

Porsche Engineering

Magazin

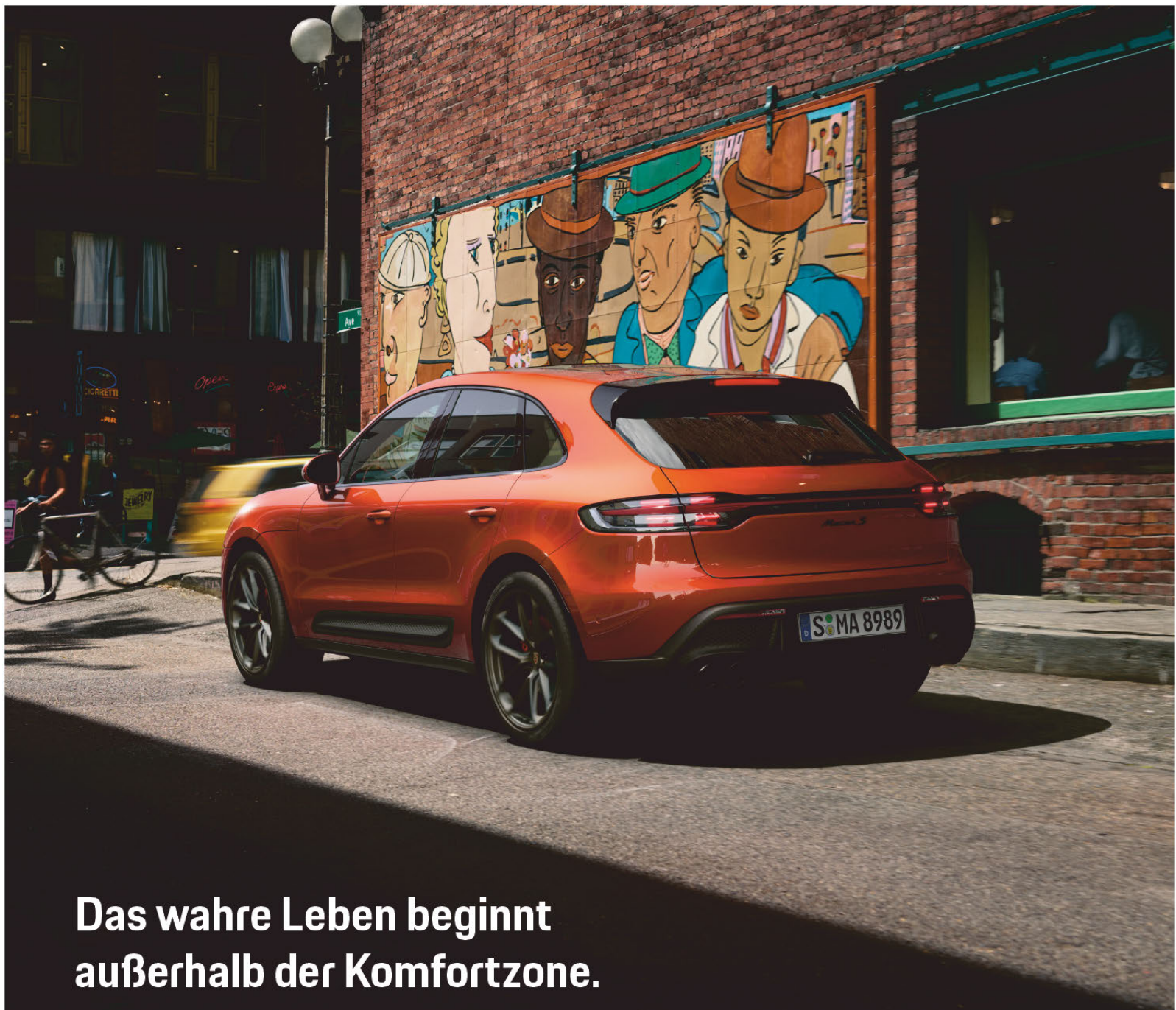
Ausgabe
1/2022

www.porsche-engineering.de



HOCHAUTOMATISIERTES FAHREN SMART UND SICHER ENTWICKELN

Souverän zum Ziel



Das wahre Leben beginnt außerhalb der Komfortzone.

Der neue Macan S. Vorwärtsdrang.

Kraftstoffverbrauch in l/100 km: innerorts 12,3 · außerorts 8,4 · kombiniert 9,9–9,8 (NEFZ); kombiniert 11,7–11,1 (WLTP);
CO₂-Emissionen in g/km kombiniert: 225–224 (NEFZ); 265–251 (WLTP)



PORSCHE



Dirk Lappe
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

ich bin ein großer Science-Fiction-Fan. Die Geschichten von Jules Verne, Isaac Asimov oder auch Andy Weir sind nicht nur spannend, sondern auch inspirierend. Denn um etwas entwickeln zu können, muss man es sich zuerst in seiner Fantasie vorstellen. Und genau das tun die Autoren von Science-Fiction-Geschichten: Sie malen sich eine wunderbare Zukunft aus, in der noch unbekannte Technologien das Leben der Menschen positiv bestimmen. Auch Ingenieure gestalten die Zukunft, indem sie immer wieder den Status quo infrage stellen.

Neben den Romanen, die uns eine erstrebenswerte Zukunft vermitteln, gibt es auch dystopische Werke, wie etwa George Orwells „1984“ oder Aldous Huxleys „Schöne neue Welt“, mit erschreckenden Erzählungen einer nicht wünschenswerten Welt. Hier kann eine literarische Beschreibung der Zukunft als Warnung dienen und an unsere Verantwortung appellieren. So ist etwa die Künstliche Intelligenz ein mächtiges Werkzeug, das wir mit Bedacht einsetzen sollten. Dann jedoch schaffen Künstliche Intelligenz und andere Technologien einen enormen Mehrwert für die Mobilität, die Gesellschaft und damit für die Menschheit.

Viele der einstigen Fiktionen sind mittlerweile Realität geworden. Daher stellt sich die Frage: Haben wir heute vielleicht den Vorrat an literarischen Technologie-Ideen aufgebraucht, sodass in Zukunft nichts Bahnbrechendes mehr zu erwarten ist?

Ich bin der Überzeugung: Nein. Wir sind noch lange nicht am Ende angekommen – wenn wir weit genug denken, wenn wir Entwicklungen stetig vorantreiben, wenn wir sie optimal einsetzen. Auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft. Wir verstehen uns dabei als Technologiepartner unserer Kunden, der diesen Weg gemeinsam mit ihnen geht. Und beispielweise Funktionen des hochautomatisierten Fahrens souverän zum Ziel bringt.

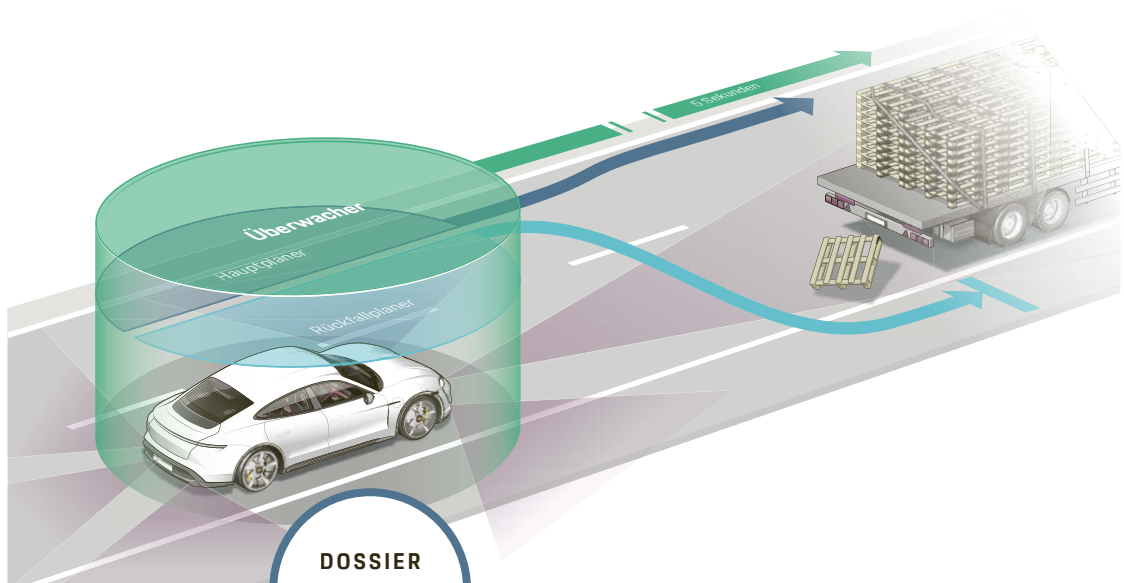
So macht Science-Fiction Spaß – und inspiriert mich und das Team von Porsche Engineering. Das Gleiche wünsche ich Ihnen beim Lesen unseres Magazins!

Ihr Dirk Lappe



ÜBER PORSCHE ENGINEERING: Die Porsche Engineering Group GmbH ist internationaler Technologiepartner der Automobilindustrie. Die Tochtergesellschaft der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG entwickelt für ihre Kunden das intelligente und vernetzte Fahrzeug der Zukunft – inklusive Funktionen und Software. Mehr als 1.500 Ingenieure und Software-Entwickler widmen sich neuesten Technologien, etwa in den Feldern hochautomatisierte Fahrfunktionen, E-Mobilität und Hochvolt-systeme, Konnektivität und Künstliche Intelligenz. Sie führen die Tradition des 1931 gegründeten Konstruktionsbüros von Ferdinand Porsche in die Zukunft und entwickeln die digitalen Fahrzeugtechnologien von morgen. Dabei kombinieren sie tiefgreifende Fahrzeugexpertise mit Digital- und Software-Kompetenz.

10
Doppelte Planung:
Redundante
Systeme machen
hochautomatisierte
Fahrfunktionen
noch sicherer.



DOSSIER

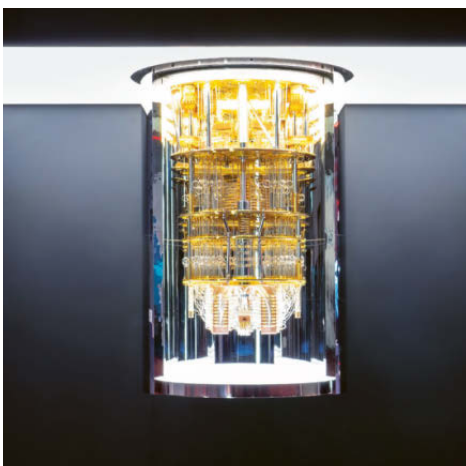
10 - 29



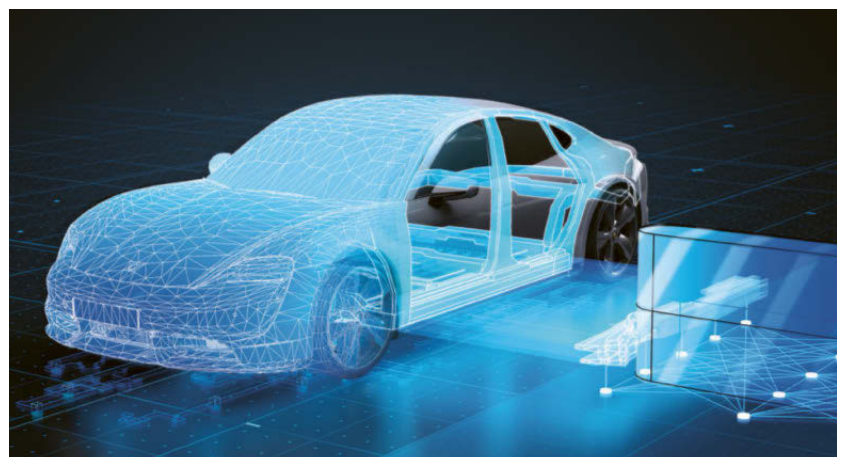
16 **Teamwork:** Hochautomatisierte Fahr-
funktionen werden länderübergreifend mit
virtuellen und realen Methoden abgesichert.



42 **Ergonomisches Design:** Porsche Engineering hat
für die Schubmaststapler von Linde Material Handling
einen neuen Multifunktionshebel gestaltet.



30 **KI-Turbo:** Neue Technologien wie
Quantencomputer sollen zukünftig die
Berechnungen beschleunigen.



36 **Vom Agenten optimiert:** Reinforcement Learning
und Neuronale Netze sparen Zeit und Rechenaufwand
bei der Konstruktion eines Seitenschwellers.

DOSSIER: HOCHAUTOMATISIERTES FAHREN

03 Editorial
04 Inhalt
06 Meldungen

10

Überwachte Sicherheit

Bei hochautomatisierten Fahrfunktionen beobachten parallele Systeme die Umgebung und entscheiden, was in kritischen Situationen zu tun ist

16

Komplexität absichern

Enge Verknüpfung virtueller und realer Tests: So schafft Porsche Engineering die Grundlage für einen effizienten und zuverlässigen Absicherungsprozess

24

Dynamische Entwicklung

Die Plattform „Jupiter“ ermöglicht es, hochautomatisierte Fahrfunktionen schnell zu entwickeln und zu validieren

28

Science vs. Fiction

Schon lange gibt es in Filmen autonome Fahrzeuge. Aber wie realistisch sind die Visionen der Drehbuchautoren?

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

30

Auf dem Quantensprung

Neue Technologien wie extrem große Grafikprozessoren, photonische Rechner und Quantencomputer sollen in Zukunft KI-Berechnungen beschleunigen

PERFORMANCE UND EXPERTISE

36

Doppelt optimiert

Ein Reinforcement-Learning-Agent und ein Neuronales Netz verbessern das Crashverhalten eines Seitenschwellers

42

Alles in einer Hand

Porsche Engineering und Linde Material Handling haben einen Multifunktionshebel entwickelt, der alle Funktionen ohne Umgreifen zugänglich macht

EINBLICK

48

Gentleman auf Rekordjagd

Gianmaria Aghem hat mit seinem elektrisch angetriebenen „Blizz Primatist“ auf dem Rundkurs des Nardò Technical Center sieben Weltrekorde aufgestellt

PORSCHE UND PRODUKT

54

Mission Zukunft

Porsche hat auf der IAA MOBILITY 2021 seine Vision eines rein-elektrischen Fahrzeugs für den Kunden-Motorsport vorgestellt: den Mission R

NACH GEDACHT

60

Nach gedacht

Empfehlungen für Denker, Tüftler und Nerds

RÜCKBLICK

62

Schönheit für die Königsklasse

1946 erhält Porsche den Auftrag zur Entwicklung des Typ 360 „Cisitalia“. Er wird zum Grundstein für den Sportwagenbau unter eigenem Namen

Autoren



16 **Yolanda vom Hagen** ist freie Fotografin in den Bereichen Industrie, Interior, Porträt und Event. Sie lebt seit zwölf Jahren in Shanghai.



30 **Christian Meier** ist Journalist und Buchautor. Er schreibt über Wissenschaft, Digitalisierung und Künstliche Intelligenz.



36 **Jurij Chrubasik** ist 3D-Experte und Infografiker aus Berlin. Seine Schwerpunkte sind Medizin und technische Illustration.



Hohe Nachfrage: China ist einer der wichtigsten Märkte für Porsche.



„Mit dem neuen Entwicklungsstandort in China tragen wir entscheidend dazu bei, die Bedürfnisse unserer Kunden vor Ort noch besser kennen und verstehen zu lernen.“

Oliver Blume,
Vorstandsvorsitzender der Porsche AG

Weiteres Wachstum in Asien

Porsche baut Entwicklungs- und Montagekapazitäten aus

Porsche setzt auf weiteres Wachstum in Asien und baut dort seine weltweiten Entwicklungs- und Montagekapazitäten aus. Traditionell nutzt das Unternehmen auch Standorte im Ausland, zu denen ab dem kommenden Jahr ein Forschungs- und Entwicklungsstandort in China hinzukommt.

Der neue Entwicklungsstandort ergänzt die Aktivitäten des Anfang des Jahres gegründeten Standorts von Porsche Digital in

Shanghai sowie die traditionsreiche Entwicklung von Porsche Engineering für den chinesischen Markt.

Porsche Engineering ist bereits seit mehr als 25 Jahren vor Ort tätig. Seit 2014 führt das Unternehmen in seiner Niederlassung in Anting bei Shanghai gemeinsam mit seinen Kunden vor Ort Entwicklungsprojekte durch – vor allem in den Bereichen Chassis, Elektrik/Elektronik, High Power Charging und

Softwareentwicklung. Neben chinesischen OEMs sind auch Unternehmen der VW-Gruppe wichtige Auftraggeber. Mit den zusätzlichen Entwicklungskapazitäten in China will Porsche die Kundenbedürfnisse in seinem größten Einzelmarkt noch besser berücksichtigen und frühzeitig in die Entwicklung einfließen lassen. „Neugierde, kontinuierliches Lernen und Liebe zum Detail treiben uns bei der Suche nach dem perfekten Sportwagen an“, sagt Oliver Blume, Vorstandsvorsitzender der Porsche AG. „Mit dem neuen Entwicklungsstandort in China tragen wir entscheidend dazu bei, die Bedürfnisse unserer Kunden vor Ort noch besser kennen und verstehen zu lernen.“

China ist der größte Markt für batterieelektrische Fahrzeuge und auf dem Weg, auch in Bereichen wie dem hochautomatisierten Fahren eine Führungsrolle zu übernehmen. So soll das intelligente und vollständig vernetzte Auto (ICV, Intelligent and Connected Vehicle) bis spätestens 2025 Realität auf Chinas Straßen werden. Alle Fahrzeuge sollen dann in Echtzeit mit einer Cloud kommunizieren und Informationen teilen, zum Beispiel über Verkehrsstaus. Zudem sollen bis spätestens 2030 15 Prozent aller Fahrzeuge in China hochautomatisch, zehn Prozent sogar vollautomatisch fahren.

„In China ist vor allem eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit wichtig, denn hier geht alles viel schneller“, sagt Kurt Schwaiger, Geschäftsführer von Porsche Engineering China. „Porsche Engineering Shanghai entwickelt Lösungen für chinesische OEMs und den VW-Konzern inklusive Porsche. Derzeit arbeiten in Anting rund 120 Ingenieure in allen Bereichen der automobilen Mobilität. In Zukunft werden wir noch mehr chinaspezifische digitale Funktionen entwickeln.“ Es gehe zum Beispiel darum, die Funktionen

von mobilen Geräten in das Fahrzeug zu integrieren, wie etwa WeChat oder Alipay. Daneben beschäftige man sich intensiv mit dem hochautomatisierten Fahren. „Das können wir nur in der hier vorhandenen Verkehrsinfrastruktur entwickeln und testen“, so Schwaiger.

Porsche Digital und Porsche Engineering arbeiten in China eng zusammen. „Wir sind auf die Entwicklung von fahrzeugnahen Funktionen spezialisiert, während Porsche Digital viel Expertise bei Backend-Systemen und der Integration von Content-Lieferanten wie Musik-, Nachrichten, Wetter- und Kartendiensten hat“, erklärt Joachim Bischoff, Leiter des Fachbereichs Intelligent Connected Vehicle bei Porsche Engineering. „In gemischten Teams werden wir in China agil an neuen Projekten arbeiten.“

Neben China zählt auch Südostasien zu den weltweit dynamischsten Märkten mit bedeutendem Wachstums- und Innovationspotenzial. Porsche erweitert auch dort seine Präsenz: Gemeinsam mit seinem langjährigen Partner Sime Darby Berhad baut der Sportwagenhersteller eine lokale Fahrzeugmontage in Malaysia auf. Die Produktion erweitert das europäische Produktionsnetzwerk von Porsche und wird ab 2022 speziell und ausschließlich für den malaysischen Markt konzipierte Cayenne-Modelle fertigen.

2020 steigerte Porsche die Auslieferungen in dem sportwagenbegeisterten Markt unter schwierigen Rahmenbedingungen um neun Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Als Gründungsmitglied der ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) bietet Malaysia gute Geschäfts- und Entwicklungsmöglichkeiten. Zudem verfügt der Inselstaat über eine weit entwickelte und etablierte Automobillandschaft. ◀



„In China ist vor allem eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit wichtig, denn hier geht alles viel schneller.“

Kurt Schwaiger,
Geschäftsführer von
Porsche Engineering China



„In gemischten Teams werden wir in China agil an neuen Projekten arbeiten.“

Joachim Bischoff,
Leiter des Fachbereichs Intelligent
Connected Vehicle
bei Porsche Engineering

Mehr als

25

Jahre
ist Porsche Engineering
bereits in China aktiv.

Rund

120

Ingenieure
arbeiten derzeit in China bei
Porsche Engineering.

15

Prozent aller Fahrzeuge in China
sollen bis spätestens 2030 hochautomatisch
fahren, zehn Prozent sogar vollautomatisch.

Ausbau des Innovationsnetzwerkes

Neues Forschungs- und Entwicklungsbüro in Timișoara eröffnet

Porsche Engineering hat einen zweiten Standort in Rumänien eröffnet. Mit einem neuen Forschungs- und Entwicklungsbüro in Timișoara baut das Unternehmen sein Innovationsnetzwerk für die Entwicklung des intelligenten und vernetzten Fahrzeugs der Zukunft weiter aus. Im Jahr 2021 wurden dort rund 30 Mitarbeiter eingestellt, mittelfristig sollen es 200 werden. Vor allem Softwareentwickler werden sich in Timișoara mit Trends wie hochautomatisierten Fahrfunktionen, maschinellem Lernen und virtuellem Energiemanagement beschäftigen. Der neue Standort erweitert und ergänzt die digitalen Kompetenzen von Porsche Engineering an seinem anderen rumänischen Standort in Cluj-Napoca, der 2016 gegründet wurde und an dem über 250 Mitarbeiter arbeiten. „Unsere Technologie-Aktivitäten in Rumänien stellen eine eindrucksvolle Erfolgsgeschichte dar. Das stetige Wachstum und die Vielzahl an hochqualifizierten Funktions- und Softwarespezialisten in Cluj-Napoca haben uns dazu motiviert, über einen zweiten Standort nachzudenken“, sagt Dirk Lappe, Geschäftsführer von Porsche Engineering. Mit mehreren technischen Universitäten bietet Timișoara ein optimales Umfeld. „Wir haben vor, Kontakte zur Polytechnischen Universität und zur West-Universität in Timișoara zu knüpfen, um gemeinsame Projekte in die Wege zu leiten“, berichtet Marius Mihailovici, Geschäftsführer von Porsche Engineering Rumänien.

Ausstellung im Porsche Museum

Exklusive Einblicke



Mit der Sonderausstellung „50 Jahre Porsche Entwicklung Weissach“ bot das Porsche Museum von August bis Anfang Dezember 2021 umfangreiche Einblicke in ein halbes Jahrhundert Forschung und Entwicklung am Standort Weissach. Porsche Engineering hat dabei als Teil der Porsche Entwicklung auf prägende Kundenentwicklungen zurückgeblickt und faszinierende Geschichten, Fahrzeuge und Innovationen präsentiert.





Workshop im NTC

Szenario-basiertes Testen

In Zusammenarbeit mit Leane International und AB Dynamics veranstaltete das Nardò Technical Center (NTC) im September 2021 den „Scenario Based Testing Workshop“. Er richtete sich an Kunden innerhalb und außerhalb des VW-Konzerns sowie an die wichtigsten internationalen OEMs. Die Teilnehmer lernten den neuesten Stand der Technik von Fahrerassistenzsystemen, Ausrüstung und den Set-up-Kompetenzen für Szenario-basierte Tests kennen. Von der Simulation bis zur realen Erprobung wurden verschiedene Fallbeispiele zunächst in virtuellen Umgebungen mit einem Simulator bearbeitet. Auf der Strecke wurden sie dann mit Parallelfahrten auf mehrspurigen Straßen, Spurwechseln, Kreuzungen und Einfahrtvorgängen validiert. Die Veranstaltung bot auch die Gelegenheit, die jüngsten Investitionen des NTC in die Infrastruktur sowie die erweiterten Testfähigkeiten und -kompetenzen im Bereich Fahrerassistenzsysteme/Hochautomatisiertes Fahren (FAS/HAF) zu präsentieren. So hat das NTC eine seiner Teststrecken in einen „intelligenten dynamischen Bereich“ verwandelt, der das Testen von vernetzten und automatisierten Fahrzeugen ermöglicht. Zudem wurde das FAS/HAF-Engineering-Team erweitert.

Soziales Engagement in Rumänien

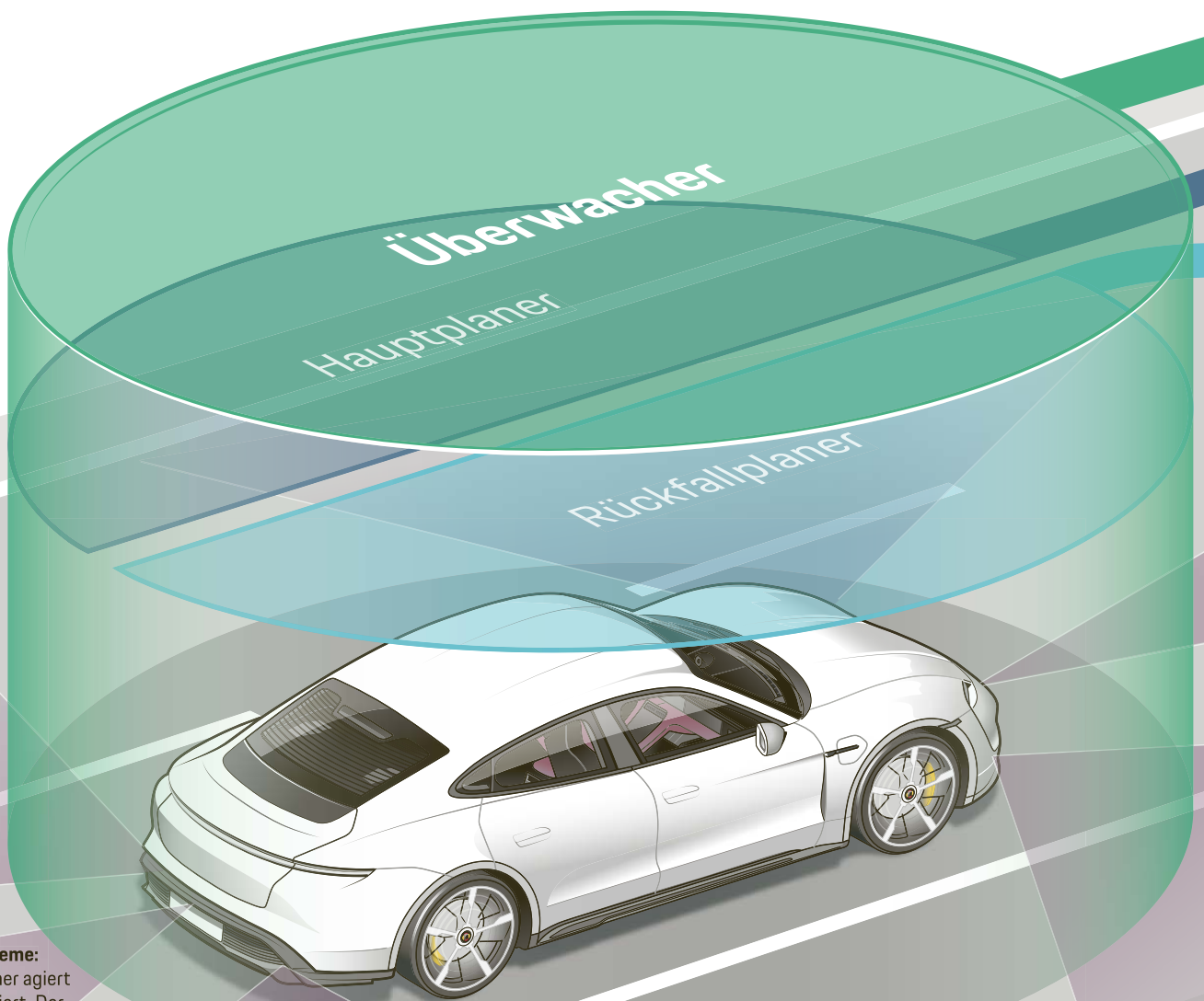
Unterstützung für Kinder und Studierende

Porsche Engineering Rumänien unterstützt zahlreiche Projekte, um lokalen Gemeinden zu helfen und das Wohlbefinden seiner Mitarbeiter zu verbessern. So ist das Unternehmen Hauptsponsor des „Trascău Trail Run“ in Rimetea, an dem 2021 etliche Mitarbeiter teilnahmen. Daneben spendete Porsche Engineering Rumänien 8.000 Euro an den Verein „Little People“, der die Renovierung des Spiel- und Therapiebereichs für Kinder im Onkologischen Krankenhaus in Cluj-Napoca unterstützt. Gemeinsam mit dem Verein „CERT Transilvania“ ermutigt Porsche Engineering Rumänien Kinder zu kreativem Denken. Zudem wurden 3.000 Euro gesammelt, um den Kindern technisches Equipment zu kaufen. Im Bereich akademische Bildung nahmen zehn Studierende an der ersten modellbasierten Akademie teil, wo sie Modellierungstechniken erlernten.

