

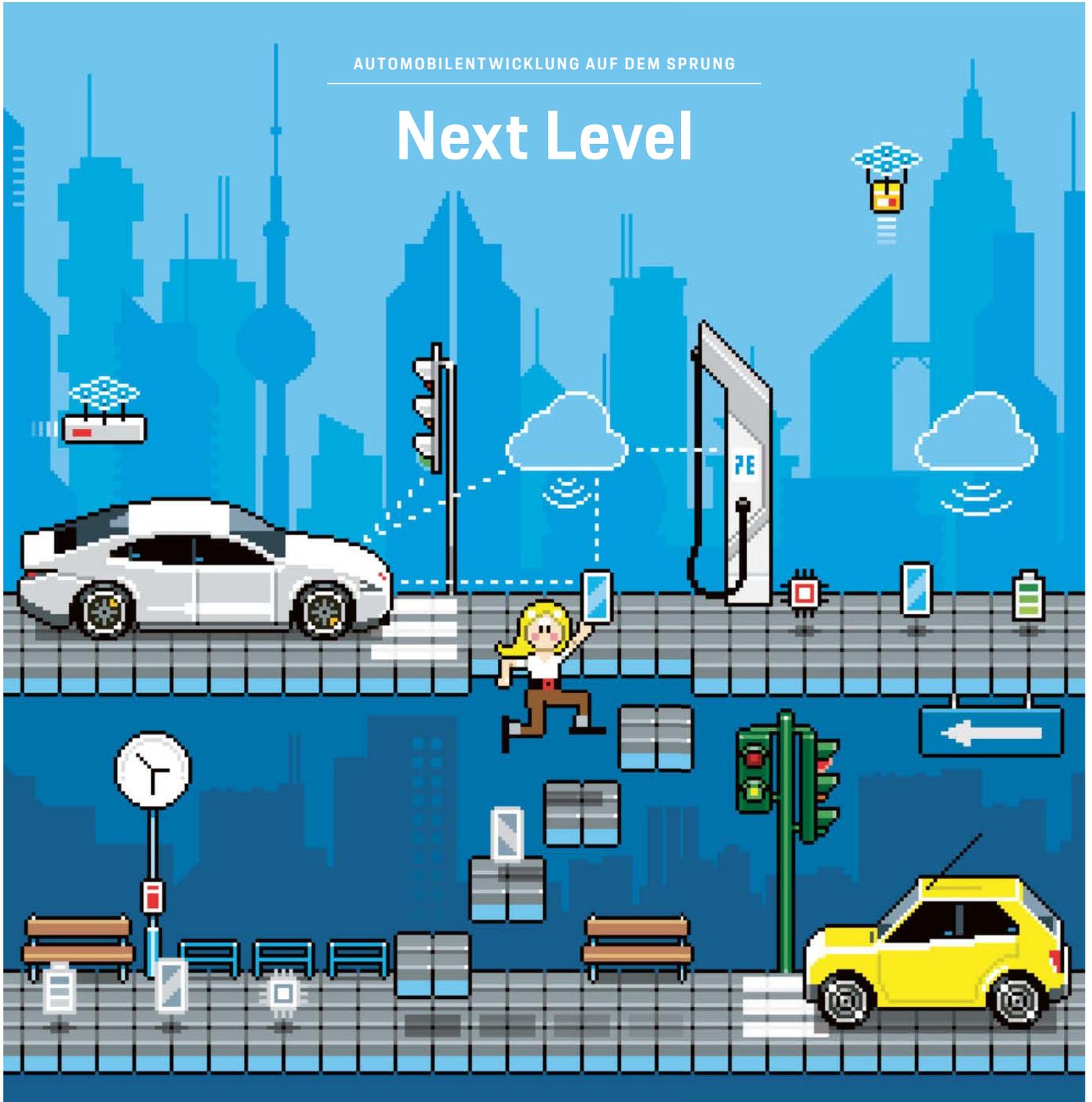
Porsche Engineering

Magazin
Ausgabe
1/2021

www.porsche-engineering.de

AUTOMOBILENTWICKLUNG AUF DEM SPRUNG

Next Level





Nach wie vor unser stärkster Antrieb: der eigene Anspruch.

Der neue Panamera 4S E-Hybrid. Drive defines us.

Ein Gewinn für Ihren Vorwärtsdrang: die Zahlen des neuen Panamera 4S E-Hybrid. Sein 2,9-Liter-V6-Biturbo-Motor bringt es im Zusammenspiel mit der E-Maschine auf eine Systemleistung von 412 kW (560 PS). Und das bei einer gesteigerten E-Reichweite. Beste Voraussetzungen also, Ihr nächstes Projekt voranzutreiben. Mehr unter www.porsche.de/Panamera

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) kombiniert 2,2–2,0; CO₂-Emissionen (in g/km) kombiniert 51–47;
Stromverbrauch (in kWh/100 km) kombiniert 18,1–17,4



PORSCHE



Dirk Lappe
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen und Leser,

„Next Level“ – kaum ein anderer Ausdruck bringt besser und knapper auf den Punkt, in welcher Situation wir uns aktuell befinden: In vielen Feldern gilt es derzeit, die nächste Stufe zu erreichen. Wir kennen den Begriff aus Computerspielen und aus dem Sport. Wer dort ein bestimmtes Niveau erreicht hat, nimmt oft gleich die nächste Stufe in Angriff. Das gilt auch für unsere Arbeit in der Automobilentwicklung: Wir können uns auf dem aktuellen Stand nicht ausruhen.

Dafür stehen Trends wie Künstliche Intelligenz, der Einsatz von Game Engines in der Fahrzeugentwicklung und künftige E/E-Architekturen, mit denen wir uns in der Titelstrecke beschäftigen. Sie zeigen beispielhaft, wie sehr die Komplexität unserer Arbeit zunimmt. Auch bei unseren Methoden müssen wir das nächste Level erreichen. Wie das im Bereich Softwareentwicklung aussieht, erläutert der Geschäftsführer unseres Digital-Standorts in Cluj, Marius Mihailovici, in seinem Beitrag.

Die Corona-Pandemie hat die Nachfrage nach digitalen Themen stark beschleunigt. So etwa auch bei neuen Arbeitsformen, die so schnell, wie wir es nie für möglich gehalten hätten, flächendeckend Einzug in die Entwicklung gehalten haben. Die Arbeitswelt hat sich dauerhaft verändert. Völlig neue Arbeits- und Leadershipkonzepte sind ab heute gefragt.

Sport, Computerspiele und Beruf machen dann am meisten Spaß, wenn sich die Herausforderung des nächsten Levels und die eigenen Fähigkeiten die Balance halten. Deshalb nehmen wir unsere Mitarbeiter konsequent in die neue Zeit mit, bilden sie früh in Zukunftsfeldern weiter und fördern lebenslanges Lernen. So reichern wir das, was wir lieben – die Entwicklung von Automobilen –, um das nächste digitale Level an. Und führen damit eine Tradition fort, die schon Ferdinand Porsche vor fast 90 Jahren pflegte: den Spaß am Tüfteln und an der ständigen Weiterentwicklung – kurzum den Spaß am nächsten Level.

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

Ihr Dirk Lappe

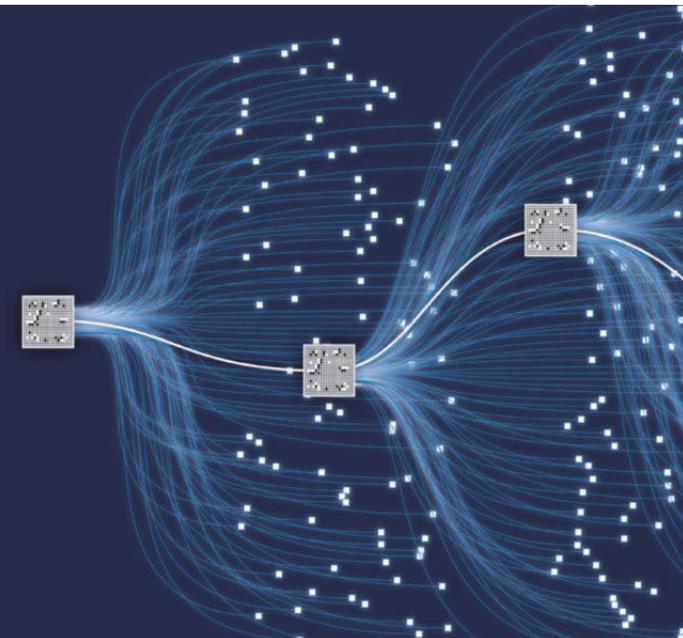


ÜBER PORSCHE ENGINEERING: Zukunftsweisende Lösungen sind der Anspruch, den Ferdinand Porsche bereits im Jahr 1931 mit der Gründung seines Konstruktionsbüros verfolgt hat. Er legte damit den Grundstein für die heutige Porsche-Kundenentwicklung. Dem fühlen wir uns mit jedem Projekt, welches wir für unsere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



56 Schaltzentrale: Der Porsche Home Energy Manager stellt sicher, dass das Nachladen von E-Fahrzeugen zu Hause nicht zu Überlastungen führt

46 Auf dem Weg in die Zukunft: Das Nardò Technical Center widmet sich Megatrends wie dem autonomen Fahren und der E-Mobilität



10 Komplexität beherrschen: Reinforcement Learning als Werkzeug für die Applikation

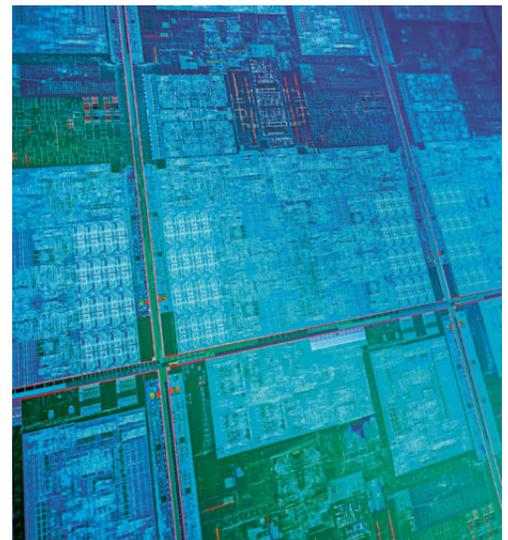


16 Experten-Talk: Dirk Lappe (links) und Dr. Oliver Seifert im Gespräch über die Zukunft der E/E-Entwicklung

DOSSIER
08 - 33



42 Tiefflieger: Wie für Polaris in kurzer Zeit aus einem Offroad-Fahrzeug ein Demonstrator für eine Rennstreckenvariante entsteht



34 Ende einer Ära: Das Mooresche Gesetz stößt bald an seine Grenzen. Zeit für neue Ideen in der Mikroelektronik

Porsche Engineering Magazin

Ausgabe
1/2021

DOSSIER: NEXT LEVEL

03 Editorial
04 Inhalt
06 Meldungen

08 **Next Level**
Dossierüberblick

10 **Erfolgsstrategie vom KI-Agenten**
Porsche Engineering verringert mit Deep Reinforcement Learning den Applikationsaufwand erheblich

16 **„Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt“**
Ein Gespräch über die Zukunft der E/E-Entwicklung

23 **E³: End-2-End-Elektronikarchitektur**
Offene E/E-Plattform für die Fahrzeuge von morgen

24 **Wenn Software Software schreibt**
Kommt die Softwareentwicklung irgendwann ohne Menschen aus?

28 **Game Engines**
Tools aus der Computerspiel-Branche bewähren sich in der Fahrzeugentwicklung

TRENDS UND TECHNOLOGIEN

34 **Mehr als Moore**
Wie die Leistungsfähigkeit von Chips auch in Zukunft weiter steigen soll

ZUKUNFT

40 **Hallo, Mensch!**
KI-Experte Prof. Dr. Kristian Kersting über die Zukunft der Künstlichen Intelligenz

PERFORMANCE UND EXPERTISE

42 **Ende Gelände**
Porsche Engineering macht aus einem Offroader einen Straßenrennwagen

46 **Intelligent, vernetzt, Nardò.**
Das Nardò Technical Center stellt sich für die Zukunft auf

AUSKUNFT

52 **Gehirne für das autonome Fahren**
Nvidia: Vom Hersteller von Grafikprozessoren zum Partner der Automobilindustrie

PORSCHE UND PRODUKT

56 **Lademeister für E-Fahrzeuge**
Der Porsche Home Energy Manager steuert das Aufladen zu Hause

60 **Klassenbester mit Performance-Plus**
Der neue Porsche Panamera deckt jetzt eine noch größere Bandbreite ab

QUER GEDACHT

64 **Quer gedacht**
Empfehlungen für Denker, Tüftler und Nerds

HERKUNFT

66 **Doppelt schaltet besser**
Das Porsche Doppelkupplungsgetriebe verbindet das Beste aus zwei Welten

67 **Impressum**



Autoren

34 **Christian Buck** ist Wissenschaftsjournalist aus Berlin mit den Schwerpunkten IT/KI, Energie und Mobilität.



01 **Totto Renna** („Supertotto“) ist Illustrator und betreibt ein Ein-Mann-Pixelart-Designstudio mit Sitz in Neapel und Berlin.



46 **Theodor Barth** ist freischaffender Fotograf aus Köln, der in den Bereichen Automotive, Reportage und Porträt arbeitet.



Langjährige Kooperation mit der Tongji-Universität

Enge Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft

Porsche Engineering setzt sein langjähriges Engagement und die traditionsreiche Zusammenarbeit mit der Tongji-Universität in Shanghai fort. Ein Teil davon ist die Unterstützung des „Tongji DIAN Racing Teams“ bei der Teilnahme an der Formula Student Electric. Im Oktober wurde im Porsche Experience Center im Beisein von Dr. Jens Puttfarcken, Geschäftsführer von Porsche China, und Kurt Schwaiger, Geschäftsführer von Porsche Engineering Shanghai, der neue Rennwagen vorgestellt. Bereits Mitte August fand im Porsche Experience Center Shanghai ein Fahrtraining für zwölf Teammitglieder durch Porsche-Experten statt. Das Tongji DIAN Racing Team besteht seit 2013 und hat rund 100 Mitglieder.

Ein wesentlicher Bestandteil der Kooperation mit der Tongji-Universität ist die Zusammenarbeit von Lehre und Wirtschaft. So haben im November 80 Tongji-Studenten an den „Porsche Engineering Short Courses“ teilgenommen, bei denen Ingenieure von Porsche Engineering ihr Wissen zu Fahrzeugdynamik, Bremssystem, E-Motor, Federungsdesign, Batterien und weiteren Themen weitergegeben haben. Diese Veranstaltungen sollen dazu beitragen, den Austausch zwischen Wissenschaft, Forschung, Testing und Engineering weiter auszubauen und zu intensivieren. Darüber hinaus veranstalten Porsche Engineering und die Universität das Tongji Porsche Engineering Symposium in Shanghai – eine

internationale Tagung mit 100 Experten zum fachlichen Dialog von Wirtschaft und Wissenschaft. Jüngstes Ergebnis der Kooperation ist ein neuer Lehrstuhl an der School of Automotive Studies (SAS) an der Tongji-Universität. Er ist dem Thema Intelligent Connected Vehicles (ICV) gewidmet und soll dazu beitragen, Studenten optimal für das Zukunftsthema auszubilden. Der Lehrstuhl wurde in Zusammenarbeit mit Porsche China, Porsche Engineering und dem Chinesisch-Deutschen Hochschulkolleg (CDHK) ins Leben gerufen. Die Vereinbarung begann am 1. September 2020 und endet am 31. August 2025.



Wachsendes Team und neues F&E-Büro

Porsche Engineering setzt Expansion in Ostrava fort

Die tschechische Niederlassung von Porsche Engineering in Ostrava ist in ein neues Forschungs- und Entwicklungsbüro im Wissenschafts- und Technologiepark umgezogen. Die Räume mit 1.000 m² Büro-, Labor- und Werkstattfläche sind für die Anforderungen eines wachsenden Expertenteams ausgelegt. Mit dem Umzug direkt auf den Universitätscampus strebt Porsche Engineering auch eine Vertiefung der Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Ostrava an.

