abgeschaltet werden muss.

ESP vs. Stromer

Ein klassisches ESP bremst ausschließlich ab. Beim Stromer können einzelne Räder zusätzlich beschleunigen. So wird das Fahrzeug wieder in die richtige Spur „gezogen“ und verliert nicht an Geschwindigkeit.

Eine weitere Hürde ergab sich aus den Grenzen der elektrischen Antriebstechnik. Es kann zum Beispiel passieren, dass einzelne E-Maschinen die verfügbare Leistung der Batterien nicht umsetzen können. Solche Einschränkungen mussten die Funktionsentwickler mit einkalkulieren. „Der Regelbereich schrumpft in diesem Fall zusammen“, erklärt Hintze. Statt 100 Prozent Drehmoment auf einer Achse stehen womöglich nur 60 Prozent zur Verfügung. Auch darauf muss die Momentensteuerung Rücksicht nehmen. Doch alle Beteiligten sind sich sicher: Die Pionierarbeit hat sich gelohnt, denn in Zukunft wird das E-Auto mit bis zu vier Motoren seinen Exotenstatus verlieren. Und viele Autofahrer werden dann dankbar sein, dass sie wie auf Schienen durch Schnee fahren können.

➔ ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering hat für ein allradgetriebenes E-SUV eine Momentensteuerung entwickelt, die in jeder Situation für maximale Stabilität und Sicherheit sorgt – ohne zusätzliche Sensorik an Bord. Alle vier Räder werden innerhalb von Millisekunden mit der optimalen Kraft angesteuert und stabilisieren das Fahrzeug. Die Software wurde von Porsche Engineering nicht nur entwickelt, sondern auch bei realen Testfahrten kalibriert, wofür nur zwei Winter zur Verfügung standen. Die Software eignet sich für unterschiedliche Konstellationen und Motoranordnungen.

Gelungene Hochzeit

Text: Jost Burger Fotos: KTM

Seit 2018 gibt es den X-BOW von KTM auch mit einem Automatikgetriebe, für dessen Applikation Porsche Engineering verantwortlich war.

Eine der Herausforderungen dabei: Vorgegebene Komponenten mussten zur Zusammenarbeit überredet werden.

Am Ende erwiesen sich der X-BOW und das Doppelkupplungsgetriebe als perfektes Paar.





Wer ihn einmal gesehen hat, vergisst den Anblick nicht so schnell: Der X-BOW des österreichischen Herstellers KTM ist ein ungewöhnliches Fahrzeug. Eigentlich ist das Unternehmen aus Mattighofen im Innviertel für seine Motorräder bekannt – doch seit 2008 ist KTM mit dem in Kleinserie gefertigten X-BOW auch im Motorsport auf vier Rädern aktiv. Mit seinem ungewöhnlichen Design eroberte sich der Roadster rasch eine Fangemeinde und ist auch mit Straßenzulassung erhältlich. Seinen Renncharakter verliert er aber selbst dann nicht: So verfügt das Fahrzeug beispielsweise über keine elektronischen Fahrhilfen wie ESP, ABS ist nur Option. Und natürlich wird im X-BOW ganz puristisch von Hand geschaltet, per Kupplung und Schalthebel auf Kniehöhe.

Zumindest bis vor Kurzem: Seit April 2018 gibt es den X-BOW wahlweise mit einem sechsstufigen Automatikgetriebe, das auch nachgerüstet werden kann. Der Anstoß für diese Variante des Roadsters kam aus dem Vertrieb. „Bei Präsentationen in Ländern wie China oder den USA hatten viele interessierte Kunden Schwierigkeiten, das Fahrzeug überhaupt zu fahren“, berichtet Jürgen Gumpinger, Vice President Sportcar bei KTM. „Sie hatten nie gelernt, mit einer Handschaltung umzugehen. Darum war ein Automatikgetriebe gefragt, um den X-BOW auch in diesen Regionen erfolgreich vermarkten zu können.“

Die Wahl fiel auf ein Doppelkupplungsgetriebe des VW-Konzerns, der schon 2003 unter der Bezeichnung DSG (für Direktschaltgetriebe) als Erster ein Doppelkupplungsgetriebe in Großserie angeboten hat. Im Rennsport wurde die Technologie bereits in den 1980er-Jahren durch Porsche erfolgreich entwickelt und eingesetzt. 2008 kam dann das Porsche Doppelkupplungsgetriebe PDK im 911 Carrera zum Serieneinsatz. Aufgrund der vielfältigen Erfahrungen innerhalb und außerhalb des VW-Konzerns beauftragte KTM Porsche Engineering mit der Getriebeapplikation des X-BOWs.

Die Herausforderung war sportlich – nicht nur wegen des engen Zeitplans. Das Team musste in einem vorhandenen Rennfahrzeug vorgegebene und nicht mehr veränderbare Komponenten wie Motor, Getriebe und die entsprechenden Steuergeräte zur Zusammenarbeit bewegen. Wenn dabei auch nur eine Komponente nicht mitspielt, läuft das ganze Auto nicht. „Die eigentliche Kunst bei solchen Projekten ist es, dass das neue Getriebe mit den vorhandenen Steuergeräten kommuniziert“, so Dr. Jan-Peter Müller-Kose, Leiter Getriebe-



231 km/h

Höchstgeschwindigkeit erreicht der KTM X-BOW.



1.984 cm³

Hubraum hat der Reihen-vierzylinder-Ottomotor mit Benzindirekteinspritzung und Abgasturboaufladung.



3,9 Sek.

benötigt der X-BOW für die Beschleunigung von 0 auf 100 km/h.

versuch bei Porsche Engineering. „Diese elektrische Integration hat uns vor erhebliche Herausforderungen gestellt.“ So kam es während des Projektes schon einmal vor, dass die Hupe ertönte, wenn der Blinkhebel betätigt wurde. „Ziel ist es, dass die gegebenen Komponenten gar nicht merken, dass sie in einem anderen Auto stecken, und das Fahrzeug am Ende durch eine individuelle Getriebeapplikation den Charakter eines Rennautos hat“, bringt Dr. Müller-Kose den ungewöhnlichen Auftrag auf den Punkt.

Elektronische Übersetzungshilfe

Es war also Ingenieurskunst bei der Software für die Steuerung des DSG gefragt, denn für eine Kleinserie lohnte sich eine komplette Neuerstellung nicht. Sie wurde darum aus der Großserie übernommen, sollte nun aber in einer anderen Umgebung ihren Dienst tun – also in renntypischen Fahrsituationen mit renntypischen Schaltvorgängen reagieren. Zudem war die Software an Daten gewöhnt, die ein Fahrzeug wie der X-BOW überhaupt nicht liefern kann. So ist in den Fahrzeugen beispielsweise ABS nur optional vorhanden, das normalerweise Informationen über die Raddrehzahl zur Verfügung stellt. Gesucht war darum eine andere Lösung, um an die gewünschten Informationen zu kommen – natürlich in einem Format, das die Standardgetriebe-Software auch verstehen konnte.

Gelöst wurde das Problem mithilfe eines Gateways, sodass die Informationen zwischen den Komponenten Getriebebesteuergerät, Wählhebel und Instrumententafel des X-BOWs im richtigen Format ausgetauscht werden können. „Wenn man verschiedene Komponenten kombiniert, stimmen die Datenadressierungen nicht“,

„Jeder, der mit dem Auto gefahren ist, sagt: Das macht richtig Spaß!“

Jürgen Gumpinger,
Vice President Sportcar KTM

KTM X-BOW (Sport und Drive)

CO₂-Emissionen kombiniert:
228,8–200,9 g/km;
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
9,8–8,6 l/100 km

erklärt Dr. Müller-Kose. „Außerdem liegen die Messwerte von Sensoren in Wertebereichen, mit denen andere Teilnehmer des Systems nichts anfangen können.“