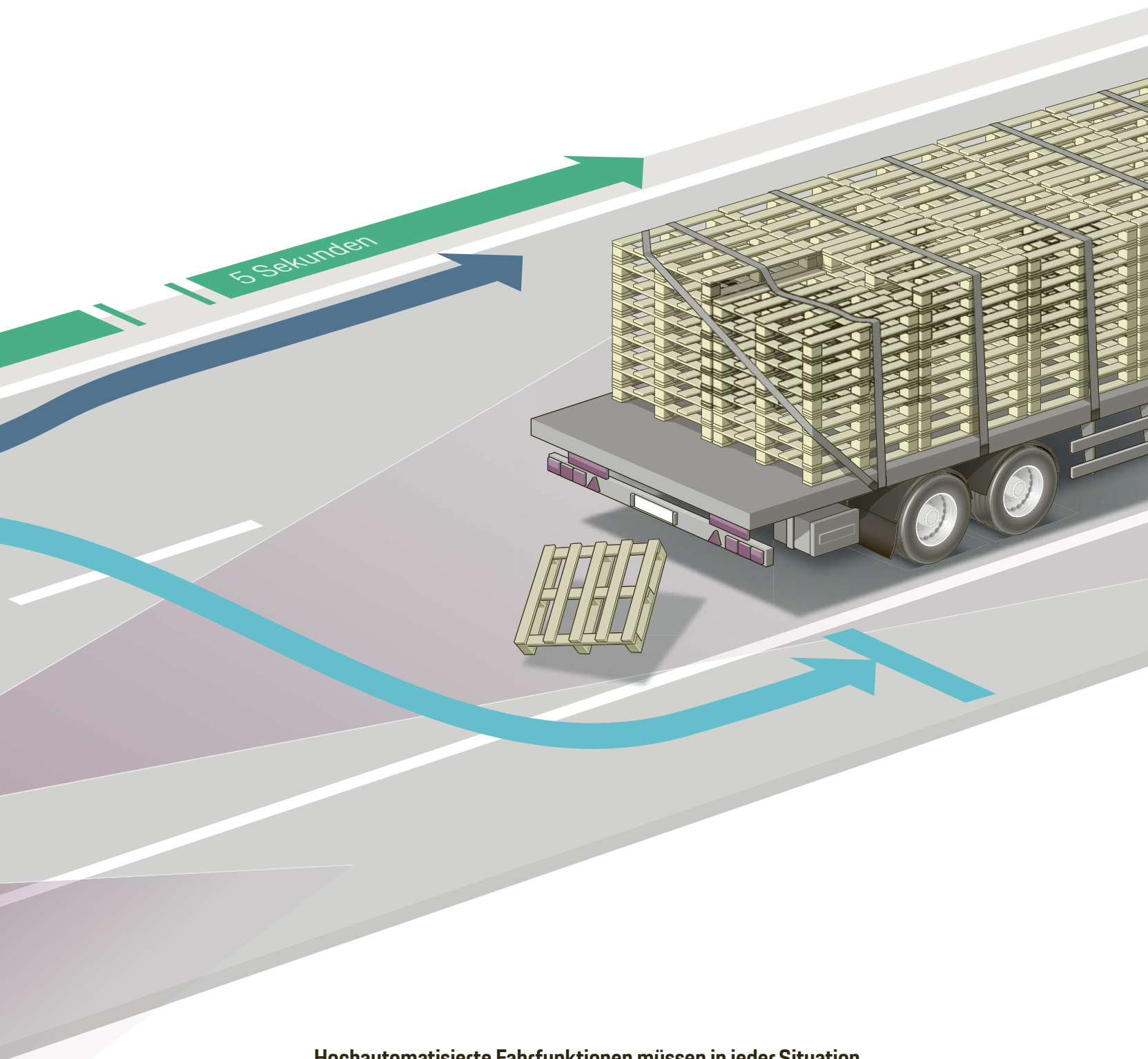


Überwachte Sicherheit

Text: Constantin Gillies Illustrationen: Andrew Timmins



Parallele Systeme: Der Hauptplaner agiert komfortorientiert. Der Rückfallplaner berechnet eine Trajektorie, die das Fahrzeug schnell in eine sichere Position bringt. Der Überwacher wählt die jeweils sicherste Alternative.



Hochautomatisierte Fahrfunktionen müssen in jeder Situation sicher und zuverlässig arbeiten – auf der Autobahn ebenso wie im Parkhaus. Um das zu erreichen, nutzen die Entwickler unter anderem Redundanz: Parallele Systeme beobachten die Umgebung und entscheiden, was in kritischen Situationen zu tun ist.

Ein vorausfahrender Lkw verliert Ladung. Eine unbeladene Palette fällt plötzlich auf die Fahrbahn und blockiert die Spur. Was heute noch beim Fahrer für eine Schrecksekunde sorgt, meistert das hochautomatisierte Fahrzeug der Zukunft souverän. Denn es arbeitet mit drei parallelen Systemen: Der „Hauptplaner“ übernimmt den normalen Fahrbetrieb und agiert dabei komfortorientiert. Er bremst und beschleunigt sanft. System zwei, der „Rückfallplaner“, kalkuliert zeitgleich eine Trajektorie, die das Fahrzeug bei Bedarf schnell in eine sichere Position bringt. Das dritte System, der „Überwacher“, prüft permanent, ob sich durch Haupt- oder Rückfallpfad ein Risiko ergibt, und wählt die jeweils sicherste Alternative. Darum wäre die überraschend herausfallende Palette kein Problem für das hochautomatisierte Fahrzeug. Denn selbst im unwahrscheinlichen Fall, dass der Hauptplaner das Hindernis übersieht, würde das Fahrzeug dank des Rückfallplaners sicher ausweichen – oder am Fahrbahnrand stehen bleiben, wenn ein Umfahren nicht möglich sein sollte.

Ein solches Szenario könnte schon bald Realität werden, denn Porsche Engineering arbeitet mit Hochdruck daran, hochautomatisierte Fahrfunktionen (HAF) auf diese Weise sicher und zuverlässig zu machen. Die entscheidende Strategie auf dem Weg dorthin heißt „Dekomposition“: Anstatt das Fahrzeug von einem einzigen System steuern zu lassen, kommen mehrere Planer sowie Überwacher als parallele Instanzen zum Einsatz. „Gemeinsam erreichen die Systeme eine viel höhere Ausfallsicherheit als ein einzelnes“, erklärt Jan Gutbrod, Teamleiter in der Entwicklung Fahrassistenzsysteme bei Porsche Engineering.

„Die größte Herausforderung liegt darin, wirklich alle denkbaren Situationen zu beherrschen“, fasst Albrecht Böttiger, Leiter des Projekthauses ADAS/HAD bei der Porsche AG, zusammen. Sprich: Das Gesamtsystem muss mit unterschiedlichen Fahrzeugtypen und Fahr-

stilen zurechtkommen, Straßenmarkierungen in verschiedenen Farben erkennen – auch wenn sie verwittert sind – sowie bekannten und unbekannten Hindernissen sicher ausweichen. Hierfür ist ein abgestimmtes Zusammenwirken der drei Teilsysteme notwendig, das sich in Test und Fahrversuch bewähren muss.

Technisch streng getrennte Systeme

In der Luftfahrt zum Beispiel wird schon lange mit parallelen Systemen gearbeitet. Wie sicher sie sind, hängt allerdings entscheidend von der technischen Ausgestaltung ab. „Um eine echte Redundanz zu erreichen, ist es wichtig, Systeme nicht einfach nur zu kopieren“, betont Andreas Nagler, Leiter des Bereichs Systems Engineering and Architecture bei CARIAD, dem Software- und Technologieunternehmen des Volkswagen Konzerns. Das bedeutet: Die Instanzen müssen technisch voneinander getrennt werden, also jeweils über eigene Hardware, Software und Datenquellen verfügen. Nur so lässt sich ein sogenannter „Common Cause“-Fehler minimieren, also ein Ausfall aufgrund einer gemeinsamen Ursache.

Um diese technische Trennung zu erreichen, verwendet der Überwacher zum Beispiel nur Objektlisten, um sich ein Bild der Umgebung zu machen. Diese Listen werden von den Fahrzeugsensoren selbst erstellt. Ein Radarsensor etwa liefert eine Aufstellung aller erkennbaren Fahrzeuge oder Gegenstände in der Nähe, inklusive ihrer Bewegungsrichtung. Haupt- und Rückfallplaner arbeiten hingegen nicht mit Objektlisten,



„Gemeinsam erreichen die Systeme eine viel höhere Ausfallsicherheit als ein einzelnes.“

Jan Gutbrod,
Teamleiter in der Entwicklung Fahrassistenzsysteme
bei Porsche Engineering



„Die größte Herausforderung liegt darin, wirklich alle denkbaren Situationen zu beherrschen.“

Albrecht Böttiger,
Leiter des Projekthauses ADAS/HAD
bei der Porsche AG

sondern mit den Rohdaten der Sensoren, also zum Beispiel mit den Punktwolken von Laserscannern (LiDAR). Außerdem greifen einige Komponenten auf Kartendaten zu – was der Überwacher wiederum nicht tut.

Auch die Datenverarbeitung unterscheidet sich zwischen den Systemen. Haupt- und Rückfallplaner wenden zum Beispiel eine sogenannte Sensordatenfusion an: Meldet etwa nur ein einziger Sensor ein Objekt im Raum, alle anderen Sensoren dagegen ausdrücklich nicht, entscheidet der Algorithmus einer Sensordatenfusion unter Umständen, dieses Signal als Fehlerkennung einzuschätzen und nicht beizubehalten. Der Überwacher dagegen betrachtet alle Sensoren strikt getrennt. Durch die unterschiedliche Arbeitsweise der Einzelsysteme wird erreicht, dass sich jedes ein eigenes Bild der Lage machen kann. Die kombinierten Stärken der Systeme gewährleisten ein sicheres Verhalten.

Fahrdynamische Grenzwerte im Blick

Die Aufgabe des Überwachers besteht darin, die von Haupt- und Rückfallplaner berechneten Pfade auf mögliche Risiken zu überprüfen. Dafür erstellt er ständig Prognosen mit unterschiedlichen Zeithorizonten. Für die unmittelbar kommenden Meter Fahrweg kann ein sogenannter „ballistischer Ansatz“ verwendet werden: Der Überwacher geht dann davon aus, dass die Objekte ihre Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit aufgrund von Trägheit und Masse grundsätzlich beibehalten. Eine zweite Prognose reicht mehrere Sekunden in die Zukunft. Um das Verkehrsgeschehen

so weit vorzuberechnen, ist eine hochkomplexe Software mit Tausenden von Parametern nötig. Hier fließen unter anderem Geschwindigkeit, Fahrbahnbauweise, Wetterlage, historische Bewegungsprofile der umgebenden Verkehrsteilnehmer und stehende Autos ein. Diese Prognose bildet die Grundlage für die nun folgende Entscheidung: „Der Überwacher legt die Trajektorien der Pfadplaner in sein Zukunftsszenario hinein“, erklärt Gutbrod. Sollte auf dem geplanten Kurs beispielsweise die sogenannte „Souveränitätszone“ um das Fahrzeug verletzt werden, in die kein Objekt eindringen darf, würde der Überwacher sein Veto einlegen und einen Pfadwechsel einleiten. Er „wirft einen Planer“ ab, wie es die Entwickler ausdrücken.

Dabei muss die Planungssoftware sehr sensibel vorgehen. Stuft der Überwacher die Kritikalität von potenziellen Gefährdungsszenarien zu früh zu hoch ein, kann das Fahrzeug übervorsichtig und dadurch auch unsicher agieren. „Too soon too safe“ nennen Entwickler diesen Effekt. Tritt er auf, wird zum Beispiel viel zu früh gebremst. Außerdem muss der Überwacher solche Notsituationen erkennen, in denen ein Pfadwechsel nur unnötig Zeit kosten würde und womöglich negative Auswirkungen hätte.

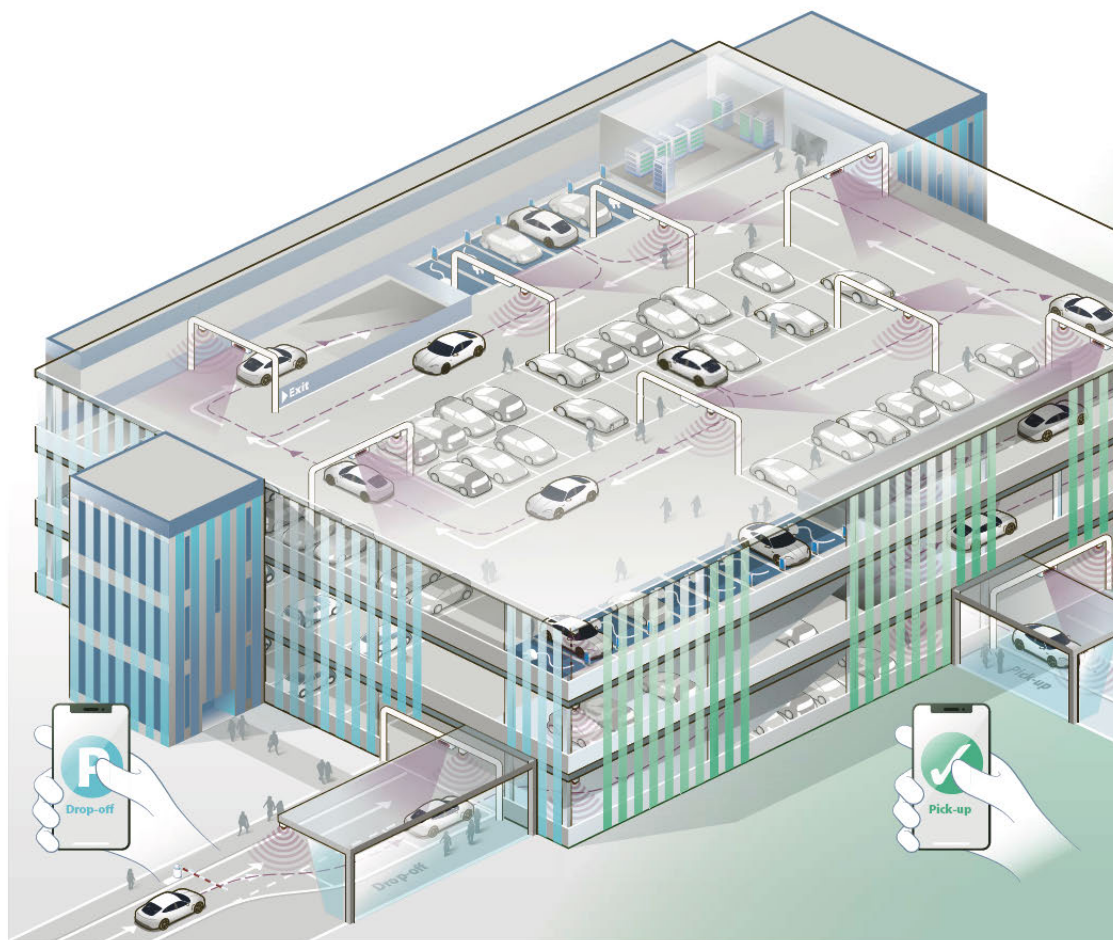
Bei allen Maßnahmen gilt es zudem, die vorgegebenen fahrdynamischen Grenzwerte im Blick zu behalten. Taucht – wie im Autobahn-Beispiel – plötzlich ein Hindernis auf, müssen die Systeme so schnell reagieren, dass noch Zeit für eine komfortable Bremsung bleibt. Dabei könnten die Pfade in Zukunft zum Beispiel die



„Um eine echte Redundanz zu erreichen, ist es wichtig, Systeme nicht einfach nur zu kopieren.“

Andreas Nagler,
Leiter des Bereichs Systems Engineering and Architecture
bei CARIAD

Das Parkhaus der Zukunft: Automatisiert aufladen und einparken



In Zukunft kann der Fahrer sein Fahrzeug am Parkhaus abstellen und die Kontrolle per App an die dort installierte Technik übergeben. Das Auto fährt dann ferngesteuert durch die Infrastruktur zu einer Ladestation. Ist die Batterie aufgeladen, fährt es weiter auf einen normalen Parkplatz. Über die App kann der Fahrer den aktuellen Status abfragen und das Auto zurückrufen, um es am Ausgang des Parkhauses wieder in Empfang zu nehmen.

Für die Fernsteuerung der Fahrzeuge sind überall im Parkhaus WLAN- oder 5G-Sender installiert. Infrastruktur-Sensorik wie Kameras oder Laserscanner beobachten die Autos permanent, während sie durch das Parkhaus fahren. In kritischen Situationen oder beim Abrechnen der Funkverbindung wird das Fahrzeug sofort gestoppt.

Möglichkeit haben, eine „Notfall-Flag“ zu hissen, so Gutbrod: „In diesem Fall könnten die Planer den Überwacher darum bitten, Maßnahmen jenseits der aktuell gesetzten Grenzwerte freizugeben.“

Mit unerwarteten Situationen ganz anderer Art muss das automatisierte Einparken zurechtkommen. Was diese neue Funktion künftig leisten kann, hat CARIAD auf der IAA MOBILITY im letzten September demonstriert: Der Fahrer eines Porsche Cayenne E-Hybrid gab seinen SUV in einer speziellen Übergangszone im Parkhaus ab und erteilte per Smartphone den Befehl zum Einparken. Daraufhin setzte sich der Cayenne automatisch in Bewegung in Richtung Parkplatz.

Sofern vom Fahrer gewünscht, wird das Auto künftig zunächst zu einer Ladestation fahren, wo ein Roboterarm mit Ladestecker automatisch andockt. Danach rollt es dann automatisch weiter zum eigentlichen Stellplatz. Braucht der Fahrer sein Auto wieder, kann er es per App in die Übergabezone zurückbeordern. Die Vorteile für ihn: Die zeitaufwendige Platzsuche und das Rangieren entfallen, außerdem kann er die Zeit fürs Nachladen nutzen.

Grundsätzlich lässt sich automatisiertes Parken auf zwei Arten realisieren: Entweder das Fahrzeug steuert sich selbst zum Stellplatz oder die umgebende Infrastruktur übernimmt die Kontrolle. Im letzteren Fall

Cayenne E-Hybrid

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
2,5–2,4 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert (Modellreihe):
58–56 g/km
Abgasnorm: Euro 6d-ISC-FCM
Energieeffizienzklasse: A+++
Stromverbrauch kombiniert:
22,0–21,6 kWh/100 km

Verbrauchsangaben nach WLTP:
Kraftstoffverbrauch gewichtet (PHEV-Modellreihe): 3,7–3,1 l/100 km
Stromverbrauch kombiniert (gewichtet) (Modellreihe):
26,5–25,1 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 83–71 g/km

Stand 11/2021

würde das Parkhaus-System dem Fahrzeug über Funksignale die Bahn vorgeben und es beschleunigen oder abbremsen. Die CARIAD-Demonstration auf der IAA MOBILITY wurde auf diese Weise realisiert. Welcher der beiden Ansätze sich beim automatisierten Parken auf lange Sicht durchsetzt, bleibt abzuwarten. „Die Steuerung über die Infrastruktur ist einfacher zu realisieren und abzusichern“, erklärt Böttiger. „Andererseits lassen sich mit dem fahrzeuggestützten automatisierten Parken mehr Parkhäuser nutzen.“ Denkbar sei darum ein langfristiger Trend hin zur kompletten Autonomie, auch im Parkhaus.

Wird das Einparken hingegen von der Infrastruktur gesteuert, müssen hier – genau wie im Fahrzeug – redundante Systeme zum Einsatz kommen. Die Einparksteuerung sollte darum mit mehreren parallelen Instanzen arbeiten. So lassen sich auch Notsituationen sicher beherrschen, zum Beispiel Fußgänger, die plötzlich vor dem Auto auftauchen. Damit ist zu rechnen, da sich autonome und herkömmliche Fahrzeuge noch einige Zeit die Parkhäuser teilen werden.

Notstopp-Konzept für maximale Sicherheit

Hier für Sicherheit zu sorgen, ist eine Aufgabe aller Beteiligten. „Wir werden die Algorithmen der Infra-



„Die gesamte Kommunikation mit der Infrastruktur über 5G oder WLAN muss verschlüsselt werden, um unberechtigte Zugriffe zu verhindern.“

Sebastian Reikowski,
Projektleiter Parksysteme
bei Porsche Engineering

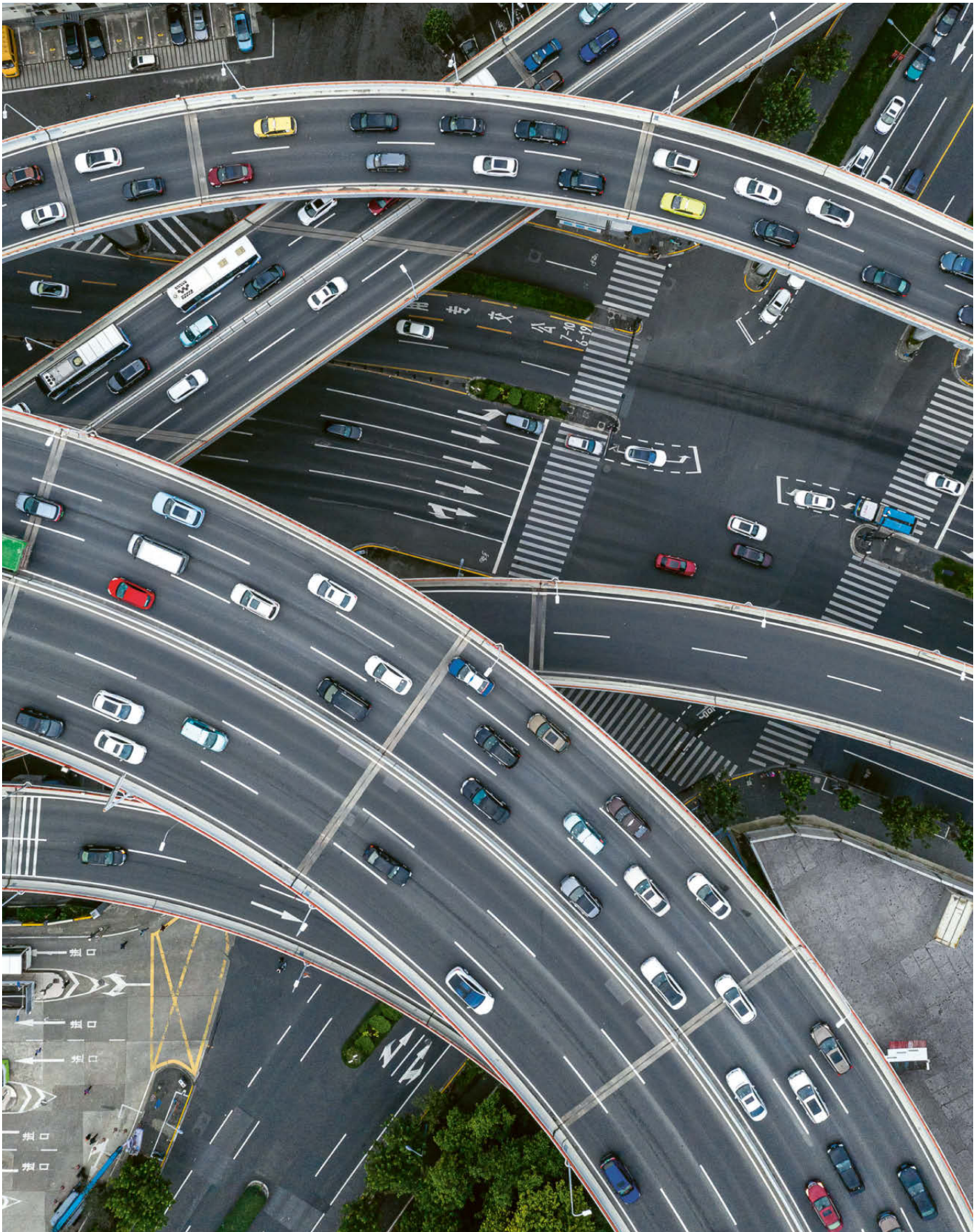
strukturbetreiber genau überprüfen“, sagt Sebastian Reikowski, Projektleiter Parksysteme bei Porsche Engineering. Um das von außen gesteuerte Parken sicher zu implementieren, sind aber auch im Fahrzeug umfangreiche Anpassungen nötig. „Die gesamte Kommunikation mit der Infrastruktur über 5G oder WLAN muss verschlüsselt werden, um unberechtigte Zugriffe zu verhindern“, erklärt Reikowski. Reißt die Funkverbindung ab, bleibt das Fahrzeug automatisch stehen. Außerdem wird ein Notstopp-Konzept benötigt: Sollte das primäre Bremssystem ausfallen, müsste ein sekundäres System anspringen und für einen sicheren Stopp sorgen. Dafür könnte zum Beispiel die Rekupe-
rationsleistung der E-Maschine im Zusammenspiel mit Parkbremse und Parksperre genutzt werden.