Engagement in Corona-Zeiten**Große Hilfsbereitschaft von Unternehmen und Belegschaft**

Porsche Engineering und die Porsche AG engagieren sich für Betroffene der Corona-Pandemie. So hat das Nardò Technical Center fast 10.000 Euro an die italienische Zivilschutzbehörde (für Beatmungsgeräte und Schutzausrüstung) gespendet. Der Standort Cluj spendete rund 9.000 Euro an die Hilfsorganisation „Beard Brothers“ (für medizinische Geräte) und weitere 4.500 Euro an die Hilfsorganisation „CERT Transilvania“ (für Laptops und Tablets für Kinder). Außerdem hat das KI-Team von Porsche Engineering ein Modell zur Vorhersage des Infektionsverhaltens erstellt und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Standorte in Prag und Ostrava haben die Entwicklung von medizinischen Open-Source-Beatmungsgeräten unterstützt. Die Porsche AG hat unter der Überschrift „Porsche hilft“ eine Plattform gestartet, auf der Einrichtungen, Firmen und Organisationen zu finden sind, die Unterstützung benötigen. Außerdem hat das Unternehmen sein Spendenvolumen um fünf Millionen Euro erhöht, und Hunderte Beschäftigte haben sich ehrenamtlich engagiert, indem sie beispielsweise für ältere Nachbarn einkaufen gingen.

HINWEIS: DAS BILD IST VOR DEM AUSBRUCH DER CORONA-PANDEMIE ENTSTANDEN.

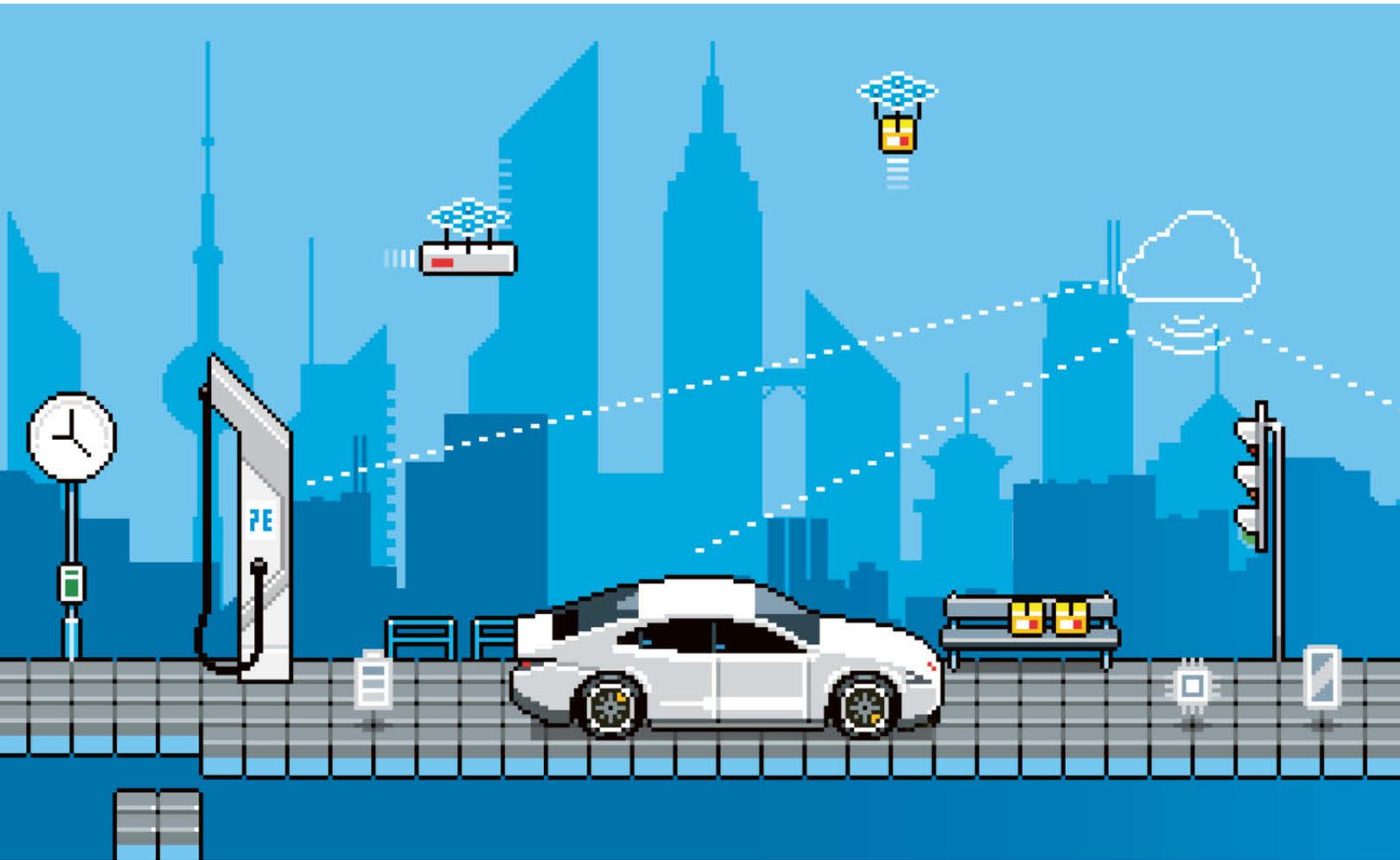
Duales Studium bei Porsche Engineering**Die Zukunft der Automobilentwicklung mitgestalten**

Theoretisches Wissen erwerben und in der Praxis anwenden: Das bietet ein duales Studium bei Porsche Engineering. Es startet im Oktober, dauert sechs Semester und beinhaltet abwechselnd drei Monate Theorie an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg in Stuttgart und drei Monate Praxis an einem Standort des Engineering-Dienstleisters. Derzeit sind zwölf Studierende in den Studiengängen Maschinenbau, Mechatronik und Informatik bei Porsche Engineering beschäftigt. Seit 2018 wird der Studiengang „Informatik mit Studienrichtung IT-Automotive“ angeboten, seit 2020 auch „Informatik mit Studienrichtung Computational Data Science“. Studierende tauchen in die Welt der Informatik ein, gestalten künftige IT-Systeme mit und treiben Schlüsseltechnologien wie KI voran.

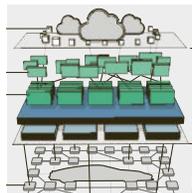
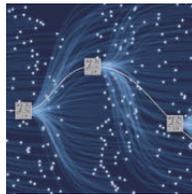
90 Jahre Porsche Konstruktionsbüro,
50 Jahre Entwicklungszentrum**Doppelter Grund zum Feiern in 2021**

Im kommenden Jahr ist es 90 Jahre her, dass Ferdinand Porsche sein Konstruktionsbüro gegründet hat. Am 25. April 1931 wurde es unter dem Namen „Dr. Ing. h.c. F. Porsche GmbH, Konstruktionen und Beratungen für Motoren und Fahrzeugbau“ im Stuttgarter Handelsregister eingetragen. Die Tradition lebt fort: Unter dem Namen Porsche Engineering wird die Entwicklung im Kundenauftrag fortgesetzt. Vor 50 Jahren zogen die Abteilungen Konstruktion, Versuch, Design und die Rennabteilung von Zuffenhausen nach Weissach um. Am 1. Oktober 1971 nahm das Porsche Entwicklungszentrum in Weissach den Betrieb auf. Bereits zehn Jahre zuvor wurde dort mit dem Bau der Teststrecke begonnen: Der erste Spatenstich für das Skid Pad erfolgte durch Ferry Porsche. Bereits ein Jahr später fuhr ein Porsche 356 erstmals auf der Teststrecke.

Next Level



Die Automobilentwicklung tritt in eine neue Phase ein. Zunehmend bestimmt die Digitalisierung die Arbeit der Ingenieure – durch den Einzug innovativer Werkzeuge und Methoden sowie zur Ermöglichung neuer Fahrzeugfunktionen. So gehört heute nicht nur Künstliche Intelligenz zum Alltag der Entwickler, sondern auch Technologie aus dem Bereich der Computerspiele.



— **10** **Erfolgsstrategie vom KI-Agenten**
PERL verringert den Aufwand in der Applikation erheblich

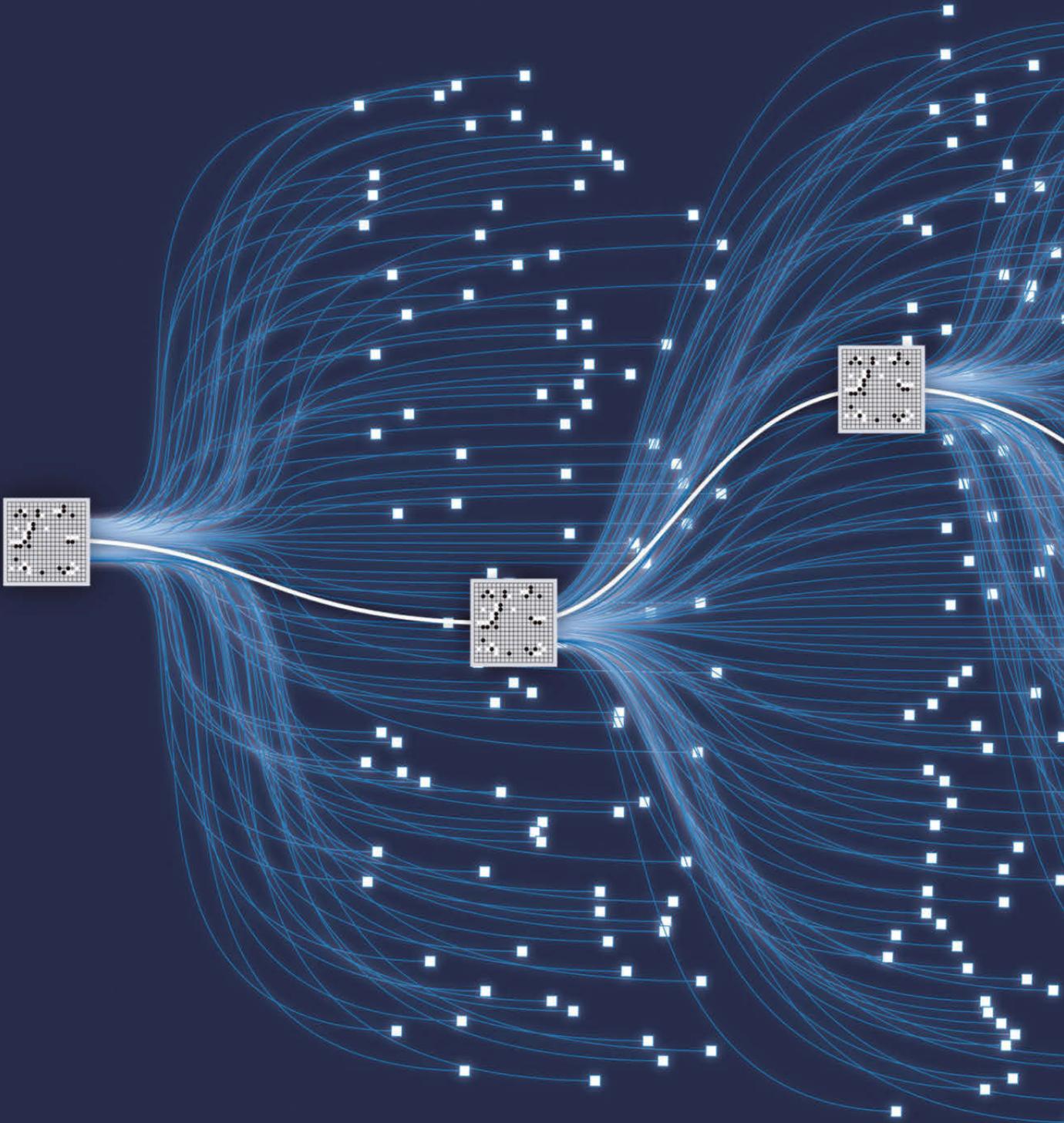
— **16** **„Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt“**
Dr. Oliver Seifert und Dirk Lappe über die E/E-Entwicklung

— **23** **E³: End-2-End-Elektronikarchitektur**
Offene E/E-Plattform für die Fahrzeuge von morgen

— **24** **Wenn Software Software schreibt**
Marius Mihailovici über die Zukunft der Softwareentwicklung

— **28** **Game Engines**
Computerspiel-Tools bewähren sich in der Fahrzeugentwicklung

Protokoll eines Meilensteins: Die Grafik zeigt den Verlauf der Go-Partie zwischen Lee Sedol und AlphaGo im Jahr 2016 (große Quadrate). Die kleinen Quadrate zeigen alternative Verläufe des Spiels.



Erfolgsstrategie vom KI-Agenten

Text: Richard Backhaus Mitwirkende: Matteo Skull, Dr. Matthias Bach

Mit dem Funktionsumfang steigt auch der Applikationsaufwand für moderne Fahrzeuge. Darum hat Porsche Engineering PERL entwickelt: Die innovative Applikationsmethodik basiert auf Deep Reinforcement Learning und verkürzt den Zeit- und Kostenaufwand in der Applikation erheblich.



Unter Experten gilt das Jahr 2016 als Meilenstein in der Geschichte der Künstlichen Intelligenz (KI). Von der breiten Öffentlichkeit in Europa und den USA weitgehend unbeachtet, trat damals das Computerprogramm AlphaGo gegen den südkoreanischen Weltklassespieler Lee Sedol im Brettspiel Go an und gewann vier der fünf Partien. Zum ersten Mal behielt damit ein Computer bei dem traditionellen asiatischen Strategiespiel die Oberhand. Bis dahin war es nicht gelungen, einer Software die komplexe Strategie des Brettspiels beizubringen – die erforderliche Rechenleistung und Rechenzeit wären zu groß gewesen. Den Wendepunkt brachte das Training der KI des Go-Computers mithilfe des Deep Reinforcement Learning.

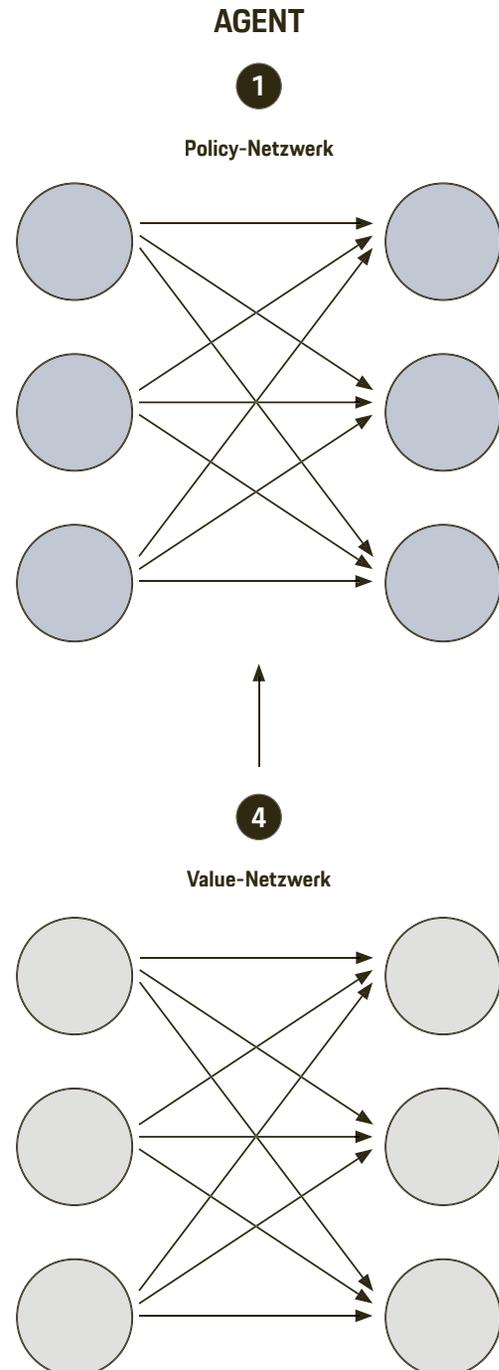
Eine der KI-Königsdisciplinen

Die noch recht junge Methode Deep Reinforcement Learning gilt als eine der Königsdisciplinen der KI. Erst durch neue, leistungsfähige Hardware wurde es in den vergangenen Jahren möglich, sie breiter einzusetzen und in Anwendungen praktische Erfahrungen zu sammeln. Deep Reinforcement Learning ist ein selbstlernendes KI-Verfahren, das die klassischen Methoden von Deep Learning mit denen des Reinforcement Learning verbindet. Die Grundidee: Der Algorithmus (unter Fachleuten „Agent“ genannt) interagiert mit seiner Umgebung und wird für Aktionen, die zu einem guten Ergebnis führen, mit Bonuspunkten belohnt und bei Misserfolgen mit Abzügen bestraft. Ziel ist es, so viele Belohnungspunkte wie möglich zu erhalten.