Praxistest in Italien

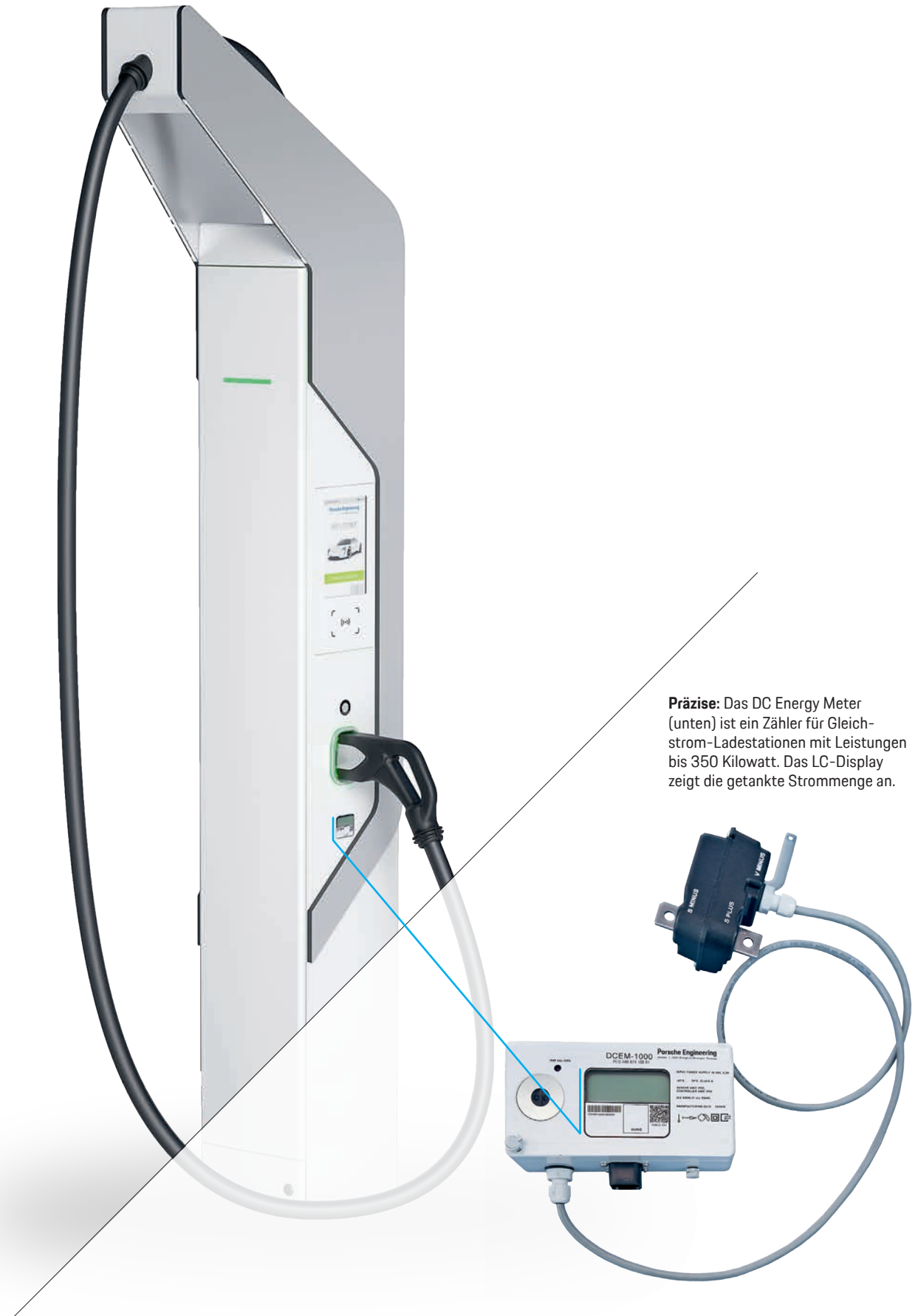
Üblicherweise greifen die Experten von Porsche Engineering bei solchen Projekten auf komplexe Entwicklungs- und Simulationstools zurück, bevor die Praxistests beginnen. Aus Zeitgründen wurde aber im Fall des X-BOWs „hands on“ verfahren, und der Prototyp kam schon sehr früh auf die Teststrecke. Hier zeigte sich, dass man ganze Arbeit geleistet hatte: Die Komponenten arbeiteten gut zusammen und taten ihren Dienst. Die eigentliche Bewährungsprobe bestand der Prototyp aber im Nardò Technical Center in Apulien. „In Nardò verfügen wir mit dem Testgelände von Porsche Engineering über eine Strecke, die den klassischen Rennstrecken nachempfunden ist“, erklärt Dr. Müller-Kose. Erst dort war es möglich, die Schaltstrategie des Getriebes optimal auf den Motor und das Fahrzeugverhalten unter Rennbedingungen abzustimmen. Deshalb erfolgten hier die finale Abstimmung und die Endabnahme.

Die Getriebeapplikateure fuhren vor Ort ihre Runden, sammelten auf der Strecke Messdaten und gaben sie zur Analyse nach Deutschland an die Kollegen der Elektrik weiter. Diese waren für die elektrische Integration des Getriebesteuergeräts und des Getriebewählhebels sowie deren Vernetzung mit dem Restfahrzeug zuständig. Sie analysierten zum Beispiel, ob der Signalaus-tausch funktionierte und die Steuergerätefunktionen zuverlässig arbeiteten. Ihre Ergebnisse meldeten sie wieder zurück nach Nardò. Falls nötig, wurden Änderungen vorgenommen und das Ergebnis erneut auf der Piste überprüft. Auf diese Weise tastete sich das Team über mehrere Wochen hinweg in iterativen Schleifen an die Grundfunktionen und später an die optimierte Fahrbarkeit heran.

Durch den Wechsel vom Handschalt- zum Doppelkupplungsgetriebe entfällt bei Kurvenfahrt neben der Drehmomentunterbrechung an der Hinterachse auch der Griff zum Schalthebel. Resultat sind höhere Kurvengeschwindigkeiten bei verbesserter Fahrzeugbeherrschung. Der Fahrer kann nun in Kurven die Hände am Lenkrad behalten, was es auch weniger erfahrenen Kunden ermöglicht, das Fahrzeug sportlicher, schneller und trotzdem sicher zu bewegen. Am Ende waren alle Beteiligten zufrieden. Fazit: Die Hochzeit von X-BOW und Doppelkupplungsgetriebe ist gelungen. Oder, wie KTM-Rennchef Gumpinger es ausdrückt: „Jeder, der mit dem Auto gefahren ist, sagt: Das macht richtig Spaß!“



Purer Fahrspaß: Mit seinem auffälligen Design eroberte sich der Roadster (hier in der Version mit Schaltgetriebe) schnell eine Fangemeinde.



Präzise Messtechnik für schnelles Laden

Text: Monika Weiner Fotos: Verena Müller

Mit Gleichstrom-Ladesäulen lassen sich E-Fahrzeuge in wenigen Minuten nachladen. Da es bis vor Kurzem keine eichrechtskonformen Zähler für sie gab, hat Porsche Engineering ein eigenes System entwickelt.

Wer sportlich fährt, will keine langen Zwangspausen zum Tanken einlegen. Rund vier Minuten soll es darum nur dauern, den Porsche Taycan für 100 Kilometer Reichweite nach NEFZ aufzuladen. Dabei erwarten Käufer eines Elektrofahrzeugs, dass eine Infrastruktur für schnelles Laden zur Verfügung steht.

Die in Deutschland öffentlich zugänglichen Ladesäulen für Elektrofahrzeuge liefern im Moment größtenteils Wechselstrom (alternating current, AC) und stellen nur eine verhältnismäßig geringe Ladeleistung bereit. Mit ihnen dauert das vollständige Aufladen der Fahrzeugbatterie mehrere Stunden. An Gleichstrom-Ladesäulen (direct current, DC) mit Ladeleistungen von bis zu 350 Kilowatt geht es deutlich schneller, weshalb man hier auch von „High Power Charging“ spricht. An ihnen lässt sich ein Sportwagen wie der Taycan tatsächlich innerhalb weniger Minuten für die nächsten 100 Kilometer aufladen.

Hinzu kommt: Bis vor Kurzem gab es auch keine zugelassene, eichrechtskonforme Messtechnik, um den Stromverbrauch beim Laden ordnungsgemäß abzurechnen. Dafür ist eine Konformitätsbewertung und -bestätigung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) erforderlich. Sie prüft, ob die Technik die Anforderun-

gen des Mess- und Eichgesetzes (MessEG) und der Mess- und Eichverordnung (MessEV) erfüllt. Und weil es keine zertifizierten Ladeeinrichtungen für High Power Charging mit Gleichstrom gab und deren Verfügbarkeit zum Verkaufsstart des Taycan infrage stand, haben die Spezialisten von Porsche Engineering ein eigenes System entwickelt: Ihr Porsche DC Energy Meter ist ein zertifizierter Zähler für Gleichstrom-Ladestationen mit Leistungen bis 350 Kilowatt. Er bietet die technischen Voraussetzungen dafür, dass bis zur Markteinführung des Taycan eine Infrastruktur zum Schnellladen geschaffen werden kann.

„Die Herausforderung bestand darin, ein System zu entwickeln – ohne genau die Anforderungen zu kennen, die daran gestellt werden“, erklärt Fachprojektleiter Alexander Schneider-Schaper. Denn noch im vergangenen Herbst war nur eines sicher: Jeder Stromkunde hat ein Recht darauf, exakt zu erfahren, wie viel Energie er zu welchem Zeitpunkt bezogen hat. Die Ingenieure mussten darum mit der Entwicklung des DC Energy Meters starten, als vieles noch unklar war. Die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informations-technik (DKE), ein Organ des Deutschen Instituts für Normung (DIN) und des VDE, arbeitete zu Projektbeginn noch an den Vorschlägen für die Richtlinien,



Wenige Minuten

dauert es an einer DC-Schnelladesäule, ein E-Fahrzeug mit Energie für 100 Kilometer aufzuladen.

Das DC Energy Meter auf einen Blick

Spannungsmessung

0 bis 1.000 V

Strommessung

0 bis 500 A

Temperaturbereiche

–40 bis +85 °C

Lagertemperatur

–40 bis +70 °C

Betriebstemperatur

Abmessung



Gehäuse DC Energy Meter

B 162 mm

H 82 mm

T 55 mm

Sensor

B 130 mm

H 104 mm

T 59 mm

Erfasste Messwerte

Spannung

Strom

Leistung

Energie

Anzeige

Energieverbrauch

Zeitdauer

Zeit

Datum

Nutzerkennung

Genauigkeit

0,5 %

des Messwerts für **Spannung**

0,4 %

des Messwerts für **Strom**

Gewicht

530 g



Das DC Energy Meter erfüllt die Zählernormen **EN 50470-1** und **EN 50470-3** sowie die gängigen Messanforderungen, beispielsweise in Bezug auf elektromagnetische Verträglichkeit, Temperatur und Vibrationen. Das Gehäuse ist gemäß Schutzklasse **IP 30** vor dem Eindringen von Feuchtigkeit geschützt.

die dann durch den Regelermittlungsausschuss (REA) nochmals bewertet und an die Eichbehörde weitergeleitet werden sollten.