Weitere Abstimmungsarbeit ist für einen gemeinsamen Kommunikationsstandard nötig – denn nur dann können Fahrzeuge aller Hersteller den Einparkservice nutzen. Eine Norm, die eine Schnittstelle zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur definiert, ist bereits in Arbeit (ISO 23374). „Darüber hinaus muss der Gesetzgeber noch definieren, an welchem Punkt die Verantwortung vom Fahrzeug auf die Infrastruktur übergeht, ab wo das Parkhaus etwa für Schäden haften müsste“, ergänzt Experte Reikowski.

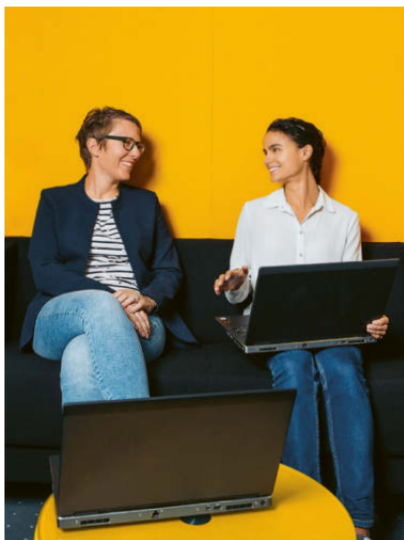
Wie generell beim hochautomatisierten Fahren ist hier eine kontinuierliche Verbesserung gefragt. „Es braucht ein neues Mindset: Die Software von Fahrzeugen wird in Zukunft ständig weiterentwickelt – in etwa wie Smartphones heute“, betont Systemarchitekt Nagler von CARIAD. Die Vision dieser „datengetriebenen Entwicklung“: Flotten von Testfahrzeugen sammeln ständig Daten und übertragen sie in die Cloud. Dort werden sie genutzt, um HAF-Algorithmen zu verbessern. So entsteht ein sogenannter „Big Data Loop“ (siehe Porsche Engineering Magazin 2/2021). Ein spezieller Algorithmus im Testfahrzeug, „Scene Selector“ genannt, erkennt ungewöhnliche oder bisher noch nicht aufgetretene Situationen und übermittelt sie an einen zentralen Server. Dort werden die Szenen genutzt, um zum Beispiel das Neuronale Netz der Einschererkennung weiter zu trainieren. „Dieses kontinuierliche Lernen ist der Weg zu robusten Systemen“, betont Nagler. ◀

➔ ZUSAMMENGEFASST

Redundante, streng getrennte Systeme machen hochautomatisierte Fahrfunktionen sicher, indem sie ein Umschalten zwischen verschiedenen Trajektorien ermöglichen. Beim automatisierten Einparken kann das Parkhaus die Steuerung übernehmen. Aber auch in diesem Fall sorgen Notfallsysteme im Fahrzeug für Sicherheit in allen Situationen.



Komplexe Herausforderung: Hochautomatisierte Fahrfunktionen müssen auch mit schwierigen Fahrsituationen wie hier in Shanghai zurechtkommen – und entsprechend umfangreich abgesichert werden.



Teamarbeit: Bei der Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen kooperieren Experten wie Tille Karoline Rupp, Clara Marina Martinez, Pierpoalo Positano und Zhengjun Xu (von links) an den Standorten Bietigheim-Bissingen, Nardò und Shanghai.

Komplexität absichern

Text: Richard Backhaus Fotos: Yolanda vom Hagen, Annette Cardinale, Danilo Dom Calogiuri

Je mehr sich hochautomatisierte Fahrfunktionen der Serieneinführung nähern, desto wichtiger wird die Systemvalidierung. Mit einer engen Verknüpfung digitaler und realer Tests schafft Porsche Engineering die Grundlage für einen effizienten und zuverlässigen Absicherungsprozess – über Ländergrenzen hinweg im internationalen Verbund von Entwicklungsstandorten wie Bietigheim-Bissingen, Cluj-Napoca, Nardò, Ostrava und Shanghai.

In stressigen Verkehrssituationen den Autopiloten einschalten, sich auf dem Fahrersitz entspannt zurücklehnen oder dem Assistenzsystem die leidige Parkplatzsuche und das Einparken überlassen – hochautomatisierte Fahrfunktionen werden in Zukunft dazu beitragen, Komfort und Sicherheit im Straßenverkehr weiter zu steigern. Bei ihrer Entwicklung darf aber nichts dem Zufall überlassen werden, denn schließlich ist es ihre Aufgabe, immer und unter allen Umständen eine sichere Fahrt zu gewährleisten. „Validierungsmethoden, die sich ausschließlich auf reale Tests stützen, stoßen im Bereich der Assistenzfunktionen unweigerlich an ihre Grenzen“, so Frank Sayer, Leiter Fachdisziplin Virtuelle Fahrzeugentwicklung bei Porsche Engineering. Denn rein rechnerisch müsste man mit den Erprobungsfahrzeugen auf der Straße Hunderte von Millionen Kilometern zurücklegen, um die Zuverlässigkeit der automatisierten Funktionen unter Beweis zu stellen. Heute übliche Testfahrzeugflotten würden dafür mehrere Jahrzehnte benötigen – ein unmögliches Unterfangen.

Weltweit dieselbe Methodik im Einsatz

Gemeinsam mit Kollegen aus anderen Fachabteilungen hat Sayer mit seinem Team darum eine neue, besonders flexibel umsetzbare Absicherungsmethodik erarbeitet. Das Konzept beruht auf der engen Verzahnung von virtuellen Tests am Simulator und realen Überprüfungen auf der Straße. Dafür arbeiten die Entwickler der Plattform „Porsche Engineering Virtual ADAS Testing Center“ (PEVATeC) und Kollegen aus anderen Bereichen in Teams zusammen – von der Absicherung bis zur Freigabe der Funktion. „Wir wenden so weltweit dieselbe Methodik an und können einen hohen Absicherungsstandard gewährleisten“, berichtet Sayer. Dazu wurde eine zentrale Serverstruktur etabliert, über die die internationalen Projektteams ihre Ergebnisse austauschen und die nächsten Bearbeitungsschritte festlegen können.

Die Absicherung einer neuen Fahrfunktion beginnt in der Regel mit einem intensiven Informationsaustausch. „In diesen Gesprächen arbeiten wir heraus, welche Verkehrssituationen und -szenarien für die Tests einer neuen Fahrfunktion besonders relevant sind“, so Tille Karoline Rupp, Entwicklungsingenieurin bei Porsche Engineering. „Bei einem Einparkassistenten sind das Rangiermanöver, während es beim automatisierten Fahren auf der Autobahn eher um eine sichere Längs- und Querverführung in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen geht.“

Auf Basis dieser Informationen erstellt sie im Computer das digitale Streckenmodell, in dem die Testsimulation ablaufen soll – eine Aufgabe, die oft mehrere Tage in



Bietigheim-Bissingen

Die Entwickler der Plattform „Porsche Engineering Virtual ADAS Testing Center“ (PEVATeC) und Kollegen aus anderen Bereichen arbeiten in Teams zusammen. Ihre Kooperation beginnt bei der Absicherung und endet mit der Freigabe der Funktion. Die Ergebnisse der Simulationen werden gemeinsam mit den Fachabteilungen ausgewertet.



Expertinnen für Tests im Simulator: Clara Marina Martínez (links) und Tille Karoline Rupp erstellen digitale Strecken- und Fahrzeugmodelle für die Absicherung.

„Wir arbeiten bei Simulationen mit derselben Software-Plattform wie bei den Testfahrzeugen.“

Clara Marina Martínez,
Entwicklungsingenieurin bei Porsche Engineering



Anspruch nimmt. „Detaillierungsgrad und damit Aufwand dieses sogenannten digitalen Zwillings sind stark von der Fahrfunktion abhängig, die getestet werden soll, ebenso von der jeweiligen Phase im Entwicklungsprozess“, erklärt Rupp. „Sehr zeitintensiv sind hochgradig realitätsnahe Modelle von Straßenzügen mit dichtem Straßennetz in Innenstädten. In frühen Phasen der Funktionsentwicklung reichen manchmal auch schlichte Szenen mit wenigen Objekten, die wir als generisches Modell aus dem Baukasten erstellen können.“ Um den Aufwand für künftige Untersuchungen so gering wie möglich zu halten, werden alle Streckenmodelle katalogisiert und auf dem Server abgelegt, sodass die Experten sie später wiederverwenden können. Zusätzlich wird der Automatisierungsgrad im Erstellungsprozess stetig erhöht, zum Beispiel durch eine Szenenerstellung mittels parametrisierbarer

„Der Detaillierungsgrad des digitalen Zwillings ist stark von der Fahrfunktion abhängig, die getestet werden soll.“

Tille Karoline Rupp,
Entwicklungsingenieurin bei Porsche Engineering

Algorithmen oder der Verwendung und Kombination verschiedener Kartendaten.

Entwicklungsingenieurin Clara Marina Martínez nutzt diese Datensätze, um die neue Fahrfunktion mithilfe virtueller Fahrzeuge mittels der PEVATeC-Plattform zu testen. Dabei spielt sie auf den Streckenmodellen verschiedene Testszenarien durch, die ebenfalls vorab mit den Entwicklungsfachleuten definiert worden sind. Beispielsweise lassen sich in den Simulationen Verkehrssituationen testen, die im realen Straßenverkehr aus Sicherheitsgründen nicht so einfach nachgebildet werden können. Auch Wetter- und Beleuchtungsphänomene können per Simulation leichter erzeugt und reproduziert werden. Wiederkehrende Muster sind dabei beispielsweise querende Fahrzeuge auf Kreuzungen in unterschiedlicher Folge und mit variabler Geschwindigkeit, überholende und einsichernde Pkws oder Fußgänger, die auf die Straße laufen. Die Ergebnisse werden dann zusammen mit der Fachabteilung ausgewertet.

Der folgende Schritt sind in der Regel Fahrtests. Dazu werden die aktualisierten Software-Datensätze aus dem Simulationscomputer auf die Steuergeräte der Testfahrzeuge übertragen, um die Rechenergebnisse unter realen Fahrbedingungen zu verifizieren. Die



Die Entwicklungsingenieurinnen leiten eng abgestimmt Simulations- und Methodenprojekte für die virtuelle ADAS-Entwicklung bei Porsche Engineering und im VW Konzern. Gleichzeitig sind Sie mitverantwortlich für die Weiterentwicklung des Porsche Engineering Virtual ADAS Testing Center (PEVATeC).

Clara Marina Martínez hat einen Dokortitel in Intelligent Hybrid Electric Vehicles und einen M. Sc. in Automotive Mechatronics von der Cranfield University.

Tille Karoline Rupp studierte Mathematik und Physik an der Universität Stuttgart und hat einen B. Sc. in Elektrotechnik von der Dualen Hochschule Baden-Württemberg.

Fahrversuche finden zumeist auf einem abgesperrten Testparcours wie dem Nardò Technical Center (NTC) statt, Prüffahrten auf öffentlichen Straßen sind aus Sicherheitsgründen bei der Absicherung automatisierter Fahrfunktionen die Ausnahme.

Auch hier entwickeln sich die Absicherungsmethoden immer weiter. So arbeiten die Ingenieure im NTC daran, bei Fahrversuchen in immer mehr Situationen Fahrroboter einzusetzen. „Das führt zu einer hohen Genauigkeit der Fahrmanöver, die zudem vollständig reproduziert werden können“, erklärt Pierpaolo Positano, Senior Manager Engineering im NTC. Schon heute können in Testszenarien bis zu sechs automatisierte Fahrzeuge eingesetzt werden, bei denen die mechanischen Aktuatoren die Betätigung von Gas, Bremse und Lenkrad übernehmen. Gesteuert werden die Roboterautos durch lokale Computer, die ein synchronisiertes Multi-Fahrzeug-Szenario erzeugen. Dazu wurde die komplette Teststrecke in Nardò digitalisiert. Auf dem Rechner ist so eine detailgetreue Nachbildung des Parcours als digitaler Zwilling entstanden, die alle Eigenschaften des realen Systems widerspiegelt.

Roboter steuern reale Fahrzeuge

„Mit dem digitalen Zwilling verwischt die Grenze zwischen Simulation und Realität immer mehr“, so Positano. „Es können sehr realistische Simulationen im Computer durchgeführt werden, da wir neben dem Streckenverlauf auch die Eigenschaften der einzelnen Straßenabschnitte zu 100 Prozent berücksichtigen. Auf dieser Grundlage können wir reale Autos auf der Strecke von Robotern steuern lassen. Sie folgen den Simulationsergebnissen und wiederholen die Tests,



„Wir wenden weltweit dieselbe Methodik an und können so einen hohen Absicherungsstandard gewährleisten.“

Frank Sayer, Leiter Fachdisziplin Virtuelle Fahrzeugentwicklung bei Porsche Engineering



Nardò

Im Nardò Technical Center (NTC) finden die realen Fahrversuche statt. Immer öfter sitzen dabei Roboter am Steuer, um die Ergebnisse reproduzierbar zu machen. Zudem gibt es einen digitalen Zwilling der Teststrecke, der alle Eigenschaften des realen Systems detailgetreu widerspiegelt. Simulation und Test sichern sich so gegenseitig ab.

um zusätzliche Messwerte zu gewinnen, die für eine endgültige Validierung mit den Simulationsdaten verglichen werden. Mit der durchgehenden Kette aus Simulation und Test haben wir ein Verfahren entwickelt, bei dem sich beide Teile gegeneinander absichern. Das erhöht die Aussagekraft der Ergebnisse erheblich“, berichtet Positano.

Oft ergeben sich durch die Fahrtests im NTC oder auf anderen Teststrecken neue Fragestellungen, etwa zu den Auswirkungen von Regen und Schnee auf die Fahrfunktion. Die Simulationen werden daraufhin angepasst und neu durchgeführt. Ihre Ergebnisse werden anschließend wieder zurück auf das Testfahrzeug übertragen. „Wir arbeiten bei Simulationen mit derselben Software-Plattform wie bei den Testfahrzeugen, sodass unsere Ergebnisse 1:1 auf die Realität übertragbar sind und die Fahrzeugsysteme schnell und problemlos auf unseren Softwarestand gebracht werden können“, so Martínez. Im iterativen Zusammenwirken von Simulations- und Testabteilung arbeitet das Team so alle Punkte der Validierung ab – bis die neue hochautomatisierte Fahrfunktion bestmöglich abgesichert ist.



Pierpaolo Positano ist Senior Manager Engineering im NTC. Zu seinen Schwerpunkten gehört der Ausbau des Service-Portfolios, unter anderem für ADAS und hochautomatisierte Fahrfunktionen. Positano hat einen Masterabschluss in Mechanical Engineering vom Polytechnikum Bari.



Digitale Zwillinge: Zwei Ansichten des Handling Tracks im NTC, oben jeweils ein Foto, unten das virtuelle Abbild.

„Mit dem digitalen Zwilling verwischt die Grenze zwischen Simulation und Realität immer mehr.“

Pierpaolo Positano,
Senior Manager Engineering im NTC

Die neue Absicherungsmethodik soll in nächster Zeit auch bei Porsche Engineering in China eingeführt werden. Seit Gründung der Tochtergesellschaft 2014 ist der Standort Shanghai die Schnittstelle zu Unternehmen vor Ort und strategischer Partner der Porsche AG für den chinesischen Markt. Derzeit baut Porsche Engineering die Kapazitäten im Bereich des hochautomatisierten Fahrens in China massiv aus, auch um die lokalen Gegebenheiten bei der Entwicklung optimal berücksichtigen zu können – etwa die mehrstöckigen Trassen, auf denen der Verkehr aus



Brückenbauer zwischen zwei Welten: Pierpaolo Positano kombiniert reale und virtuelle Absicherungen.

Cayenne E-Hybrid

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: 2,5–2,4 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert (Modellreihe): 58–56 g/km
 Abgasnorm: Euro 6d-ISC-FCM
 Energieeffizienzklasse: A+++
 Stromverbrauch kombiniert: 22,0–21,6 kWh/100 km

Verbrauchsangaben nach WLTP:
 Kraftstoffverbrauch gewichtet (PHEV-Modellreihe):
 3,7–3,1 l/100 km
 Stromverbrauch kombiniert (gewichtet) (Modellreihe):
 26,5–25,1 kWh/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: 83–71 g/km
 Stand 11/2021

Cayenne E-Hybrid Coupé

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: 2,6–2,5 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert (Modellreihe): 60–58 g/km
 Abgasnorm: Euro 6d-ISC-FCM
 Energieeffizienzklasse: A+++
 Stromverbrauch kombiniert: 22,4–22,0 kWh/100 km

Verbrauchsangaben nach WLTP:
 Verbrauch gewichtet (PHEV-Modellreihe):
 3,7–3,2 l/100 km
 Stromverbrauch kombiniert (gewichtet) (Modellreihe):
 26,5–25,4 kWh/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: 85–73 g/km
 Stand 11/2021

Cayenne Turbo S E-Hybrid

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: 3,3–3,2 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert (Modellreihe): 75–72 g/km
 Abgasnorm: Euro 6d-ISC-FCM
 Energieeffizienzklasse: A+++
 Stromverbrauch kombiniert: 23,2–22,8 kWh/100 km

Verbrauchsangaben nach WLTP:
 Verbrauch gewichtet (PHEV-Modellreihe):
 4,0–3,8 l/100 km
 Stromverbrauch kombiniert (gewichtet) (Modellreihe):
 25,9–25,3 kWh/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: 92–86 g/km
 Stand 11/2021

Cayenne Turbo S E-Hybrid Coupé

Verbrauchsangaben nach NEFZ:
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: 3,3–3,2 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert (Modellreihe): 76–73 g/km
 Abgasnorm: Euro 6d-ISC-FCM
 Energieeffizienzklasse: A+++
 Stromverbrauch kombiniert: 23,5–23,0 kWh/100 km

Verbrauchsangaben nach WLTP:
 Verbrauch gewichtet (PHEV-Modellreihe):
 4,1–3,8 l/100 km
 Stromverbrauch kombiniert (gewichtet) (Modellreihe):
 25,9–25,4 kWh/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: 92–87 g/km
 Stand 11/2021



Zhengjun Xu ist Senior Manager für Softwareentwicklung (HAF und ADAS) bei Porsche Engineering China in Shanghai. Er hat einen Masterabschluss in Computerwissenschaften von der Jilin University in Changchun. Das Bild ist auf dem Testareal für vernetzte Fahrzeuge in Shanghai entstanden.

„Chinaspezifische Anforderungen erfordern eine umfangreiche Forschungs- und Entwicklungskompetenz vor Ort.“

Zhengjun Xu, Senior Manager für Softwareentwicklung (HAF und ADAS) bei Porsche Engineering China

Platzgründen über- statt nebeneinander geführt wird. „Wenn die Fahrfunktion nicht in diesem Sinne konzipiert ist, kann es zu ADAS-Fehlfunktionen kommen, weil es kein Höhenmodell und keinen ausreichenden Simulationstest gibt“, sagt Zhengjun Xu, Senior Manager für Softwareentwicklung (HAF und ADAS) bei Porsche Engineering China. Auch die Fahrweise auf Chinas Straßen unterscheidet sich in einigen Punkten von Europa. Zum Beispiel sorgen häufige Fahrspurwechsel und das Einscheren mit geringem Abstand dafür, dass der Übergang zwischen einer normalen und einer sicherheitskritischen Situation viel plötzlicher ist. Darum ist eine andere Abstimmung der Fahrzeugsensorik erforderlich. „Die Bedeutung des hochautomatisierten Fahrens ist in China in den vergangenen Jahren immer weiter gestiegen“, so Zhengjun Xu. „Das liegt daran, dass viele Autofahrer Komfortfunktionen wie Autobahnpiloten und das automatische Einparken schätzen. Darüber hinaus sind automatisiertes und autonomes Fahren Schlüsseltechnologien für die künftige Automobilindustrie, weshalb die chinesische Regierung zahlreiche Richtlinien und Vorschriften erlassen hat, um die Entwicklung dieser Technologie zu lenken und zu beschleunigen.“

Testareal für vernetzte Fahrzeuge

Für Tests unter realen Bedingungen im öffentlichen Straßenverkehr wurde in der Peripherie von Shanghai ein rund 30 Quadratkilometer großes Areal ausgewiesen. Durch ein modernes 5G-Mobilfunknetz können dort neue Ansätze für den Datenaustausch zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur entwickelt und getestet werden. „All diese chinaspezifischen Anforderungen er-



Vernetzung: Im HAF-Testareal in Shanghai kommen Funkmodule sowie LiDAR-Sensoren zum Einsatz.



Shanghai

Porsche Engineering baut seine Kapazitäten im Bereich des hochautomatisierten Fahrens in China derzeit massiv aus, um die lokalen Gegebenheiten bei der Entwicklung optimal berücksichtigen zu können. Neben realen Tests werden dort in Zukunft auch virtuelle Methoden eine wichtige Rolle spielen.

fordern eine umfangreiche Forschungs- und Entwicklungskompetenz vor Ort. Auch die Simulation muss in China durchgeführt werden“, sagt Zhengjun Xu. „Es ist eine große Herausforderung, so viele chinaspezifische komplexe Szenarien zu simulieren. Wir glauben, dass die Plattform PEVATeC in Zukunft einen großen Nutzen für die Effizienz und Qualität der chinesischen Entwicklung im Bereich ADAS und hochautomatisiertes Fahren bringen wird.“

Auch in Nardò baut Porsche Engineering derzeit ein modernes privates 5G-Mobilfunknetz auf, das beispielsweise die Echtzeit-Datenübertragung zwischen den Fahrzeugen und stationären Rechnern ermöglicht. „Das schafft die Basis für künftige Testkonzepte, bei denen wir Versuche einschließlich der Anpassung der Testparameter vollautomatisiert durchführen wollen“, erklärt Positano. „Das robotergesteuerte Fahrzeug sendet dazu alle Messdaten an einen stationären Rechner, wo sie ausgewertet und verarbeitet werden. Sollten die Ergebnisse zeigen, dass Parameteränderungen sinnvoll sind, lassen sie sich in Echtzeit ins Auto übertragen, um dann noch während des laufenden Tests die Auswirkungen zu analysieren.“



ZUSAMMENGEFASST

Porsche Engineering sichert hochautomatisierte Fahrfunktionen mit einer Kombination aus virtuellen und realen Fahrversuchen ab. Teams in den Standorten Deutschland, Italien und China arbeiten dabei eng zusammen. Nur so lassen sich die neuen Fahrfunktionen ebenso zuverlässig wie effizient absichern und länderspezifische Besonderheiten berücksichtigen.

Dynamische Entwicklung

Text: Constantin Gillies

Im dynamischen Umfeld automatisierter Fahrfunktionen kommt es darauf an, schnell und effizient neue Funktionen zu entwickeln und zu testen. Hierfür nutzen die Entwickler von Porsche Engineering jetzt die Entwicklungs- und Kollaborationsplattform „Jupiter“. Sie ermöglicht es, neue Funktionen standortübergreifend zu entwickeln und mittels dreier Versuchsfahrzeuge in der Praxis zu überprüfen und für Kunden erfahrbar zu machen.

Hohe Dynamik: Starke Stürme prägen die Atmosphäre des Planeten Jupiter. Die gleichnamige Plattform beschleunigt die Arbeit im dynamischen Umfeld automatisierter Fahrfunktionen.

Bei Porsche Engineering arbeiten die Ingenieure und Software-Entwickler weltweit an neusten Technologien für die Zukunft. Zu den wichtigsten Feldern gehört dabei das automatisierte Fahren. Um das Wissen dazu zu bündeln und Synergien zu nutzen, hat das Unternehmen jetzt eine digitale Entwicklungs- und Kollaborations-Plattform geschaffen: Jupiter (Joint User Personalized Integrated Testing and Engineering Resource). Sie beschleunigt die Entwicklungsarbeit gleich doppelt. Zum einen bietet Jupiter vorgefertigte Software-Module, mit denen sich Ideen zum automatisierten Fahren schnell umsetzen lassen. Zum anderen kann man die Entwicklungsarbeit über die Plattform einfacher auf mehrere Teams verteilen – auch länderübergreifend. „Gerade bei diesem hochkomplexen Thema ist das ein Schlüssel zum Erfolg“, sagt Dr. Arathi Pai, Projektleiterin Jupiter bei Porsche Engineering.

Gemeinsam mit ihrem Kollegen Marcel Pelzer hat sie das Projekt Jupiter im November 2019 gestartet. Ihr Ziel: alle Innovationen zum automatisierten Fahren zusammenführen. „Die Experten von Porsche Engineering leisten auf diesem Gebiet an vielen Standorten Pionierarbeit“, erklärt Co-Projektleiter Pelzer. „Um die Werkzeuge und die entwickelten Funktionalitäten noch leichter in unterschiedlichen Projekten nutzen zu können, haben wir den Plattformgedanken vorangetrieben.“

Neben der Software-Seite hat Jupiter auch eine praktische Seite: An den Standorten Bietigheim-Bissingen, Cluj-Napoca und Prag stehen drei mit zusätzlicher Sensorik ausgestattete Testfahrzeuge vom Typ Porsche Cayenne bereit, um neue Funktionen und Algorithmen sofort auf der Teststrecke zu überprüfen. Diese Kombination soll die Arbeit der Entwickler in Zukunft stark beschleunigen. Mithilfe von Jupiter wollen sie neue Ideen schneller in ein sogenanntes Minimum Viable Product (MVP) überführen, also in eine erste funktionsfähige Version der neuen Lösung. Sie ließe sich dann sofort auf der Teststrecke untersuchen und verfeinern. Denkbar wäre sogar, dass ein Kunde Jupiter nutzt, um eine eigene Idee zu überprüfen.



**„Länder-
übergreifende
Zusammenarbeit
ist beim
hochkomplexen
Thema HAF ein
Schlüssel
zum Erfolg.“**

Dr. Arathi Pai,
Projektleiterin Jupiter bei
Porsche Engineering

Ziel ist es, in kurzer Zeit einen Proof of Concept zu schaffen – den Beweis, dass eine Idee funktionieren und vielleicht im nächsten Schritt zur Serienreife weiterentwickelt werden kann. „Die Entwickler an den verschiedenen Standorten sollen mit den Funktionalitäten spielen“, so Pai. Ziel sei es nicht nur, das automatisierte Fahren verlässlich und sicher zu machen, sondern auch darüber hinausgehende Funktionen zu entwickeln. „Dinge, an die wir bisher noch nicht gedacht haben“, sagt Pai.

Offenes Programmiergerüst

Damit sich die neuen Lösungen in Zukunft leichter von einem Projekt auf ein anderes übertragen lassen, basiert Jupiter auf einem offenen Programmiergerüst: dem Robot Operating System (ROS). Diese Open-Source-Lösung ist weit verbreitet und wird von einer großen Community unterstützt, sodass sich bei aufkommenden Problemen schnell Lösungen finden lassen. Darüber hinaus stellt ROS viele vorgefertigte Schnittstellen zur Verfügung, zum Beispiel für Kameras. Sensoren, die ROS unterstützen, lassen sich an einem Testfahrzeug oft in weniger als einer Stunde in Betrieb nehmen.