Dazu entwickelt der Agent im Laufe der Trainingsphase eine eigene Strategie, an die er sich durch ein einfaches Trial-and-Error-Verfahren herantastet. Die Trainingsvorlage gibt dem System dabei für verschiedene Situationen oder Zustände Start- und Zielparameter vor. Das System sucht dann nach verschiedenen Möglichkeiten, um vom Ist- zum Sollwert zu kommen. Für jeden Schritt approximiert es mittels eines neuronalen Netzes die Höhe der jeweiligen Belohnungen. Der Agent abstrahiert die Ergebnisse und erstellt daraus für die folgenden Rechenoperationen die Prognose, welche Maßnahme in einer bestimmten Situation oder einem Zustand das beste Ergebnis liefern wird. Daraus ergibt sich dann seine Methodik, die sogenannte „Policy“, die er nach Abschluss der Lernphase auf andere Berechnungen anwendet.

So lernt PERL die beste Kalibrationsstrategie

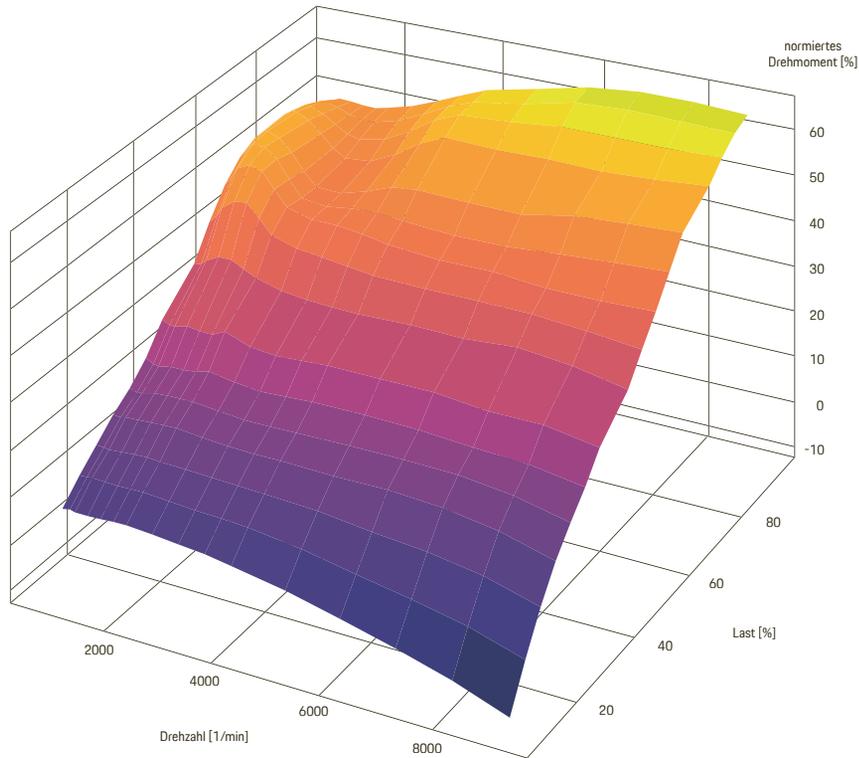
PERL nutzt zwei neuronale Netzwerke, um die beste Kalibrationsstrategie zu ermitteln: das Policy-Netzwerk und das Value-Netzwerk. Ein Algorithmus („Agent“ genannt) interagiert mit der Umwelt, um iterativ die Gewichtungsfaktoren der beiden Netze zu verbessern. Am Ende des Trainings ist die optimale Applikationsmethodik gefunden – auch für Motoren mit anderer Bauform und anderem Aufladesystem sowie unterschiedlichem Hubraum.



UMGEBUNG

2

Kennfeld



AKTION

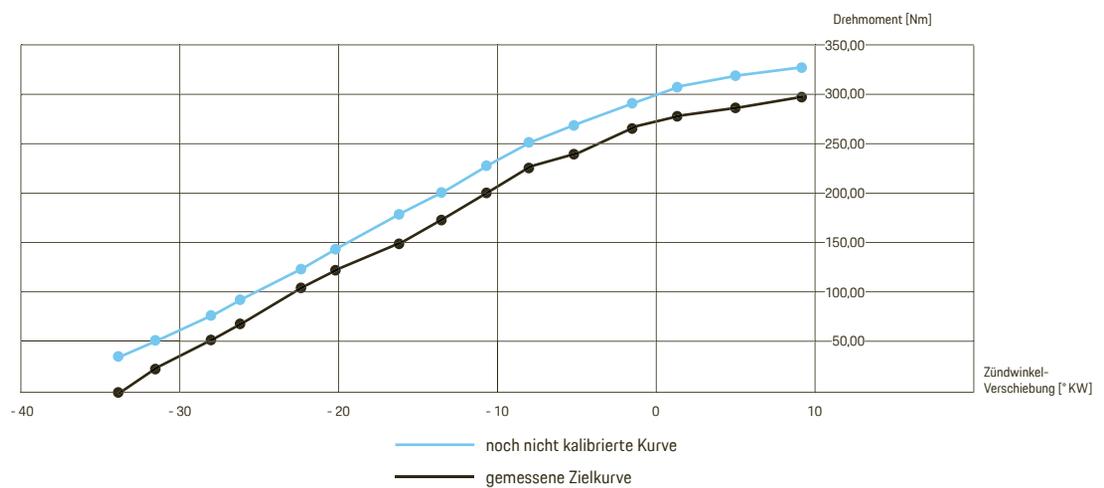
Vergößere oder verkleinere die Werte im Kennfeld

Agent im Einsatz

Ziel der Kalibration ist es, die gemessene Zielkurve (schwarz im Diagramm unten) und die noch nicht kalibrierte Kurve (blau) in Übereinstimmung zu bringen. Dazu verändert der Agent mit dem Policy-Netzwerk (1) die Werte im Kennfeld (2). Aus der bestehenden Abweichung (3) ergeben sich Belohnungen oder Bestrafungen als Feedback für den Agenten, die er aufsummiert. Mit dem Value-Netzwerk (4) wird eine Nutzenfunktion approximiert, auf deren Basis der Agent die nächste Aktion plant. Der Kreislauf endet, wenn die gewünschte Übereinstimmung der beiden Kurven erreicht ist.

3

Am Motorprüfstand gemessene Kurve



Belohnung oder Bestrafung je nach Abweichung vom Sollwert



„PERL ist höchst flexibel, denn Parameter wie Motorbauform, Hubraum oder Aufladesystem haben keinen Einfluss auf den Lernerfolg.“

Matteo Skull,
Ingenieur bei Porsche
Engineering

Anders als bei anderen Arten der KI, wie dem Supervised Learning, bei dem aus Paaren von Eingangs- und Ausgangsdaten gelernt wird, oder dem Unsupervised Learning, das auf die Mustererkennung zielt, trainiert Deep Reinforcement Learning langfristige Strategien. Denn das System lässt auch kurzfristige Rückschläge zu, wenn sich dadurch die Chancen für den künftigen Erfolg erhöhen. Gegen das so trainierte Computerprogramm AlphaGo hatte auch ein Meister auf dem Niveau von Sedol schließlich keine Chance mehr.

Einsatz in der Motorapplikation

Die Leistung des Deep Reinforcement Learnings beim Brettspiel brachte die Experten von Porsche Enginee-

ring auf die Idee, die Methode für komplexe Applikationsaufgaben im Fahrzeugbereich einzusetzen. „Denn auch hier ist die beste Erfolgsstrategie gefragt, um eine optimale Systemabstimmung zu erzielen“, sagt Matteo Skull, Ingenieur bei Porsche Engineering. Das Ergebnis ist ein gänzlich neuer Kalibrierungsansatz: Porsche Engineering Reinforcement Learning (PERL). „Mithilfe des Deep Reinforcement Learnings trainieren wir bei PERL den Algorithmus darauf, nicht nur einzelne Parameter zu optimieren, sondern sich die Strategie zu erarbeiten, mit der er ein optimales Applikationsergebnis für eine ganze Funktion erzielt“, so Skull. „Vorteile sind die hohe Effizienz der Methodik, da sie selbstlernend ist, und die universelle Anwendbarkeit auf viele Entwicklungsbereiche des Fahrzeugs.“



Unvorstellbare Komplexität

Go gehört zu den klassischen Strategiebrettspielen. Ziel ist es, mehr Felder auf dem Brett mit seinen Steinen zu besetzen als der Gegner. Im Gegensatz beispielsweise zu Schach gibt es bei Go nur zwei Sorten Figuren – schwarze und weiße Steine – und nur eine Art des Spielzugs, das Einsetzen. Die hohe Komplexität des Go-Spiels resultiert aus der großen Anzahl von 10^{170} möglichen Konstellationen auf dem 19 mal 19 Felder großen Spielbrett – eine Summe, die jenseits aller Trainingsmöglichkeiten für menschliche Go-Spieler liegt. Da der Spielerfolg im hohen Maße von der menschlichen Intuition während der Partie abhängt und der Zufall keinen Einfluss auf den Spielverlauf hat, ist Go prädestiniert für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz, wie AlphaGo mit der Partie gegen Lee Sedol eindrucksvoll bewiesen hat. Der ehemalige Go-Meister hat übrigens seine eigenen Konsequenzen aus der Überlegenheit der KI gezogen: Ende 2019 gab Sedol seinen Rücktritt vom professionellen Go-Wettkampf bekannt.

Die Anwendung der PERL-Methodik lässt sich grundsätzlich in zwei unterschiedliche Phasen unterteilen: Erst erfolgt das Training, danach kommt der eigentliche Applikationseinsatz am realen Motor. Als Beispiel führt Skull das Drehmomentmodell an, mit dem die Motorsteuerung für jeden Betriebspunkt das aktuelle Drehmoment an der Kurbelwelle berechnet. In der Lernphase benötigt PERL als einzigen Input den Messdatensatz eines alten Projekts, etwa von einem Vorgängermotor. „Dabei ist PERL höchst flexibel, denn Parameter wie Motorbauform, Hubraum oder Aufladesystem haben keinen Einfluss auf den Lernerfolg. Wichtig ist nur, dass sowohl die Trainings- als auch die spätere Zielapplikation denselben Modellansatz nutzen, damit der Algorithmus die Ergebnisse richtig umsetzt“, sagt Skull.

Während des Trainings lernt das System die optimale Applikationsmethodik für die Kalibrierung des vorgegebenen Drehmomentmodells. An charakteristischen Stellen im Kennfeld vergleicht es dazu den kalibrierten Wert mit dem Wert aus dem Messdatensatz und approximiert anhand der resultierenden Belohnungen mithilfe neuronaler Netze eine Nutzfunktion. Durch das erste neuronale Netz können dabei Belohnungen für bis dato unbekannte Zustände abgeschätzt werden. Ein zweites neuronales Netz, das sogenannte Policy Network, prognostiziert dann, welche Aktion in einem bestimmten Zustand den höchsten Nutzen bringen wird.

Permanente Prüfung der Ergebnisse

Auf dieser Grundlage erarbeitet sich PERL die Strategie, mit der es am besten vom Ist- zum Sollwert gelangt. Ist das Training abgeschlossen, steht PERL für die eigentliche Applikationsaufgabe am Motor bereit. Während des Motorprüfstandsversuchs berechnet der Algorithmus in Echtzeit mithilfe der antrainierten Abstimmungsstrategie die optimale Drehmomentkalibrierung, die unmittelbar wieder am Motor getestet und verifiziert wird. Im Laufe des Applikationsvorgangs überprüft das System die eigenen Ergebnisse und passt diese an, etwa wenn die Parametervariation an einer Stelle des Kennfelds Rückwirkungen auf eine andere hat. „Zudem können wir PERL sowohl die Berechnungsgenauigkeit der Drehmomentkurve als auch einen Glättungsfaktor für die Interpolation der Werte zwischen den berechneten Stützstellen vorgeben. Damit machen wir die Applikation robust gegenüber dem Einfluss von Fertigungstoleranzen oder dem Verschleiß der Motorbauteile über die Lebensdauer“, erklärt Dr. Matthias Bach, Leiter Fachdisziplin Motor Applikation und Mechanik bei Porsche Engineering.



„Mit PERL machen wir die Applikation robust gegenüber dem Einfluss von Fertigungstoleranzen oder dem Verschleiß der Motorbauteile über die Lebensdauer.“

Dr. Matthias Bach,
Leiter Fachdisziplin Motor
Applikation und Mechanik
bei Porsche Engineering

Die Leistungsfähigkeit von PERL soll künftig dabei helfen, den stark zunehmenden Applikationsaufwand als eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge zu bewältigen. Prof. Dr. Michael Bargende, Inhaber des Lehrstuhls Fahrzeugantriebe am Institut für Fahrzeugtechnik der Universität Stuttgart und Vorstand des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), erklärt das Problem am Beispiel des Antriebs: „Der Trend zur Hybridisierung und die anspruchsvolleren Abgastests haben die Zahl der Applikationsparameter weiter steigen lassen. Die Diversifizierung der Antriebsstränge und der Märkte sowie die Veränderungen im Zertifizierungsprozess haben zudem die Anzahl an Applikationen erhöht, die erstellt werden müssen.“ Bargende ist vom Potenzial der neuen Methodik überzeugt: „Reinforcement Learning ist ein künftiger Schlüsselfaktor im Bereich Motor- und Antriebsstrangapplikation.“

Applikationsaufwand deutlich reduzieren

Mit den heutigen konventionellen Werkzeugen wie der modellbasierten Applikation erfolgt die automatisierte Bedatung der einzelnen Parameter – etwa der Kennfelder im Motormanagement – in der Regel nicht optimal und muss vom Applikationsingenieur manuell überarbeitet werden. Zudem macht jede Hardware-Variation am Motor während der Entwicklung eine Anpassung der Applikation notwendig, obwohl sich die Software nicht geändert hat. Qualität und Dauer der Kalibrierung hängen dadurch stark vom Geschick und den Erfahrungen des Applikateurs ab. „Der aktuelle Applikationsprozess ist mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Für die kennfeldabhängige Berechnung eines einzigen Parameters, etwa der Zylinderfüllung, muss man heute etwa vier bis sechs Wochen Entwicklungszeit veranschlagen, verbunden mit hohen Prüfstandskosten“, so Bach. Für die Gesamtapplikation einer Motorvariante ergibt sich ein entsprechend hoher Zeit- und Kostenaufwand. „Mit PERL können wir diesen Aufwand signifikant reduzieren“, sagt Bach mit Blick in die Zukunft. ◀

➔ ZUSAMMENGEFASST

Die innovative PERL-Methodik von Porsche Engineering erarbeitet mithilfe des Deep Reinforcement Learnings optimale Strategien für die Motorapplikation (die sogenannte „Policy“). Experten betrachten den neuen KI-basierten Ansatz als Schlüsselfaktor, um die steigende Komplexität im Bereich der Motoren und Antriebe auch in Zukunft noch beherrschen zu können.