Das Messen des Stromverbrauchs an einem Ladepunkt bzw. einer Ladesäule ist nicht ganz trivial. Anders als im Haushalt, wo der Nutzer immer derselbe ist und es genügt, einmal im Jahr den Zählerstand abzulesen, wechseln bei öffentlichen Ladepunkten für Elektromobile die Verbraucher ständig. Jeder Einzelne von ihnen hat das Recht auf eine Abrechnung, die präzise und transparent ist. Daraus ergab sich der Anforderungskatalog für die Entwicklung des Porsche DC Energy Meters: Es muss einen Nutzer erkennen, die Uhrzeit des Aufladens protokollieren sowie während des Ladevorgangs Strom, Spannung und Zeit messen, woraus sich die elektrische Arbeit in Kilowattstunden berechnen lässt. All diese Daten müssen anschließend sicher über ein Backend zum Provider transportiert werden, von dem die Kunden dann eine detaillierte Rechnung erhalten.

Eine weitere große Herausforderung waren die beengten Platzverhältnisse in der Ladesäule. Den meisten Raum beanspruchen hier die Anschlüsse, das Ladekabel mit integrierter Kühlung und die Ladekontrollereinheiten. Um die zusätzliche Technik unterbringen zu können, entwickelten die Ingenieure ein zweiteiliges System aus dem eigentlichen DC Energy Meter sowie der Sensoreinheit für die Strom- und Spannungsmessung. Letztere ist in den Strompfad zwischen Verbraucher und Zapfsäule geschaltet. Sie kann Ströme bis maximal 500 Ampere und Spannungen bis 1.000 Volt messen.

Verbindung zum Backend-Server

Seine Messwerte übermittelt der Sensor an das eigentliche DC Energy Meter, das nicht größer als eine 0,5-Liter-Getränkedose werden durfte. Es zeichnet die Daten auf, ermittelt die übertragene Energiemenge, ordnet sie den Kundendaten zu und verschnürt das gesamte Paket zu einem signierten Tupel – einem Datenbündel, das nicht mehr verändert werden kann. Es steht dann dem Backend-Betreiber zur Verfügung, der auf dieser Grundlage die Rechnungen stellen kann. Bei ihm kann der Kunde über eine Transparenz-Software – etwa eine App – abrufen, wann er wo und wie viel getankt hat. Diese Informationen lassen sich aber auch schon während des Tankens auf einem von Porsche Engineering entwickelten LC-Display ablesen.



Projektteam: Alexander Schneider-Schaper, Sunny Rohilla und Jiri Naprstek (von links)

„Wichtig war bei der Entwicklung des Systems auch der Schutz vor Manipulation“, berichtet Schneider-Schaper. Um sicherzustellen, dass niemand den Sensor oder das DC Energy Meter öffnet, wurden Gehäuse entwickelt, die fest verschlossen und verplombt sind. Die Zulassung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt – der momentan einzigen Konformitätsbewertungsstelle für den Anwendungsbereich Elektromobilität – wird noch 2019 erfolgen, nachdem inzwischen die Bewertungskriterien für die Zulassung feststehen. Untersucht wurden dabei unter anderem Konstruktion und Funktion, Umweltverträglichkeit sowie der mess- und eichrechtkonforme Betrieb von Ladesäule und Software.

Dem Rollout der Technik steht damit nichts mehr im Wege. „Derzeit steht überall der Ausbau der Infrastruktur im Vordergrund, obwohl es noch keine Richtlinien und Normen gibt“, erklärt Schneider-Schaper. „Hier hat Deutschland die Chance, eine Vorreiterrolle einzunehmen und damit auch die hier zertifizierte und zugelassene Technik zu etablieren.“



PTB prüft

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) prüft, ob ein Zähler die Anforderungen des Mess- und Eichgesetzes (MessEG) und der Mess- und Eichverordnung (MessEV) erfüllt.



Alexander Schneider-Schaper ist bei Porsche Engineering Fachprojektleiter für den Home Charge Manager. Er vertritt die Porsche AG in verschiedenen Gremien des Mess- und Eichrechts im Rahmen der Elektromobilität.

Sunny Rohilla ist bei Porsche Engineering Entwicklungsingenieur für Energietechnik. Der Experte für Mikroelektronik war verantwortlich für die Entwicklung des hochgenauen und kompakten Zählers für DC-Ladestationen.

Jiri Naprstek ist Leiter der Elektronikentwicklung bei Porsche Engineering Services Prag. Er verantwortet die technische Entwicklung mehrerer Projekte im Bereich der Ladeinfrastruktur, unter anderem des DC-Zählers als schlüsselfertige Lösung.



Begegnung im künstlichen Krater: Prof. Frank Kirchner und Laufroboter „Charlie“

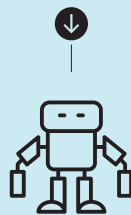
Der Mann im Mond

Text: Christian Buck Fotos: Cosima Hanebeck; DFKI

In Bremen arbeitet das Team von Professor Frank Kirchner an Robotern für Weltraum- und Unterwassereinsätze. Weit entfernt von der Erde müssen sie sich selbstständig orientieren und Entscheidungen treffen – ähnlich wie autonome Fahrzeuge im Straßenverkehr.

D

er Mond hat eine Außenstelle in Bremen. Neun Meter ist der Abhang des künstlichen Kraters breit, fünfeinhalb Meter Höhenunterschied sind von seinen unteren Ausläufern bis nach oben zu überwinden. Wer hinaufklettern will, muss Steigungen von 25 bis 40 Grad bewältigen. Menschen sind dabei aber meist nur Zuschauer, denn die Mondlandschaft ist als Trainingsgelände für Astronauten aus Stahl gedacht: In der Weltraum-Explorationshalle des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) üben Roboter selbstständige Erkundungsgänge auf dem Erdtrabanten. Die Wahl des Geländes ist kein Zufall: Krater und ihre Umgebungen gehören zu den interessantesten Orten auf Monden und Planeten, denn ihre Abhänge enthalten Sedimentschichten aus verschiedenen Epochen sowie Spuren von Material aus dem Sonnensystem. Außerdem liefern ihre Wände Informationen über die Entstehung von Monden und Planeten.



1920

prägt der tschechische Schriftsteller Josef Čapek die Bezeichnung „Roboter“. Sie leitet sich vom Wort „robota“ ab, was „Arbeit“ bzw. „Zwangsarbeit“ bedeutet.

Schöpfer der kletternden Roboter ist Professor Frank Kirchner, der das Robotics Innovation Center des DFKI am Stadtrand von Bremen leitet und gemeinsam mit seinem Team an maschinellen Astronauten arbeitet. Seine Kreaturen sind oft biologisch inspiriert, zum Beispiel der vierbeinige Laufroboter „Charlie“, der aussieht wie ein Affe, oder „Mantis“, ein Wesen mit sechs Extremitäten, das einer Gottesanbeterin nachempfunden ist. Gerade steht „Coyote III“ in der künstlichen Mondlandschaft, ein grau-orangefarbener Rover mit sternförmigen Rädern und einer flachen Silhouette.

Intelligente und autonome Roboter sind für die Raumfahrt unverzichtbar, denn sie benötigen keine Nahrung und keinen Sauerstoff. Außerdem brauchen sie nach Ende einer Mission auch keinen Rückflug zurück zur Erde. Allerdings müssen sie in der Lage sein, sich zumindest teilweise selbst auf fremden Monden und Planeten zurechtfinden. Wie gut ihnen das gelingt,

können sie im Bremer Kunststoff-Krater unter Beweis stellen. Gebaut hat ihn eine Firma, die sonst Kletterwände fürs Indoor-Climbing liefert. „Als Vorlage dienten Aufnahmen der Apollo-Astronauten von einem Krater am Südpol des Mondes“, erklärt Kirchner, einer der weltweit führenden Experten für autonome Weltall- und Unterwasserroboter.

Autonomes U-Boot für den Jupitermond

Die Weltraum- und die Unterwasserwelt haben mehr miteinander zu tun, als man auf den ersten Blick glauben könnte. Denn zu den interessantesten Plätzen im Sonnensystem gehört der Jupitermond Europa, unter dessen Eispanzer ein riesiger Ozean aus flüssigem Wasser vermutet wird – also ein Ort, an dem sich Leben entwickelt haben könnte. Darum haben die Bremer Robotik-Experten auch einen acht Meter tiefen Wassertank gebaut, in dem sie unter anderem den „Europa-Explorer“ testen können: Der rohrförmige Bohrer „Teredo“ soll die zwischen 3 und 15 Kilometer dicke Eisschicht des Mondes durchdringen und danach das Unterwasserfahrzeug „Leng“ für die Untersuchung des Ozeans aussetzen. Weil Steuersignale von der Erde bis Europa zwischen 33 und 53 Minuten unterwegs wären, muss das torpedoförmige U-Boot autonom operieren.