Kern von Jupiter ist eine Art digitaler Werkzeugkasten. Die Plattform enthält fertige Software-Module, die sogenannten ROS-Knoten, die alle Funktionen eines automatisierten Fahrzeugs abdecken. Ein Knoten übernimmt beispielsweise die Auswertung der Daten, die von Kameras und anderen Sensoren kommen. Ein weiterer Knoten bestimmt die Position des Fahrzeugs im Raum. Ein anderer trifft Entscheidungen wie das Wechseln der Spur.

In vielen dieser Software-Module kommt Künstliche Intelligenz (KI) zum Einsatz, zum Beispiel im Knoten für die sogenannte Instanz-Segmentierung. Er hat die Aufgabe, Objekte in der Umgebung zu erkennen und richtig einzuordnen. Dafür verarbeitet eine KI die Bilder der Bordkameras und umgibt die gefundenen Objekte mit einer Umrandung, „Bounding Box“ genannt. In

einem zweiten Schritt werden die Verkehrsteilnehmer einer Gruppe zugeordnet, etwa „Fußgänger“, „PKW“ oder „LKW“.

Perfektionierte Knoten für Funktionalitäten

Diese Klassifizierung gehört zu den großen Herausforderungen beim automatisierten Fahren, denn schon kleinste Details können zu Fehleinschätzungen führen. Ein Fahrrad auf einem Kofferraumträger zum Beispiel könnte ein unausgereifter Algorithmus als fahrendes Zweirad fehlinterpretieren – was das automatisierte Fahrzeug zum Bremsen veranlassen würde. In Zukunft wird Jupiter den Entwicklern perfektionierte ROS-Knoten für die Instanz-Segmentierung und andere Funktionalitäten zur Verfügung stellen.

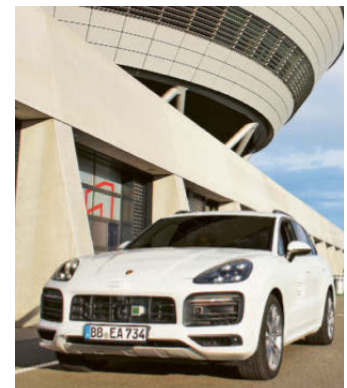
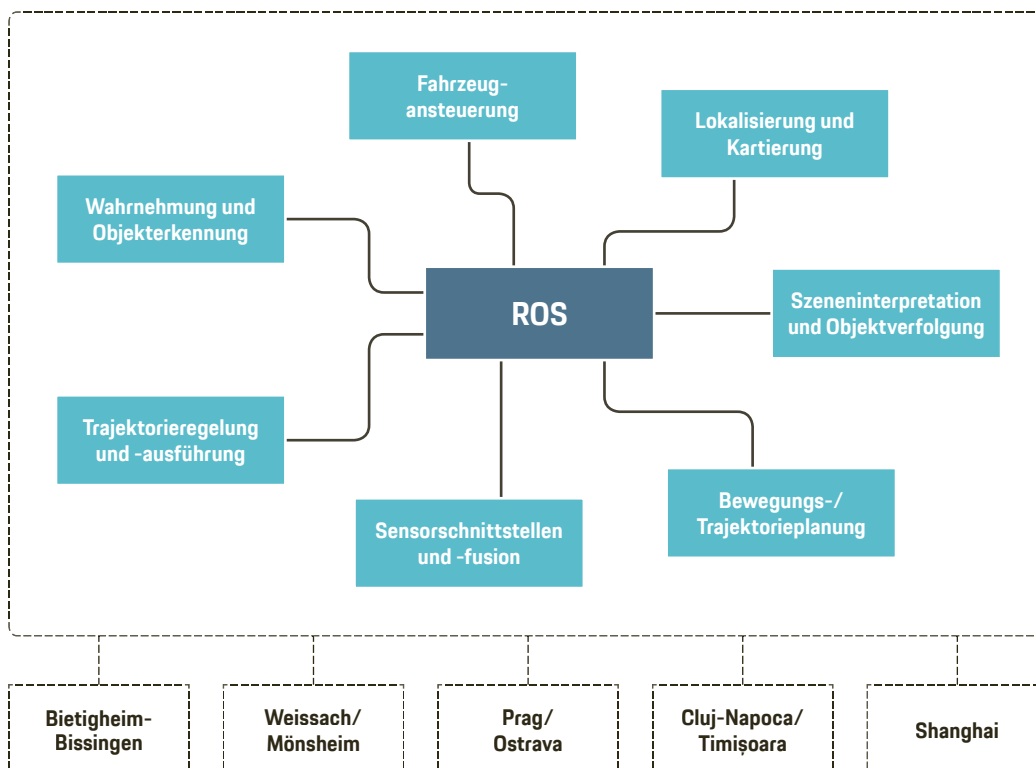
Gerade beim automatisierten Fahren ist Software nur eine Seite der Medaille. Denn wie gut eine neue

Idee tatsächlich ist, zeigt sich erst im Realbetrieb mit den drei Versuchsfahrzeugen. Sie sind über die serienmäßige Sensorik hinaus zum Beispiel mit einem Laserscanner (LiDAR, Light detection and ranging) an Front und Heck ausgestattet. Diese Sensoren erfassen in jeder Sekunde 240.000 Messpunkte und können Objekte in bis zu 250 Metern Entfernung zentimetergenau lokalisieren. Zum LiDAR kommt in den Versuchsfahrzeugen eine Stereo-Kamera hinzu, da optische Systeme dem Laserscanner bei der Erkennung von Objekten aktuell noch überlegen sind.

Ein Vorteil der zusätzlichen Sensorik: Die Entwickler können auf deren Rohdaten zugreifen. „Diese Arbeit auf der Hardware-Ebene ist wichtig, da wir so unabhängiger von der bereits implementierten Serienlösung verfahren können“, erklärt Pelzer. Neben der erweiterten Sensorik haben die Testfahrzeuge auch Hochleistungscomputer mit vielen CPUs (klassische

Offene Plattform

Jupiter basiert auf dem **Robot Operating System** (ROS). Es ist weit verbreitet und wird von einer großen Community unterstützt. Fertige Software-Module (sogenannte ROS-Knoten) decken alle Funktionen eines automatisierten Fahrzeugs ab, zum Beispiel die Auswertung von Kamera-Daten. Verschiedene Standorte können auf die gemeinsame Jupiter-Plattform zugreifen. Neue Funktionen und Algorithmen lassen sich mithilfe der drei Testfahrzeuge sofort untersuchen.



Bereit für den Praxistest: Die drei Jupiter-Versuchsfahrzeuge sind über die serienmäßige Sensorik hinaus mit einem Laserscanner an Front und Heck ausgestattet. Hinzu kommen eine Stereo-Kamera und Hochleistungscomputer.

Sensorik der Zukunft

Neben Kameras sowie Radar- und Ultraschallsensoren werden künftig auch **Laser-Entfernungsmesser** eine wichtige Rolle für neue automatisierte Fahrfunktionen spielen. Sie liefern durch Reflexion an den Gegenständen in der Umgebung Punktwolken, mit deren Hilfe Objekte **zentimetergenau lokalisiert** werden können.



Mikroprozessoren) und GPUs (Grafikprozessoren) an Bord. Die CPUs sind für die Kommunikation mit den ROS-Knoten zuständig, die GPUs können die Neuronalen Netze für das automatisierte Fahren schnell trainieren und auswerten. Auf externe Rechenleistung in der Cloud zuzugreifen, ist bei den zeitkritischen Anwendungen nicht möglich.

Mit Jupiter untersucht Porsche Engineering bereits neue Ideen wie das personalisierte automatisierte Fahren. Die Vision dahinter: In Zukunft passt sich das Fahrzeug an den Stil seines Fahrers an. Um das zu ermöglichen, würde der Abstandsregeltempomat (Adaptive Cruise Control, ACC) zum Beispiel zunächst das Fahrgeschehen beobachten und dann die Gewohnheiten des Nutzers übernehmen. Führt dieser sportlich, würde der Algorithmus sich diesem Verhalten anpassen. Mag es der Fahrer dagegen entspannter, würde die Abstandsautomatik dies entsprechend berücksichtigen. Um einen solchen persönlichen Abstandsregeltempomaten realisieren zu können, müssen die Entwickler zunächst Daten zu unterschiedlichen Fahrweisen sammeln. Dazu wurden Probanden eingeladen, eine standardisierte Testrunde durch die Stadt und über Land zu fahren. Sensoren zeichneten dabei sechs Terabyte Daten auf, die später als Lernmaterial für den personalisierten Abstandsregeltempomaten und künftige Assistenzsysteme dienen sollen.

Nur mit einem Werkzeug wie Jupiter könnten er und seine Kollegen ein solches Projekt effizient durchführen, betont Pelzer. Denn für die Studie werden sowohl

hochpräzise differenzielle GPS-Daten als auch Bus-signale und Kamera-Rohdaten benötigt. „Gäbe es drei separate Daten-Pipelines, wäre die zeitliche Synchronisierung sehr aufwendig“, erklärt er. „Jupiter dagegen kann simultan alle Daten loggen und speichern.“ So hilft die Plattform dabei, das selbststeuernde Auto von morgen ein wenig menschlicher zu machen.

Die digitale Drehscheibe nimmt schnell Gestalt an: Rund zwei Jahre nach dem Start sind Basisknoten zum Aufzeichnen aller Sensordaten verfügbar, weitere Funktionen sind prototypisch bereits implementiert und stehen vor der Fertigstellung. Im August 2021 wurden die drei Testfahrzeuge in Dienst gestellt, und im Laufe des kommenden Jahres werden weitere Bausteine der sogenannten OODA-Architektur ergänzt. Die Abkürzung beschreibt die Funktionen Observe (Verarbeitung der Kamera- und LiDAR-Daten), Orient (simultane Positionsbestimmung und Kartierung), Decide (Trajektorieplanung) und Act (Bewegungssteuerung).

Komplett abgeschlossen wird das Projekt Jupiter niemals sein, denn die Modul-Bibliothek wird weiterwachsen. Schon der heutige Stand reicht aus, um Jupiter intensiv einzusetzen – zum Beispiel für die Weiterentwicklung des Abstandsregeltempomaten und der sogenannten Cut-in-Detection, also dem Erkennen von einscherenden Fahrzeugen. So kann Porsche Engineering seinen Kompetenzpool optimal nutzen und neue automatisierte Fahrfunktionen noch schneller qualifizieren und entwickeln.



„Um die Werkzeuge und die entwickelten Funktionalitäten noch leichter in unterschiedlichen Projekten nutzen zu können, haben wir den Plattformgedanken vorangetrieben.“

Marcel Pelzer,
Co-Projektleiter Jupiter bei
Porsche Engineering



Science vs. Fiction

Text: Christian Buck Mitwirkender: Dr. Christian Koelen

Autonome Fahrzeuge sind seit Jahrzehnten die heimlichen Stars in Spielfilmen. Wir stellen fünf bekannte Beispiele vor und machen den Realitätscheck: Was hat sich bewahrheitet? Und wo lagen Hollywood und Co. komplett daneben?



← Das fünfte Element

Von Luc Besson (1997)

Mit Bruce Willis, Milla Jovovich, Gary Oldman

Bei der Rettung der Welt vor dem regelmäßig wiederkehrenden Bösen sind die beiden Helden Leeloo (Milla Jovovich) und Korben Dallas (Bruce Willis) unter anderem in einem Flugtaxi unterwegs, das sich bei Bedarf auch per Autopilot durch die futuristische Zukunftsmetropole bewegen kann.

Faktencheck

Zahlreiche Unternehmen arbeiten weltweit bereits an autonomen und elektrisch angetriebenen Flugtaxis. Als Einsatzszenario wird immer wieder der Flug zwischen dem Zentrum einer Metropole und ihrem außerhalb gelegenen Flughafen oder das Überfliegen von Staus angegeben. Schon in wenigen Jahren wollen die ersten Anbieter auf den Markt kommen. Technisch möglich sind die autonomen Flugtaxis auf jeden Fall.

→ Knight Rider

TV-Serie (1982–1986)

Mit David Hasselhoff

Der ehemalige Polizist Michael Knight (David Hasselhoff) geht mit einem Hightech-Auto namens K.I.T.T. (Knight Industries Two Thousand) auf Verbecherjagd. Es kann autonom fahren, automatisiert einparken und über die Armbanduhr herbeigerufen werden.



Faktencheck

Eine der aktuellsten Entwicklungen im Bereich des hochautomatisierten Fahrens ist das automatisierte Einparken: Das Fahrzeug fährt selbstständig auf einen Parkplatz und lässt sich später (etwa per Smartphone) wieder zum Fahrer zurückbeordern. Die Serieneinführung einer solchen Funktion steht kurz bevor. Diese Filmvision ist darum absolut realistisch.



⬆ **Blade Runner 2049**

Von Denis Villeneuve (2017)
Mit Ryan Gosling, Harrison Ford

In der Fortsetzung des Science-Fiction-Klassikers von Ridley Scott geht es wieder um das schwierige Verhältnis von Menschen und „Replikanten“, menschenähnlichen Androiden, die für ihre Rechte kämpfen. Die Hauptfigur „Officer K“ (Ryan Gosling) ist bei seiner Jagd nach der Tochter einer Replikantin und eines Menschen mit einem fliegenden Auto unterwegs, das ihn bei Bedarf auch selbstständig zum Ziel bringt. Dabei ist immer eine Drohne mit an Bord, die mit ihren Sensoren aus der Luft die Umgebung erkunden kann.

Faktencheck

Die Kombination von autonomen Fahrzeugen und Drohnen könnte tatsächlich sinnvoll sein. Aus der Vogelperspektive ließe sich so beispielsweise eine Karte der vorausliegenden Strecke erzeugen, sodass der Autopilot immer genau wüsste, was ihn in Kürze erwartet. Drohnen könnten aber auch Parkplätze überfliegen und freie Stellplätze fürs automatisierte Einparken finden. Ideen für den Einsatz solcher „erweiterter Sensoren“ gibt es also genug, und die technische Umsetzung wäre schnell möglich.

⬇ **Total Recall**

Von Paul Verhoeven (1990)
Mit Arnold Schwarzenegger

Der von Arnold Schwarzenegger gespielte Arbeiter Douglas Quaid ist auf der Flucht – in einem automatischen Taxi („Johnny Cab“), das von einem Roboter namens Johnny gesteuert wird. Der Android hört auf Sprachbefehle und kann auch Small Talk.

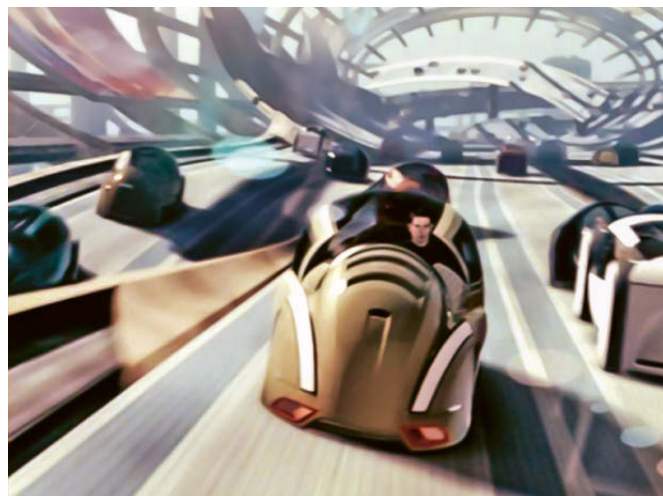
Faktencheck

Durch das autonome Fahren verändert sich das Verhältnis von Passagier und Fahrzeug grundlegend – Letzteres wird mehr zu einer Umgebung fürs Arbeiten oder Entspannen. Small Talk mit dem Auto könnte darum in Zukunft durchaus zum Alltag gehören. Einen humanoiden Roboter wird es aber wohl nicht im Innenraum geben. Das Fahrzeug dürfte künftig eher eine Art rollendes Assistenzsystem sein.



⬇ **Minority Report**

Von Steven Spielberg (2002)
Mit Tom Cruise, Colin Farrell, Samantha Morton



Polizist John Anderton (Tom Cruise) wird beschuldigt, in Zukunft einen Mord zu begehen. Darum versucht er, in einem der automatischen Maglev-Fahrzeuge (Magnetic Levitation) zu flüchten. Aber die Behörden können in die Steuerung des Autos eingreifen, sodass es für Anderton zu einer Falle wird. Er selbst kann es nicht mehr manuell unter Kontrolle bringen.

Faktencheck

Sicherheit spielt beim autonomen Fahren eine zentrale Rolle. Falls die Technik versagen sollte, wäre auch ein Eingriff von außen denkbar. So hat Kalifornien 2018 beschlossen, dass sich Autos ohne Pedale und Lenkrad per Mobilfunknetz fernsteuern lassen müssen. Ein Operator würde mithilfe von Live-Kamerabildern das Steuer übernehmen – allerdings nur im Notfall und immer unter Beachtung des Datenschutzes.



Dr. Christian Koelen ist Leiter der Fachdisziplin Fahrerassistenzsysteme bei Porsche Engineering. Er hat die Filmutopien zum autonomen Fahren bewertet.

Auf dem Quantensprung

Text: Christian Meier

Immer mehr Fahrzeugfunktionen basieren auf Künstlicher Intelligenz. Herkömmliche Prozessoren und selbst Grafikchips stoßen bei den Berechnungen Neuroner Netze allerdings zunehmend an ihre Grenzen. Abhilfe sollen ein extrem großer Computerchip, optische Rechner und Quantencomputer schaffen.

Künstliche Intelligenz (KI) ist eine Schlüsseltechnologie für die Automobilbranche – entsprechend wichtig ist schnelle Hardware für die aufwendigen Backend-Berechnungen, die damit verbunden sind. Denn nur mit Hochleistungscomputern lassen sich neue Funktionen künftig in Serie bringen. „Autonomes Fahren gehört zu den anspruchsvollsten KI-Anwendungen überhaupt“, erklärt Dr. Joachim Schaper, Leiter Fachdisziplin KI und Big Data bei Porsche Engineering. „Die Algorithmen lernen anhand sehr vieler Beispiele, die Testfahrzeuge zuvor per Kamera, Radar oder anderen Sensoren im realen Verkehr gesammelt haben.“

Herkömmliche Rechenzentren sind den wachsenden Anforderungen immer weniger gewachsen. „Inzwischen dauert es Tage, um eine einzige Variante eines Neuronalen Netzes zu trainieren“, erklärt Schaper. Für

ihn steht darum fest: Die Automobilhersteller brauchen neue Technologien für KI-Berechnungen, mit deren Hilfe die Algorithmen sehr viel schneller lernen können. Um das zu erreichen, müssen möglichst viele Vektor-Matrix-Multiplikationen (siehe Kasten auf S. 35) in den komplexen Neuronalen Netzen (englisch Deep Neural Networks, kurz DNN) parallel ausgeführt werden – eine Aufgabe, auf die Grafikprozessoren (GPUs) spezialisiert sind. Ohne sie wären die erstaunlichen Fortschritte der KI in den letzten Jahren nicht möglich gewesen.

50-mal so groß wie ein Grafikprozessor

Allerdings wurden Grafikkarten ursprünglich nicht für den KI-Einsatz entworfen, sondern um Bilddaten möglichst effizient zu verarbeiten. Sie stoßen darum beispielsweise beim Training von Algorithmen für das

Riesen-Chip: Die „Wafer Scale Engine“ von Cerebras vereint enorme Rechenkraft auf einem einzigen integrierten Schaltkreis mit mehr als 20 Zentimeter Seitenlänge.

Chip-Größe

46.225 mm²

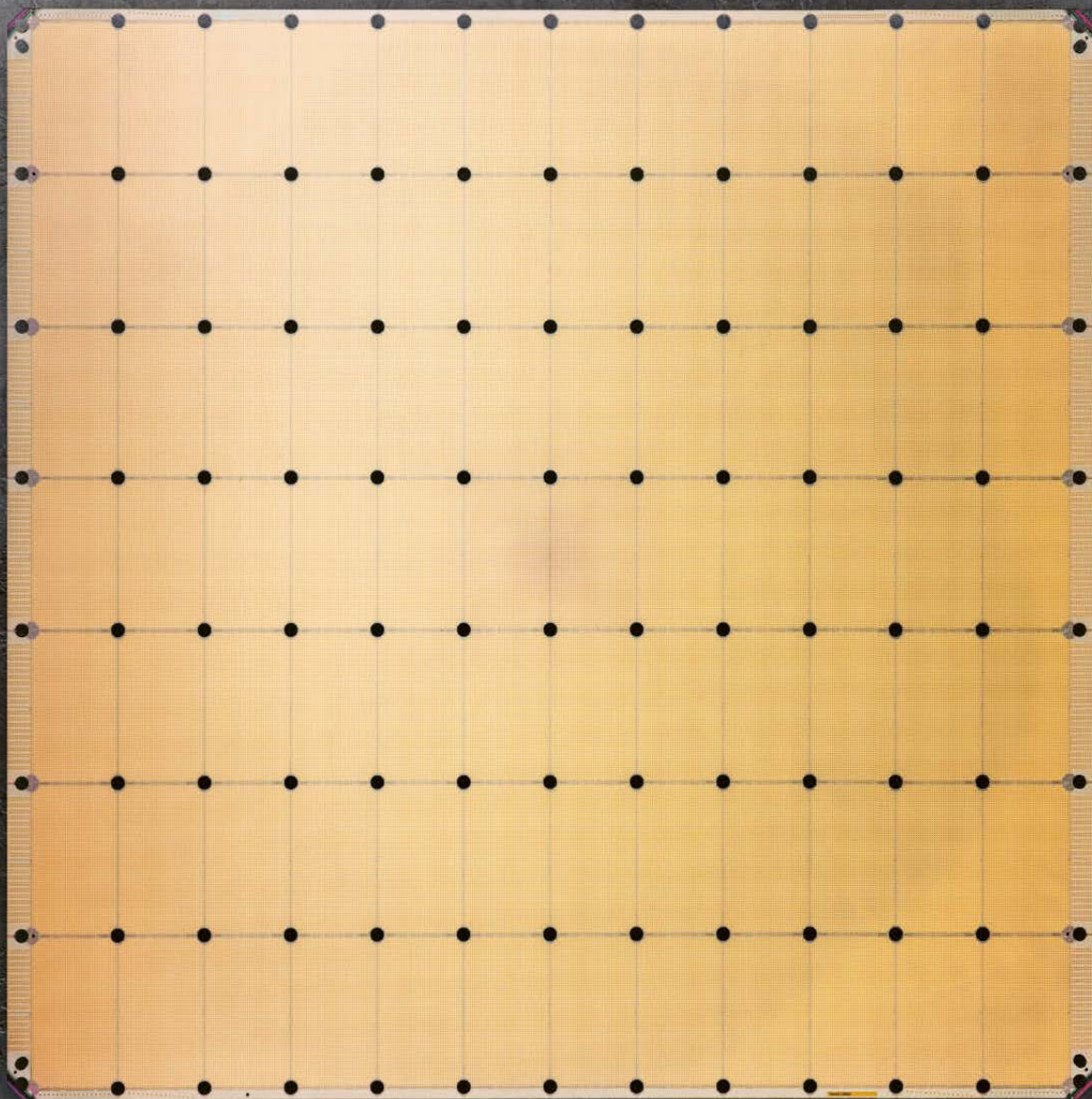
Zahl der Rechenkerne

850.000

Zahl der Transistoren

2,6 Billionen

Speicher auf dem Chip

40 Gigabyte

Chip im klassischen Format: Die A100 GPU von NVIDIA ist für den Einsatz in Rechenzentren ausgelegt. Sie besteht aus 54,2 Milliarden Transistoren und ist 826 Quadratmillimeter groß. Der Chip verfügt über 6.192 CUDA- und 432 Tensor-Kerne sowie 40 Megabyte Speicher.

autonome Fahren zunehmend an ihre Grenzen. Für noch schnellere Berechnungen ist deshalb auf KI spezialisierte Hardware erforderlich. Eine mögliche Lösung hat die kalifornische Firma Cerebras präsentiert. Ihre „Wafer Scale Engine“ (WSE) ist optimal auf die Anforderungen Neuroner Netze zugeschnitten, indem sie möglichst viel Rechenkraft auf einem riesigen Computerchip vereint. Er ist mehr als 50-mal so groß wie ein normaler Grafikprozessor und bietet Platz für 850.000 Rechenkern – über 100-mal so viele wie auf einem aktuellen Top-GPU. Außerdem haben die Cerebras-Ingenieure die Rechenkern untereinander mit Datenleitungen hoher Bandbreite vernetzt: Laut Hersteller transportiert das Netzwerk auf der Wafer Scale Engine 220 Petabit pro Sekunde. Auch den Flaschenhals innerhalb der GPUs hat Cerebras aufgeweitet: Zwischen Arbeitsspeicher und Rechenwerk reisen die Daten fast 10.000-mal schneller als in leistungsstarken GPUs – mit 20 Petabyte pro Sekunde.

Um noch mehr Zeit zu sparen, imitiert Cerebras einen Trick des Gehirns. Dort arbeiten Neuronen nur, wenn sie von anderen Neuronen Signale bekommen. Die vielen gerade inaktiven Verbindungen brauchen keine Ressourcen. In DNNs hingegen kommt es häufig vor, dass bei Vektor-Matrix-Multiplikation mit der Zahl Null multipliziert wird. Das kostet unnötig Zeit. Die Wafer Scale Engine unterlässt es deshalb. „Alle Nullen werden herausgefiltert“, schreibt Cerebras in seinem Whitepaper zur WSE. Der Chip führt also nur Operationen aus, die ein von null verschiedenes Ergebnis liefern.

Ein Nachteil des Chips ist sein hoher Bedarf an elektrischer Leistung von 23 kW. Das macht eine Wasserkühlung erforderlich. Cerebras hat darum ein eigenes Server-Gehäuse für den Einsatz in Rechenzentren entwickelt. In den Datenzentren einiger Forschungsinstitute wird die Wafer Scale Engine bereits getestet. Der Riesenchip aus Kalifornien könnte auch die Automobilentwicklung beschleunigen, glaubt Experte Schaper. „Mit ihm ließe sich theoretisch eine Woche Training auf nur wenige Stunden reduzieren“, schätzt er. „Das muss die Technik in Praxistests jedoch erst noch unter Beweis stellen.“

Licht statt Elektronen

So ungewöhnlich der neue Chip auch ist: Wie seine konventionellen Vorgänger arbeitet auch er mit herkömmlichen Transistoren. Unternehmen wie Lightelligence und Lightmatter aus Boston wollen statt der vergleichsweise langsamen Elektronik das viel schnellere Licht für KI-Berechnungen nutzen und bauen dafür optische Chips. DNNs könnten damit „mindestens einige hundert Mal schneller arbeiten als elektronische“, schreiben Entwickler von Lightelligence.