„Der Fantasie sind keine Grenzen gesetzt“

Interview: Richard Backhaus
Fotos: Steffen Jahn

Neue Funktionsumfänge werden immer mehr durch die Gesamtsystemvernetzung innerhalb der elektrischen/elektronischen (E/E)-Architektur des Fahrzeugs abgebildet. Welche Auswirkungen das auf die E/E-Entwicklung hat, welche Chancen sich daraus ergeben und wie die E/E-Plattform der Zukunft aussehen wird, diskutieren Dr. Oliver Seifert, Leiter Entwicklung Elektrik/Elektronik bei der Porsche AG, und Dirk Lappe, Geschäftsführer von Porsche Engineering.





Experten für Elektrik/Elektronik im Gespräch: Dr. Oliver Seifert (links) und Dirk Lappe.



Blick nach vorne: E/E-Architekturen müssen so flexibel sein, dass sie allen künftigen Anforderungen gerecht werden können.

Was sind die zentralen Trends in der E/E-Entwicklung, welche Herausforderungen gibt es?

— **DR. OLIVER SEIFERT:** Der erste Trend ist die Weiterentwicklung des batterieelektrischen Fahrzeugs, getrieben durch die Anforderungen von Gesetzgebung und den Märkten – aber auch durch unseren eigenen Anspruch bei Porsche, das elektrische Fahren noch attraktiver zu gestalten, etwa im Hinblick auf Reichweite und Ladeperformance. Der zweite Trend ist die nahtlose Einbindung des Fahrzeugs in das digitale Ökosystem des Kunden. Die daraus resultierenden Herausforderungen betreffen insbesondere die Entwicklungsprozesse

der E/E-Systemarchitektur. Denn die Anforderungen, die an uns gestellt werden, verändern sich sehr dynamisch. Wir müssen unsere Prozesse so optimieren, dass wir auf neue Marktbedürfnisse schnell reagieren können. Es ist also eine Kombination aus neuen Aufgaben und kurzen zeitlichen Spielräumen, die die künftige Entwicklung prägt.

Wie wird die E/E-Architektur der Zukunft aussehen?

— **SEIFERT:** Die künftige E/E-Architektur muss einen enormen Spagat leisten. Einerseits muss sie hohe Flexibilität bieten, um die Anforderungen der Zukunft abdecken zu können – obwohl diese im Detail

„Die künftige E/E-Architektur muss einen enormen Spagat leisten. Einerseits muss sie hohe Flexibilität bieten, andererseits müssen wir eine hohe Funktionsstabilität gewährleisten.“

Dr. Oliver Seifert

natürlich noch gar nicht feststehen. Dabei dürfen wir aber auch Aspekte wie die Kosten und das Fahrzeug-Package nicht aus den Augen verlieren. Andererseits müssen wir eine hohe Funktionsstabilität des E/E-Systems gewährleisten, damit die Systementwickler eine valide Plattform haben, auf der sie die neuen Funktionsumfänge darstellen können. Mit unseren aktuellen E/E-Architekturen haben wir eine gute Basis dafür geschaffen. Kern künftiger Architekturkonzepte ist der sogenannte E³-Ansatz. Dabei laufen die Fahrzeugfunktionen auf wenigen hochkomplexen Steuergeräten, den sogenannten HCPs (High Performance Computing Platforms). Zusätzlich gibt es eine Vielzahl einfacher Controller für die Steuerung der mechatronischen Sensoren und Aktoren im E/E-Netzwerk. Wir werden damit vermutlich ähnlich viele Elektronik- und Mechatronikkomponenten wie heute im Fahrzeug haben, aber die Intelligenz und Komplexität wird anders verteilt sein.

- **DIRK LAPPE:** Bei der praktischen Umsetzung der E/E-Architektur müssen wir im Automobilbereich strenge gesetzliche Vorgaben erfüllen, etwa in Bezug auf die Cybersicherheit. Das setzt uns bei der Gestaltung künftiger Systemarchitekturen klare Rahmenbedingungen. Im Vergleich zu Consumer-Electronic-Produkten stehen wir daher vor ganz anderen Aufgaben. Ein weiterer Punkt ist die Produktlebensdauer. Ein Smartphone gilt nach spätestens sechs Jahren als veraltet, dann werden auch keine Software-Updates für das Betriebssystem mehr angeboten. Wenn wir ein Fahrzeug auf den Markt bringen, muss es auch nach zehn oder 15 Jahren noch updatefähig sein. Die E/E-Entwicklung hat dabei die wichtige Querschnittsaufgabe, die Funktionen des

↓
E³
heißt der Ansatz für künftige E/E-Architekturkonzepte, eine Kombination aus HCPs und einfachen Controllern.

↓
HCP
Unter High Performance Computing Platforms (HCPs) versteht man leistungsstarke Computer, welche die Aufgaben vieler heutiger Steuergeräte übernehmen.

Fahrzeugs über die Fahrzeuglebenszeit sicher und lauffähig zu halten.

Inwiefern charakterisieren Funktionen und Software den Porsche der Zukunft?

- **SEIFERT:** Schon heute ist die Software das Rückgrat unserer Fahrzeuge. Ohne Bits und Bytes fährt kein modernes Auto mehr. Und gerade die Software gibt uns die Möglichkeit, Porsche-spezifische Fahrzeugeigenschaften zu gestalten, die früher über Mechanik gar nicht oder nur schwer umsetzbar gewesen wären. Ein Beispiel ist das Matrixlicht, das die einfachen Scheinwerfer von gestern zu einem modernen Assistenzsystem gemacht hat. Früher hatten Scheinwerfer nur die Aufgabe, die Fahrbahn auszuleuchten. Das heutige Matrixsystem macht das auch, steuert die Lichtstärke dabei aber so intelligent, dass beispielsweise der Gegenverkehr nicht geblendet wird und störende Reflexionen durch Straßenschilder am Fahrbahnrand vermieden werden. Und wenn eine Person am Straßenrand steht, leuchtet das Matrixlicht diese Stelle besonders aus, um auf die potenzielle Gefahrensituation hinzuweisen. Die Voraussetzungen für die Integration neuer Features ins Fahrzeug schaffen wir durch die zugrunde liegende E/E-Architektur. Sie muss daher so zukunftsgerichtet ausgelegt sein, dass wir auf Anforderungen reagieren können, die wir heute noch gar nicht vorhersehen.

Was unternimmt Porsche Engineering im Bereich Funktions- und Softwareentwicklung?

- **LAPPE:** Wir verstehen uns als Gesamtfahrzeugentwickler, der neue Funktionen ganzheitlich umsetzt, inklusive der Software. Das ist ein großer

„Wir verstehen uns als Gesamtfahrzeugentwickler, der neue Funktionen ganzheitlich umsetzt, inklusive der Software.“

Dirk Lappe

Unterschied zu Mitbewerbern, die ausschließlich Software erstellen können und kein eigenes Know-how über Fahrzeugentwicklung haben. Software gibt uns die Möglichkeit, das Potenzial einer Hardwarekomponente optimal umzusetzen. Ein Luftfederungssystem kann man beispielsweise mit einem Standard-Set-up applizieren, oder man nutzt den Gestaltungsspielraum und erstellt mit der gleichen Hardware ein Fahrwerk, das hochkomfortabel über Schlaglöcher gleitet und im nächsten Moment auf Knopfdruck sportwagentypische Kurvendynamik bietet. Wir sind Autofreaks, die es gleichzeitig lieben, zu programmieren.

Wie gestaltet sich die E/E-Zusammenarbeit von Porsche und Porsche Engineering?

- **SEIFERT:** Porsche Engineering ist eine feste Größe in unserer E/E-Entwicklung. Ich gehe davon aus, dass diese Zusammenarbeit in den nächsten Jahren noch sehr viel intensiver wird. Das gilt vor allem für Entwicklungen in den Zukunftsfeldern Konnektivität und E-Mobilität. Das Schöne an Porsche Engineering ist, dass die Ingenieure dort beides können: Software und Autos.
- **LAPPE:** Eine unserer wichtigsten Bestrebungen war es in den letzten Jahren und Jahrzehnten, den Aufbau der E/E-Kompetenz innerhalb der Porsche AG zu unterstützen. Entstanden ist eine Symbiose, die bis heute Bestand hat. Heute arbeiten wir als strategischer Partner an größeren Softwareumfängen und weiteren E/E-Themen.



Dr. Oliver Seifert ist seit Anfang 2020 Leiter Entwicklung Elektrik/Elektronik bei der Porsche AG. Der promovierte Physiker war zuvor als Leiter Integration, Reifegrad & Qualität sowie in weiteren leitenden Positionen für Porsche tätig, insbesondere im Integrationsmanagement. Vor seiner Zeit beim Sportwagenbauer war er Geschäftsführer eines Medizintechnikunternehmens und Qualitätsingenieur E/E bei der Daimler AG.

Wie wichtig sind lokale Lösungen im Bereich E/E für unterschiedliche Märkte?

- **SEIFERT:** In Regionen wie Asien oder Nordamerika verlangen die Kunden heute jeweils eigene Lösungen. Es gibt zwar Gemeinsamkeiten, aber eben auch große Unterschiede aufgrund des jeweiligen kulturellen Hintergrunds, der jeweiligen digitalen Ökosysteme und der gesetzlichen Vorgaben. Die immer stärkere Diversifizierung der Märkte stellt die gesamte Branche vor große Herausforderungen. Die Varianten müssen im gesamten Entwicklungsprozess mitberücksichtigt werden, bis hin zur Funktionsabsicherung, die nur vor Ort in den jeweiligen Märkten stattfinden kann. Dazu benötigen wir Entwicklungspartner wie Porsche Engineering, die die Besonderheiten in den einzelnen Regionen und den dortigen kulturellen Hintergrund verstehen.
- **LAPPE:** Wir haben festgestellt, dass man in China vor Ort sein muss, um den dortigen Markt zu verstehen



und bestimmte Entwicklungen schnell und zielgerichtet umsetzen zu können. Seit rund vier Jahren nutzen wir unsere Kapazitäten in China daher, um unter anderem für Porsche lokalspezifische Lösungen zu entwickeln und zu verifizieren. Unser Team in China besteht vor allem aus einheimischen Kollegen, die wie wir Benzin und Elektronen im Blut haben, aber zusätzlich den lokalen Bezug mit einbringen. Bei der Entwicklung arbeiten sie eng mit den chinesischen Kollegen von Porsche China und Porsche Digital zusammen, aber natürlich auch mit unseren Fachleuten in Deutschland.

Welche Rolle nimmt die E/E-Entwicklung bei Porsche gegenüber den anderen Entwicklungsbereichen wie Karosserie, Antrieb oder Fahrwerk ein?

— **SEIFERT:** Heutige Funktionen werden nicht mehr von einem Bereich alleine entwickelt. Unsere Aufgabe ist, dafür zu sorgen, dass die Infrastruktur für alle



Dirk Lappe ist seit 2009 technischer Geschäftsführer von Porsche Engineering. Der Diplom-Ingenieur für Elektrotechnik kam 2002 zum Unternehmen, wo er zunächst die Leitung des Fachbereichs Elektrik/Elektronik übernahm. Zuvor arbeitete er bei Harman Becker und Bosch.

Perfekter Rahmen:

Zum Gespräch trafen sich Dirk Lappe und Dr. Oliver Seifert im Elektrik-Integrationszentrum (EIZ) von Porsche in Weissach.

beteiligten Entwicklungsbereiche einheitlich ist. Das beinhaltet Umfänge wie Steuergeräte, Basissoftware, Diagnosefunktionen und die gesamte Elektronikarchitektur. Mit der Elektronikplattform schaffen wir sozusagen das stabile Fundament, auf dem die Kollegen der anderen Entwicklungsbereiche dann die Funktionen implementieren.

Wie gehen Porsche und Porsche Engineering mit der Transformation in der Automobilentwicklung um?

- **LAPPE:** Mit der Transformation wächst die Bedeutung von Software und der Expertise, diese zu entwickeln. Wir haben einen Change-Prozess aufgesetzt, mit dem wir Experten aus den klassischen Gewerken verstärkt in den Softwareentwicklungsbereich integrieren. Wir haben sehr viele Ingenieure mit 20 oder mehr Jahren Berufserfahrung an Bord, die bereit sind, ihr angestammtes Geschäftsfeld zu verlassen und am weiteren Aufbau unserer Softwarekompetenz mitzuarbeiten. Für das Unternehmen sind die Mitarbeiter nach der Transformation besonders wertvoll, denn sie bringen sowohl mechanisches als auch elektronisches Verständnis in die Funktionsentwicklung mit ein.
- **SEIFERT:** Wichtig ist, einen Transformationsprozess aktiv zu betreiben und nicht zu warten, bis man durch äußere Einflüsse dazu gezwungen wird. Wir möchten der sprichwörtlichen Karotte nicht hinterherrennen, sondern das Rennen anführen. Und auf der Rennstrecke fühlen wir uns bekanntermaßen ja sehr wohl. Wir haben dabei allerdings nicht

den Anspruch, jedem Trend unreflektiert zu folgen. Denn man benötigt immer eine stabile Basis als Ausgangspunkt für eine erfolgreiche Transformation in neue Arbeits-, Prozess- und Produktwelten. Und wir dürfen nie vergessen, dass hinter jeder Transformation Menschen stehen. Wir verstehen uns als eine Familie und achten darauf, dass wir die Mitarbeiter nicht überfordern, sondern ihnen die notwendige Unterstützung geben.

Welche Rolle spielt Nachhaltigkeit bei der E/E-Entwicklung der Zukunft?

- **SEIFERT:** Eine sehr große Rolle. Wir verfolgen den Nachhaltigkeitsgedanken entlang der gesamten Wertschöpfungskette. In der Komponentenentwicklung berücksichtigen wir diese Anforderungen etwa bei der Materialauswahl und Bauteilauslegung. Aber auch mit unserer E/E-Architektur und unseren Funktionen tragen wir zur Nachhaltigkeit im Betrieb des Fahrzeugs bei. Beispielsweise legen wir das System so aus, dass die zur Verfügung stehende Energie im Fahrzeug immer so effizient wie möglich ausgenutzt wird. Ein weiterer Punkt ist eine möglichst lange Lebensdauer der Fahrzeuge im Feld. Unsere flexible Elektronikarchitektur lässt sich über Jahre auf den jeweils aktuellen Stand heben, sodass die Kunden ihr Fahrzeug lange nutzen können und auch wollen.

„Wir benötigen die Kreativität unserer Ingenieure. Das ist ein Innovationsprozess, der sich niemals digitalisieren lässt.“

Dirk Lappe

Taycan 4S

Stromverbrauch kombiniert (Performance Batterie):
26,2 kWh/100 km
Stromverbrauch kombiniert (Performance Batterie Plus):
27,0 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+

Taycan Turbo

Stromverbrauch kombiniert:
28,0 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+

Taycan Turbo S

Stromverbrauch kombiniert:
28,5 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert:
0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+

„Wir verfolgen den Nachhaltigkeitsgedanken entlang der gesamten Wertschöpfungskette.“

Dr. Oliver Seifert

Gibt es ein Porsche-Feature, das Sie nicht digitalisieren oder elektrifizieren würden?

- **SEIFERT:** Das Design unserer Fahrzeuge ist ein emotionales Erlebnis und sicherlich etwas, was man nicht digitalisieren kann. Ansonsten sind der Fantasie keine Grenzen gesetzt. Wichtig ist allerdings, dass sich das Ergebnis Porsche-typisch anfühlt, sonst macht die Digitalisierung keinen Sinn. Wir haben schon bei vielen Features gezeigt, wie Porsche-typische Elektrifizierung geht: ob bei Lenkung, Bremse, Antrieb oder anderen Systemen, gleich welcher Bauweise. Und ich kann nur jedem empfehlen, der diese Eigenschaften noch nicht selbst erlebt hat: Probieren Sie sie einmal im Porsche Taycan aus!
- **LAPPE:** In der Entwicklung werden wir den Menschen nicht durch Computer ersetzen können. Wir benötigen die Kreativität unserer Ingenieure, mit denen sie die einzelnen Funktionen verbessern und neue Features entwickeln. Das ist ein Innovationsprozess, der sich niemals digitalisieren lässt.