1939

zeigt Westinghouse auf der Weltausstellung in New York den ersten humanoiden Roboter „Elektro“.



1942

stellt Isaac Asimov seine drei „Roboter-gesetze“ auf. Sie besagen unter anderem, dass ein Roboter einem menschlichen Wesen keinen Schaden zufügen darf.

„Für mich ist ein autonomes Auto ein Roboter, mit dem ich fahren kann.“

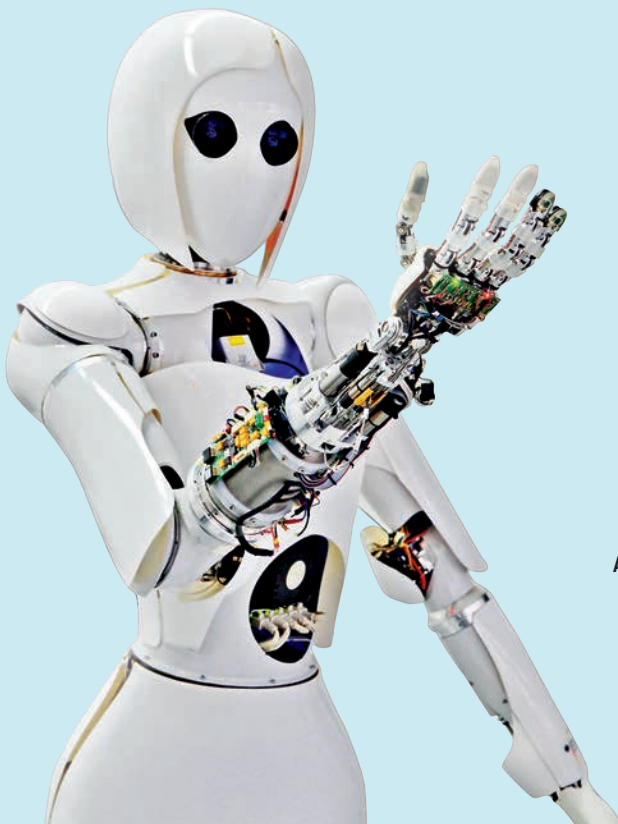
Prof. Frank Kirchner

Kein Wunder also, dass sich die Forschungsgruppe in der „Weltraumstadt“ Bremen seit vielen Jahren intensiv mit Themen wie Sensorik, Aktuatorik und künstlicher Intelligenz beschäftigt. Ihre Ergebnisse kommen aber nicht nur der Raumfahrt zugute – Kirchner ist auch der Transfer in andere Bereiche wichtig, zum Beispiel für Roboter, die sich auf der Erde selbstständig in gefährlichen Umgebungen bewegen müssen. Mit großem Interesse verfolgt er auch die Entwicklung des autonomen Fahrens, auf das er naturgemäß einen besonderen Blick hat. „Für mich ist ein autonomes Auto ein Roboter, mit dem ich fahren kann“, sagt Kirchner.

Gemeinsamkeiten gibt es tatsächlich viele. So müssen sowohl autonome Fahrzeuge als auch Roboter auf fernen Himmelskörpern ihre Umgebung erfassen, analysieren und mithilfe der Informationen selbstständig kluge Entscheidungen treffen. Natürlich gibt es auf Mond und Mars keinen Straßenverkehr mit Ampeln, Verkehrsschildern und plötzlich auftauchenden Autos oder Fußgängern – trotzdem müssen auch Kirchners Roboter mit Dynamik zurechtkommen, etwa Sandstürmen und Tornados auf dem Mars oder stark veränderlichen Lichtverhältnissen auf dem Mond.

Orientierung ohne Karten

Im Gegensatz zu autonomen Fahrzeugen kommen ihnen bei ihren Missionen keine Karten des Geländes zu Hilfe. „Die Auflösung von Satellitenbildern ist mit einem Meter noch zu schlecht“, erklärt Kirchner. „Darum müssen die Roboter eigene Karten ihrer Umgebung aufbauen und sich selbst darin lokalisieren.“ Dafür haben Wissenschaftler die SLAM-Algorithmen (Self Localization and Mapping) entwickelt, wahrscheinlichkeitsbasierte Verfahren für die Orientierung in



32

Freiheitsgrade besitzt das Robotersystem AILA, darunter je sieben Gelenke pro Arm. Es dient als Plattform zur Forschung im Bereich der mobilen Manipulation.

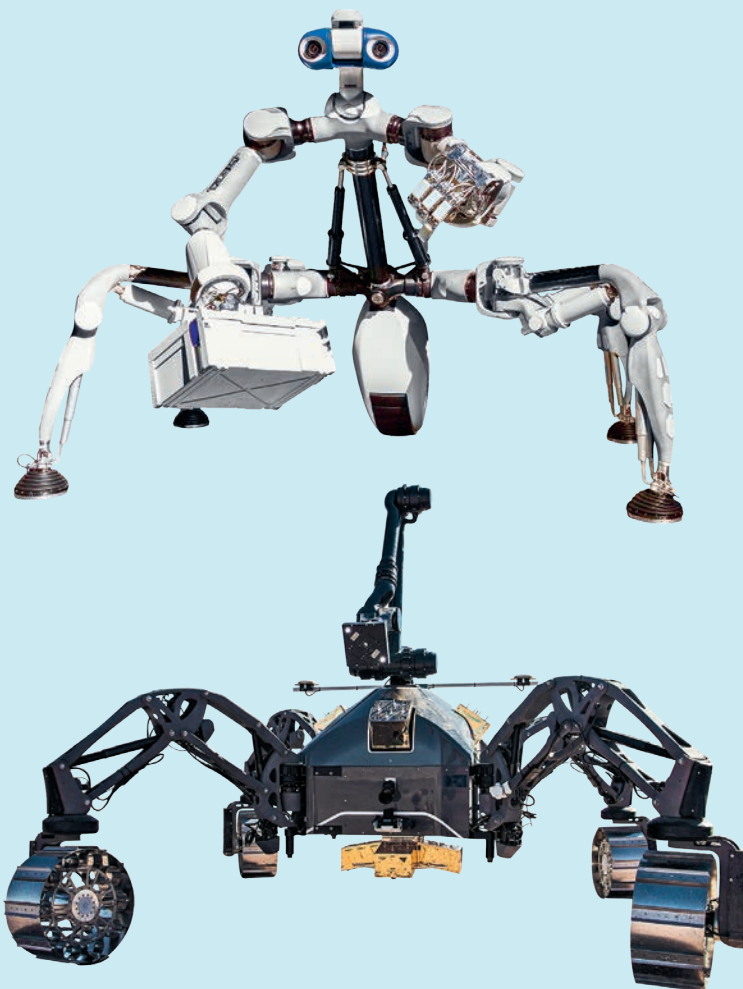
unbekanntem Terrain. „Alles begann mit der Navigation in Abwasserkanälen“, erinnert sich Kirchner. „Das war eine recht einfache Umgebung, sodass wir den neuen Ansatz dort sehr gut testen konnten.“ Ab Mitte der 90er-Jahre wurden die SLAM-Algorithmen dann auch im offenen Gelände und in Gebäuden eingesetzt. Vor etwa 15 Jahren gab es erste Anwendungen für die Selbstlokalisierung autonomer Fahrzeuge.

Autonome Fahrzeuge sollten während der Nutzungsphase weiter dazulernen

Basis für die SLAM-Algorithmen ist die Objekterkennung in dynamischen Situationen, die ebenfalls schon frühzeitig von den Robotik-Experten vorangetrieben wurde. Die Herausforderung: Die Technik muss zuverlässig funktionieren, auch wenn sich die Kamera bewegt und sich die Umgebungsbedingungen durch Wetter und wechselnden Lichteinfall verändern – das gilt auf dem Mars ebenso wie auf der Erde. „In der Robotik hat die Objekterkennung viel an Reife und Robustheit gewonnen“, sagt Kirchner. „Die Mathematik dahinter ist die gleiche wie heute im Auto.“ Der Transfer ist aber keine Einbahnstraße: Die Roboter-Entwickler haben in den letzten Jahren stark vom Smartphone-Boom profitiert, der ihnen preiswerte Videokameras beschert hat. Und durch die weiterhin exponentielle Leistungssteigerung bei Mikroprozessoren – bekannt als Moore'sches Gesetz und auch von der Automobilindustrie angetrieben – werden ihre Schöpfungen immer intelligenter.

Aufgrund seiner eigenen Forschungen weiß er, wie anspruchsvoll es ist, ein Auto ohne menschlichen Eingriff durch den Straßenverkehr zu steuern. Kirchner ist selbst schon in zwei Versuchsfahrzeugen gesessen und war „sehr beeindruckt“. Als engagierter Beobachter der Entwicklung hat er natürlich auch eigene Ideen zum Thema. „Autonome Autos sollten während ihrer Nutzungsphase lernen“, schlägt er vor. „Man kauft ein Fahrzeug mit Grunderfahrungen, das sich während des Betriebs gemeinsam mit den anderen Autos auf der Straße weiterentwickelt.“ Das wäre dann Lernen im Kollektiv – genauso wie bei den kollaborativen Robotern, die heute Einzug in die industrielle Fertigung halten: Sie müssen mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Menschen zurechtkommen und teilen darum ihre individuellen Erfahrungen miteinander, etwa über eine Cloud.