Dafür nutzen Lightelligence und Lightmatter das Phänomen der Interferenz. Wenn sich Lichtwellen

gegenseitig verstärken oder auslöschen, bilden sie ein Hell-Dunkel-Muster. Lenkt man die Interferenz auf eine bestimmte Weise, entspricht das neue Muster der Vektor-Matrix-Multiplikation des alten Musters. Die Lichtwellen können also „rechnen“. Um das praktisch umzusetzen, haben die Bostoner Entwickler winzige Lichtleiter in einen Silizium-Chip geätzt. Wie in einem Textilgewebe überkreuzen sie sich mehrfach. An den Kreuzungen findet die Interferenz statt. Dazwischen regeln winzige Heizelemente den Brechungsindex des Lichtleiters, wodurch sich die Lichtwellen gegeneinander verschieben lassen. So kann man deren Interferenz steuern und Vektor-Matrix-Multiplikationen ausführen.

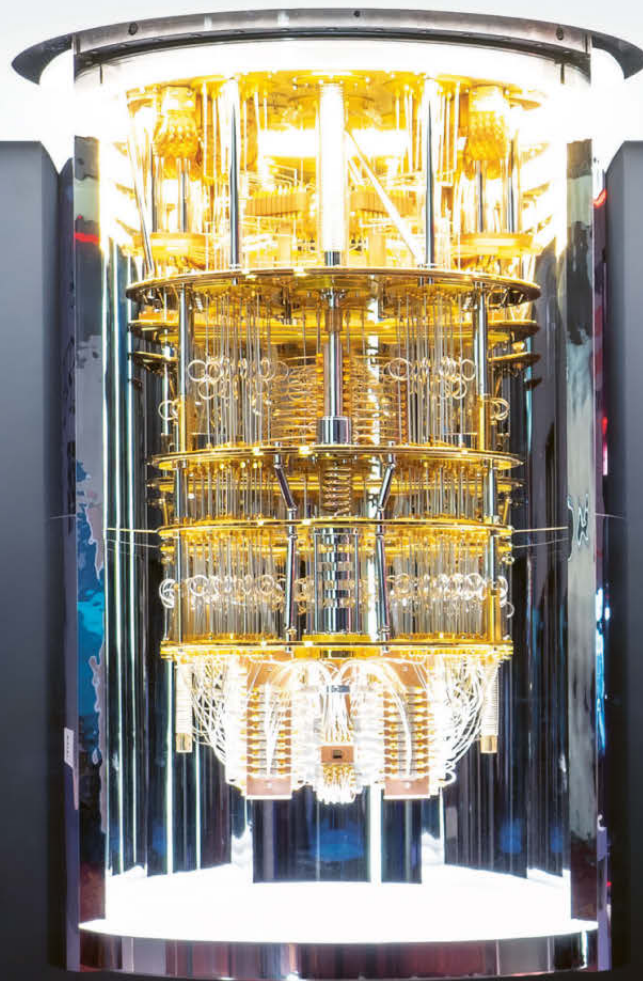
Ganz auf Elektronik verzichten die Bostoner Unternehmen aber nicht. Sie kombinieren ihre Lichtrechner mit herkömmlichen elektronischen Bauelementen, die Daten speichern und alle Berechnungen außer den Vektor-Matrix-Multiplikationen ausführen. Dazu gehören zum Beispiel die nichtlinearen Aktivierungsfunktionen, mit denen die Ausgabewerte jedes Neurons modifiziert werden, bevor sie in die nächste Schicht gelangen.

Mit der Kombination aus optischen und digitalen Rechnern lassen sich DNNs extrem schnell berechnen. „Ihr Hauptvorteil liegt in der geringen Latenzzeit“, erklärt Lindsey Hunt, Sprecherin von Lightelligence. Das DNN kann dadurch beispielsweise schneller Objekte auf Bildern erkennen, wie etwa Fußgänger und e-Scooter-Fahrer. Beim autonomen Fahren könnte dies zu schnelleren Reaktionen in kritischen Situationen führen. „Zudem trifft das optische System mehr Entscheidungen pro Watt elektrischer Energie“, so Hunt. Das ist besonders wichtig, weil die steigende Rechenleistung in Fahrzeugen zunehmend auf Kosten von Kraftstoffverbrauch und Reichweite geht.

Die Lösungen von Lightmatter und Lightelligence lassen sich als Module in herkömmliche Computer ein-

**„Mit der Wafer Scale Engine
ließe sich theoretisch eine
Woche Training auf nur wenige
Stunden reduzieren.“**

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



Weltpremiere: Der 2019 vorgestellte Quantencomputer „Q System One“ von IBM ist nach Firmenangaben der erste seiner Art, der für den kommerziellen Einsatz gedacht ist.

Quantencomputer der Fraunhofer-Gesellschaft

27 Qubits

Leistungstärkster IBM-Quantencomputer

127 Qubits

Nutzer weltweit

370.000

Arbeitstemperatur

-273 Grad Celsius



„Je komplizierter die Muster, desto schwerer tun sich herkömmliche Rechner damit, Klassen zu unterscheiden.“

Heike Riel, Leiterin der IBM-Quantenforschung in Europa und Afrika

Typische KI-Berechnung

In tiefen Neuronalen Netzen finden vorwiegend Vektor-Matrix-Multiplikationen statt. Dabei ergibt sich der Eingangswert eines künstlichen Neurons einer Schicht als Summe der Ausgangswerte der Neuronen der vorgelagerten Schicht, jeweils mit einem Faktor multipliziert. Das entspricht genau der Multiplikation eines Vektors mit einer Matrix, bei der ein neuer Vektor entsteht. Diese Berechnungen lassen sich sehr gut parallelisieren.

setzen, um die KI-Berechnungen zu beschleunigen – ähnlich wie Grafikkarten. Im Prinzip könnte man sie auch in Fahrzeuge integrieren, etwa um autonome Fahrfunktionen zu realisieren. „Unsere Technologie ist sehr gut geeignet, um als Inferenzmaschine für ein autonomes Auto zu dienen“, erklärt Lindsey Hunt. Experte Schaper sieht das ähnlich: „Wenn es Lightelligence gelingt, automobiltaugliche Komponenten zu bauen, könnte dies die Einführung komplexer KI-Funktionen im Fahrzeug stark beschleunigen.“ Die Technik ist inzwischen marktreif: Das Unternehmen plant erste Pilotversuche mit Kunden für das Jahr 2022.

Quantencomputer als KI-Turbo

Noch etwas weiter von der praktischen Anwendung entfernt sind Quantencomputer. Auch sie werden KI-Berechnungen beschleunigen, weil sie Unmengen an Daten parallel verarbeiten können. Sie arbeiten dafür mit sogenannten „Qubits“. Anders als die klassische Informationseinheit, das Bit, kann ein Qubit die beiden binären Werte 0 und 1 simultan darstellen. Die beiden Zahlen koexistieren in einem Überlagerungszustand, wie er nur in der Quantenmechanik möglich ist.

Quantencomputer könnten beim Klassifizieren von Dingen zum Turbo für Künstliche Intelligenz werden, zum Beispiel im Verkehrsgeschehen. Dort gibt es viele unterschiedliche Objekt-Kategorien, darunter Fahrräder, Autos, Fußgänger, Schilder, nasse und trockene Straßen. Sie unterscheiden sich anhand vieler Eigenschaften, weswegen Experten von „Mustererkennung in höherdimensionalen Räumen“ sprechen.

„Je komplizierter die Muster, desto schwerer tun sich herkömmliche Rechner damit, Klassen zu unter-

scheiden“, erklärt Heike Riel, die IBMs Quantenforschung in Europa und Afrika leitet. Denn mit jeder Dimension wird es aufwendiger, die Ähnlichkeit zweier Objekte auszurechnen: Wie ähnlich sind sich ein e-Scooter-Fahrer und ein Rollatornutzer, die die Straße überqueren wollen? Quantenrechner können im Vergleich zu klassischen Computern effizient in hochdimensionalen Räumen arbeiten. Für gewisse Probleme könnte diese Eigenschaft nützlich sein und dazu führen, dass mithilfe von Quantencomputern einige Probleme schneller gelöst werden können als mit klassischen Hochleistungsrechnern.

IBM-Forscher haben statistische Modelle analysiert, die sich für die Datenklassifizierung trainieren lassen. Erste Resultate deuten darauf hin, dass geschickt gewählte Quantenmodelle für gewisse Datensätze besser funktionieren als klassische Methoden. Die Quantenmodelle sind einfacher zu trainieren und scheinen eine größere Kapazität zu haben – was ihnen erlaubt, kompliziertere Zusammenhänge zu lernen.

Mit den heutigen Quantencomputern kann man diese Algorithmen testen, aber noch keinen Vorteil gegenüber klassischen Rechnern erzielen, räumt Riel ein. Die Entwicklung von Quantencomputern schreitet jedoch rasant voran. Sowohl die Anzahl der Qubits als auch deren Qualität nehmen stetig zu. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Geschwindigkeit, gemessen in Circuit Layer Operations per Second (CLOPS). Diese Zahl beschreibt, wie viele Quantenschaltkreise auf dem Quantenrechner pro Zeit laufen können. Sie ist eines der drei wichtigen Leistungskriterien eines Quantencomputers: Skalierbarkeit, Qualität und Geschwindigkeit.

In absehbarer Zeit dürfte es gelingen, für bestimmte Anwendungen die Überlegenheit von Quantencomputern zu zeigen – also dass sie Probleme schneller, effizienter und präziser lösen als ein klassischer Computer. Einen leistungsstarken, fehlerkorrigierten, universellen Quantenrechner zu bauen, dauert aber noch etwas länger. Nach Schätzung von Experten werden dafür noch mindestens zehn Jahre vergehen.

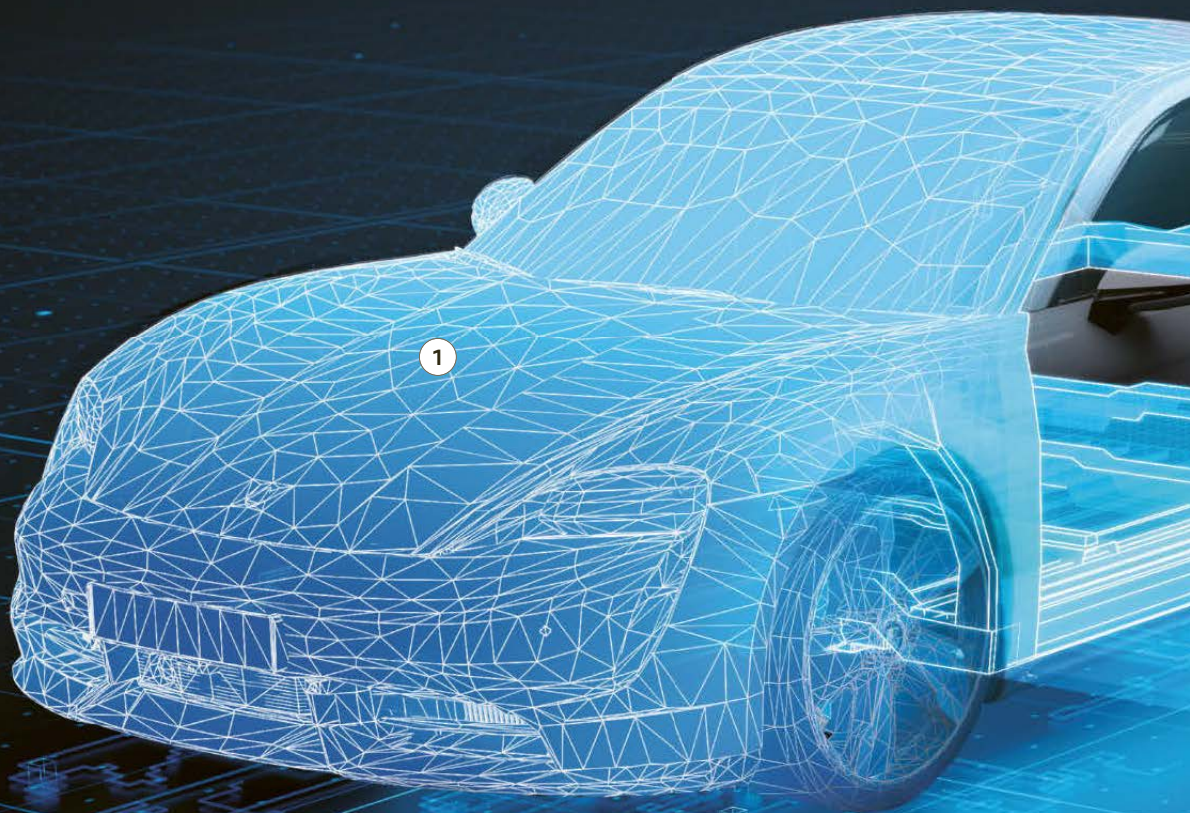
Doch das Warten könnte sich lohnen. Wie auch optische Chips oder neue Architekturen von elektronischen Rechnern könnten Quantenrechner der Schlüssel sein auf dem Weg zur Mobilität der Zukunft. 

➔ ZUSAMMENGEFASST

Bei KI-Berechnungen stoßen mittlerweile neben klassischen Mikroprozessoren auch Grafikkarten an ihre Grenzen. Unternehmen und Forscher weltweit arbeiten darum an neuen Lösungen. Nahe am Einsatz sind Chips im Wafer-Format und Lichtrechner. In einigen Jahren könnten Quantencomputer für besonders anspruchsvolle Berechnungen hinzukommen.

Doppelt optimiert

Text: Christian Buck Illustrationen: Jurij Chrubasik



Porsche Engineering hat zwei Methoden der Künstlichen Intelligenz kombiniert, um einen Seitenschweller effizient zu optimieren: Ein Reinforcement-Learning-Agent findet die beste Variante des Bauteils – unterstützt von einem Neuronalen Netz, das die einzelnen Optimierungsschleifen stark beschleunigt. Das Verfahren könnte auch in anderen Bereichen der Fahrzeugentwicklung Schule machen.

1

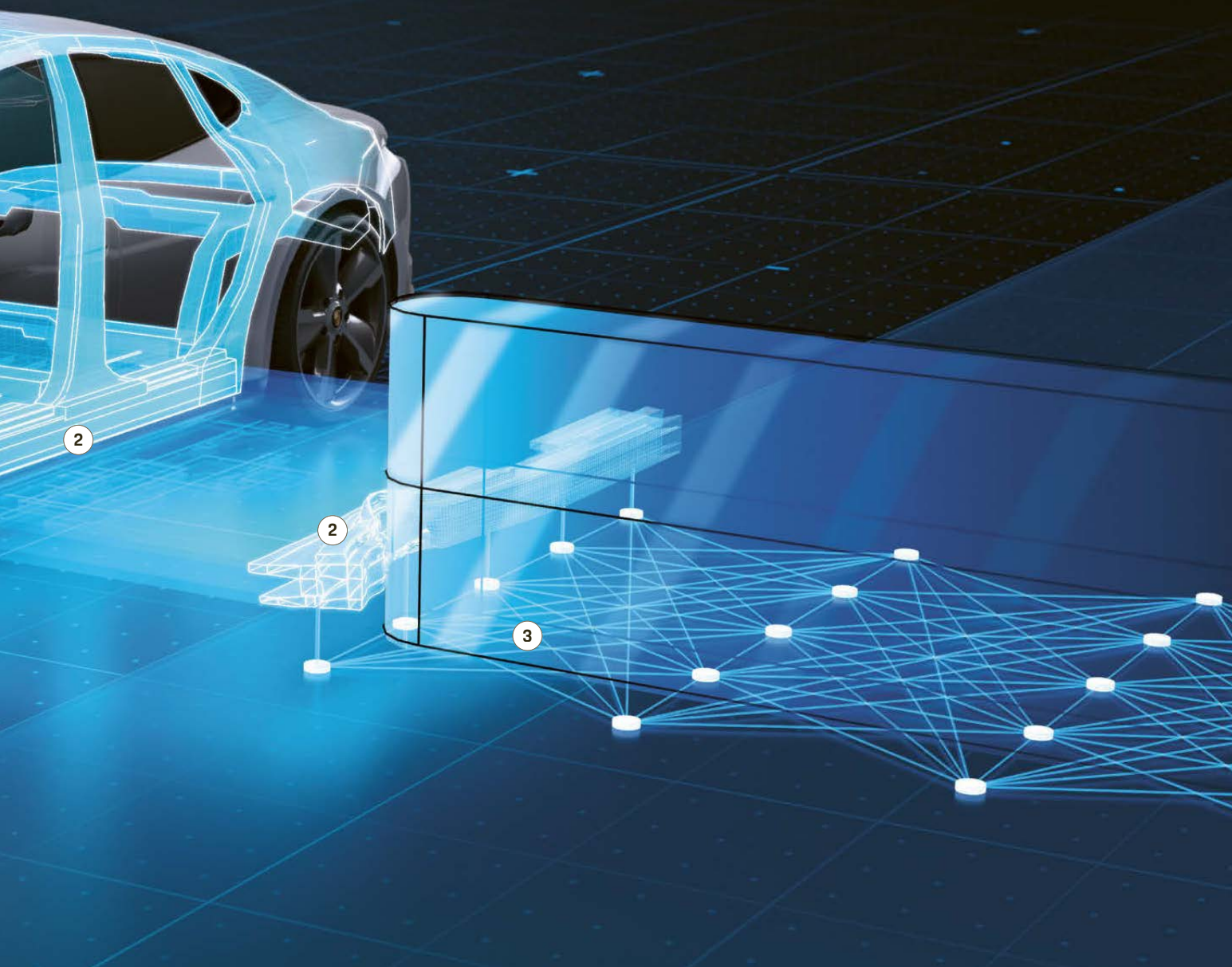
Klassische Simulation:
Mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) kann man einen Crash detailliert im Computer nachstellen. Allerdings ist der Rechenaufwand sehr hoch.

2

Der Seitenschweller:
Er nimmt bei einem Crash Energie auf und schützt so die Insassen des Fahrzeugs. Bei einem rein-elektrischen Fahrzeug bewahrt er auch die Hochvoltbatterie vor Schäden.

3

Neuronales Netz:
Es kann lernen, aus der Verteilung der Wandstärken des Seitenschwellers sein Crash-Verhalten vorherzusagen. In Kombination mit einem Reinforcement-Learning-Agenten lässt sich die Komponente effizient optimieren.



Intelligent konstruieren: Statt aufwendiger Simulationen (links) nutzt Porsche Engineering effiziente KI-Methoden (rechts), um den optimalen Seitenschweller zu finden.

Sie sind unscheinbare Lebensretter: Die beiden Seitenschweller schützen die Insassen, falls ein Fahrzeug von der Straße abkommt und beispielsweise seitlich gegen einen Baum prallt. In rein-elektrischen Fahrzeugen haben sie eine weitere wichtige Aufgabe: den Schutz der Hochvoltbatterie, die zwischen linkem und rechtem Seitenschweller untergebracht ist und bei einem Unfall nicht übermäßig deformiert werden darf. Entsprechend viel Arbeit investieren Entwickler in die Optimierung des Crashverhaltens der Komponente.

Vom optimalen Crashverhalten eines Seitenschwellers haben sie dabei eine klare Vorstellung: Die Verformung (Intrusion) sollte einen möglichst stetigen Verlauf ohne allzu große lokale Schwankungen aufweisen. Dieser Zusammenhang zwischen äußerer Kraft beim Crash und Seitenschweller-Intrusion lässt sich durch eine Idealkurve darstellen (siehe die Abbildung auf Seite 40). Ihr sollte das tatsächliche Verhalten der Komponente so nahe wie möglich kommen.

Während der Entwicklung kommen für solche Optimierungen meist Simulationen zum Einsatz, denn Prototypen für Crashtests sind teuer. Bei der weitverbreiteten Finite-Elemente-Methode (FEM) zerlegt man das reale Fahrzeug oder Bauteil für Crashsimulationen meist in kleine Vierecke („Elemente“), deren Ecken „Knoten“ genannt werden. Das Verhalten bei einem Aufprall lässt sich durch die Reaktion der einzelnen Elemente auf äußere Kräfte berechnen – umso präziser, je mehr Elemente und Knoten das FEM-Modell enthält. „Eine höhere Genauigkeit schlägt sich allerdings auch in einem größeren Rechenaufwand nieder“, erklärt Johannes Pfahler, Berechnungsingenieur bei Porsche Engineering. „Für FEM-Simulationen sind Hochleistungscomputer erforderlich, und bei einem Gesamtfahrzeugmodell kann eine einzige Crash-Berechnung einen Tag oder länger dauern.“

Das gilt auch für die Crash-Simulation des Seitenschwellers in einem rein-elektrischen Fahrzeug. Das Bauteil stammte aus einem Vorentwicklungsprojekt der Porsche AG. Um die Komponente zu optimieren, konnten die Ingenieure von Porsche Engineering 14 Wandstärken variieren und das Crashverhalten jeder Variante mit dem idealen Verlauf vergleichen. Hätten die Berechnungsingenieure dafür ein FEM-Gesamtfahrzeugmodell mit 9,6 Millionen Elementen und 6,6 Millionen Knoten

verwendet, wäre ein Computer mit 128 Mikroprozessorkernen (CPUs) fast 20 Stunden beschäftigt – nur um das Crashverhalten einer einzigen Schweller-Variante zu berechnen. Ein vereinfachtes FEM-Teilmodell aus Seitenschweller, Unterboden und Batteriekonstruktion (1,6 Millionen Elemente und 1,9 Millionen Knoten) hätte einen Computer mit 64 CPUs immer noch für etwas mehr als vier Stunden pro Simulation ausgelastet. Gefragt war darum eine effizientere Methode, um Hunderte oder Tausende von Schweller-Varianten mit unterschiedlichen Wandstärken auf ihr individuelles Crashverhalten zu untersuchen.

Ein Fall für den RL-Agenten

Hier kamen Dr. Joachim Schaper, Leiter Fachdisziplin KI und Big Data bei Porsche Engineering, und die anderen KI-Experten des Unternehmens ins Spiel. Ihre Idee: Durch die Kombination der beiden KI-Verfahren Reinforcement Learning (RL) und Neuronale Netze (NN) sollte sich die optimale Schweller-Variante mit vertretbarem Rechenaufwand finden lassen. Beim Reinforcement Learning interagiert ein Algorithmus („Agent“ genannt) mit seiner Umgebung und lernt durch Feedback permanent hinzu – indem er für Aktionen, die zu einem guten Ergebnis führen, mit Bonuspunkten belohnt und bei Misserfolgen mit Abzügen bestraft wird. Sein Ziel war es in diesem Fall, im Lauf der Zeit die Variante mit der höchstmöglichen Punktzahl zu finden. Dazu sollte sich der RL-Agent durch Variation der 14 Wandstärken immer näher an das ideale Crashverhalten des Seitenschwellers herantasten.

Wie gut ihm das im Einzelfall gelungen ist, ließe sich prinzipiell durch eine FEM-basierte Simulation des



**9,6
Millionen**

Elemente hat das CAE-Gesamtfahrzeugmodell. Eine Crashberechnung dauert auf einem Rechner mit 128 CPUs 19,5 Stunden.



**1,6
Millionen**

Elemente hat ein vereinfachtes CAE-Modell mit den wesentlichen Komponenten. Eine Crashberechnung dauert auf einem Rechner mit 64 CPUs immer noch 4,25 Stunden.



132.000

Elemente hat ein reduziertes CAE-Modell des Seitenschwellers. Eine Crashberechnung dauert jetzt nur noch rund eine Stunde – auf einer normalen Workstation mit vier CPUs. Mit diesem Modell wurden die Trainings- und Validierungsdaten für das Neuronale Netz erzeugt.



„Wir haben das Neuronale Netz mithilfe von Simulationsdaten darauf trainiert, aus den Wandstärken als Eingabe das Crashverhalten des Seitenschwellers als Ausgabe vorherzusagen.“

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

Die Aufgabe: Finde den optimalen Seitenschweller!

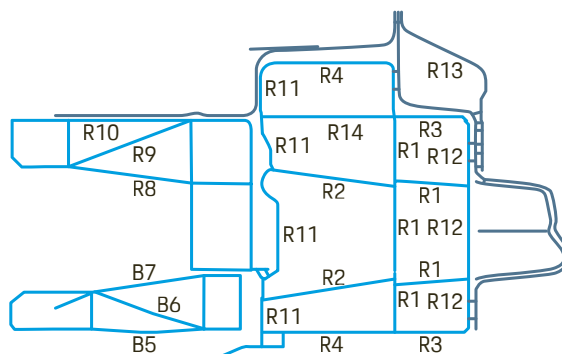
Sicherheitskritisches Bauteil

Der zu optimierende Seitenschweller besteht aus zwei einzelnen Aluminium-Strangpress-Profilen, die miteinander verschraubt werden („B“ wird in „R“ geschraubt). Die Komponente wiegt rund 20 kg. Ihre Konstruktion ist vorgegeben, nur die Wandstärken können noch innerhalb gewisser Grenzen variiert werden. Genau darin besteht die Aufgabe des **Reinforcement-Learning-Agenten**, der dabei von einem Neuronalen Netz unterstützt wird.

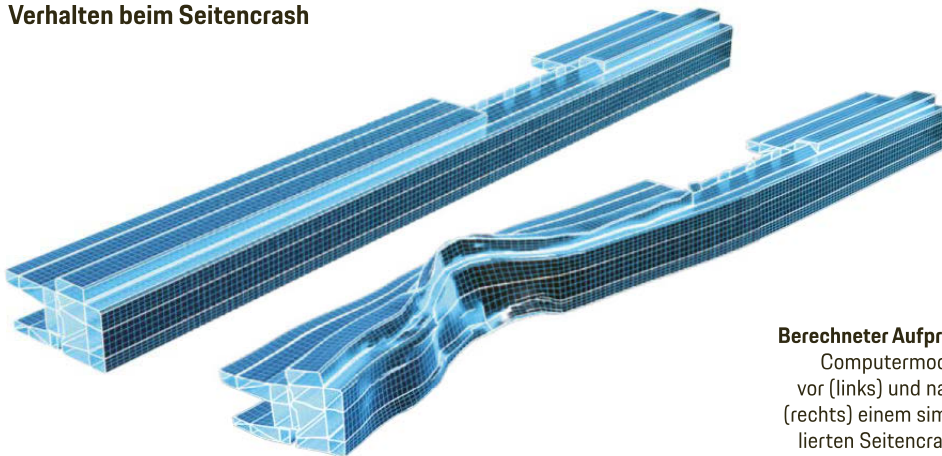
↓
14

Wandstärken (rechts) entscheiden darüber, wie gut der Seitenschweller die Insassen und die Hochvoltbatterie bei einem Crash schützen kann.

Querschnitt des Seitenschwellers



Verhalten beim Seitencrash



Berechneter Aufprall:
Computermodell vor (links) und nach (rechts) einem simulierten Seitencrash.

Erzeugung von Trainingsdaten

Das **Crashverhalten** des Seitenschweller lässt sich mit einem Computermodell berechnen (links). Pro Konstruktions-Variante mit 14 spezifischen Wandstärken benötigt eine übliche Workstation mit vier CPUs dafür rund eine Stunde. Als Input für ein Neuronales Netz wurden mithilfe des Modells 548 Simulationen durchgeführt, was einem Simulationsaufwand von 23 Tagen entspricht. 300 dieser Simulationen sollten als Trainingsdaten für das Neuronale Netz dienen, 248 zur anschließenden Validierung genutzt werden.