Welchem E/E-Projekt außerhalb der Automobilentwicklung würden Sie sich gerne einmal widmen?

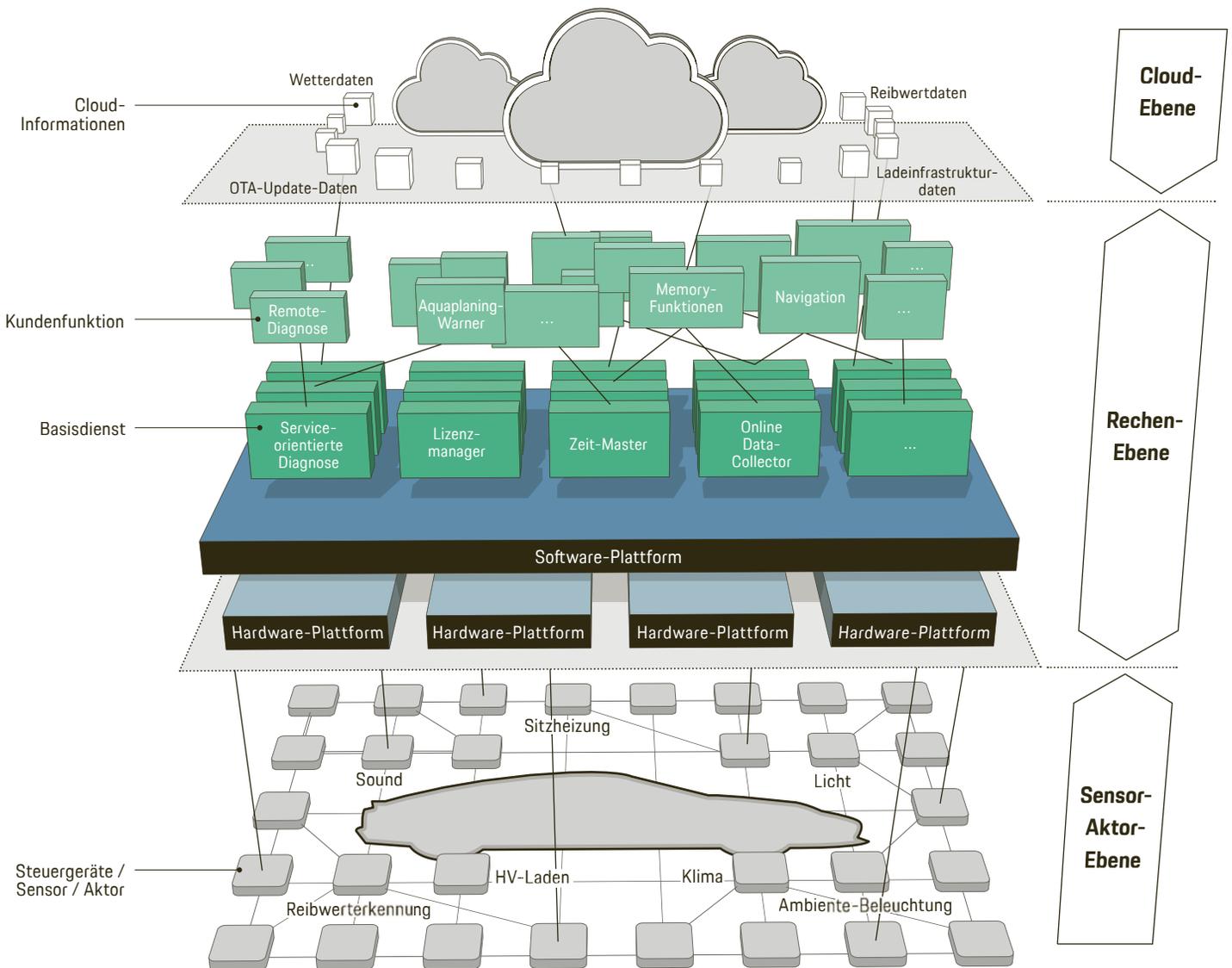
- **LAPPE:** Faszinierend wäre die Entwicklung eines Übersetzungstools, das in Echtzeit arbeitet und mit dessen Hilfe man mit allen Menschen weltweit in ihrer Muttersprache kommunizieren könnte. Durch eine gemeinsame Kommunikation könnte man viele Missverständnisse aus der Welt schaffen und einige der aktuellen globalen Herausforderungen leichter bewältigen.
- **SEIFERT:** Da kann ich nur zustimmen. Kommunikation ist das A und O. Das ist beim Menschen so – und auch beim Fahrzeug. 

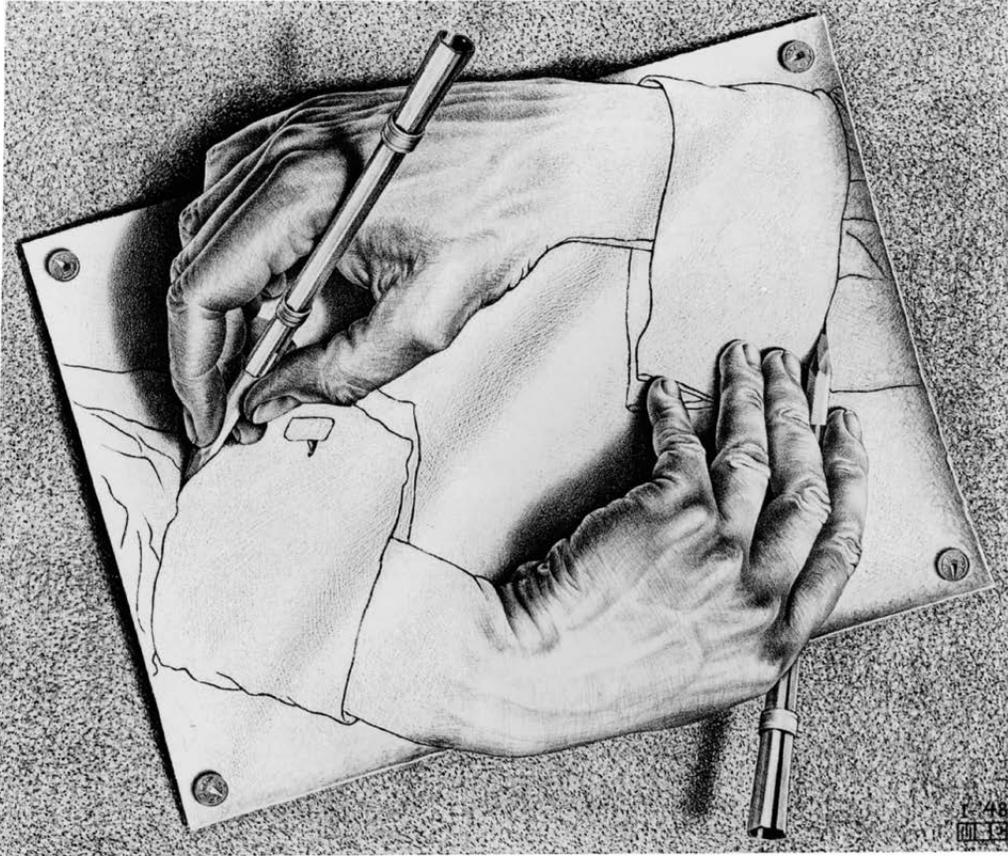
E³: End-2-End-Elektronikarchitektur

Die Fahrzeuge der Zukunft werden revolutionäre Funktionen aufweisen. Neben aktuellen Trends wie Elektromobilität, Konnektivität und autonomes Fahren tritt die Notwendigkeit zur Vernetzung des Fahrzeugs mit der Umwelt immer stärker in den Fokus künftiger Architekturen. Anwendungen in Themenfeldern wie Remote-Update und -Diagnose, Car-2-Infrastructure, Big-Data- und Cloud-Funktionen werden in Zukunft eine immer größere Rolle spielen. Um moderne Funktionen im Fahrzeug umzusetzen und dieses somit für den Kunden aktuell und leistungsfähig zu halten, entwickelt Porsche kontinuierlich eine neue E³-Architektur (End-2-End-Elektronikarchitektur) weiter. Ihr Aufbau ist offen und modular – auf Basis eines ganzheitlichen Ansatzes einer End-to-End-

Architektur mit einem Vehicle Backend als integrealem Bestandteil. Sie umfasst mehrere Ebenen: Auf der Sensor-Aktor-Ebene befinden sich unter anderem Funktionen wie Sound, Licht, Heizung oder Ambiente-Beleuchtung. Auf der Rechen-Ebene laufen die Basisdienste und die Kundenfunktionen wie Navigation, Remote-Diagnose oder der Aquaplaning-Warner. Die letzte Ebene ist die Cloud-Ebene: Hier befinden sich Informationen, die in der Cloud gespeichert werden wie zum Beispiel Wetter- oder Reibwertdaten. Neben neuen Anforderungen an die technische Infrastruktur, wie zum Beispiel hochleistungsfähige zentrale Recheneinheiten, High-Speed-Vernetzung, neue Diagnosekonzepte und adäquate Security-Konzepte, stellt die E³-Architektur auch die

Berücksichtigung entsprechender Veränderungen im Umfeld zugehöriger Entwicklungsprozesse und Kooperationsmodelle in den Mittelpunkt. Der Trend zur Funktionsverschiebung vom Fahrzeug in das Vehicle Backend erfordert eine durchgängige und serviceorientierte Softwarearchitektur – sowohl im Fahrzeug als auch im Backend. Sie ermöglicht die domänenübergreifende Interoperabilität aller Dienste sowie die nahtlose Nutzbarkeit von leistungsstarken Cloud-Services. Mithilfe der E³-Architektur integriert sich das Fahrzeug in ein Gesamtsystem aus Diensten, das dem Kunden in Zukunft eine Vielfalt neuer Funktionen bereitstellt – und ein neues Niveau von Komfort und Mobilität ermöglicht.





Wenn Software Software schreibt

Text: Marius Mihailovici

Software wird immer mehr zum bestimmenden Faktor in der Automobilentwicklung. Marius Mihailovici, Geschäftsführer von Porsche Engineering Romania, wirft in seinem Beitrag einen Blick in die Zukunft der Softwareentwicklung und erklärt, warum sich der Job des Programmierers in den kommenden 20 Jahren komplett verändern könnte.

100 Millionen Zeilen Code stecken in einem modernen Auto. Eine Boeing 787 Dreamliner bringt es gerade einmal auf 14 Millionen Zeilen.

Autos sind schon heute rollende Computer. In ihnen arbeitet ein Netzwerk aus Dutzenden Recheneinheiten: Zwischen 70 und 100 dieser Electronic Control Units (ECUs) sind in modernen Fahrzeugen verbaut. ECUs steuern die Kraftstoffeinspritzung, regeln das Bremsverhalten oder überwachen die Klimaanlage. Der nächste Schritt werden HCPs (High Performance Computing Platforms) sein, die deutlich mehr Rechenleistung in einem Steuergerät ermöglichen.

Die höhere Rechenleistung und die Integration sind notwendig, da die Anzahl der Codezeilen und die Komplexität der Funktionen im Fahrzeug von Jahr zu Jahr ansteigen. Eine Zahl mag das verdeutlichen: 100 Millionen. So viele Zeilen Code stecken in einem modernen Auto. Zum Vergleich: Eine Boeing 787 Dreamliner bringt es gerade einmal auf 14 Millionen Zeilen.

Auch hinter dem Entertainmentsystem und der Navigation stehen viele Zeilen Code. Hinzu kommt die Möglichkeit, Smartphones und andere Geräte mit dem Auto zu verbinden, was ebenfalls nur durch komplexe Software möglich ist. Und dabei bleibt es nicht. Software übernimmt immer weitere wichtige Aufgaben im Auto. Zu den wichtigsten heutigen und künftigen Funktionen gehören der Datenaustausch mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Infrastruktur, das Update der Fahrzeuge aus der Cloud und schließlich sogar das autonome Fahren.

Entwicklung in besonderem Spannungsfeld

Dabei findet die Entwicklung von Automotive-Software in einem besonderen Spannungsfeld statt. Es gilt, Sicherheitsbestimmungen und Kundenvorgaben in Form großer Lastenhefte zu erfüllen. Die klassischen Entwicklungsprozesse der Branche sind in der Regel zeitgetrieben: Es gibt einen vorgegebenen Zeitplan, der bestimmte Meilensteine definiert. Unsere Auftraggeber erwarten regelmäßige Ergebnisse zu vorher festgelegten Terminen.



100

Electronic Control Units können sich in einem modernen Fahrzeug befinden, um zentrale Funktionen wie Kraftstoffeinspritzung oder Bremsen zu steuern.

Hinzu kommen die behördlichen Zulassungsprozesse, die sogenannte Homologation. Sie sieht zum Beispiel vor, dass Fahrzeuge erst auf den Markt kommen, wenn sie in einer bestimmten Stückzahl gebaut und abgenommen worden sind. Letztendlich geht es in der Branche immer darum, sich von einem „fertigen“ Zustand zum nächsten zu bewegen.

All diese unterschiedlichen Herausforderungen führen dazu, dass schnelles und flexibles Arbeiten gefragt ist. Ziele werden oft kurzfristig gesetzt und ändern sich schnell. Man kann sagen: Software wird ergebnisgetrieben entwickelt.

Agilität und Continuous Integration

In Cluj arbeiten unsere Softwareentwickler mit Tools, die sich seit 20 Jahren in der Softwareentwicklung bewährt haben. So nutzen wir – wo immer möglich – agile Methoden. Sie beruhen auf kleinen Entwicklungsschritten, deren Ergebnisse in täglich stattfindenden Feedbackrunden überprüft werden. Die einzelnen Teams haben dabei große Freiheit und arbeiten direkt miteinander, um sich mit ihrer jeweiligen Kompetenz unterstützen zu können. Sie legen ihre Ziele täglich und flexibel selbst fest. Teamleiter haben hier oft nur noch moderierende Funktion und behalten das große Ganze im Auge.

Ein weiteres aktuelles Paradigma der Softwareentwicklung ist „Continuous Integration“. Darunter versteht man ein stark automatisiertes Verfahren, mit dem Softwareelemente am Ende eines Arbeitstages auf ihre Lauffähigkeit überprüft und in das



Moderator: Die Teams von Marius Mihailovici haben große Freiheit und legen ihre Ziele selbst fest.

Der Einsatz agiler Methoden und von Continuous Integration sorgt für mehr Effizienz und bietet auch unseren Kunden einen Mehrwert.

Gesamtsystem integriert werden. So können wir Fehler und Probleme schnell erkennen und beheben. Der Einsatz agiler Methoden und von Continuous Integration sorgt für mehr Effizienz und bietet auch unseren Kunden einen Mehrwert: Er erleichtert die Präsentation von Zwischenergebnissen und gibt ihnen die Möglichkeit für schnelles Feedback.

Für die kommenden fünf Jahre gehe ich von einem zunehmenden Einsatz der oben beschriebenen Methoden aus. Wir werden noch stärker ergebnis- und nicht zeitgetrieben arbeiten. Teamhierarchien dürften an Bedeutung verlieren, und ich sehe einen höheren Grad an flachen und selbstorganisierenden Teams mit klaren Verantwortlichkeiten voraus. Zudem wird es wohl selbstverständlich sein, flexibel von verschiedenen Orten aus zu arbeiten (gemäß dem Konzept: „Einstellen, wo die Kompetenz existiert“). In den nächsten Jahren werden wir außerdem eine zunehmende Automatisierung sehen: Immer häufiger wird Software von Software getestet und nicht mehr von Menschen. Manuelle Tests werden vollständig verschwinden.

Die Grenzen zwischen Auto und Umwelt verschwimmen

Entwicklungen außerhalb der Automobilbranche werden uns ebenfalls zum Umdenken zwingen, denn Autos sind zunehmend ins digitale Leben ihrer Fahrer integriert. So verbindet sich zum Beispiel das Smartphone beim Einsteigen automatisch mit dem Fahrzeug. Mediennutzung, Navigation und Kommunikation gehen nahtlos ineinander über.