„Wir sehen heute beim autonomen Fahren zu sehr auf die einzelnen Algorithmen – aber die kennen wir ja schon sehr gut und lange, teilweise seit den 50er-Jahren“, sagt Kirchner. „Wichtiger ist die Organisation von Wissen. Es kommt darauf an, die einzelnen Komponenten des Wissens miteinander zu vernetzen – etwa durch kollektives Lernen. Das Fahrzeug muss ein lebenslang lernendes System sein.“ Und dafür sollte es auch hin und wieder träumen: Kirchners Team arbeitet



6

**Extremitäten
hat der Roboter MANTIS,
der einer Gottesanbeterin
nachempfunden ist
(oben).**

**Sherpa ist ein Rover
mit aktivem Fahrwerk,
der sich flexibel an
verschiedene Gelände-
und Hindernissituationen
anpassen kann (unten).**

im EU-Projekt „Dreams4Cars“ mit, das die Sicherheit autonomer Fahrzeuge verbessern will. Ähnlich wie bei inneren Bildern oder Träumen soll die Steuerungssoftware reale Verkehrssituationen in einer Simulationsumgebung immer wieder durchspielen, dabei alternative Reaktionen testen und so selbst für außergewöhnliche Ereignisse gerüstet sein. Man darf also gespannt sein, welche Ideen der Bremer Robotik-Experten in Zukunft den Weg vom Mond auf die Erde finden werden. ◀



Prof. Frank Kirchner ist einer der weltweit führenden Experten für autonome Weltall- und Unterwasserroboter. Er ist Standortsprecher des DFKI Bremen und verantwortet den Forschungsbereich Robotics Innovation Center mit über 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.



Erhöhte Stabilität: Die Sensorik erkennt die akustischen Profile verschiedener Untergründe und warnt den Fahrer bei nassen Straßen.



Das Ohr an der Fahrbahn

Text: Axel Novak

Nasse Straßen machen das Fahren zur Herausforderung. Porsche hat darum ein System zur Erkennung von Fahrbahnnässe entwickelt, das serienmäßig im neuen Porsche 911 Carrera zum Einsatz kommt. Das ebenfalls neue Fahrprogramm WET verschafft dem Fahrer auf Wunsch mehr Stabilitätsreserve.

Verregnete Fahrbahnen sind ein oft unterschätztes Risiko für Fahrer und Verkehrsteilnehmer. Straßen- glätte durch Regen ist als Unfallursache deutlich wichtiger als Schnee und Eis, denn Fahrbahnnässe wird vom Fahrer sehr häufig unterschätzt. Der neue Porsche 911 Carrera verfügt darum serienmäßig über ein innovatives System, das Fahrbahnnässe erkennt und den Fahrer informiert. Er kann daraufhin das Fahrprogramm WET wählen, das ihn durch gezielte Anpassung vieler Fahrzeugsysteme zur Erhaltung der Stabilität bei Nässe unterstützt. „Ziel des WET-Fahrprogramms ist es, das Fahren mit hochmotorisierten Fahrzeugen auf nassen oder glatten Straßen zu erleichtern“, sagt Yves Billet von der Entwicklung Fahrwerk Mechatronik bei der Porsche AG. „Es geht nicht darum, die Fahr- Performance zu steigern, sondern die Stabilität auch auf schwierigen Fahrbahnen zu erhöhen.“



Regen-Mikrofon

Ein Piezo-Sensor klebt auf der Rückseite der runden Fläche. Sie wirkt wie eine Membran, auf die das Spritzwasser aufprasselt. Der Piezo-Sensor reagiert empfindlich auf kleinste Verformungen und liefert eine entsprechende Spannung.

Hinter der Weltneuheit stecken viel ausgefeilte Technik und ein ausgeklügeltes Zusammenspiel von Sensorik und Steuerungseinheit. Der WET Mode baut auf einem technischen System auf, das über akustische Sensoren aufgewirbeltes Spritzwasser in den vorderen Radhäusern erkennt. Dafür sind mehrere Schritte erforderlich: Um den Fahrbahnzustand zu erkennen, muss die Elektronik zuerst den Frequenzumfang des analogen Sensor-Rohsignals auf einen bestimmten Bereich begrenzen – dort liegt das bestmögliche Signal-Rausch-Verhältnis vor, um sicher zwischen „Nässe erkannt“ und „keine Nässe erkannt“ unterscheiden zu können. Nach der analogen Vorverarbeitung wird das Sensorsignal digitalisiert. Dann lassen sich spezifische Kenngrößen ableiten, die unverkennbar auf Nässe oder Trockenheit hinweisen. Parallel dazu fließen auch die Daten der Regensensoren, die zur Ansteuerung der Scheibenwischer optisch auf Wassertropfen auf der Windschutzscheibe reagieren, in die Steuerung mit ein, um die Signale zu plausibilisieren. Entscheidend für den WET Mode sind aber die Radhausensoren, denn selbst wenn der Regenguss bereits vorüber ist, kann die Fahrbahn noch weiterhin sehr nass sein.

Test- und Zertifizierungsfahrten in der ganzen Welt

Die größte technische Herausforderung bei der Entwicklung der Fahrbahnnässe-Erkennung sind die Sensoren. Sie müssen nicht nur robust genug sein, um im täglichen Einsatz in einem Sportwagen zu bestehen; gefordert war auch eine hohe Sensibilität, um dauerhaft und zuverlässig die Fahrbahnzustände erkennen zu können – und zwar auf verschiedenen Fahrbahnprofilen in ganz unterschiedlichen Klimazonen. Auch die Abstimmung der Fahrwerkregelsysteme erforderte viel Koordination, um die Kennzahlen für die optimale Fahrbarkeit bei Nässe zu finden.

Zudem führten die Entwicklungsingenieure viele Test- und Zertifizierungsfahrten auf der ganzen Welt durch, um die akustischen Profile aller möglichen Untergründe in die Algorithmen des Systems einfließen zu lassen. Ein besonderes Problem für die Sensoren sind Fahrbahnen aus Schotter oder Rollsplit. „Außerdem gibt es bei Hochgeschwindigkeitsfahrten auch andere akustische Effekte, zum Beispiel zunehmende Rollgeräusche und die Windgeräusche im Radhaus“, erläutert Markus Gantikow, Leiter Entwicklung Fahrwerk Mechatronik bei der Porsche AG. „Hier mussten wir die richtige Sensibilität zum richtigen Zeitpunkt finden.“

Einzigerartiger Ansatz

Die Fahrbahnnässe-Erkennung von Porsche unterscheidet sich grundlegend von anderen Verfahren zur Nässe-detektion. Manche von ihnen greifen auf Surround-View-Kameras in Seitenspiegeln, im Kühlergrill oder im Heck von Fahrzeugen zurück, die ein spezifisches



Weltneuheit: Akustische Sensoren in den vorderen Radhäusern erkennen aufgewirbeltes Spritzwasser.

Spritz- und Sprühmuster der Reifen wahrnehmen. Gekoppelt mit Signalmustern aus Reifeninformationssystemen oder Beschleunigungssensoren, können diese Signale im Fahrzeugrechner genutzt werden, um den Fahrbahnzustand zu erkennen. Andere Systeme setzen auf optische Sensortechnik, um Lichtreflexionen durch den Untergrund zu erkennen. Zwar erzielen auch diese Verfahren gute Erkenntnisse – sie bleiben aber häufig Prototypen oder Laboraufbauten, die allein wegen ihrer Kosten, ihres Gewichts oder ihres Designs nicht in einen Porsche eingebaut werden können.

Die Porsche-Entwicklungsingenieure konnten beim WET Mode auf die Vorarbeiten zurückgreifen, die Mitte der 1990er-Jahre geleistet worden sind. Damals ging es darum, im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms „Prometheus“ (PROgramme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety) neue Assistenzsysteme zu entwickeln. Europas Regierungen wollten so die Effizienz, die Umweltverträglichkeit und die Sicherheit im Straßenverkehr verbessern. Porsche entwarf dafür ein Konzept für die Nässeerkennung, konnte es allerdings aufgrund zu geringer und teurer Rechner- und Speicherkapazitäten noch nicht in der Serie umsetzen. „Damals haben viele Kollegen begeistert mitgearbeitet“, erinnert sich Dr. Michael Unterreiner, Ingenieur in der Vorentwicklung bei der Porsche AG. „Aber es war noch nicht möglich, die Funktionen umzusetzen.“

Porsche 911 Carrera S

CO₂ –Emission (kombiniert):
205 g/km
Verbrauch innerorts:
10,7 l/100 km
Außerorts: 7,9 l/100 km
Kombiniert: 8,9 l/100 km
Effizienzklasse:
Deutschland: F
Schweiz: G

Stabilitätsreserve in schwierigen Situationen

Heute sorgen modernste Mikrochips und Software dafür, dass WET als eigenständiges Fahrprogramm das Fahrzeugverhalten über verschiedene Regelsysteme beeinflussen kann. So bereitet das System bereits bei erkannter nasser Fahrbahn das Ansprechverhalten der Systeme Porsche Stability Management (PSM) und Porsche Traction Management (PTM) vor. Gleichzeitig erhält der Fahrer die Information über die erkannte Nässe und kann nun manuell in das serienmäßige Fahrprogramm WET wechseln. Eine automatische Aktivierung oder Deaktivierung des Fahrprogramms WET erfolgt nicht.