Crashverhaltens jeder vorgeschlagenen Variante ermitteln – wäre der Rechen- und Zeitaufwand dafür nicht viel zu hoch. Diesen reduziert das zweite eingesetzte KI-Verfahren deutlich: Das Feedback für den RL-Agenten liefert keine Simulation, sondern ein Neuronales Netz. „Wir haben es zuvor mithilfe von Simulationsdaten darauf trainiert, aus den Wandstärken als Eingabe das Crashverhalten des Seitenschweller als Ausgabe vorherzusagen“, erklärt Schaper. „Das dauert für jede Seitenschweller-Variante nur Sekunden, im Gegensatz zu Stunden bei einer klassischen Simulation. Dennoch müssen wir keine Abstriche bei der Genauigkeit des Feedbacks für den RL-Agenten machen.“

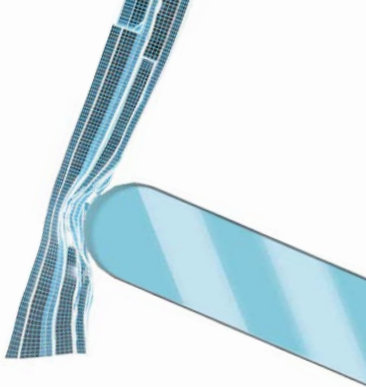
Mit dieser Kombination der beiden KI-Verfahren konnte die Schweller-Optimierung starten. Die 14 Wandstär-

↓
23

Tage dauert es, mithilfe einer normalen Workstation den optimalen Seitenschweller zu finden. Durch den parallelen Einsatz mehrerer Rechner konnte die Zeit auf nur acht Tage verkürzt werden.

ken für die erste Schleife wurden nicht zufällig gewählt, sondern stammten von Dr. Philipp Kellner, Fachreferent Karosserie Vorentwicklung bei der Porsche AG. „Als Experte wusste er aus langjähriger Erfahrung, wie eine gute Kombination aussehen könnte“, so Pfahler. „Der Ausgangspunkt für den Reinforcement-Learning-Agenten war also schon recht gut.“ Das Neuronale Netz verglich daraufhin das Crashverhalten dieser speziellen Seitenschweller-Variante mit dem Idealverlauf und speiste die Abweichung als Feedback in den Agenten ein, der wiederum die nächste Kombination aus 14 Wandstärken an das Neuronale Netz lieferte. Dieses Spiel wiederholte sich mehrere Tausend Mal, und mit jeder Iteration kam das KI-Team aus RL-Agent und Neuronalem Netz seinem Ziel ein Stück näher: den optimalen Seitenschweller zu finden.

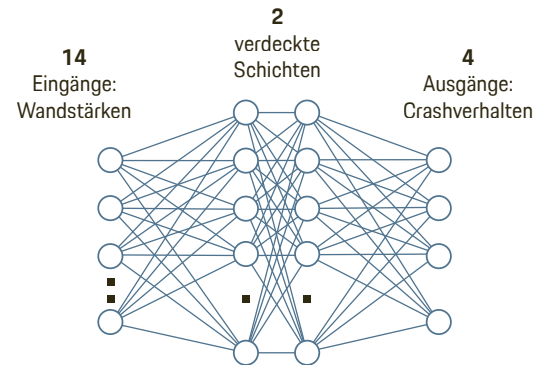
Erste Optimierung: Neuronales Netz ersetzt Simulation



Training des Neuronalen Netzes

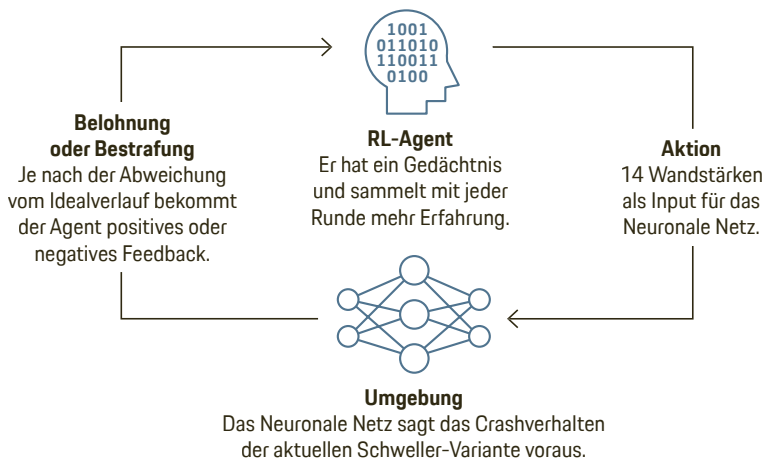
Ein **Neuronales Netz** (rechts) lernt mithilfe der **Trainingsdaten** (links), das Crashverhalten des Schwellers vorherzusagen – als Ersatz für eine Simulation. Es hat 14 Eingänge (Wandstärken) und vier Ausgänge: die Gesamtmasse sowie die Energie bei 40, 60 und 80 Millimetern Intrusion. Dazwischen sind zwei verdeckte Schichten. Insgesamt wurden 384 Gewichte trainiert. Das Crashverhalten jeder Schweller-Variante lässt sich mit dem Neuronalen Netz in **Sekunden** berechnen.

Aufbau des Neuronalen Netzes

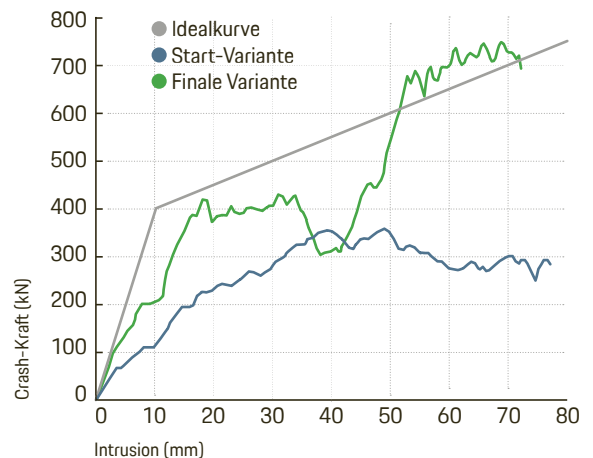


Zweite Optimierung: RL-Agent variiert die Wandstärken

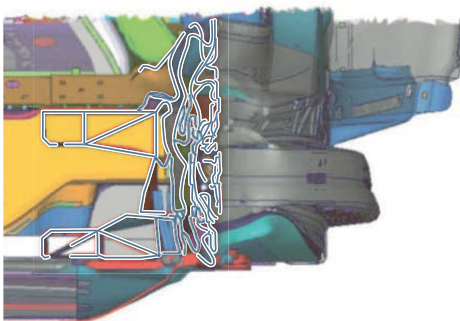
Optimierung der Wandstärken



Nahe am Idealverlauf



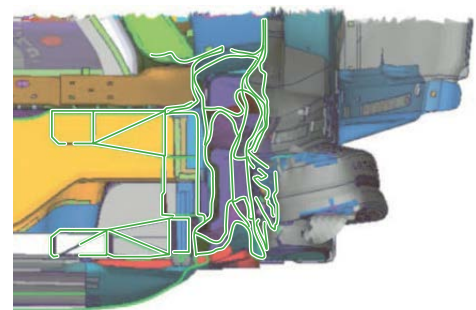
Ausgangspunkt der Optimierung



Aufgabe gelöst!

Ausgehend von der **Start-Variante** (Abbildung links, blaue Kurve oben) hat der RL-Agent nach Tausenden von Optimierungsschleifen einen Seitenschweller gefunden, der mit seinen 14 Wandstärken der grauen Idealkurve nahekommt (Abbildung rechts, grüne Kurve oben). Diese **finale Variante** zeigt beim seitlichen Crash ein gleichmäßiges Deformieren des Seitenschwellers von der Außen- zur Innenseite hin sowie über die Höhe des Bauteils.

Finale Variante nach der Optimierung



Hier zeigte sich auch die Stärke des Reinforcement Learning. „Wir haben lange darüber nachgedacht, welche KI-Methode für diese Aufgabe am besten funktionieren könnte“, berichtet Schaper. „Der Vorteil des Reinforcement Learning: Der Agent merkt sich die Historie seiner Versuche. Er weiß also, was bisher gut funktioniert hat und was nicht – eine wichtige Voraussetzung, um eine gute Strategie für die effiziente Optimierung des Seitenschwellers zu entwickeln.“ Sein Vertrauen in den RL-Ansatz erwies sich als gerechtfertigt: Nach mehreren Tausend Iterationen lieferten die beiden KI-Methoden eine Seitenschweller-Variante, die eine ausreichend gute Übereinstimmung mit der Idealkurve aufwies (siehe die Abbildung auf Seite 40). Das Ziel war erreicht – in einem Bruchteil der Zeit, die ein konventionelles Vorgehen erfordert hätte.

Lernen aus Erfahrung

Insgesamt benötigten die Entwickler etwa 23 Tage Rechenzeit, um ans Ziel zu kommen. Der bei Weitem größte Aufwand steckte in den 548 Crash-Simulationen, mit denen das Neuronale Netz trainiert beziehungsweise validiert wurde. Sie beruhten auf einem weiter vereinfachten FEM-Modell des Seitenschwellers, das aus nur noch rund 132.000 Elementen und 129.000 Knoten besteht. Pro Variante ließ sich jeder Crash damit in einer Stunde berechnen – auf einer normalen Workstation mit vier CPUs. „Hätten wir den optimalen Seitenschweller mithilfe klassischer Simulationen unter 548 Varianten gesucht, wäre ein Hochleistungscomputer 96 Tage beschäftigt gewesen“, so Pfahler. „Außerdem hätten wir möglicherweise die optimalen Wandstärken verfehlt, wenn wir im falschen Bereich des Parameterraumes nach ihnen gesucht hätten – was weitere aufwendige Simulationen nach sich gezogen hätte.“

Das Optimierungsprojekt startete Ende 2020 mit einer Analyse des aktuellen Stands der Technik. Bereits im ersten Quartal 2021 war der Trainings- und Validierungsdatensatz für das Neuronale Netz verfügbar, das im zweiten Quartal trainiert wurde. Parallel dazu entwickelten die KI-Experten von Porsche Engineering den RL-Agenten und ließen ihn schließlich die Seitenschweller-Optimierung durchführen. Derzeit arbeiten sie daran, das erfolgreiche Gespann aus den beiden KI-Verfahren für weitere Optimierungen einzusetzen. „Wir wollen zum Beispiel herausfinden, ob der vortrainierte RL-Agent für einen anderen Crash oder ein anderes Bauteil eine völlig neue Strategie entwickeln muss oder ob er die alte wiederverwenden kann“, sagt Pfahler.

Effizientere Umsetzung als Ziel

In Zukunft soll der RL-Agent eingesetzt werden, um Optimierungsmöglichkeiten bei Front- und Heckcrashes zu finden. Außerdem wollen Schaper, Pfahler



„Hätten wir mithilfe klassischer Simulationen gesucht, wäre ein Hochleistungscomputer rund 96 Tage beschäftigt gewesen.“

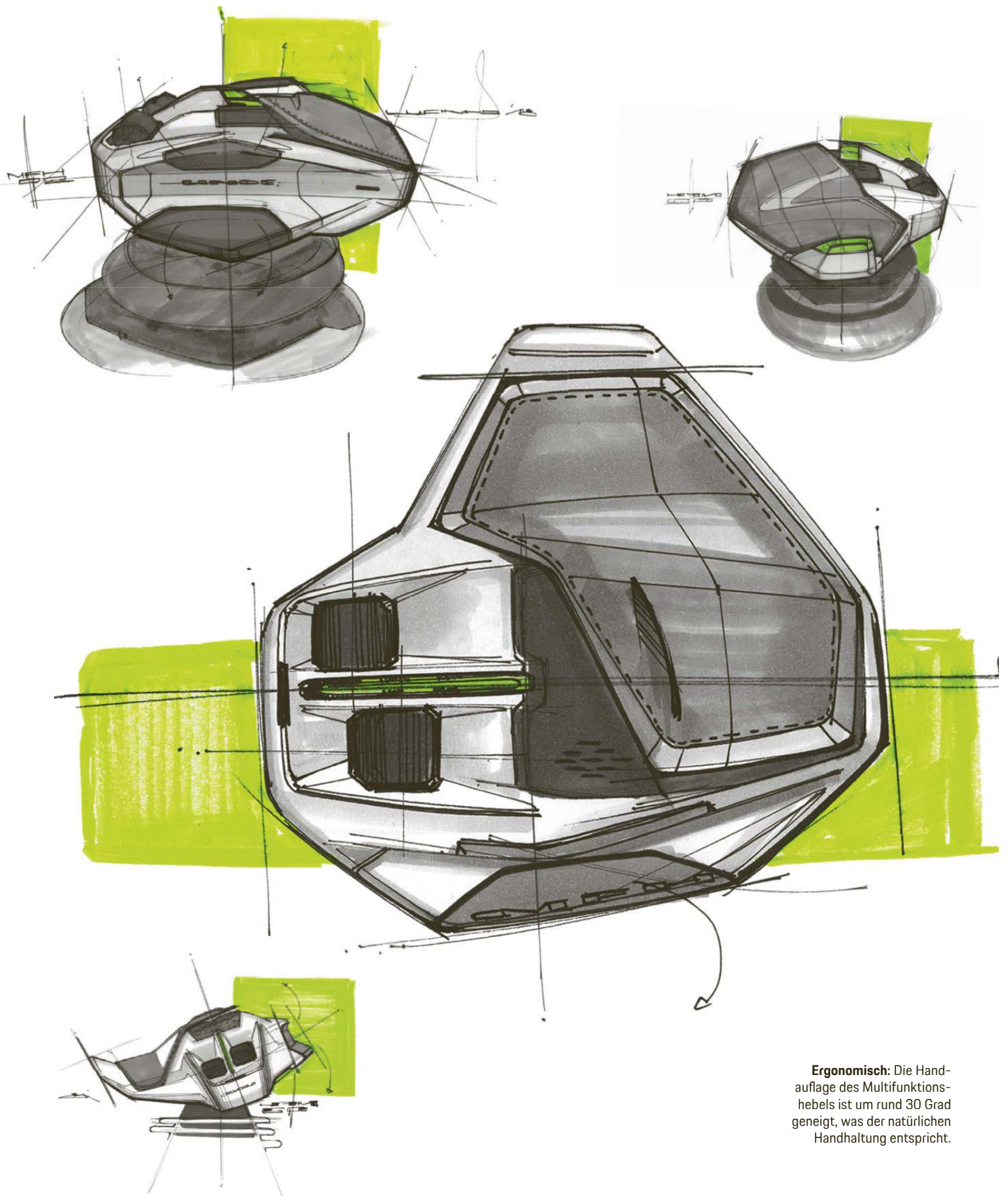
Johannes Pfahler,
Berechnungsingenieur bei Porsche Engineering

und ihre Kollegen untersuchen, wie sich das Verfahren noch effizienter umsetzen lässt. „Wir haben das Neuronale Netz für die Seitenschweller-Optimierung mit 300 Datensätzen trainiert, wodurch es sehr präzise Ergebnisse geliefert hat“, berichtet Schaper. „Das sind allerdings ungewöhnlich viele Daten – in der Regel stehen nur zehn bis 20 Simulationsergebnisse für das Training zur Verfügung.“ Nun geht es um Fragen wie: Kann das Neuronale Netz auch mit deutlich weniger Trainingsdaten noch genaue Aussagen über das Crashverhalten liefern? Wo ist der beste Kompromiss aus Trainingsaufwand und Präzision? Welche Fehlerrate des Neuronalen Netzes kann man tolerieren? „Sicher ist bereits jetzt, dass wir KI für die Optimierung von Komponenten nutzen können“, resümiert Pfahler. „Nun geht es darum, das Verfahren zu verbessern und in die Serienentwicklung zu integrieren.“

Dass die Kombination aus Reinforcement Learning und Neuronalen Netzen wichtige Impulse geben kann, haben die KI-Experten von Porsche Engineering bereits im Projekt PERL gelernt (Porsche Engineering Reinforcement Learning, siehe Ausgabe 1/2021): Mit RL war es ihnen gelungen, automatisch eine optimale Applikationsstrategie für Motoren zu finden, die sich universell für Modelle mit unterschiedlichen Bauformen und Hubräumen sowie mit verschiedenen Aufladesystemen einsetzen lässt. „Zwischen PERL und dem aktuellen Projekt gibt es viele Parallelen: In beiden Fällen geht es zum Beispiel darum, in einem großen Suchraum die optimale Konstellation zu finden“, erklärt Schaper. „Und es hat sich wieder gezeigt: Reinforcement Learning ist im KI-Bereich die Königsklasse für Optimierungsaufgaben.“

→ ZUSAMMENGEFASST

Durch die Kombination der beiden KI-Methoden Reinforcement Learning und Neuronales Netz konnte Porsche Engineering einen Seitenschweller ohne den Einsatz von Hochleistungsrechnern sehr effizient optimieren. Nun wird untersucht, wie sich das Verfahren selbst weiter verbessern lässt und in welchen anderen Bereichen es eingesetzt werden könnte.



Ergonomisch: Die Handauflage des Multifunktionshebels ist um rund 30 Grad geneigt, was der natürlichen Handhaltung entspricht.

Alles in einer Hand

Text: Jost Burger

Porsche Engineering hat für Linde Material Handling einen neuen Multifunktionshebel für Schubmaststapler gestaltet. Dabei entstand eine innovative Lösung, die Funktionalität und ergonomisches Design perfekt verbindet.

Man sieht sie in Baumärkten, zwischen Hochregalen im Großmarkt sowie in den Lagern großer Logistikunternehmen oder der Lebensmittelbranche: Schubmaststapler. Ihre Hauptaufgabe im Lager besteht in der Nachschubversorgung. Sie sind dafür ausgelegt, auf engem Raum zu manövrieren und dabei große Lasten weit über zehn Meter im Regal ein- und auszulagern. Möglich wird das durch ihre kompakte Bauweise. Anders als bei den Frontstaplern sitzt der Bediener beim Schubmaststapler quer zur Fahrtrichtung. Durch die kompakte Bauweise mit Schubmast kann das Fahrzeug selbst in circa drei Meter schmalen Gängen manövrieren.

Eine Aufgabe des Schubmaststaplers besteht beispielsweise darin, Paletten von einer oberen Regal-



Weit über
10 Meter

hoch kann ein
Schubmaststapler
schwere Lasten
auf engem
Raum heben.

ebene in eine untere umzulagern. Am Regalplatz angekommen, fährt der Fahrer den Mast nach oben aus und bewegt die Gabelzinken entlang der Lastarme zur gesuchten Palette. Um die Palette schnell und sicher auf- und absetzen zu können, lassen sich die Gabeln zudem nach hinten und vorne neigen sowie seitlich verschieben. Um schnell und sicher zu arbeiten, hat der Fahrer idealerweise die Ladung im Blick, ohne mehr Aufmerksamkeit als nötig auf die Bedienung des Schubmaststaplers zu verwenden.

Bedienen, ohne umzugreifen

Die Ergonomie der Fahrzeuge zu verbessern, ist deshalb ein fortwährendes Entwicklungsziel von Linde Material Handling (MH). Dies sollte bei den



Evolution der Ergonomie

Die Designer haben sich während des Projektes in mehreren Schritten dem fertigen Produkt angenähert.



1

Startpunkt: Dieses Modell aus dem 3D-Drucker zeigt die ungefähre Anordnung der Bedienelemente.



2

Neue Elemente: Die CAD-Grafik zeigt Winglet (links oben) und Rippe (Mitte).



3

Nahe an der Serie: In diesem 3D-Modell sind die Bedienelemente final angeordnet.

Schubmaststaplern der Baureihe Linde R10 bis R25 mit einer neuen Bedieneinheit zur Steuerung der Mastfunktionen erreicht werden. Als Partner für das Design des neuartigen Multifunktionshebels (Multifunctional Lever, MFL) holte sich der Warenumschlagspezialist Porsche Engineering ins Boot. „Wir wollten ein Bedienkonzept entwickeln, das alle Hydraulikfunktionen in einem Hebel vereint“, sagt Fabian Scherer, der für Linde MH als Produktmanager Schubmaststapler tätig ist. Zuvor gab es zwei beziehungsweise vier einzelne Hebel, je nachdem, welches Bedienkonzept der Fahrer präferiert. „Selbst wenn der Bediener mit den Hebeln vertraut ist, muss er beim Verladen doch immer wieder umgreifen“, erklärt Scherer. Das kostet Zeit und erfordert unter Umständen, den Blick kurz von der Last auf die Hebel zu richten. Genau das sollte der neue

MFL ändern. Die Idee dahinter: Mit geringem Kraftaufwand aus Handgelenk und Fingern lassen sich alle Fahr-, Schub- und Hubfunktionen intuitiv steuern, ein Auf- und Absetzen der Hand ist nicht mehr nötig. Das ermöglicht eine intuitive Bedienung und steigert die Produktivität.

Alternativen zur Einzelhebelsteuerung gab es bereits auf dem Markt. Sie funktionierten wie ein Joystick, den der Bediener mit der Faust umfasst: Heben und Senken sowie das Aus- und Einfahren der Gabel wird über Vorwärts- beziehungsweise Seitwärtsbewegungen des Joysticks gesteuert. Weitere Funktionen wie das Schrägstellen der Gabel sind über Knöpfe oder Schieber am Joystick erreichbar. Bei Linde MH wollte man ebenfalls das Grundprinzip des Joysticks nutzen, es aber noch verbessern. „Wir wollten eine Lösung, bei der die Hand aufliegt, statt den Joystick zu umgreifen. Das ist weniger ermüdend“, sagt Scherers Kollege Michael Pieritz, Entwicklungsingenieur für Reach Trucks im Unternehmen. „Unser Ziel war größtmögliche Ergonomie.“

„Kühlhaus und Handschuhe sind das eine Extrem, das andere ist die Hand einer zierlichen Frau.“

Stefan Stark,
Designer für Porsche Engineering



Die Hand findet ihren natürlichen Platz

Zugleich sollte die neue Lösung den Umstieg von anderen Bedienkonzepten möglichst leicht machen. „In der Branche hatte sich ein Quasi-Standard entwickelt, was die Anordnung der Bedienelemente angeht“, erklärt Pieritz. Darum führten die Entwickler bei Linde MH zunächst eine Analyse bestehender Bedienkonzepte durch. Außerdem produzierten sie mit einem 3D-Drucker einen ersten Prototyp, der die grundsätzliche Anordnung der Bedienelemente zeigte – einen Joystickaufsatz, der eher wie eine Computermaus aussieht, auf dem die gewölbte Hand bequem ihren natürlichen Platz findet, und leichtgängig nach allen vier Seiten beweglich ist. Der komplette Hebel wird vor- und zurückbewegt, um den Hubmast anzuheben beziehungsweise abzusenken. Mit Bewegungen nach links und rechts wird der Mastvorschub dirigiert.

Kippen und Seitwärtsbewegung der Gabel sollten mit Zeige- und Mittelfinger über zwei Schubregler kontrolliert werden. Aufgabe des Daumens sollte es sein, außer der Hupe auch die Vorwärts- und Rückwärtsfahrt des Fahrzeugs bei der Einpedal-Variante zu regeln.

Mit diesem Prototyp wandte sich Linde MH an das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO). Dessen Experten gaben in einer Studie vor allem die Empfehlung, die Handauflage des Multifunktionshebels in einem Winkel von rund 40 Grad zu kippen. Das entspricht der natürlichen Handhaltung – und wäre einzigartig auf dem Markt.

„Die Fahrer sind begeistert und loben insbesondere die Feinfühligkeit der Bedienung.“

Fabian Scherer, Produktmanager Schubmaststapler für Linde Material Handling



Ein Schubmaststapler
ist für
20.000
Betriebsstunden
ausgelegt.



Pro Stunde
werden im Schnitt

30

Palettenoperationen
ausgeführt.



Das entspricht etwa

600.000

Paletten über die
gesamte Lebensdauer des
Schubmaststaplers.



Der Multifunktionshebel
wird während seiner
Lebensdauer für circa

2,4 Millionen

Bedienungszyklen
genutzt.

NEUER MULTIFUNKTIONSHEBEL

Alle Funktionen mit einer Hand erreichbar



- 1 Last heben oder senken, Mast aus- oder einfahren:** Um eine Last zu heben, zieht der Fahrer den gesamten Multifunktionshebel zu sich. Zum Absenken wird er vom Fahrer weg gedrückt. Um den Mast auszuschieben, drückt der Fahrer den Multifunktionshebel nach rechts. Drückt er ihn nach links, fährt der Mast wieder ein, sodass der Schubmaststapler kürzer wird.
- 2 Last neigen:** Mit dem Drehrad kann der Fahrer die Last auf der Gabel zum Abladen nach vorne neigen. Dazu dreht der Zeigefinger das Bedienelement nach vorne. Dreht er es nach hinten, wird die Last nach der Aufnahme nach hinten gekippt. Durch einen Druck auf das Drehrad wird die Neigung der Gabel wieder auf null Grad zurückgesetzt.
- 3 Seitenschieber:** Dieses Drehrad wird mit dem Mittelfinger bedient. Dreht der Fahrer es nach vorne, verschiebt sich die Gabel um maximal acht Zentimeter nach links. Dreht er es nach hinten, verschiebt sich die Gabel um maximal acht Zentimeter nach rechts. Durch einen Druck auf das Drehrad bewegt sich die Gabel wieder in die mittlere Position.
- 4 Hupe:** Mit einem Druck des Daumens betätigt der Fahrer die Hupe.
- 5 Fahrtrichtung:** Ebenfalls mit dem Daumen kann der Fahrer wählen, ob er vorwärts (nach links wippen) oder rückwärts (nach rechts wippen) fahren möchte.

Innovativ: Die Staplergeneration 39X zeichnete sich unter anderem durch das tragende Fahrerschutzdach mit obenliegenden Neigezylindern aus.