Es sind solche Nutzungsszenarien, die die Arbeit unserer Softwareentwickler inhaltlich verändern werden – einfach, weil die Grenzen zwischen der reinen „Auto-software“ und anderen Anwendungen verschwimmen. Das erfordert übrigens auch ein bestimmtes Mindset bei unseren Entwicklern: Bei uns arbeiten Menschen, die selbst den digitalen Lifestyle leben. Sie wissen nicht nur, was unsere Auftraggeber fordern, sondern auch, was die Fahrzeugnutzer von ihrem Auto erwarten.

ECUs der Zukunft beeinflussen die Softwareentwicklung

Auch neue Steuergeräte-Architekturen verändern die Art, wie Automotive-Software entwickelt wird. Ich gehe davon aus, dass es im Auto der Zukunft einige wenige zentrale, sehr leistungsfähige Rechner vom HCP-Typ gibt, die zusammen mit nachgeordneten, einfacheren Einheiten das gesamte Fahrzeug steuern. Auf diesen zentralen Einheiten laufen auch alle Anwendungen, die über Basisfunktionen hinausgehen, also zum Beispiel Entertainment, Datenverkehr oder die Kommunikationsanwendungen der Insassen. Diese zentralen Rechner mit einem echten Betriebssystem machen das Auto dann tatsächlich zu einem PC auf vier Rädern.

Für Entwickler heißt das, dass sich die Methoden ihrer Arbeit gar nicht so sehr verändern. Was sich ändert, sind die Systeme, mit denen sie es zu tun haben: Sie sind hierarchischer, haben weniger Komponenten und werden von einer Gesamtsoftware gesteuert. Und diese wird – wie jede Software – regelmäßige Updates erhalten. Die Software eines Autos wird also nicht mehr einmal entwickelt und installiert, sondern ständig weiterentwickelt, auch wenn das Auto schon längst beim Kunden ist.

Die Software wird nicht mehr einmal entwickelt und installiert, sondern ständig weiterentwickelt, auch wenn das Auto schon längst beim Kunden ist.



könnte in den kommenden zwei Jahrzehnten einige Aufgaben der Softwareentwicklung übernehmen. Software-Ingenieure werden weiterhin erforderlich sein.

Eine Zukunft ohne Softwareentwickler?

Die Frage ist gar nicht so abwegig: Wird es in Zukunft überhaupt noch Softwareentwickler geben? Manche Experten gehen davon aus, dass Künstliche Intelligenz (KI) in den kommenden zwei Jahrzehnten die Softwareentwicklung komplett übernehmen wird – auch in der Automobilbranche. Allerdings gehen die Meinungen hierüber auseinander. Ich persönlich kann mir vorstellen, dass wir weiterhin die Rahmenbedingungen vorgeben und die KI diese dann umsetzt. Wir werden immer noch Software-Architekten, Anforderungsingenieure und Software-Ingenieure brauchen, um zu definieren, was KI beziehungsweise neuronale Netze tun werden: Softwarefunktionen auf der Grundlage der definierten Anforderung generieren, kontinuierlich automatisch testen und korrigieren, bis die Softwarequalität auf dem erwarteten Niveau ist.

Die Entwickler der Zukunft müssen darum in der Lage sein, in Gesamtsystemen zu denken. Sie müssen wissen, wie Endkunden ihre Fahrzeuge nutzen. Ihre Arbeit wird nicht nur von den Vorgaben der OEMs bestimmt, sondern immer stärker von den Konsumenten. Eines allerdings kann ich mir nicht vorstellen: eine Software ganz ohne „Bugs“. Fehler wird es immer geben. Wir müssen sie nur nicht mehr selbst finden und beheben: Das künftige neue System wird das erledigen, überwacht von menschlichen Softwareexperten.



Marius Mihailovici ist seit 2016 Geschäftsführer von Porsche Engineering Romania. Zuvor leitete er Forschung und Entwicklung bei Alcatel-Lucent S.A./Nokia Oyj, wo er auch als Software-Manager für 2G- und 3G-Projekte tätig war. Bei World Telecom arbeitete er als Ingenieur für Nachrichtentechnik.

Täuschend echt: Game Engines erzeugen faszinierende Landschaften für Computerspiele...



Text: Constantin Gillies Mitwirkende: Frank Sayer, Tobias Watzl, Ionut Tripon, Sebastian Oebels

Game Engines erzeugen die Bilder von Computerspielhits wie „Fortnite“ und „Cyberpunk 2077“. Mittlerweile sind die Softwarepakete aber auch aus der Automobilentwicklung nicht mehr wegzudenken. Game Engines erzeugen zum Beispiel die Bilder, mit denen Fahrerassistenzsysteme trainiert werden, oder ermöglichen es Kunden, ihr neues Fahrzeug am Computer oder mit einer VR-Brille zu konfigurieren.

...und lassen computergenerierte Ansichten eines Porsche 911 Carrera 4S wie Fotos aussehen.



Wenn Tobias Watzl von der Arbeit kommt, setzt er sich gelegentlich zur Entspannung vor die Playstation. Allerdings sieht der 28-Jährige die Games mit anderen Augen als die meisten Spieler. „Manchmal frage ich mich zum Beispiel, wie die Entwickler eine bestimmte Reflexion oder Textur hinbekommen haben – anstatt die Gegner zu besiegen“, sagt Watzl und lacht. Dass er so genau hinschaut, hat einen Grund: Als Entwicklungsingenieur bei Porsche Engineering erschafft auch er täglich virtuelle Welten. Watzl baut im Rechner zum Beispiel Teile von Autobahnen nach, um damit Fahrerassistenzsysteme zu trainieren.

Dass die digitale Straße dabei aussieht wie im Computerspiel, ist kein Zufall. Denn Watzl verwendet bei seiner Arbeit unter anderem die Software „Unreal“, eine sogenannte „Game Engine“, die zum Beispiel beim Computerspiel „Fortnite“ die Bilder erzeugt. Was sonst virtuelle Schlachten auf den Bildschirm bringt, ist bei Porsche Engineering ein alltägliches Werkzeug: Game Engines lernen Assistenzsysteme an oder helfen Konstrukteuren bei der Visualisierung von Komponenten. Dank der Spieltechnologie können Kunden sogar bald virtuell Platz in ihrem gerade bestellten Fahrzeug nehmen, lange bevor es vom Band gelaufen ist.

„Game Engines bieten standardmäßig die Technologie, um die notwendige Umgebung zur Simulation von Fahrerassistenzsystemen zu erstellen“, erklärt Frank Sayer, Leiter Fachdisziplin Virtuelle Fahrzeugentwicklung bei Porsche Engineering. Der Hintergrund: Die Algorithmen von Fahrerassistenzsystemen (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) brauchen viel Training und Absicherung. Sie müssen beispielsweise auf etlichen Testkilometern lernen, anhand von unterschiedlichen Sensoren eine Verkehrssituation blitzschnell zu erfassen und angemessen zu reagieren. Dazu wären sehr viele reale Testfahrten erforderlich – und längst nicht jedes zum Training notwendige Ereignis würde dabei auftreten.

Jede Eventualität lässt sich durchspielen

Deshalb verlegt Porsche Engineering das Training in die virtuelle Welt: Game Engines simulieren die Fahrten, mit denen der Algorithmus übt. Jedes Szenario und jede Eventualität lassen sich so durchspielen – auch solche, die man aus Sicherheitsgründen real nicht proben kann: Der Vordermann bremst überraschend, ein Tier springt auf die Fahrbahn, die Sonne blendet die Bordkameras. Auch der Mischbetrieb ist denkbar: Ein reales Fahrzeug reagiert auf virtuelle Objekte.

Einige der virtuellen Teststrecken haben reale Vorbilder, zum Beispiel die A8 in der Nähe des Stuttgarter Flughafens. „Die Kollegen kennen da jede Ausfahrt und jedes Schild – obwohl sie noch nie da waren“, schmunzelt Ionut Tripon von Porsche Engineering Romania in Cluj. Er arbeitet in dem Team, das die digitalen Teststrecken baut, und gehört zu den neuen Typen von Entwicklern, die Einzug in die Automobilindustrie halten: Softwareentwickler mit Gaming-Hintergrund und Au-



„Was in der Realität Stunden dauert, lässt sich auf Sekunden reduzieren.“

Ionut Tripon,
Leiter des Teams
für die digitalen
Teststrecken bei
Porsche Engineering Cluj

Motor eines Computerspiels

Die Game Engine ist buchstäblich der Motor eines Computerspiels. Es handelt sich um eine ganze Palette von Programmen. Kernstück bildet dabei die Grafik-Engine, die das eigentliche Bild erzeugt: Sie nimmt zunächst das 3D-Modell eines darzustellenden Gegenstandes (es besteht im Urzustand nur aus Gitternetzlinien) und überzieht es mit einer digitalen Oberfläche. Diese sogenannte Textur kann zum Beispiel wie Holz oder Metall aussehen. Danach wird berechnet, wo Licht hinfällt, welche Teile eines Objekts im Schatten liegen und wo sich etwas spiegelt. Die Berechnung

des Bildes wird Rendering genannt. Dafür, dass sich die Dinge im Game wie in der realen Welt verhalten, sorgt die sogenannte Physik-Engine. Sie berechnet zum Beispiel, wie häufig ein geworfener Stein über den Boden springt, bevor er liegen bleibt. Um den Entwicklern die Arbeit zu erleichtern, ist außerdem eine Art Editor enthalten, mit dem sich neue Simulationen erschaffen lassen, ohne sie von Grund auf neu programmieren zu müssen. Millionen von Designern weltweit nutzen diese Baukastensysteme, um digitale Welten zu erschaffen – vom Handyspiel bis zum Hollywood-Actionfilm.

tomotive-Verständnis prägen die Zukunft der Mobilität ebenso wie KI-Experten und Maschinenbau-Ingenieure. „Hier werden Leidenschaft für Videospiele und deren Entwicklung kombiniert mit klassischen Fertigkeiten – das ist hoch motivierend, spannend und von unmittelbarer Relevanz für unsere Projekte“, bestätigt Tudor Ziman, der die Funktionsentwicklung in Cluj leitet.

Die mithilfe von Game Engines simulierten Fahrten haben den Vorteil, dass sie sich beliebig oft wiederholen lassen und bis ins Kleinste kontrollierbar sind. Außerdem brauchen sie weniger Zeit als echte. „Was in der Realität Stunden dauert, lässt sich auf Sekunden reduzieren“, so Tripon. Begrenzender Faktor sei dabei lediglich die Rechenleistung der verwendeten Hardware.

Doch auch diese Grenze verschwindet. Porsche Engineering hat begonnen, die virtuelle Entwicklung in die Cloud zu verlegen: Die Fahrsimulationen werden in das Rechenzentrum von Dienstleistern wie Amazon Web Services ausgelagert, wo sie parallel auf Dutzenden von Maschinen laufen. Drehen Tausende von simulierten Autos (Instanzen genannt) ihre Runden, verkürzt das die Entwicklungszeit drastisch.

Virtuelle Tests statt realer Prototypen

In der Konstruktion werden Game Engines eingesetzt, um das sichtbar zu machen, was es noch gar nicht gibt. Aktuelles Beispiel: Während der Entwicklung des Cayenne Coupé wurde darüber nachgedacht, den sogenannten Schwarzdruck am Glasdach zu verkleinern. Dieser Bereich am Rand der Scheibe verhindert, dass die Schienenführung des Sonnenrollos darunter zu sehen ist. Doch wie breit muss der Schwarzdruck sein? Bisher wird in solchen Fällen geschweißt und gesagt: Man präpariert ein Fahrzeug und probiert mehrere Glasdächer mit unterschiedlich breitem Schwarzdruck aus. Viel schneller und kostengünstiger lief dagegen der virtuelle Test ab, für den Porsche Engineering das hausintern entwickelte Visual Engineering Tool (VET) nutzte, welches auf der Game Engine Unity basiert. Aus den original CAD-Daten bauten die Ingenieure das Fahrzeug inklusive Glasdach virtuell nach. Nach wenigen Stunden konnten sie das Modell mit einer VR-Brille von allen Seiten in Augenschein nehmen. Ergebnis: Der Schwarzrand war richtig dimensioniert. „Mit einem realen Umbau hätten wir deutlich mehr Zeit und Geld gebraucht“, resümiert Entwicklungsingenieur Watzl.

Mittlerweile sind die von Game Engines erzeugten Bilder so gut, dass selbst Profis genau hinschauen müssen, um den Unterschied zur Wirklichkeit zu erkennen. Das soll im Vertrieb demnächst ein völlig neues Kundenerlebnis ermöglichen: Porsche befindet sich aktuell in der Testphase für den sogenannten Virtual Reality Car Configurator, der anschließend in den

Neue Entwickler-Typen: Bei Porsche Engineering in Cluj arbeiten Software-Experten mit Gaming-Hintergrund und Automotive-Verständnis.



Virtuelle Autobahn: So sieht die A8 in der Nähe des Stuttgarter Flughafens aus – in einer Simulation, die bei Porsche Engineering in Cluj entstanden ist.

Cayenne Coupé

Kraftstoffverbrauch innerorts: 11,7–11,4 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch außerorts: 8,3–8,2 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: 9,5–9,4 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: 217–214 g/km
 Energieeffizienzklasse: D

911 Carrera 4S

Kraftstoffverbrauch innerorts: (Schaltgetriebe): 14,8 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch innerorts: (PDK): 13,1 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch außerorts: (Schaltgetriebe): 7,4 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch außerorts: (PDK): 7,8 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: (Schaltgetriebe): 10,1 l/100 km
 Kraftstoffverbrauch kombiniert: (PDK): 9,7 l/100 km
 CO₂-Emissionen kombiniert: (Schaltgetriebe): 231 g/km
 CO₂-Emissionen kombiniert: (PDK): 222 g/km
 Energieeffizienzklasse: G

Schöpfer virtueller Welten:

Tobias Watzl (links) und Frank Sayer nutzen Game Engines für Tests und Visualisierungen.

Mehr als wirklich: Mit Game Engines lassen sich Augmented-Reality-Anwendungen erstellen, die reale Bilder mit digitalen Informationen erweitern.



„Game Engines bieten standardmäßig die Technologie, um die notwendige Umgebung zur Simulation von Fahrerassistenzsystemen zu erstellen.“

Frank Sayer,
Leiter Fachdisziplin Virtuelle
Fahrzeugentwicklung bei
Porsche Engineering



Zentren ausgerollt wird. Dieses System besteht aus einem Gaming-PC samt angeschlossener VR-Brille und präsentiert dem Kunden vor Ort eine dreidimensionale Simulation seines künftigen Fahrzeugs. Dafür muss er zusammen mit dem Berater nur kurz sein Wunschmodell zusammenstellen – Lackfarbe, Felgen, Ausstattung. Der Car Configurator berechnet dann mithilfe von Unreal ein Bild, das zunächst auf einem 65-Zoll-Bildschirm mit 4K-Auflösung präsentiert wird. „Die Optik ist deutlich besser als bei Konfiguratoren im Netz – beinahe fotorealistisch“, schwärmt Sebastian Oebels, Experte für digitales Marketing bei der Porsche AG.

Der Kunde kann auch eine VR-Brille aufsetzen und sein Wunschfahrzeug in drei Dimensionen inspizieren.

**60-mal**

pro Sekunde berechnet die Game Engine im „Virtual Reality Car Configurator“ ein perspektivisch unterschiedliches Bild für den linken und den rechten Monitor einer VR-Brille. So haben die Kunden den Eindruck, das Fahrzeug stehe direkt vor ihnen.

Die Game Engine berechnet dann 60-mal pro Sekunde für das linke und rechte Auge ein perspektivisch unterschiedliches Bild, sodass der Kunde den Eindruck bekommt, das Fahrzeug stehe direkt vor ihm. Er kann darum herumgehen, die Felgen von Nahem betrachten, sich virtuell hineinsetzen und das Interieur bis hin zur Naht der Ledersitze begutachten. Sogar ein Blick ins Handschuhfach ist möglich. Auf Wunsch lässt sich die Szenerie von Tag auf Nacht umschalten, damit die Scheinwerfer zu sehen sind.