Aktiviert der Fahrer die Funktion in der Tasterleiste über der Mittelkonsole – oder beim optionalen Sport Chrono-Paket über den Mode-Schalter –, werden die Systeme PSM, PTM, die Aerodynamik, das optionale



Vorbereitet

Sobald eine nasse Fahrbahn erkannt wird, bereitet das System das Ansprechverhalten von PSM und PTM vor.



PSM

Das Porsche Stability Management sorgt für hohe aktive Fahrsicherheit im längs- und querdynamischen Grenzbereich.



PTM

Das Porsche Traction Management garantiert eine schnelle und gezielte Kraftverteilung auf beide Achsen.

Porsche Torque Vectoring Plus (PTV Plus) und das Ansprechverhalten des Antriebs angepasst. Letzteres, indem die Gaspedal-Kennlinie flacher wird und die Getriebesteuerung höhere Gänge einlegt. Ab einer Geschwindigkeit von 90 km/h öffnen zudem die Kühlluftklappen und der in die Performance-Stellung fahrende Heckspoiler optimiert die aerodynamische Balance zwischen Vorder- und Hinterachse. Im Fahrprogramm WET können die Modi „PSM Sport“, „PSM Off“ und „Individual“ sowie die Einstellung „Fahrwerk Sport“ und der Sport Response Button nicht mehr aktiviert werden.

Derzeit ist der WET Mode im Porsche 911 Carrera serienmäßig eingebaut. Er bietet dem Fahrer vor allem bei Nässe – aber auch auf schneeglatte Fahrbahn – nochmals erhöhte Sicherheitsreserven. „Bei Fahrten auf nasser Fahrbahn und in schwierigen Verkehrssituationen kommt es darauf an, als Mensch schnell und zuverlässig zu agieren“, sagt Yves Billet. „Mit der richtigen Technik können wir den Fahrer dabei unterstützen.“



Sichere Ankunft: Das neue Fahrprogramm WET erleichtert das Fahren auf nassen oder glatten Straßen.

Leichtbau in den Genen

Text: Jost Burger

Gewichtsoptimierung stand bei Porsche schon immer ganz oben auf der Agenda. Die größte Innovation bei der Karosserie des aktuellen Porsche 911 ist die Seitenwand komplett aus Aluminium. Aber auch andere Komponenten wurden leichter, zudem begeistert der neue Sportwagen mit innovativen Fügetechniken und einer nachhaltigen Fertigung.

Moderne Karosserien bestehen aus einem Mix aus Materialien. Wurde der Fahrzeugrohbau früher hauptsächlich aus kaltverformtem Stahlblech hergestellt, kommt heute daneben vor allem das leichtere Aluminium zum Einsatz. Wichtigstes Ziel dieses Materialmixes – auch „Mischbau“ genannt – ist die Gewichtsreduzierung: Leichtbau lautet die Devise – und das nicht nur, um Kraftstoff zu sparen oder schneller vom Fleck zu kommen. Leichtbau führt, in Kombination mit anderen technischen Maßnahmen wie mitlenkenden Hinterachsen und erhöhter Steifigkeit der Fahrgastzelle, auch zu mehr Stabilität und Sicherheit.

Ein kurzer Blick in die Vergangenheit zeigt diese Entwicklung: Die Karosserie des 911 von 2004 (Typ 997) bestand noch komplett aus Stahlblech, während beim Nachfolgemodell von 2011 (Typ 991) Unterbau und Dach aus Alublech gefertigt waren. Der Alu-Unterbau wurde beim neuen Typ 992 beibehalten, zusätzlich haben die Entwickler aber auch den Stahlanteil um



Knapp **30%**
beträgt der Stahlanteil
im neuen 911.

Beim Vorgänger war er mehr
als doppelt so hoch.

deutlich mehr als die Hälfte reduziert – er beträgt jetzt nur noch knapp 30 Prozent. Gleichzeitig nahm die Menge an Aluminium erneut zu, um den Leichtbau voranzutreiben.

**Beim Leistungsgewicht gilt:
je niedriger, desto besser**

Wobei „leicht“ nicht automatisch „immer leichter“ bedeutet. Denn entscheidend ist das Verhältnis von Masse zur Motorleistung, das „Leistungsgewicht“ – also der Quotient aus Masse und maximaler Antriebsleistung, angegeben in kg/kW. Es gilt: Je niedriger dieser Wert ist, desto besser. Das zeigt auch die Geschichte des 911, bei dem das Leistungsgewicht deutlich gesunken ist.

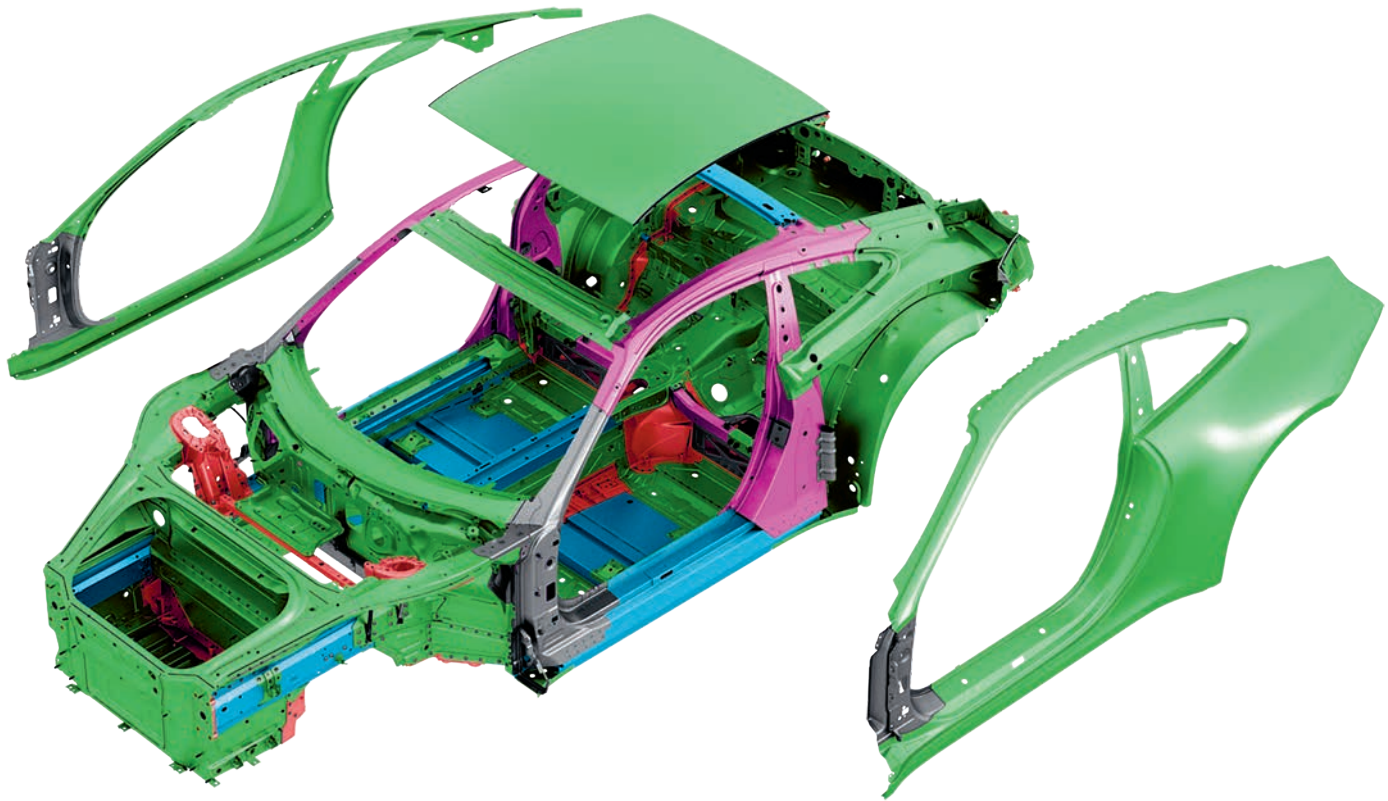
Dass das Leistungsgewicht des neuen 911 sinken konnte, liegt nicht nur an seiner stärkeren Motorisierung, sondern insbesondere auch an konsequentem



Leichtbau in seiner schönsten Form: Der neue 911 besteht zu einem großen Teil aus Aluminium, um Gewicht zu sparen.

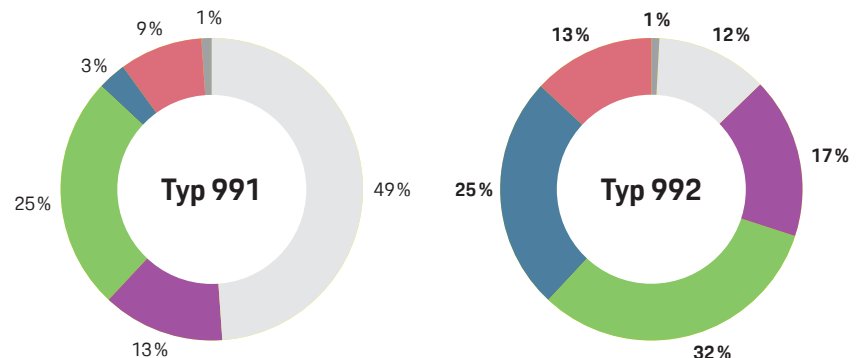
Die neuen Carrera S-Modelle

CO₂-Emissionen kombiniert:
208–205 g/km
Kraftstoffverbrauch innerorts:
9,1–8,9 l/100 km



Materialkonzept

Mehr Aluminium, weniger Stahl: So könnte man den Materialmix des neuen 911 (Typ 992) kurz zusammenfassen. Erstmals bestehen zum Beispiel die Seitenteile komplett aus Aluminium, was ihr Gewicht um zwölf Kilogramm reduziert.