40 Jahre Zusammenarbeit

Linde Material Handling und **Porsche Engineering** arbeiten bereits seit 40 Jahren zusammen, unter anderem im Rahmen des Produktdesigns der Linde-Flurförderzeuge. Das allererste Kooperationsprojekt war der Diesel-Gegengewichtstapler Linde H30 (BR 351): ein Designprojekt mit dem Ziel, die funktionalen, konstruktiven Besonderheiten des Staplers durch das äußere Erscheinungsbild sichtbar zu machen. Die Maxime „form follows function“ wurde seitdem bei vielen weiteren Fahrzeugentwicklungen umgesetzt und erhielt zahlreiche Preise – mehr als 25 Designauszeichnungen gab es seit Beginn der Zusammenarbeit. „Als Porsche Engineering vor 40 Jahren damit begann, Linde-Stapler zu designen, sahen diese noch deutlich anders aus. In der Zwischenzeit gab es neben einer progressiven Evolution auch größere Neuausrichtungen“, berichtet Wolfgang Rüber, Vertriebsleiter von Porsche Engineering. „Stilprägend war die Baureihe 39X aus dem Jahr 2001 – eine echte Designrevolution, die bis heute Wirkung zeigt. Wir berücksichtigen aber auch ganz bewusst die Linde Material Handling Heritage, um das gelernte Markenbild zu schärfen – genauso wie bei Porsche-Fahrzeugen.“

Dieser Prototyp war der Ausgangspunkt für die Arbeit von Manuel Aydt und Stefan Stark. Die beiden Designer sind schon seit vielen Jahren für Porsche Engineering tätig und wurden mit der Gestaltung des Multifunktionshebels beauftragt. Ihre Aufgabe war es, das neue Bedienkonzept mit dem Design der Linde-Schubmaststapler in Einklang zu bringen und zugleich die ergonomischen Anforderungen umzusetzen. Das betraf die Neigung, die wegen des verfügbaren Bauraums auf 30 Grad festgelegt wurde. Außerdem sollte der Multifunktionshebel für alle Handgrößen geeignet sein und selbst unter erschwerten Bedingungen zuverlässig funktionieren. „Die in die Handauflage integrierten Schalter mussten sich absolut sicher bedienen lassen. Die Hand durfte auch dann nicht abrutschen, wenn die Bediener im Kühlhaus unterwegs sind und Handschuhe tragen“, erinnert sich Aydt. Sein Kollege Stark ergänzt: „Kühlhaus und Handschuhe sind das eine Extrem, das andere ist die Hand einer zierlichen Frau.“

Rippe und Winglet für bessere Ergonomie

Entscheidend für die Lösung der Aufgabe waren zwei Ideen der Designer. Eine Rippe zwischen Zeige- und Mittelfinger hilft bei der Orientierung auf dem Multifunktionshebel. Zudem sorgt sie dafür, dass die Hand immer richtig positioniert ist, selbst in dicken Handschuhen und unabhängig von ihrer Größe. Zum anderen fügten die Designer auf der rechten Seite des Multifunktionshebels einen Flügel hinzu. Dieses „Winglet“ verhindert, dass die Hand aufgrund der geneigten Stellung des Hebels abrutscht. Und es verleiht dem Multifunktionshebel ein wenig das Aussehen eines Mantarochens. „Wir haben sogar mit der Idee gespielt, ihn Manta zu nennen“, erinnert sich Pieritz. Auf jeden Fall folgt er damit anderen Komponenten der Linde-Stapler, deren Designsprache ebenfalls von Porsche Engineering entwickelt wurde – etwa der „Shark Fin“, einem seitlichen Gestaltungselement.

In mehreren Stufen – Handzeichnungen, 3D-Entwürfe am Computer und Prototypen aus dem 3D-Drucker – näherten sich die Designer dem fertigen Produkt. Linde MH testete die Prototypen während des Prozesses immer wieder direkt an den Fahrzeugen. „Dabei ging es zunächst darum, die richtige Größe zu finden, damit sich der Multifunktionshebel im verfügbaren Bauraum gut bewegen lässt“, erinnert sich Aydt. Im zweiten Schritt wurden dann fortgeschrittene Prototypen getestet, die bereits die Bedienelemente für die einzelnen Funktionen enthielten.

Nach einem halben Jahr war der Multifunktionshebel schließlich reif für die Serie. „Wir waren sehr zufrieden, als wir das Endprodukt in der Hand hielten“, sagt Stark. Und sein Kollege Aydt ergänzt: „Mit der Rippe und dem Winglet heben wir uns klar von den Mitbewerbern ab.“ Auch ein weiteres Ergebnis macht die Designer stolz: „Der Multifunktionshebel wurde am Ende unserer



„Der Multifunktionshebel wurde am Ende unserer kreativen Arbeit genauso in die Serienproduktion umgesetzt.“

Manuel Aydt,
Designer für Porsche Engineering

kreativen Arbeit genauso in die Serienproduktion umgesetzt“, sagt Aydt. Mit ihrer Expertise gelang den Designern die angestrebte Verbindung von Gestaltung und Funktionalität.

Die Fahrer sind begeistert

Auch bei Linde MH ist man mit dem Ergebnis der Zusammenarbeit zufrieden. „Wir arbeiten schon seit 40 Jahren mit Porsche Engineering zusammen“, sagt Produktmanager Scherer. „Es besteht ein hohes Verständnis für die jeweilige Arbeitsweise.“

Es folgten verschiedene Tests – unter anderem bei Kunden und Händlern – sowie die anschließende Integration in die Serienfertigung. Ende 2020 kamen die Schubmaststapler mit dem neuen Multifunktionshebel auf den Markt. „Die Fahrer sind begeistert und loben insbesondere die Feinfühligkeit der Bedienung“, so Scherer. „Dieses Kundenurteil ist für uns alle die größte Anerkennung.“

➔ ZUSAMMENGEFASST

Bisher wurden die Schubmaststapler von Linde Material Handling mit zwei beziehungsweise vier einzelnen Hebeln bedient. Gemeinsam mit Porsche Engineering hat das Unternehmen einen neuen Multifunktionshebel entwickelt, der alle Funktionen mit nur einer Hand zugänglich macht. So muss der Fahrer nicht umgreifen und hat immer die Ladung im Blick.

Gentleman auf Rekordjagd

Text: Mirko Heinemann

Mit seinem elektrisch angetriebenen „Blizz Primatist“ hat der italienische Unternehmer Gianmaria Aghem auf dem Rundkurs des Nardò Technical Center sieben Weltrekorde aufgestellt und damit das Potenzial der E-Mobilität eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Auf den achten Rekord verzichtete er aus Respekt vor seinem großen Vorbild: dem „Z.E.R.“ von Bertone.



Schnell wie der Blizz: Das elektrisch angetriebene Fahrzeug erreicht dank 147 kW Leistung mehr als 300 km/h.

Mehr als 400 Oldtimer-Rallyes ist Gianmaria Aghem in seinem Leben schon gefahren, viele davon hat er gewonnen. Sein Wagen: ein Lancia Fulvia Coupé aus dem Jahr 1965. „Ich liebe das klassische Design, die rustikale Technik und den Klang des Motors“, schwärmt der 74-jährige Unternehmer aus Turin. Über 70 Pokale stehen in seinem Wohnzimmer.

Zu seinen vielen Auszeichnungen ist nun eine weitere Höchstleistung hinzugekommen, die man von einem Oldtimer-Fan wie Aghem eher nicht erwartet hätte: Im Frühjahr 2021 stellte er auf dem Gelände des Nardò Technical Center (NTC) in Süditalien sieben Weltrekorde auf – mit dem topmodernen elektrischen Einsitzer Blizz Primatist, an dessen Entwicklung er maßgeblich beteiligt war und der kaum etwas mit seinem Lancia Fulvia Coupé gemeinsam hat. Denn einen chromblitzenden Kühlergrill findet man dort ebenso wenig wie Rallye-Scheinwerfer oder klassisch geschwungene Formen. Stattdessen erinnert das vier Meter lange und einen Meter breite Fahrzeug mit Heckflosse eher an einen Torpedo. Beim Beschleunigen hört man keinen satten Vierzylinder, sondern nur das leise Summen des E-Antriebs.

Der Name „Blizz Primatist“ verweist einerseits auf Aghems Unternehmen Blizz Timing, das er vor einigen Jahren gegründet hat und das hochwertige Chronometer für den Rallyesport herstellt. Der Zweitname „Primatist“ unterstreicht andererseits den Anspruch des Fahrzeugs, stets als Erster durchs Ziel zu gehen. Vorbild war der legendäre Z.E.R. (Zero Emission



„Ich wollte zeigen, dass ein batteriebetriebenes Auto lange Strecken mit einer hohen Geschwindigkeit zurücklegen kann. Das habe ich erreicht.“

Gianmaria Aghem, Unternehmer und Rekordfahrer

Record), den die italienische Designschmiede Bertone 1994 präsentiert hatte. Das E-Fahrzeug mit dem sensationellen c_w -Wert von 0,11 war eine futuristische Neuinterpretation des Abarth 750 Record, einem ebenfalls von Bertone gebauten Rennwagen aus den 1950er-Jahren.

Sofort vom Z.E.R. beeindruckt

Wie dieser war auch der Z.E.R. ausschließlich dafür entwickelt worden, Höchstleistungen zu erbringen. Und das tat er: Das E-Fahrzeug stellte zwei Weltrekorde auf. Einen erzielte er 1994, indem er in einer Stunde eine Entfernung von 199,881 km zurücklegte. Im folgenden Jahr stellte er einen neuen Höchstgeschwindigkeitsrekord für elektrisch betriebene Fahrzeuge auf: 303,977 km/h.

Gianmaria Aghem sah den Z.E.R. zum ersten Mal 1996 auf der Messe AutoClassica in Mailand. Sofort war er von seinem Konzept beeindruckt. Für Aghem war der Z.E.R. mehr als nur ein Bertone-Klassiker. Er repräsen-



Historisches Vorbild:

Der Z.E.R. von Bertone aus dem Jahr 1994 hatte einen sensationell geringen Luftwiderstand und stellte auf dem NTC-Rundkurs zwei Weltrekorde auf.



Auf Rekordfahrt: Der Blizz Primatist war auf der NTC-Rundstrecke mit Geschwindigkeiten zwischen 200 und 250 km/h unterwegs. Nächstes Jahr sollen weitere Rekorde folgen.

tierte mit seiner neuen Antriebstechnik für ihn einen Vorstoß in unbekanntes Terrain. Und genau das war es, was der Turiner Autofan rund ein Vierteljahrhundert später auch wollte: den Z.E.R. fahren, ihn verbessern und damit neue Rekorde erzielen. Nur leider war der Wagen nicht verfügbar. Nach der Insolvenz von Bertone kaufte der italienische Oldtimerclub ASI (Automotoclub Storico Italiano) die gesamte Sammlung des Bertone-Museums. Jetzt werden die Fahrzeuge – auch der Z.E.R. – in Volandia ausgestellt, einem Museum in der Nähe des Flughafens Mailand Malpensa.

Darum beschloss Aghem, ein eigenes Fahrzeug zu konstruieren. Das nötige Wissen brachte er mit, denn der Unternehmer hat sich im Lauf der Jahre eine fundierte Expertise im Automobilbau zugelegt. „Wenn Ingenieure nicht weiterwissen, rufen sie hier an und fragen ihn“, erzählt seine Frau Rossella Conti. Außerdem gewann Aghem für sein Projekt den Ingenieur Eugenio Pagliano,



Sieben auf einen Streich: Gianmaria Aghem nach seiner Rekordfahrt im Frühjahr 2021. Auf der Tafel im NTC stehen noch beide Z.E.R.-Rekorde. Einen davon hält nun der Blizz Primatist.



„Grenzen der automobilen Zukunft zu erproben, ist Teil unserer DNA – sei es über die Absicherung der Fahrzeuge von morgen oder über einzigartige Rekordversuche.“

Antonio Gratis, Geschäftsführer des NTC

der den Z.E.R. entwickelt hatte und nun gemeinsam mit ihm den inoffiziellen Nachfolger aus der Taufe heben sollte. Als bloß verbesserte Kopie des Z.E.R. war der Blizz Primatist allerdings nie gedacht. „Wir haben alle Komponenten von Grund auf neu entwickelt“, betont Aghem.

So sind die Leistungsfähigkeit des E-Motors und die Effizienz der Akkuzellen auf dem neuesten Stand der Technik. Der Energiespeicher des Blizz Primatist besteht aus 2.688 Lithium-Ionen-Zellen, die insgesamt 34 kWh Energie liefern. Für den elektrischen Antrieb sorgt eine 20 kg leichte Drehstrom-Asynchronmaschine aus der Schweiz, die eine Spitzenleistung von mehr als 147 kW abgeben kann und eine Höchstgeschwindigkeit von mehr als 300 km/h ermöglicht. Das Energiemanagement übernimmt ein komplexer Algorithmus, der zu einer vorgegebenen Strecke oder Zeit die maximale Geschwindigkeit ermittelt. Alle Informationen laufen im Cockpit mit seinen Digitalanzeigen und schwarzgrauen LCD-Displays zusammen, das fast genauso spartanisch ist wie in der Formel 1. Gelenkt wird das E-Fahrzeug mit einem Steuerhorn, ähnlich wie im Flugzeug.

Design-Optimierung im Windkanal

Eines wollten die Ingenieure um Aghem allerdings unbedingt vom Z.E.R. übernehmen: den niedrigen c_w -Wert von 0,11. Dafür haben die Designer und Konstrukteure von Podium Engineering aus dem Aostatal den Luftwiderstand des Blizz Primatist am Computer



Die sieben Weltrekorde des Blizz Primatist

**Kategorie A Gruppe VIII,
Klasse 1: bis 500 kg
(Blizz Primatist: 499 kg)**

Zehn Meilen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von

210,741
km/h

100 km mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von

229,715
km/h

100 Meilen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von

231,188
km/h

Zeitfahren eine Stunde:

225,184
km

optimiert und im Windkanal des Polytechnikums Turin gemessen. Zu seiner hohen Reichweite trägt auch die moderne Kohlefaser-Leichtbauweise bei, für die das Unternehmen Carbonteam aus Saluzzo im Piemont verantwortlich war. Am Ende blieben die Ingenieure mit dem extrem niedrigen Fahrzeuggewicht von 499 kg unter der vorgegebenen Grenze von 500 kg. So sollte es möglich sein, in zwei unterschiedlichen Klassen anzutreten: E-Fahrzeuge bis 500 kg Gewicht und – mit einigen kg Ballast – E-Fahrzeuge von 500 bis 1.000 kg Gewicht. Hier war auch der mit Bleiakku ausgerüstete, 890 kg schwere Z.E.R. angetreten.

Seine beiden Weltrekorde hatte der Z.E.R. auf dem Rundkurs des NTC in Apulien erzielt. So lag es nahe, auch den Nachfolger auf dieser Strecke antreten zu lassen. Antonio Gratis, Geschäftsführer des NTC, erinnert sich noch genau an den Anruf von Gianmaria Aghem: „Als ich gefragt wurde, ob ich mir vorstellen könne, die Strecke für die Rekordfahrten zu öffnen, musste ich nicht lange überlegen. Grenzen der automobilen Zukunft zu erproben, ist Teil unserer DNA – sei es über die Absicherung der Fahrzeuge von morgen oder über einzigartige Rekordversuche. Auf unserer Rundstrecke wurde Automobilgeschichte geschrieben. Was wäre das Nardò Technical Center ohne Rekorde?“

Neuer Streckenrekord über eine Stunde

Nachdem der internationale Automobilverband FIA (Fédération Internationale de l'Automobile) die Rennstrecke überprüft und zertifiziert hatte, war es am 30. April 2021 so weit. Ein Zugwagen schleppte den Blizz Primatist auf die Startposition der 12,6 km langen Hochgeschwindigkeits-Rundstrecke des NTC. Auf einer Anzeigentafel wurde der Countdown heruntergezählt, und bei null setzte sich der schwarze Torpedo mit der aufgemalten italienischen Trikolore fast geräuschlos in Bewegung. Der Blizz Primatist startete zur Rekordjagd. Am Steuer: Gianmaria Aghem.

An diesem und dem folgenden Tag rauschte er mit konstanten Geschwindigkeiten zwischen 200 und 250 km/h über die Bahn und stellte dabei sieben Rekorde in zwei Fahrzeugklassen auf. Am 30. April legte er die Strecken über zehn Meilen, 100 km und 100 Meilen mit der höchsten Durchschnittsgeschwindigkeit zurück, die E-Fahrzeuge mit einem Gewicht bis 500 kg bis dato erreicht hatten. Außerdem überbot Aghem den Streckenrekord über eine Stunde, indem er 225,184 km weit fuhr. Am Ende des Tages hatte der Akku noch eine Ladung von vier Prozent. Dank des intelligenten Energiemanagements hatte Aghem die verfügbare Energie optimal genutzt.

Über Nacht wurde der Akku erneut geladen, und am 1. Mai folgten die drei Rekorde im Zeitfahren über zehn Meilen, 100 km und 100 Meilen in der Klasse E-Fahrzeuge 500 bis 1.000 kg. Zertifiziert wurden sie

vom internationalen Automobilverband FIA, dessen Experten gemeinsam mit Vertretern des italienischen Automobilclubs ACI (Automobile Club d'Italia) angereist waren. Hätte er sich mehr Zeit genommen und den Akku nachgeladen, hätte Aghem noch höhere Geschwindigkeiten erzielen können. „Darum ging es mir aber nicht“, sagt er. „Ich wollte zeigen, dass ein batteriebetriebenes Auto lange Strecken mit einer hohen Geschwindigkeit zurücklegen kann. Das habe ich erreicht.“ Nun hofft er, dass sein Fahrzeug den Automobilherstellern als Vorbild dient und sie anspornen wird. „Diese Leistung war noch vor einigen Jahren unvorstellbar“, so Aghem. Und schon im kommenden Jahr will er sie weiter steigern: Aghem hat angekündigt, dass er im Mai 2022 mit dem Blizz Primatist nach Nardò reisen und weitere Rekorde brechen möchte.

Auch Antonio Gratis ist beeindruckt: „Die Rekorde von Gianmaria Aghem belegen den großen Fortschritt bei den E-Antrieben. Im Vergleich zum Z.E.R. verfügt der



**Kategorie A Gruppe VIII,
Klasse 2: von 500 bis
1.000 kg (Blizz Primatist:
507 kg mit Ballast)**

Zehn Meilen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von

227,492

km/h



100 km mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von

243,133

km/h



100 Meilen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von

242,859

km/h



Nicht gebrochen: Zeitfahren
eine Stunde.

Z.E.R.-Rekord: **199,881 km**

Blizz Primatist über eine weitaus höhere Reichweite und repräsentiert damit einen gewaltigen technischen Sprung. Ich bin mir sicher: Die Öffentlichkeit wird schon bald weitere faszinierende Rekorde in der Klasse der E-Fahrzeuge erleben. Und ich bin sicher, dass das NTC dabei eine wichtige Rolle als der Ort großer Erfolge spielen wird.“

Den achten Rekordversuch hat Gianmaria Aghem ausgelassen: das Zeitfahren über eine Stunde für E-Fahrzeuge bis 1.000 kg Gewicht. Diesen Rekord hält dadurch bis heute der Z.E.R. mit 199,881 km zurückgelegter Strecke. „Ich hätte das überbieten können, wenn ich am zweiten Tag in den anderen drei Kategorien langsamer gefahren wäre“, so Aghem. „Aber ich entschied mich dafür, diesen Rekord des Z.E.R. nicht zu brechen. Das gebot der Respekt vor dieser Legende.“ Seine Frau bringt es auf den Punkt: „Hören Sie? Mein Mann ist eben kein kaltblütiger Rekordjäger. Er ist ein Gentleman.“



→ ZUSAMMENGEFASST

Mit seinen sieben Rekorde vom Frühjahr 2021 hat der italienische Unternehmer Gianmaria Aghem bewiesen, dass rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge lange Strecken bei hohen Geschwindigkeiten zurücklegen können. Möglich wurde diese Leistung durch einen effizienten E-Antrieb, modernste Akkuzellen und den geringen Luftwiderstand des Blizz Primatist.





Elektrische Performance: Der Mission R erreicht das Leistungsniveau des 911 GT3 Cup.

Mission Zukunft

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

Auf der IAA MOBILITY 2021 hat Porsche seine Vision eines rein-elektrischen Fahrzeugs für den Kunden-Motorsport vorgestellt. Die Konzeptstudie Mission R vereint modernste Technologien und nachhaltige Werkstoffe wie Naturfaser-verstärkte Kunststoffe mit der Leidenschaft für den Rennsport. Sie ist ein weiterer logischer Schritt in eine nachhaltig ausgerichtete Motorsport-Zukunft.

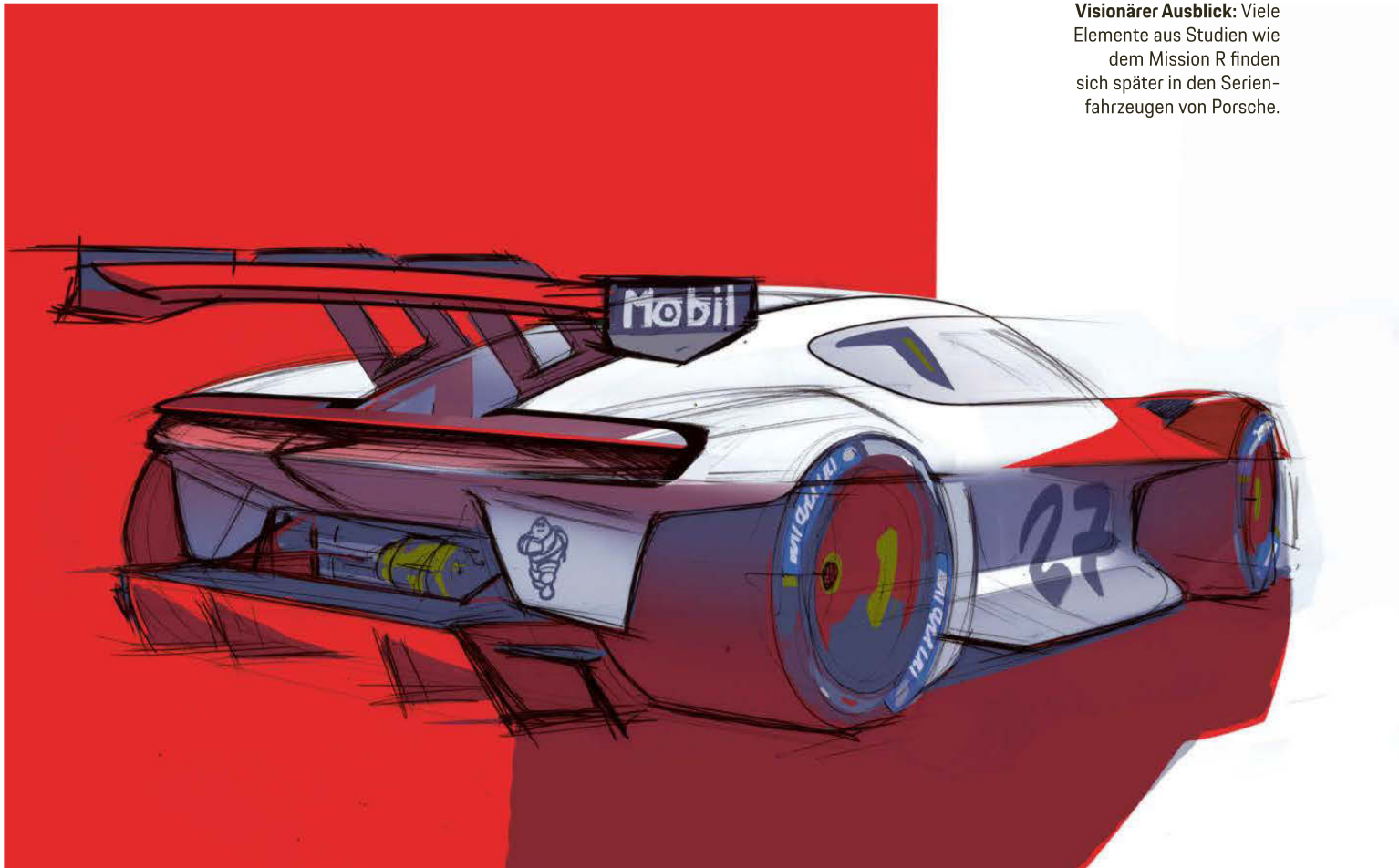


Porsche ist die erfolgreichste Marke im Kunden-Motorsport: 30 Markenpokale weltweit mit rund 500 Teilnehmern und mehr als 4.400 produzierte Cup-Fahrzeuge auf 911-Basis sprechen für sich. Erst zur diesjährigen Motorsport-Saison kam die jüngste Version des Porsche 911 GT3 Cup auf den Markt – und nun gibt der Porsche Mission R einen Ausblick darauf, wie die Zukunft der Markenpokale mit rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen aussehen könnte.

Der elektrisch angetriebene Mission R erreicht das Performance-Niveau des Porsche 911 GT3 Cup. An seiner Vorderachse arbeitet eine E-Maschine mit bis zu 320 kW (435 PS), am Heck sind es sogar maximal 480 kW (653 PS). Im Qualifikations-Modus kommt der Allradler so auf eine Peak-Systemleistung von über 800 kW (1.088 PS). Seine Dauer-Systemleistung im Renn-Modus beträgt 500 kW (680 PS). Dank seines starken Antriebs beschleunigt der rund 1.500 kg leichte Elektro-Rennwagen in weniger als 2,5 Sekunden von 0 auf 100 km/h. Die Höchstgeschwindigkeit des Mission R liegt bei über 300 km/h.

„Unbeschreiblich, diese unmittelbare Kraft der beiden E-Maschinen muss man einfach selbst erleben“, sagt Timo Bernhard über den Antrieb des Mission R. Der Porsche-Markenbotschafter und ehemalige Werksfahrer kennt die technische Basis der Konzeptstudie und war mit dem Technologieträger bereits als Testfahrer auf der Rennstrecke unterwegs. „Einen

Visionärer Ausblick: Viele Elemente aus Studien wie dem Mission R finden sich später in den Serienfahrzeugen von Porsche.



„Einen so gewaltigen Anschub habe ich bisher allenfalls im Le-Mans-Siegerauto Porsche 919 Hybrid erlebt.“

Timo Bernhard, Porsche-Markenbotschafter

Viel Leistung auf wenig Raum: Der Mission R fällt durch seine extreme Kompaktheit auf. Oben an der Dachkante sitzen Kameras als Spiegel-Ersatz.



so gewaltigen Anschlag habe ich bisher allenfalls im Le-Mans-Siegerauto Porsche 919 Hybrid erlebt.“

Elektromotoren mit Öldirektkühlung

Die Leistung des Mission R bleibt über die gesamte Renndauer konstant, es findet also kein thermisch bedingtes Derating statt – ein großer Vorteil der von Porsche entwickelten Elektromotoren mit Öldirektkühlung. Sie geben einen Ausblick auf die nächste Generation von extrem leistungsstarken und hocheffizienten E-Maschinen, an denen Porsche seit 2018 arbeitet.

Die wichtigste Innovation dieser permanentenregten Synchronmaschinen (PSM) ist die Öldirektkühlung des Stators, die eine sehr hohe Peak- und Dauerleistung sowie eine sehr hohe Effizienz ermöglicht. Während bei konventionellen elektrischen Maschinen die Kühlflüssigkeit durch einen Mantel außerhalb des Stators strömt, fließt hier das Öl direkt an den Kupferwicklungen entlang. So führt es mehr Wärme unmittelbar an der Quelle ab. Zudem konnten dadurch die Nuten im Stator kleiner dimensioniert werden, was zu einem besseren Wirkungsgrad in Realfahrzyklen führt.