Als Rohmaterial verwendet die Game Engine originale Konstruktionsdaten. Sie müssen allerdings angepasst werden. „Wir führen viele echtzeitspezifische Verbesserungen durch“, erklärt Lukas Kays von Mackevision,



Wie im Showroom: Der Virtual Reality Car Configurator präsentiert Kunden eine dreidimensionale Simulation ihres künftigen Fahrzeugs.

einem Stuttgarter Spezialisten für Computer Generated Imagery (CGI). Das Unternehmen realisiert fotorealistische Spezialeffekte für Film und Fernsehen – unter anderem für die Serie „Game of Thrones“ – und hat den Car Configurator zusammen mit Porsche entwickelt. Dass für das virtuelle Fahrzeug nicht einfach CAD-Dateien genutzt werden können, liegt an deren Detailliertheit. Ein Konstrukteur beschreibt jedes Teil haarklein mit seiner Geometrie. Daraus 60-mal pro Sekunde ein Bild zu berechnen, kann einen Rechner überfordern und zu Flackern in der Darstellung führen. Deshalb müssen die Modelle vereinfacht werden. Statt beispielsweise einen Lautsprechergrill mit all seinen Drähten zu berechnen, verwenden die 3D-Designer ein hochauflösendes Foto des Grills. Das darzustellen kostet viel weniger Rechenpower. Und der ungeschulte Betrachter kann den Unterschied ohnehin nicht erkennen.

Realistische Effekte ohne großen Aufwand

Der entscheidende Vorteil einer Game Engine ist, dass sie sich ohne viel Programmieraufwand einsetzen lässt. „Unreal 4 macht es leicht, Materialien zu erstellen“, gibt Designer Kays als Beispiel. „Die Reflexionen auf dem Autolack etwa müssen nicht extra programmiert werden.“ Einen eigenen sogenannte Renderer zu programmieren, der solche Effekte beherrscht, wäre viel zu aufwendig und teuer.

Daneben sind Game Engines kostengünstig. Unternehmensanwender wie Porsche Engineering können Unreal komplett gebührenfrei nutzen. Sie erhalten sogar den Quellcode (Source Code) der Software,



DIE PLAYER IM GAME-ENGINES-MARKT



Name der Game Engine

Unity

Hersteller

Unity Technologies

Erfolgreiche Spiele

- Pokémon Go
- Monument Valley
- Call of Duty Mobile
- Super Mario Run
- Cuphead



Name der Game Engine

Unreal

Hersteller

Epic Games

Erfolgreiche Spiele

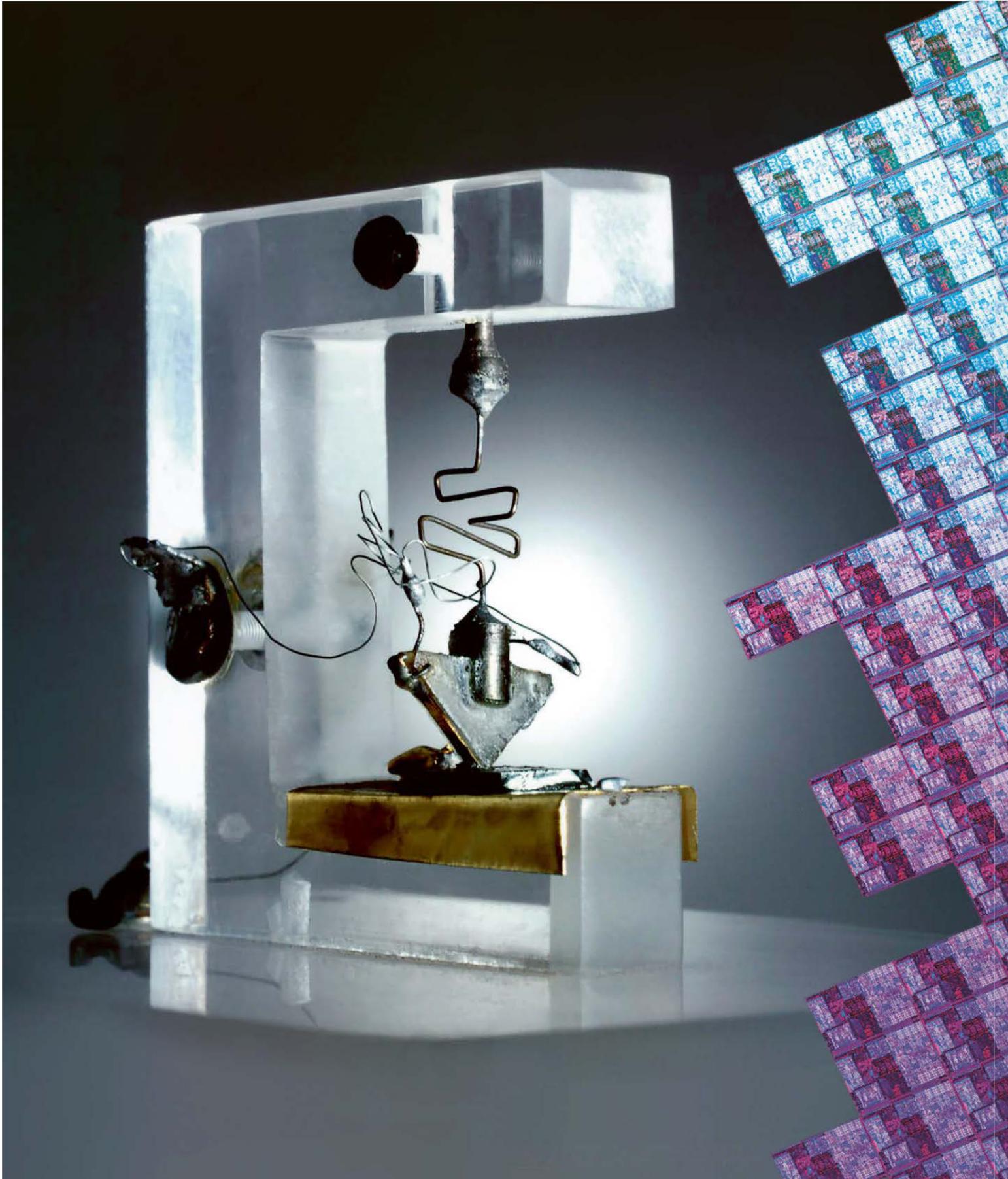
- Fortnite
- Valorant
- Final Fantasy VII Remake
- Borderlands
- Minecraft Dungeons

damit sie ihn an ihre Anforderungen anpassen können. „Wir wollen, dass möglichst viele Firmen die Engine nutzen“, erklärt Stefan Wenz, Business Development Manager bei Epic Games, dem US-Spielehersteller, der Unreal vor über 20 Jahren entwickelt hat. Geld verdient das Unternehmen nur indirekt, zum Beispiel über kostenpflichtigen Support.

Seit rund fünf Jahren umwerben die Macher der Game Engine aktiv Industriekunden – Maschinenbauer, Architekten und Automobilhersteller. „B2B verspricht das größte Wachstum“, erklärt Wenz. Um Industrieanwendern die Arbeit zu erleichtern, hat Epic Games unlängst ein kostenfreies Material-Paket geschnürt: Darin sind fertige Materialien von Alcantara bis Walnussholz enthalten, die die Designer den Objekten zuordnen können. Daneben hat der Spielehersteller letztes Jahr ein Förderprogramm namens MegaGrants gestartet, aus dem jedes Unternehmen, das mit der Unreal Engine arbeitet, Kapital bekommen kann. Die Entwicklung von Computerspielen und Automobilen verschmilzt also weiter. Insofern wird das selbstfahrende Auto der Zukunft ein bisschen auch den Gamern zu verdanken sein. ↻

→ ZUSAMMENGEFASST

Game Engines erwecken Computerspiele zum Leben – und helfen bei der Entwicklung neuer Fahrfunktionen, zum Beispiel durch das Training von Fahrerassistenzsystemen mit synthetischen Sensordaten. Jedes Szenario und jede Eventualität lassen sich so durchspielen. Im Car Configurator von Porsche helfen sie Kunden dabei, sich ein neues Fahrzeug auszusuchen.



Beginn einer neuen Ära: Der erste Transistor (links) war eine Labor-Improvisation. Heute sind die winzigen Bauelemente allgegenwärtig.

A high-magnification, top-down view of a silicon wafer. The wafer is divided into a regular grid of square dies. Each die is a complex, multi-colored pattern of blue, green, and red, representing the intricate circuitry of the chip. The grid lines are thin and dark, creating a strong sense of perspective and depth.

Mehr als Moore

Text: Christian Buck

Seit Jahrzehnten schrumpfen die Transistoren in integrierten Schaltungen, wodurch immer leistungsfähigere Chips entstanden sind. Nun erreicht dieser Prozess sein Ende. Daher sollen neben völlig neuen Transistor-Typen in Zukunft auch andere Chip- und Computer-Architekturen eine weitere Steigerung der Rechenleistung ermöglichen. Davon profitiert langfristig auch die Automobilindustrie.

Die Geburtsstunde der modernen Elektronik schlug am 16. Dezember 1947 in den Bell Labs in Murray Hill (New Jersey). Damals gelang es dem Physiker Walter Brattain erstmals, mit einem improvisierten Halbleiter-Bauelement eine elektrische Spannung zu verstärken. Der Transistor war geboren. Mit ihm stand zum ersten Mal eine Alternative zu den klobigen, unzuverlässigen und energiehungrigen Vakuumröhren zur Verfügung. Brattains Laboraufbau aus einem Germanium-Plättchen, einem Plastik-Dreieck, einer Goldfolie und einer Büroklammer hatte zwar äußerlich noch nichts mit modernen Chips zu tun – aber er läutete dennoch die Ära von Personal Computern, Smartphones und selbstfahrenden Autos ein.

Das neue elektronische Bauelement eignete sich als Verstärker und als Schalter – und es ließ sich mit seinesgleichen sowie anderen Komponenten wie Widerständen und Kondensatoren als integrierte Schaltung (integrated circuit, IC) auf einem einzigen Halbleiterplättchen unterbringen. In den folgenden Jahrzehnten gelang es den Halbleiterunternehmen, die Bauelemente immer mehr zu verkleinern und eine immer größere Zahl von ihnen auf der gleichen Fläche unterzubringen. Gordon Moore (siehe Kasten) sagte bereits 1965 voraus, dass die Zahl der Transistoren pro Flächeneinheit exponentiell ansteigen werde.

Einfache Skalierung kommt an ihr Ende

Moore's Vorhersage hat sich über Jahrzehnte im Wesentlichen als korrekt erwiesen. Jetzt stößt sie aber endgültig an ihre Grenzen, weil die schrittweise Verkleinerung der bewährten MOSFETs (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, siehe Kasten Seite 37) als Schalter auf den Chips nicht mehr funktioniert: „Vor etwa 15 Jahren hat man erkannt, dass die einfache Skalierung an ihr Ende gekommen ist“, berichtet Dr. Heike Riel, IBM Fellow am IBM-Forschungszentrum im schweizerischen Rueschlikon. „Zuerst haben die Hersteller darum bei gleichbleibender MOSFET-Geometrie zum Beispiel Siliziumdioxid als Isoliermaterial in den Transistoren durch sogenannte High-K-Materialien ersetzt. So ließen sich Chips mit 45 Nm großen Strukturen herstellen.“

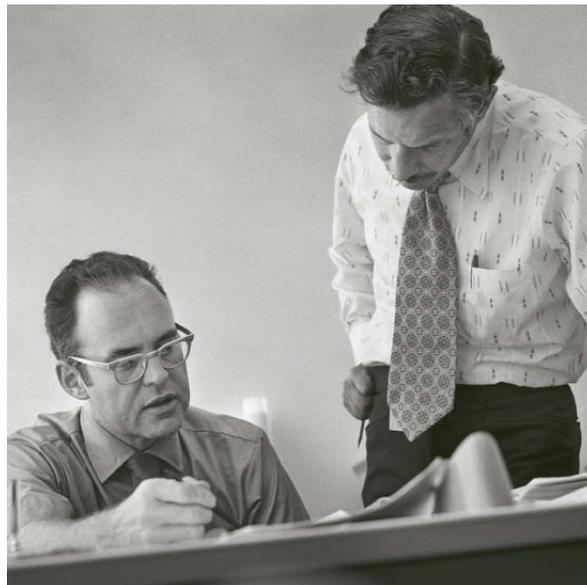
Aber auch dieser Trick konnte das Mooresche Gesetz nur einige Jahren am Leben halten. Darum setzten die Chiphersteller ab der ersten Hälfte der 2010er-Jahre auf eine neue Transistor-Architektur für noch kleinere Komponenten: den FinFET. Bei ihm ist der leitende Kanal zwischen Source- und Drain-Anschluss wie eine Flosse (englisch „fin“) geformt und wird von der Steuerelektrode (Gate) an mehreren Seiten umschlossen (siehe Kasten Seite 38). „Dadurch lässt sich der

Stromfluss im Transistor wesentlich besser kontrollieren“, so Riel. „FinFETs kamen ab 22 Nm Strukturgröße zum Einsatz und sind heute Standard in integrierten Schaltungen.“

Aber auch ihr Nachfolger steht schon bereit. Ab Strukturgrößen von fünf Nanometern soll der GAAFET (Gate-all-around-FET) die Arbeit in den Chips übernehmen. „Bei ihm besteht der leitende Kanal zwischen Source und Drain aus mehreren parallelen Silizium-Nanodrähten, die jeweils komplett von der Gate-Elektrode umschlossen sind“, erklärt Riel. „Das ist die optimale Geometrie für die Steuerung des Stromflusses. Außerdem spart man Fläche auf den Chips, weil mehrere dieser Nanodrahtstrukturen, die den Kanal des Transistors bilden, übereinander liegen.“ Von Entwicklungen wie dem GAAFET werden künftig auch Automotive-Anwendungen profitieren – denn sowohl die neuen, leistungsstarken High Performance

Das Mooresche Gesetz

Vor 55 Jahren machte Gordon Moore eine bemerkenswerte Voraussage: Die Zahl der Transistoren pro Chip wird sich in Zukunft jedes Jahr verdoppeln, so der damalige Forschungsdirektor des US-Halbleiterherstellers Fairchild Semiconductor und spätere Intel-Mitgründer 1965 in der Zeitschrift „Electronics“. Bereits 1975 wurde es darum möglich sein, rund 65.000 von ihnen auf einem winzigen Siliziumplättchen unterzubringen. Das „Mooresche Gesetz“ wurde immer wieder leicht angepasst, hat sich im Grundsatz aber als korrekt erwiesen und avancierte zur Richtschnur der Halbleiterhersteller: Bis heute gelingt es ihnen immer wieder, in kurzen Abständen die Zahl der Transistoren pro Flächeneinheit zu verdoppeln. In Zukunft wird das aber nicht mehr möglich sein. Eine höhere Leistungsfähigkeit der Chips muss dann auf andere Weise erreicht werden.

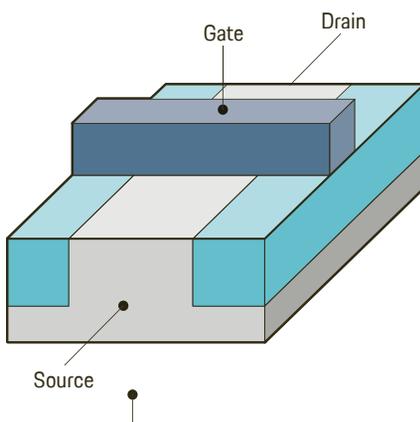


Gesetzgeber: Gordon Moore (links neben Intel-Mitgründer Robert Noyce) machte 1965 die nach ihm benannte berühmte Vorhersage.