Leichtbau. „Leichtbau ist Teil der Porsche-DNA, das Thema Gewichthsoptimierung stand bei uns schon immer ganz oben auf der Agenda“, sagt Jens Christlein, Leiter Entwicklung Karosseriestruktur bei der Porsche AG. Im aktuellen 911 bestehen die Seitenteile darum erstmals komplett aus Aluminium, was das Gewicht der Seitenteile um zwölf Kilogramm reduziert – ohne dass die Stabilität leidet. Ihre Entwicklung stellte alle Beteiligten vor große Herausforderungen, weil Aluminium weniger günstige Materialeigenschaften hat als Stahl. „Es neigt viel eher zum Reißen, wenn es beim Verformen gezogen wird. Deshalb muss man die Bauteile viel intensiver entwickeln“, erläutert Christlein. Ein unverzichtbares Werkzeug bei der Entwicklung waren darum Ziehsimulationen am Computer, mit denen die Entwickler das Materialverhalten überprüfen konnten.



Entscheidend war zudem die enge Zusammenarbeit aller Abteilungen, vom Design bis zum Porsche-eigenen Werkzeugbau: In wöchentlichen Sitzungen wurde immer wieder an den Details gefeilt, bis alle Design- und Qualitätsanforderungen erfüllt waren – teilweise mussten sich die Spezialisten Millimeter um Millimeter an das Optimum heranarbeiten. „Die eigentliche Kunst ist, beides zu kombinieren: die extrem emotionale Optik des neuen Porsche 911 und den Leichtbau“, so Christlein. Dabei halfen jahrzehntelange Erfahrung ebenso wie das Durchhaltevermögen der Ingenieure: Bis zur Fertigungsreife hat der Prozess gut zwei Jahre gedauert.

Neben den Seitenteilen aus Aluminium kommt im aktuellen 911 eine Reihe weiterer innovativer

Leichtbau-Techniken und -Methoden zum Einsatz. So schafft der vermehrte Einsatz von Druckgussteilen – unter anderem für die vorderen Federbeinaufnehmer und die hinteren Tunnelglocken – mehr Freiheit im Rohbau, weil sie eine hohe geometrische Variabilität ermöglichen. Zudem lassen sich mit ihrer Hilfe viele Funktionen in einem einzigen Bauteil vereinen – etwa durch die Integration von Verschraubdomen oder durch Verrippungen, um ein Bauteil zu verstärken. In der klassischen Blechbauweise sind dafür mehrere Komponenten nötig, was neben einer höheren Komplexität in der Fertigung auch zu höherem Gewicht führt. Verstärkt werden die Vorteile von Gussteilen im neuen 911 dadurch, dass sie aus dem leichten Aluminium gefertigt sind.

Aluminium findet sich in der Neuauflage des 911 auch vermehrt als Material für Strangpressprofile, zum Beispiel bei den vorderen und hinteren Längsträgern. „Wenn es die Geometrie und die Randbedingungen zulassen, ist ein Alu-Strangpressprofil hervorragend geeignet, um mit geringen Werkzeugkosten sehr komplexe Profile darzustellen“, sagt Christlein. Die unterschiedlichen Anforderungen – etwa an die Belastbarkeit – werden durch unterschiedliche Materialdicken erfüllt.

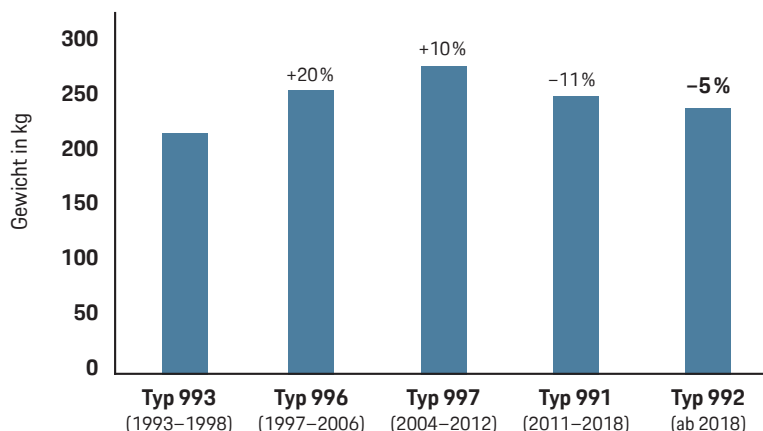
Nachhaltige Produktion: Kombination von Wärmebehandlung und Lackierung

Eine andere Innovation macht die 911-Fertigung nachhaltiger: die Kombination der Wärmebehandlung der Gussteile mit dem Lackiervorgang. Gussteile müssen nach dem Gießen einer Wärmebehandlung unterzogen werden, um die gewünschten Materialeigenschaften zu erhalten. „Frisch aus dem Guss haben sie zum Beispiel noch nicht die erforderliche Duktilität – sie bestimmt, wie sich die Teile bei einem Crash verformen“, so Christlein. Die Wärmebehandlung ist darum die eigentliche Kunst bei der Gussteileherstellung. Allerdings ist sie auch sehr zeit- und energieintensiv. Porsche nutzt bei der Fertigung des neuen Porsche 911 die Wärmeenergie für die Lackierung, um den Gussteilen gleichzeitig die erforderliche Festigkeit und Duktilität mitzugeben.

Die steigende Zahl von Materialien im Karosserierohbau erhöht auch die Vielfalt der eingesetzten Füge-techniken, was sich zum Beispiel bei der Verbindung von Stahl und Aluminium zeigt: Klassisches Punktschweißen ist hier nicht möglich, sodass das Schweißen mit Reibelementen zum Einsatz kommt. Dabei wird der Bolzen, der die Teile später zusammenhält, in Drehung versetzt und gegen ein Widerlager auf die übereinander liegenden Blechteile gedrückt. Durch die entstehende Wärmeenergie schmilzt er sich durch beide Bleche und verbindet sie beim Erkalten. Ganz ähnlich funktionieren Flowdrill-Schrauben: Man treibt sie mit hoher Geschwindigkeit ins Material, das durch die Wärme-

Umkehrung der Gewichtsspirale

In der Vergangenheit wurden die 911-Karosserien immer schwerer. Mit Typ 991 konnten die Ingenieure dann die Wende einleiten. Obwohl dieser bereits eine deutliche Gewichtsreduzierung aufwies, sorgte konsequenter Leichtbau bei Typ 992 für einen weiteren Rückgang um beeindruckende fünf Prozent.



„Das Thema Gewichts-optimierung stand bei uns schon immer ganz oben auf der Agenda.“

Jens Christlein,
Leiter Entwicklung
Karosseriestruktur
bei der Porsche AG

entwicklung formbar wird. So schafft die Schraube ein Gewinde, in dem sie fest angezogen werden kann, um die Materialien zu verbinden.

Der aktuelle Rohbau des 911 ist innerhalb der Baureihe der bisherige Höhepunkt beim Leistungsgewicht. Doch damit geben sich die Entwickler nicht zufrieden und denken bereits über neue Leichtbaukonzepte nach, etwa mit Materialien wie Magnesium oder Carbon. Letztendlich hängt ihr Einsatz aber von der Wirtschaftlichkeit ab. Das Ende der Fahnenstange ist beim Leichtbau jedenfalls noch lange nicht erreicht, wie Christlein betont: „Wir stellen uns die Frage nach dem Material jedes Mal neu und bekommen auch jedes Mal eine neue Antwort.“

Wissen vertiefen



⬇ Elektronik für Fahrzeuge

Der VDI-Kongress Electronics in Vehicles (ELIV) bietet Raum für den Austausch zwischen Fahrzeugherstellern und Zulieferern rund um das Thema Fahrzeugelektronik. Mitte der 80er-Jahre etabliert, widmet sich die Veranstaltung heute aktuellen Trends und Technologien in den Bereichen hochautomatisiertes Fahren, Smart Vehicle und E-Mobility. Neben Vorträgen werden auf einer Fachausstellung Innovationen präsentiert. Porsche Engineering wird dort ebenfalls am 16./17. Oktober vertreten sein.

ELIV 2019

16./17.10. 2019, Bonn



Standardwerk zum Nachschlagen

Das Handbuch liefert einen Überblick über die aktuellen Fahrerassistenzsysteme sowie die dafür erforderliche Sensorik und Datenverarbeitung. Es hat sich inzwischen zu einem Standardwerk entwickelt.

Handbuch Fahrerassistenzsysteme
Hermann Winner et al. (Hrsg.)
Springer Vieweg 2015

Über den Tellerrand

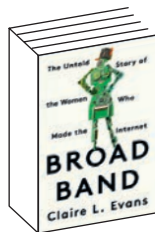


⬆ Slush: Gipfeltreffen der Techies

Auf der Konferenz Slush treffen Start-ups auf Konzerne und diskutieren über die aktuellen Trends bei der Softwareentwicklung oder bei den digitalen Geschäftsmodellen. Wer wissen will, was in der IT-Branche gerade angesagt ist, sollte nach Helsinki fahren.