Wie bei den E-Maschinen des Taycan trägt die sogenannte Hairpin-Wicklung auch beim Mission R zu einer hohen Leistung und einem hohen Drehmoment bei gleichzeitig kompakten Abmessungen bei. Sie besteht aus rechteckigen Drähten, die gebogen und dann in das Blechpaket des Stators eingeführt werden. Ihre Form erinnert an Haarnadeln, daher der Name „Hairpins“. Die offenen Enden werden per Laserstrahl zusammengeschweißt. Optimiert wurden auch Form und Position der Magnete im Rotor. Die neue Geometrie kombiniert ausgezeichnete elektromagnetische Eigenschaften mit einer hohen mechanischen Festigkeit bei sehr hohen Drehzahlen.

Die Batterie des Mission R sitzt hinter dem Fahrer und hat eine Gesamtkapazität von 82 kWh. Damit ist sie für eine Renndistanz im Sprint-Format von 25 bis 40 Minuten ausgelegt. Um eine hohe Leistungsdichte zu erreichen, kommen High-End-Zellen zum Einsatz. Große thermische Vorteile bietet auch hier die Öldirektkühlung: Weil sie die gesamte Oberfläche der Zellen ausnutzt, kann ein großer Wärmestrom aus der Batterie ins Kühlsystem transportiert werden.

Der Porsche Taycan war das erste Serienfahrzeug, das mit einer 800-Volt-Systemspannung angetreten ist – anstatt der bei Elektrofahrzeugen üblichen 400 Volt. Beim Mission R legt Porsche die Messlatte noch ein Stück höher. Seine 900-Volt-Technologie ermöglicht weitere Verbesserungen bei Dauerleistung, Gewicht und Ladedauer. So lässt sich der Rennwagen an Gleichstrom-Schnellladestationen in rund 15 Minuten von fünf auf 80 Prozent SoC (State of Charge/Ladezustand) aufladen. Die maximale Ladeleistung beträgt 350 kW.

Das Hochvolt-Sicherheitskonzept des Mission R entspricht dem hohen Standard der Serienfahrzeuge von Porsche. Dazu gehört, dass im Crash-Fall die Batterieverbinding zum Fahrzeug und die Hochvolt-verbraucher automatisch abgetrennt werden, sodass keine Spannung mehr anliegt. Beim Mission R kommt ein besonderes Anzeigesystem für die Boxen-Crew hinzu: Spezielle LEDs hinter der Frontscheibe und auf dem Dach geben schnell und eindeutig Aufschluss über den Betriebszustand der Hochvoltanlage: Leuchten sie grün, ist der Mission R Hochvolt-sicher. Sind die LEDs hingegen rot, sollte nur Hochvolt-geschultes Personal ans Fahrzeug. Auch im Dachmodul hinter dem Staudruckrohr für die Geschwindigkeitsmessung sitzt eine Leuchte, die zu diesem Farbleitsystem gehört.

Kompaktes Design, geringer Luftwiderstand

Der Porsche Mission R trägt das typische Rennsport-Design der Marke und ist gleichzeitig zukunftsweisend. Beim Blick von außen fällt zuerst die extreme Kompaktheit des Rennwagens auf: Er misst 4.326 Millimeter in der Länge und 1.990 Millimeter in der Breite. Der Radstand beträgt 2.560 Millimetern. Rennwagentypisch liegt der Elektro-Bolide mit einer Höhe von 1.190 Millimetern sehr flach auf der Straße. Die eng geschnittene Kabine verringert die Stirnfläche des Mission R und trägt über einen geringeren Luftwiderstand zur herausragenden E-Performance bei. Oben an der Dachkante sitzen Kameras als digitaler Ersatz für klassische Außenspiegel.

Die Fronthaube fällt, typisch Porsche, zwischen den beiden stark gewölbten Kotflügeln ab. Die großen seitlichen Lufteinlässe mit jeweils drei Lamellen,



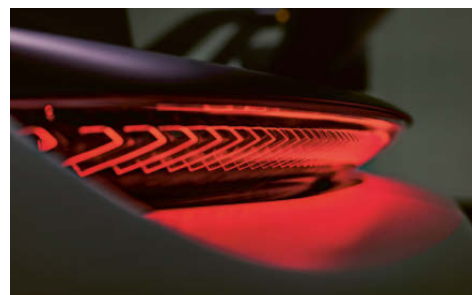
30 Minuten

beträgt die typische Renndauer, für die die Batterie des Mission R ausgelegt ist.



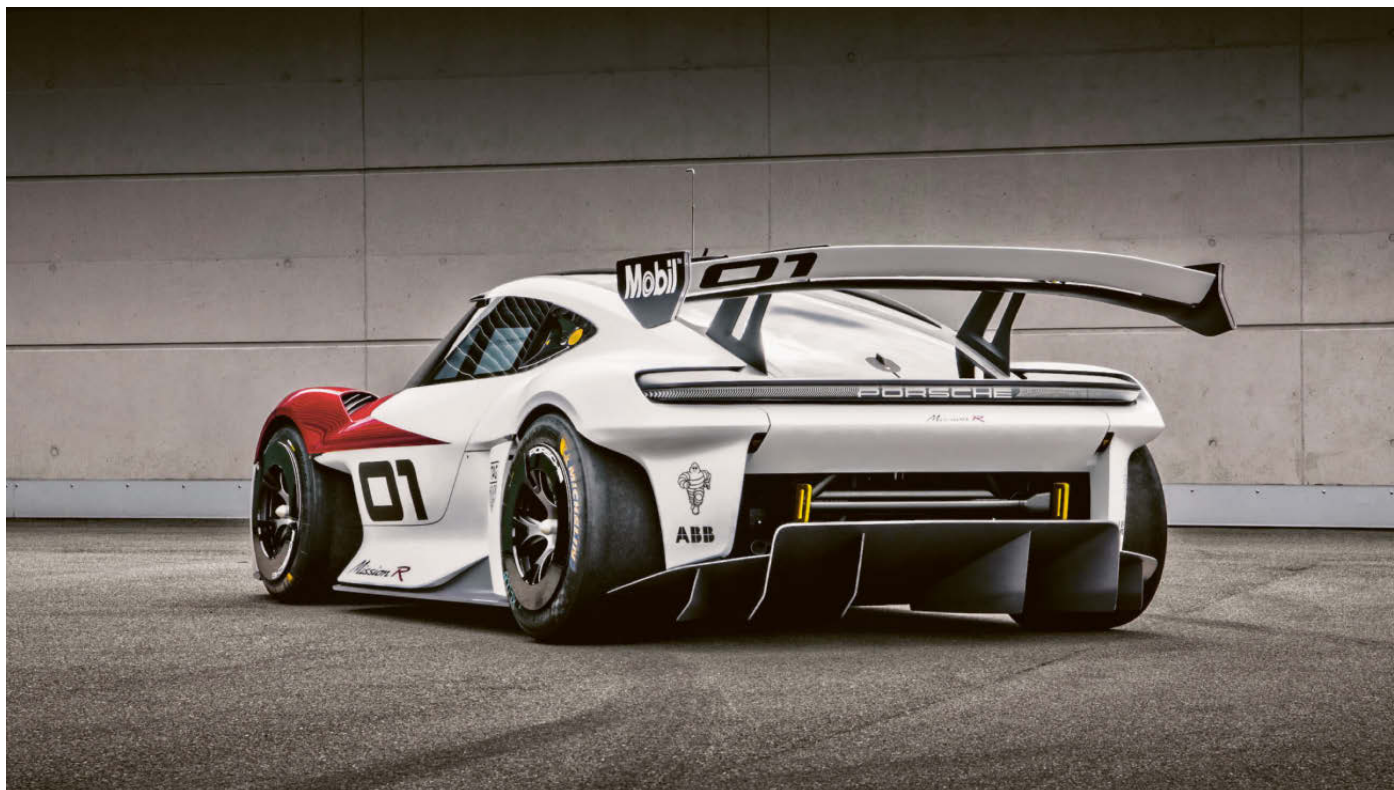
50 %

der Energie lassen sich während des Rennens über Rekuperation zurückgewinnen, je nach Rennstrecke sogar mehr.



Markant: Flache LED-Scheinwerfer dominieren den Bug. Im Heck findet sich das für Porsche typische Leuchtenband.

Der Mission R auf einen Blick



Systemleistung

680 PS

Renn-Modus

1.088 PS

Qualifikations-Modus

Geschwindigkeit und Beschleunigung

> 300 km/h

Höchstgeschwindigkeit

< 2,5 Sekunden

von 0 auf 100 km/h

Hochvoltssystem

Systemspannung

900 Volt

Batteriekapazität

82 kWh

Abmessungen

L

4.326 Millimeter

Länge

B

1.990 Millimeter

Breite

H

1.190 Millimeter

Höhe

R

2.560 Millimeter

Radstand



An Gleichstrom-Schnellladestationen lässt sich der Mission R in rund **15 Minuten** von fünf auf **80 Prozent** SoC (State of Charge/Ladezustand) aufladen.

Die maximale Ladeleistung beträgt **350 kW**. Der Ladeanschluss für die Batterie sitzt in der Mitte der Heckscheibe hinter einer Klappe.

Gewicht

1.500 kg

der Frontsplitter mit Sicht-Naturfasermix sowie die flachen LED-Scheinwerfer dominieren den Bug. Das Vierpunkt-Lichtsignal knüpft an die Gestaltung der Scheinwerfer des Elektro-Sportwagens Porsche Taycan an. Die Heckansicht wird von den Aerodynamik-Komponenten Diffusor und Flügel geprägt. Der zweiteilige Heckflügel besteht aus Carbon. In das Profil seiner Seitenplatten haben die Designer die Brems- und Regenlichter integriert – so sind sie selbst bei Gischt gut von nachfolgenden Fahrern zu erkennen. Im Heck findet sich das für Porsche typische Leuchtenband. Es besteht aus einer Vielzahl von vertikalen Elementen, rechts und links neben dem ebenfalls leuchtenden Schriftzug. Der Ladeanschluss für die Batterie sitzt in der Mitte der Heckscheibe hinter einer Klappe.

Neben dem batterieelektrischen Antriebskonzept trägt auch die Karosserie des Mission R zur CO₂-Reduzierung und Nachhaltigkeit bei: Sie besteht zu großen Teilen aus Naturfaser-verstärktem Kunststoff (NFK). Die Grundlage liefern Flachfasern aus der Landwirtschaft. Dieser ökologische Werkstoff findet auch für den Frontsplitter, den Diffusor und die Seitenschweller Verwendung. Im Interieur des Mission R kommt NFK ebenfalls großflächig zum Einsatz, zum Beispiel für die Türinnenschalen, die hintere Schottwand und den Sitz.

Livestreams aus dem Cockpit

Das Design des Innenraums rückt in allen Bereichen den Fahrer in den Mittelpunkt. Ein ergonomisch platziertes Display zwischen den Lenkhörnern zeigt während des Rennbetriebs relevante Daten an. Der Monitor oberhalb der Lenksäule bildet die Aufnahmen der seitlichen Spiegel- und der zentralen Heckkamera ab. Über ein Touchdisplay rechts vom Sitz lassen sich unter anderem biometrische Daten des Fahrers abrufen. Zwei Kameras am Dachrahmen sowie auf einer Laufschiene oben auf der Beifahrerseite verfolgen während des Rennens in Echtzeit das Geschehen im Innenraum. Die bewegten Bilder lassen sich mithilfe eines Livestream-Buttons direkt zur Community übermitteln. Die Fans können wiederum direkt mit dem Fahrer kommunizieren, indem sie ihm beispielsweise Likes schicken.

Der Vollschalensitz bietet ein hohes Schutzniveau für den Fahrer. Zugleich ist er innovativ aufgebaut und wird als sogenannter 3D-Bodyform-Vollschalensitz teilweise additiv hergestellt. Die Sitzschale besteht aus demselben Naturfaser-verstärkten Material wie die Anbauteile im Exterieur. Die Mittelbahn des Sitzes, also Kissen- und Lehnenspiegel, stammt zum Teil aus einem 3D-Drucker.

Die Monocoque-artige Fahrerkabine des Mission R ist als Modul konzipiert und lässt sich in identischer Form außerhalb des Fahrzeugs als Simulator einsetzen. So kann der Rennfahrer sich in einer vertrauten Umgebung

Schön und schnittig:

Der Mission R rollt auf 18 Zoll großen Cup-Rädern im Fünf-Doppelspeichen-Design mit Zentralverschluss. Die Aero-Blenden aus Carbon machen sie besonders strömungsgünstig.



virtuell auf sein nächstes Rennen vorbereiten, und Motorsportler von morgen können an eSport-Events teilnehmen. Bewegliche, elektrisch angesteuerte Stützen simulieren dabei die dynamischen Kräfte, die auf den Fahrer einwirken – etwa beim Bremsen oder die Seitenneigung bei schneller Kurvenfahrt. Dank vertrauter Umgebung mit den gleichen Anzeige- und Bedienelementen und dem gleichen Vollschalensitz wäre ein solches Training besonders realistisch und höchst effizient.

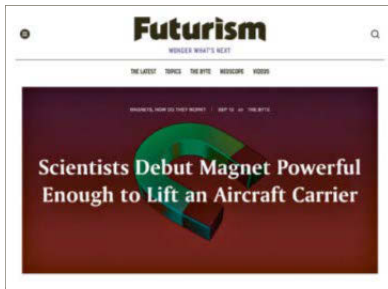
„Porsche ist die Marke für Menschen, die sich ihre Träume erfüllen. Das gilt auch für den Motorsport. Wir leben auf der Rennstrecke unsere Innovationskraft, beweisen Mut für neue Wege und begeistern mit sportlicher Performance“, sagt Oliver Blume, Vorstandsvorsitzender der Porsche AG. „Zusätzlich zu unserem Engagement in der Formel-E-Weltmeisterschaft gehen wir bei der Elektromobilität jetzt den nächsten großen Schritt. Die Konzeptstudie ist unsere Vision vom rein elektrischen Kunden-Motorsport. Der Mission R verkörpert alles, was Porsche stark macht: Performance, Design und Nachhaltigkeit.“

Vom Motorsport profitiert zudem jeder Fahrer eines Porsche, denn Rennstrecken sind wichtige Entwicklungslabore für neue Technologien wie die Elektromobilität: Kein Automobilunternehmen lebt einen intensiveren Technologieaustausch zwischen Motorsport und Serienfahrzeug als Porsche. Traditionell nutzt die Marke den Rennsport als Versuchslabor, in dem sich innovative Lösungen unter härtesten Bedingungen bewähren müssen. In jedem aktuellen Porsche steckt daher mehr rennsportprobierte Technologie als je zuvor.

➔ ZUSAMMENGEFASST

Der Porsche Mission R ist die Vision eines rein elektrischen Fahrzeugs für den Kunden-Motorsport. Seine Performance entspricht dem Niveau des Porsche 911 GT3 Cup. Zugleich weist er in eine nachhaltig ausgerichtete Motorsport-Zukunft. Auch die Kunden von rein elektrischen Serienfahrzeugen werden vom Mission R profitieren.

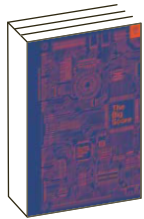
Wissen vertiefen



← Futuristisch

Künstliche Intelligenz, autonome Fahrzeuge oder „augmented humans“: Diese abwechslungsreiche Website zeigt, wohin neue Technologien uns in Zukunft führen könnten.

Futurism
<https://futurism.com/>



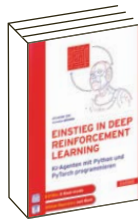
Die Anfänge des Silicon Valley

In den letzten 50 Jahren hat sich die Technologiebranche zu einem der wichtigsten Sektoren der Weltwirtschaft entwickelt. Im Silicon Valley sind viele ihrer Hauptakteure zu Hause. Das Buch beschreibt die Anfänge des legendären Tals.

The Big Score
 Michael S. Malone
 Stripe Press

KI fürs Engineering

Die KI-Methode Reinforcement Learning ist besonders geeignet für Optimierungsaufgaben im Engineering. Dieses Buch erklärt die theoretischen Grundlagen und beschreibt, wie sich Software-Agenten in Python mithilfe von PyTorch einfach programmieren lassen.



Einstieg in Deep Reinforcement Learning
 Alexander Zai, Brandon Brown
 Carl Hanser

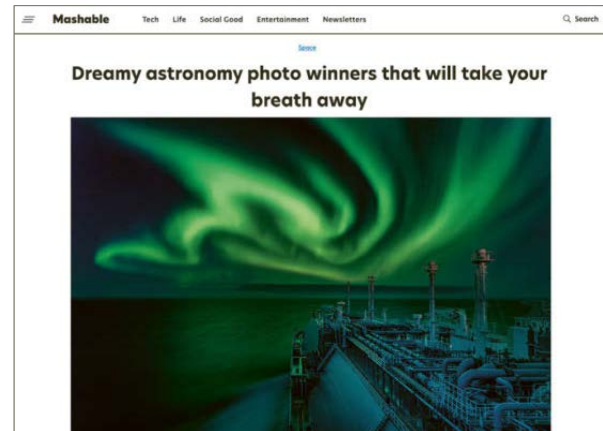


Neues aus der Wissenschaft

Von den Weiten des Weltraums bis hin zu den kleinsten Mikroben: Der Podcast „Science Friday“ ist die zuverlässige Quelle für Nachrichten über Wissenschaft, Technologie und andere coole Dinge.

Science Friday
<https://www.sciencefriday.com/science-friday-podcasts/>

Über den Tellerrand



Bunter Themen-Mix

Technologie, Lifestyle, soziale Fragen und Unterhaltung: Diese Website bietet einen bunten Mix an Themen. Neben interessanten Texten gibt es hier auch viele Videos zu entdecken.

Mashable
<https://mashable.com/>



Wohin gehen wir?

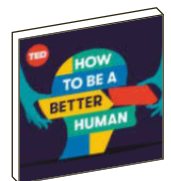
In diesen 12 Essays beschäftigt sich Jeanette Winterson mit der Künstlichen Intelligenz in all ihren unterschiedlichen Erscheinungsformen. Sie beschreibt darin, wie radikal sich unser Leben in vielen Bereichen durch die neue Technologie schon bald verändern könnte.

12 Bytes
 Jeanette Winterson
 Jonathan Cape

Wöchentliche Denkanstöße

Moderator Chris Duffy spricht in diesem Podcast jede Woche mit seinen Gästen darüber, wie man ein besserer Mensch werden kann – ob bei der Arbeit, zu Hause, im Denken oder im Herzen.

How to Be a Better Human
<https://www.ted.com/podcasts/how-to-be-a-better-human>



Für das Kind in uns



Das Kartenspiel für Geeks

Hier kommen Programmierer voll auf ihre Kosten: Diese 55 Spielkarten enthalten Code unter anderem in Assembler, Bash, C++, Python, Objective-C, C#, Java, PHP, JavaScript, SQL und HTML. Wer sich nicht für Computer interessiert, kann ebenfalls mitspielen: Auf den Karten finden sich auch die üblichen Werte wie Pik Ass oder Kreuz Dame.

Code:Deck

www.amazon.com



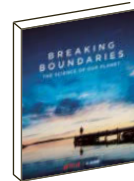
Mini-Computer auf Tour

Mit diesem Set setzt sich der Raspberry Pi in Bewegung: Ein fahrbarer Untersatz plus drei Sensormodule (Ultraschall-Hindernisvermeidung, Lichtfolger und Linienfolger) erlauben den spielerischen Einstieg ins Programmieren und ins autonome Fahren.

Raspberry Pi Auto DIY Roboter-Kit

www.amazon.com

Intelligent unterhalten



Die Artenvielfalt bewahren

Der Filmemacher David Attenborough und der Wissenschaftler Johan Rockström, Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, untersuchen den Zusammenbruch der Artenvielfalt auf der Erde und zeigen, wie diese Krise noch abgewendet werden kann.

Breaking Boundaries

Netflix, 2021



Galaktisches Epos

Apple TV bringt die Roman-Trilogie „Foundation“ von Isaac Asimov als Serie auf die Bildschirme. Eine Gruppe von Ausgestoßenen hat das Ziel, die menschliche Zivilisation inmitten des Untergangs des Galactic Empire zu retten und erneut aufzubauen.

Foundation

Rupert Sanders, Alex Graves, Andrew Bernstein
(Regisseure)

Apple TV, 2021





Schönheit für die Königsklasse: Der Typ 360 „Cisitalia“ wurde für Porsche zum Grundstein für den Sportwagenbau unter eigenem Namen. Das einzige Exemplar steht heute im Porsche Museum.

1946

Der Turiner Piero Dusio hatte 1946 einen ehrgeizigen Plan: Er wollte einen eigenen Formel-1-Rennwagen entwickeln lassen. Unter seiner Führung waren zuvor bereits einige kleine Rennwagen für reiche Kunden der Marke „Cisitalia“ entstanden, und nun wollte der autobegeisterte Unternehmer in die Königsklasse des Motorsports aufsteigen, die damals von Alfa Romeo und Maserati dominiert wurde. Auf Partnersuche für seine noch junge Automobilfirma wandte sich Dusio an eine Adresse mit ausgewiesener Rennsport-Kompetenz: das Konstruktionsbüro von Ferdinand Porsche, damals geleitet von Ferry Porsche und ansässig im österreichischen Gmünd. Am 15. Dezember 1946 wurde der Auftrag vergeben. Am 2. Februar 1947 wurde der endgültige Vertrag über die Konstruktion des Rennwagens unterschrieben.

Die Arbeiten am ersten großen Auftrag der Nachkriegszeit starteten 1947. Während

Ferry Porsche und Karl Rabe das Entwicklerteam in Gmünd führten, übernahm Robert Eberan von Eberhorst die Koordination vor Ort in Turin. Piero Dusio machte im Wesentlichen nur eine Vorgabe: Der Rennwagen mit der Porsche-Konstruktionsnummer „Typ 360“ sollte einen Motor mit 1,5 Litern Hubraum und Kompressoraufladung haben. Ansonsten waren die Entwickler vom Entwurf bis zur Konstruktion völlig frei.

Sie entschieden sich für einen 12-Zylinder 180 Grad V Kompressor und platzierten den Fahrer ungefähr ins Zentrum zwischen den Radachsen. Im Cockpit des knapp vier Meter langen und 1,6 Meter breiten Rennwagens konnte er über einen Hebel vom Zwei- auf Vierradantrieb umschalten. „Wir hatten eine sehr hohe Motorleistung projiziert“, berichtete Ferry Porsche später. „Mit den damals verfügbaren schmalen Rennreifen war sie an der Hinterachse allein nicht voll auf den Boden zu bringen.“ Immerhin lieferte der Kompressormotor mit seinen vier oben liegenden Nockenwellen und einem Hubraum von 1.493 Kubikzentimetern bei 10.600 U/min 385 PS.

Unter der Magnesium-Karosserie des Rennwagens war eine Tragkonstruktion aus Chrom-Molybdän-Stahl verborgen, die den

von außen einwirkenden Kräften praktisch ohne Verbiegung und Torsion standhalten konnte. Als Vorderachse kam eine Doppel-längslenkerachse zum Einsatz, die sich schon beim Volkswagen bewährt hatte und später auch Einzug in den Porsche 356 halten sollte.

1948 war der Porsche Typ 360 „Cisitalia“ fertiggestellt und konnte an Piero Dusio übergeben werden. In einem Rennen kam er allerdings nie zum Einsatz: Der Kunde verließ Italien 1951, um in Argentinien ein neues Leben zu beginnen. Dort versuchte der Versuchsfahrer Clemar Bucci 1953, mit dem Cisitalia-Rennwagen einen neuen Geschwindigkeitsrekord für Südamerika aufzustellen – erfolglos, weil man den falschen Kraftstoff verwendete und die Witterung ungünstig war. Ansonsten stand er viele Jahre ungenutzt in einer Garage. 1960 gelang es schließlich, den Typ 360 zurück in seine Heimat zu holen. Heute hat er im Porsche Museum in Stuttgart-Zuffenhausen einen Ehrenplatz. Obwohl der Typ 360 aus finanziellen Gründen bei keinem Rennen startete, wurde er für Porsche zum Grundstein für den Sportwagenbau unter eigenem Namen. ◀

Porsche Engineering

Magazin
Ausgabe
1/2022



Impressum

Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH
Michael Merklinger

Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

Projektleitung

Caroline Fauss

Redaktion

Axel Springer Corporate Solutions GmbH & Co. KG, Berlin

Chefredaktion: Christian Buck

Projektmanagement: Nicole Langenheim

Bildredaktion: Bettina Andersen

Autoren

Richard Backhaus, Jost Burger, Constantin Gillies,
Mirko Heinemann, Christian Meier

Art Direction

Christian Hruschka, Thomas Elmenhorst

Übersetzung

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

Kontakt

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

Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

Druck

X-PRESS Grafik & Druck GmbH
Nunsdorfer Ring 13
12277 Berlin

Leserservice

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

Senden Sie gerne Firma, Name und Anschrift an:

magazin@porsche-engineering.de



Bildquellen, soweit nicht anders ausgewiesen: Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG; S. 1: Getty Images + Porsche Engineering [M]; S. 3: Steffen Jahn; S. 4-5: Illustrationen: Andrew Timmins, Jurij Chrubasik, Fotos: Annette Cardinale, Kion Group AG PR, IBM, privat {3}; S. 6-7: Yolanda vom Hagen; S. 8-9: Theodor Barth, Ioan Pan; S. 10-14: Illustrationen: Andrew Timmins; S. 16-17: Yolanda vom Hagen, Annette Cardinale, Danilo Dom Calogiuri; S. 18-19: Annette Cardinale; S. 20-21: Danilo Dom Calogiuri; S. 22-23: Yolanda vom Hagen; S. 24: NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Kevin M. Gill; S. 26: Illustration: Jurij Chrubasik; S. 28-29: Action Press {3}, Getty Images, PR; S. 31: Cerebas Systems PR; S. 33: Lightmatter PR; S. 34: IBM; S. 36-40: Illustrationen: Jurij Chrubasik; S. 42-47: Kion Group AG PR; S. 48-53: Images Courtesy of Giovanni Gambacciani; S. 60-61: PR

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

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

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



PORSCHE DESIGN

IHR SPORTWAGEN AM HANDGELENK.

Der Porsche 911 steht für ikonisches Design und große Emotionen in Serie. Jetzt auch am Handgelenk. Und wie genau das aussieht, entscheiden Sie selbst. Mit den Porsche Design custom-built Timepieces wird dieses Prinzip mithilfe des eigens entwickelten Uhrenkonfigurators* in das Segment der Luxusuhren übertragen – und das mit über 1,5 Millionen Kombinationsmöglichkeiten. Weitere Informationen erhalten Sie in Ihrem Porsche Zentrum, in Ihrem Porsche Design Store, bei ausgewählten Uhrenfachhändlern oder über den QR-Code.

CUSTOM-BUILT TIMEPIECES

porsche-design.com/custom-built-timepieces

* Uhrenkonfigurator verfügbar in Deutschland, in der Schweiz, in Österreich ab Mitte 2022

Porsche 911 Carrera S Cabriolet:

NEFZ: Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) innerorts 14,7–13,1 · außerorts 7,9–7,4 · kombiniert 10,1–9,8; CO₂-Emissionen (in g/km) kombiniert 230–223

WLTP: Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) kombiniert 11,0–10,3; CO₂-Emissionen (in g/km) kombiniert 250–233

Stand 09/2021