Slush 2019

21./22.11. 2019, Helsinki



Die Frauen hinter dem Internet

Neben Männern waren auch starke Frauen wie Grace Hopper daran

beteiligt, uns die Computerrevolution und das Internet zu bringen. Dieses Buch erzählt ihre Geschichte.

Broad Band
Claire Evans
Portfolio/Penguin 2018



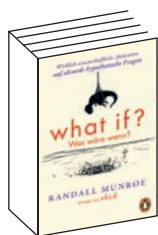
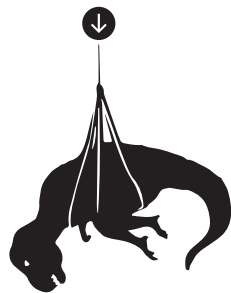
Soft Skills für Softwerker

Achtung, Wortspiel! Dieses Buch für Softwareentwickler behandelt

nicht das Programmieren, sondern die „soften“ Fähigkeiten, die man etwa im Umgang mit Kunden oder Kollegen braucht. Augenzwinkern inklusive.

Soft Skills
John Sonmez
Manning 2015

Für das Kind in uns



Was wäre, wenn?

Was wäre beispielsweise, wenn sich die Erde und alles auf ihr plötzlich nicht mehr drehen würde, die Atmosphäre aber ihre Geschwindigkeit beibehielte? Viele wissenschaftliche Antworten auf derart absurde Fragen liefert dieses Buch. Durchweg intelligent und amüsant.

worten auf derart absurde Fragen liefert dieses Buch. Durchweg intelligent und amüsant.

What if?

Randall Munroe
Penguin 2016

Coding for Kids

Spielerisch programmieren lernen: Das bietet Tynker hauptsächlich für Kinder, aber auch für Erwachsene. Tynker ist die führende Plattform im Bereich Kids-Coding, mit der spielerisch Apps und Spiele erstellt werden können. Dabei erfolgt das Erlernen von Programmierlogik und Codesprache ganz nebenbei. Idealerweise ist Tynker für Kinder ab sieben Jahren geeignet, aber auch manch ein Erwachsener kann hier noch etwas dazulernen.

<https://www.tynker.com>



Findet den Porsche!

Entwickler bei der Arbeit, Sportwagen im Windkanal, das 24-Stunden-Rennen in Le Mans oder die moderne Porsche-Produktion in Leipzig: Dieses Bilderbuch entzündet beim Nachwuchs

garantiert die Begeisterung für die schwäbische Kultmarke und die Menschen dahinter. Es gibt viel zu entdecken!

Porsche Wimmelbuch

Stefan Lohr
Wimmelbuchverlag 2018

Intelligent unterhalten



Die dunkle Seite des Mondes

Der Astronaut Sam Bell (gespielt von Sam Rockwell) baut auf der Rückseite des Mondes Helium 3 für die Energieversorgung der Erde ab. Alles läuft wie immer, bis er unerwartet seinem eigenen Klon begegnet. Ein sehenswerter Klassiker.

Moon

Duncan Jones (Regisseur); DVD (Koch Media)



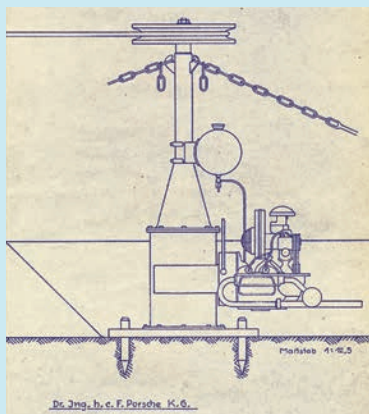
Rettet Mark Watney

Astronaut Mark Watney strandet auf dem Mars. Er gerät in einen Sandsturm und ist allein, nachdem er wieder aus seiner Bewusstlosigkeit erwacht.

Jetzt müssen ihm seine wissenschaftlichen Kenntnisse das Überleben sichern – hoffentlich lange genug, bis die Rettungsmission von der Erde endlich eintrifft.

Der Marsianer

Andy Weir
Heyne 2014



1945/46



1959



1985

1983

In diesem Jahr geht der Porsche-Flugmotor PFM 3200 erstmals in die Luft. Zwei Jahre später (Bild rechts) taufen ihn Peter W. Schutz, Vorstandsvorsitzender der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, und Helmuth Bott, Vorstand für Forschung und Entwicklung (von links).

Skifahrer freuten sich 1945/46 über einen Porsche-Lift (Bild links oben: technische Zeichnung im Maßstab 1:12,5).

Bootsbesitzer konnten ab 1959 mit dem Porsche-Bootsantrieb 729 übers Wasser jagen (Bild links unten).

Die Derivatentwicklung hat bei Porsche eine lange Tradition. Ein spektakuläres Beispiel dafür ist der Flugmotor PFM 3200, der am 9. August 1983 an Bord einer Cessna Skylane im Allgäu zu seinem Jungfernflug abhob. Der Sechszylindermotor mit 212 PS (156 kW) Leistung basierte auf dem Triebwerk des Porsche 911, das die Ingenieure im Entwicklungszentrum Weissach an die Erfordernisse der Luftfahrt angepasst hatten. Und zwar in Rekordzeit: Nur zwei Jahre nach Programmstart erhielten sie im September 1984 die Zulassung des Luftfahrtbundesamtes. Und schon im folgenden Jahr stand das nächste Highlight auf dem Programm: Im Juli 1985 startete eine mit dem PFM 3200 ausgerüstete Mooney auf einen Flug um die Welt, bei dem die beiden Piloten Michael Schultz und Hans Kampik rund 100.000 Kilometer zurücklegten. Ihre Reise führte sie unter anderem nach Grönland, Kanada, Alaska, Kuba, Chile, die Vereinigten Arabischen Emirate, Australien und Japan.

Bei der Entwicklung des PFM 3200 hatten die Porsche-Ingenieure vor allem Wert darauf gelegt, das Fliegen wirtschaftlicher, umweltfreundlicher und sicherer zu machen. Zentrale Vorteile des PFM 3200 gegenüber den herkömmlichen Flugmotoren waren der Flugbetrieb mit Normalbenzin, der geringere Geräuschpegel sowie die Motorsteuerung mit nur einem Leistungs- statt

drei Bedienhebeln. Die Zeitschrift „Flug Revue“ schrieb 1984, der Motor werde „eine Revolution einläuten“. Und er war nicht die erste Porsche-Innovation, die in die Luft ging: Schon Ende November 1909 startete in der Nähe von Wien ein silbergraues Luftschiff, das von einem 100 PS starken Sechszylindermotor angetrieben wurde – konstruiert von Ferdinand Porsche.

Aber auch eher erdverbundene Anwendungen außerhalb des Autos profitierten immer wieder vom Porsche-Know-how. So konnten sich zum Beispiel Skifahrer 1945/46 über einen Lift aus dem Hause Porsche freuen: Entwickelt im Auftrag der Firma Sauter, bestand er aus zwei Masten mit Seilrollen, zwischen denen ein 25 Millimeter starkes Hanfseil gespannt war. Eine der Seilrollen wurde über ein Schneckengetriebe und eine ausrückbare Kupplung von einem Volkswagenmotor mit 14 PS (10 kW) Leistung angetrieben.

1959 stellte das Unternehmen den 52 PS (38 kW) starken Bootsantrieb 729 vor, der auf dem 1,6-Liter-Vierzylindermotor des Porsche 356 basierte. „Schnell und zuverlässig jagen Porsche-Wagen über alle Rennpisten und Straßen der Welt. Schnell und zuverlässig ist auch der Porsche-Bootsmotor“, warb das Unternehmen damals für den Antrieb. Auch Ferry Porsche nutzte ein mit dem 729 ausgestattetes Boot.

Porsche Engineering Magazin

Ausgabe
1/2019



Impressum

Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH
Michael Merklinger

Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

Projektleitung

Helena Löffler, Mira Schulz

Redaktion

Axel Springer Corporate Solutions GmbH & Co. KG, Berlin
Chefredaktion: Christian Buck
Projektmanagement: Charlotte von Wussow
Bildredaktion: Lydia Hesse

Autoren

Richard Backhaus, Jost Burger, Constantin Gillies,
Axel Novak, Monika Weiner, Johannes Winterhagen

Gastautor

Prof. Dr. Klaus Mainzer

Art Direction

Christian Hruschka, 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

Lithographie

Image-Pool, Berlin

Druck

Eberl Print GmbH, Immenstadt



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

S. 1: Matthias Just; S. 4: Verena Müller, Frederik Laux, Tobias Kempe, Florian Müller, KTM;

S. 5: Digital Fotogroup, Richard Backhaus, C3; S. 26: Getty Images (3), iStock;

S. 36: unsplash/Erik Eastman; S. 41: Florian Müller; S. 64: VDI Wissensforum; S. 65: ddp images

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

TIMEPIECES



1919 Globetimer UTC

Titanium & Black

Zeitzone-Management im 1-Stunden-Takt.
Ohne Verlust der exakten Zeiteinstellung
[Min./Sek.] und mit automatischer Datums-
anpassung.

VON ZELL AM SEE NACH LOS ANGELES. AUF KNOPFDRUCK.

www.porsche-design.com/GlobetimerUTC