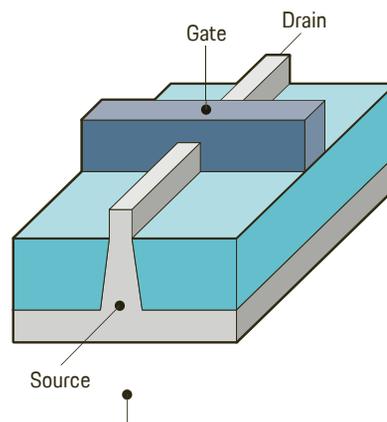
MOSFET, FinFET und GAAFET

Der MOSFET (links) ist seit Jahrzehnten das Arbeitspferd als Schalter für die Digitaltechnik und hat durch seine permanente Verkleinerung das Mooresche Gesetz am Leben erhalten. Die Spannung zwischen Gate- und Source-Elektrode bestimmt bei ihm den Strom, der durch den Kanal von Source nach Drain fließt. Beim FinFET (Mitte) hat der Kanal die Form einer Flosse

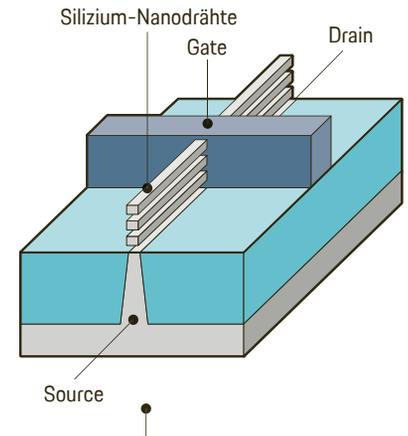
(englisch „fin“), sodass das Gate ihn an drei Seiten umschließen kann. Das verbessert die Steuerung des Stromflusses im Vergleich zum MOSFET, bei dem das Gate nur von oben auf den Kanal einwirken kann. Beim GAAFET (rechts) umschließt das Gate den Kanal aus Silizium-Nanodrähten vollständig. Das ist die optimale Geometrie, um den Stromfluss zu kontrollieren.



**Metal-Oxide-Semiconductor
Field-Effect Transistor
(MOSFET)**



**Fin Field-Effect Transistor
(FinFET)**



**Gate-all-around
Field-Effect Transistor (GAAFET)**

Computing Platforms (HCPs) als Nachfolger der vielen dezentralen Steuergeräte als auch die Spezialprozessoren für das autonome Fahren sind auf Chips mit hoher Rechenleistung angewiesen. Das Mooresche Gesetz wird aber auch der GAAFET auf Dauer nicht retten können: Jenseits von drei Nm Strukturgröße wird es eng. In drei bis vier Jahren könnte diese Grenze erreicht sein.

„Eine geniale Phase des Verbesserns kommt damit an ihr Ende“, sagt Prof. Dr. Thomas Schimmel, Direktor am Institut für Nanotechnologie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). „Bisher hat man immer eine technische Lösung gefunden, die eine weitere Verkleinerung des klassischen Transistors ermöglichte – aber jetzt hat man in den Chips atomare Dimensionen erreicht. Durch den quantenmechanischen Tunneffekt können Elektronen Isolierungen durchqueren, was die Bauelemente unbrauchbar machen würde. Denn im Gegensatz zu den Vorstellungen der klassischen Physik können die Elektronen selbst dann Barrieren überwinden, wenn sie eigentlich nicht genügend Energie dafür besitzen.“ Aber auch das gezielte Einbringen von Fremdatomen in das hochreine Silizium während des Produktionspro-



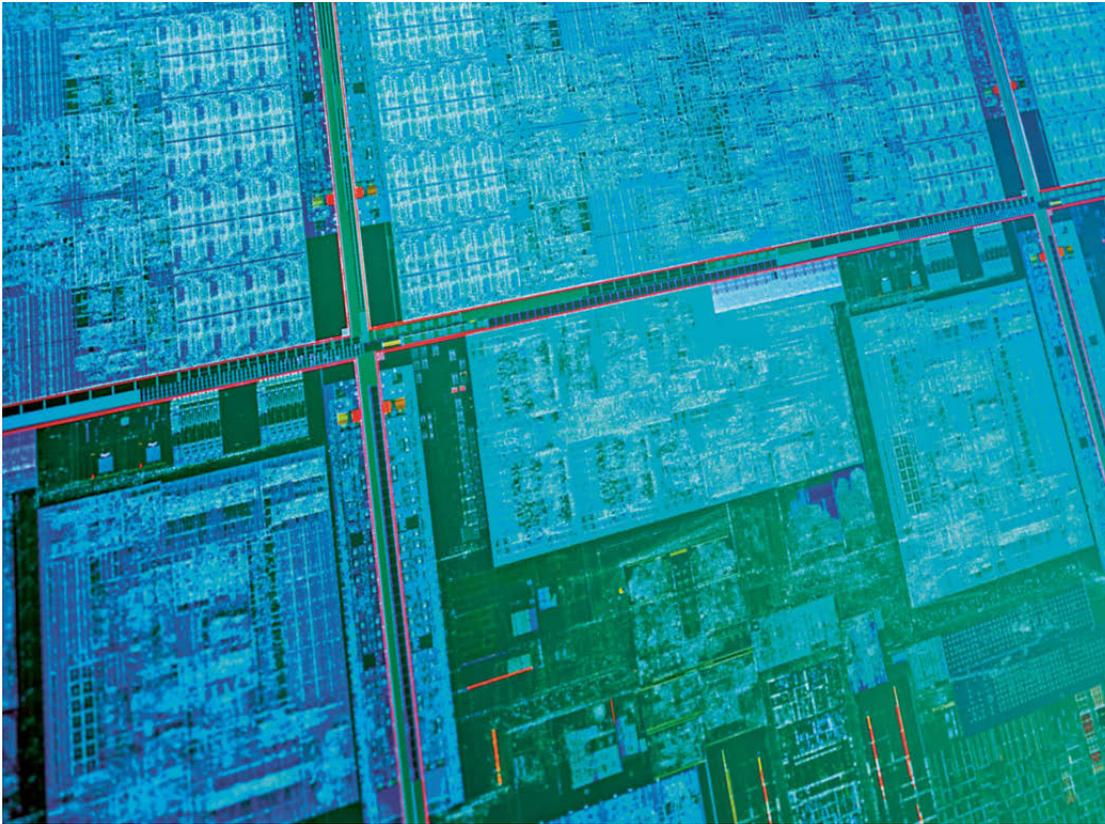
54 Milliarden

Transistoren stecken im Grafikprozessor Nvidia Ampere. Er ist laut Hersteller der größte Chip in 7-Nm-Technologie, der je gebaut wurde.

zesses – „Dotieren“ genannt – funktioniert bei immer kleineren Strukturen nicht mehr zuverlässig.

Kein heißer Nachfolge-Kandidat in Sicht

Gesucht wird darum ein Nachfolger des Transistors, mit dem sich die Performance elektronischer Schaltungen in Zukunft weiter steigern lässt. IBM-Forscherin Riel zählt eine ganze Reihe von MOSFET-Alternativen auf, darunter den Carbon Nanotube Field-Effect Transistor (CNFET) und den Tunnel-FET (TFET): Im CNFET fließt der Strom durch winzige Röhren aus Kohlenstoff. Forscher vom MIT haben dieses Jahr gezeigt, dass sich die schnellen und energieeffizienten Schalter in konventionellen Chip-Fabriken herstellen lassen. TFETs sind ähnlich aufgebaut wie konventionelle Transistoren, nutzen beim Schalten aber den quantenmechanischen Tunneffekt zu ihrem Vorteil. Sie sind energiesparend und schnell. Ob CNFET, TFET oder ein anderer Ansatz das Rennen machen wird, ist aber völlig offen. „Es gibt derzeit viel Forschung, aber noch keinen heißen Kandidaten für die Nachfolge des optimierten Silizium-MOSFET“, so Riel.



3D-Chip: Die Lakefield-Prozessoren von Intel bestehen bereits aus mehreren Schichten (im Bild die Rechenschicht).



Nodes

nennt man in der Halbleiterbranche die verschiedenen Generationen von Chips, wobei die Strukturen von Node zu Node immer kleiner werden.



5 Nm

Die fortschrittlichsten Chips gehören heute zum 5-Nm-Node. Ein Beispiel dafür ist der Apple A14 Bionic.



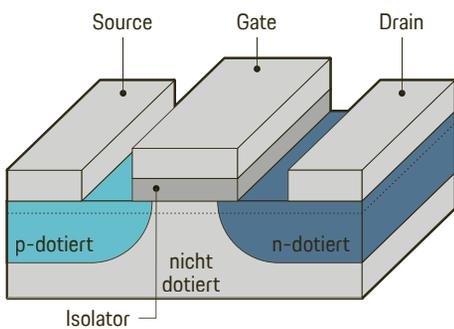
4 Nm

Der 4-Nm-Node ist der nächste Schritt. Er wird für das Jahr 2022 erwartet.

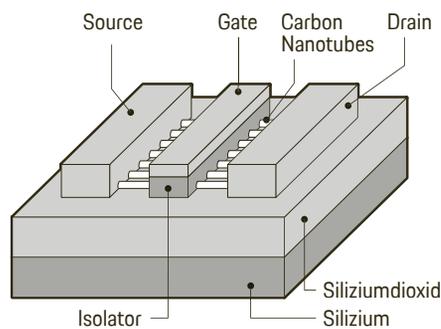
Künftige Alternativen zum herkömmlichen Transistor-Design

Beim TFET (links) sind Source und Drain im Gegensatz zum MOSFET unterschiedlich dotiert. Er nutzt den quantenmechanischen Tunneleffekt: Bei ihm bestimmt die Spannung zwischen Gate und Source, ob Ladungsträger die energetische Barriere zwischen Source und Drain „durchtunneln“ können und ein Stromfluss möglich ist. Beim CNFET (mitte) besteht der Kanal

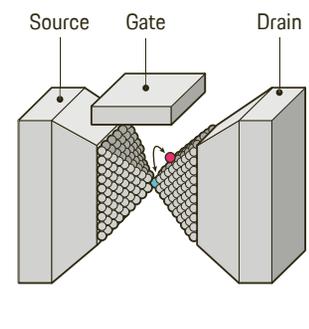
zwischen Source und Drain aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Auch hier bestimmt die Gate-Source-Spannung den Stromfluss. Beim Einzelatom-Transistor (rechts) verschiebt die Spannung zwischen Source und Gate ein einzelnes Atom, das den Stromkreis zwischen Source und Drain entweder schließt oder öffnet (grüne/rote Position).



Tunnel-Field-Effect Transistor (TFET)



Carbon Nanotube Field-Effect Transistor (CNFET)



Einzelatom-Transistor



„Es gibt derzeit viel Forschung, aber noch keinen heißen Kandidaten für die Nachfolge des optimierten Silizium-MOSFET.“

Dr. Heike Riel, IBM

KIT-Forscher Schimmel setzt dafür langfristig auf den Einzelatom-Transistor: Bei ihm verschiebt eine Steuerelektrode ein Atom, das die winzige Lücke zwischen zwei Anschlüssen schließen und so den Stromfluss ermöglichen kann. „Im Prinzip funktioniert das wie bei einem Relais mit zwei stabilen Zuständen“, so Schimmel, der 2004 mit seinem Team den ersten Einzelatom-Transistor entwickelte. „Dadurch ist der Einzelatom-Transistor nicht nur ein Schalter, sondern auch ein nichtflüchtiger Speicher. Er könnte also zugleich auch herkömmliche RAM-Chips als Arbeitsspeicher in Computern ersetzen. Da er auch ohne Strom seinen Zustand beibehält, müsste man Computer in Zukunft nicht mehr neu starten, sondern könnte nach einer Pause sofort weiterarbeiten.“

Weiterer Vorteil: Der Einzelatom-Transistor benötigt deutlich weniger Spannung als der MOSFET und würde dadurch im Vergleich pro Schaltvorgang nur etwa ein Zehntausendstel der Energie verbrauchen. Das Hitze-Problem heutiger Chips wäre damit gelöst, und Taktfrequenzen von bis zu 100 Gigahertz kämen in Reichweite. Einen ersten IC mit zwei seiner neuartigen Transistoren hat Schimmel schon gebaut, und für eine spätere Serienfertigung könnte man einen Mix aus bewährten Prozessen der Halbleiterindustrie und galvanischen Verfahren nutzen. „Das ist wie beim Verzinken einer Karosserie – nur eben im atomaren Maßstab“, sagt der Karlsruher Wissenschaftler.

Neue Chip- und Computer-Architekturen

Alternativ zur immer weiteren Verkleinerung der Bauelemente bieten sich auch neue Ansätze bei der Chip-Architektur an, zum Beispiel der Weg in die dritte Dimension: Um mehr Leistung in die Schaltkreise zu packen, ließen sich mehrere Elektronik-Schichten aufeinander stapeln – schon heute praktiziert bei Flash-Speichern. Dabei könnten die Hersteller auf eine Lage mit herkömmlichen Silizium-Transistoren künftig auch eine Ebene aus sogenannten Verbindungshalbleitern wie Indiumgalliumarsenid (InGaAs) aufbringen.

Sie eignen sich für Spezialaufgaben wie besonders schnelle Verstärkung, zur Emission oder Detektion von Licht und auch als mögliche Quantenbauelemente. Viele Experten setzen auf die Integration solcher zusätzlicher Funktionen in die Chips, um das Ende des Mooreschen Gesetzes zu kompensieren. Ihre Devise lautet: Statt „More Moore“ (weitere Miniaturisierung) lieber „More than Moore“ (die Vereinigung von digitalen und nicht-digitalen Funktionen auf demselben Chip).

Eine deutlich höhere Rechenleistung und mehr Energieeffizienz verspricht das In-Memory-Computing, das die räumliche Trennung von Recheneinheit und Speicher in gängigen Computern aufheben soll. Denn damit würde der zeitraubende und energieintensive Transport der Bytes zwischen Mikroprozessor und RAM entfallen. So lassen sich beispielsweise die Vektor-Matrix-Berechnungen in einem neuronalen Netz mithilfe einer Crossbar-Architektur durchführen – analog statt digital. Bei diesem Ansatz kreuzen sich zwei Bündel von horizontalen und vertikalen Leitungen, die jeweils als Ein- und Ausgänge des neuronalen Netzes fungieren. An ihren Kreuzungspunkten sind die Leitungen über nichtflüchtige Speicherelemente miteinander verbunden, die die Gewichtungsfaktoren (das „Wissen“) des neuronalen Netzes repräsentieren. Die Eingangswerte des neuronalen Netzes werden als analoge Spannungswerte an die horizontalen Leitungen angelegt. Die Ergebnisse der Berechnungen stehen fast augenblicklich an den vertikalen Leitungen bereit, ebenfalls in analoger Form – und ohne jeden Datentransport.

Als nichtflüchtige Speicher an den Kreuzungspunkten der Leitungen kommen unter anderem Memristoren infrage, neuartige elektronische Bauelemente, deren Widerstand durch eine von außen angelegte Spannung dauerhaft verändert werden kann und die sich mit bestehenden Herstellungsprozessen der Halbleiterindustrie kombinieren lassen. Mit Memristoren kann man die Berechnungen in neuronalen Netzen je nach Anwendung zehn- bis hundertmal schneller durchführen, zudem lässt sich die Energieeffizienz um den Faktor zehn bis tausend verbessern. Von solchen Leistungs- und Effizienzsteigerungen könnten auch autonome Fahrzeuge profitieren, in denen neuronale Netze eine Hauptrolle spielen. Das Beispiel zeigt: Auch wenn das Mooresche Gesetz bald an Grenzen stößt – die kontinuierliche Leistungssteigerung der Elektronik ist noch lange nicht am Ende. ◀

→ ZUSAMMENGEFASST

Die weitere Verkleinerung des MOSFET-Transistors und seiner Varianten FinFET und GAAFET dürfte in den kommenden Jahren an Grenzen stoßen. Um Chips auch in Zukunft immer leistungsfähiger zu machen, arbeiten Forschung und Industrie sowohl an neuen Transistor-Designs wie Tunnel-FETs als auch an neuen Architekturen wie In-Memory-Computing.

Hallo, Mensch!

Die Künstliche Intelligenz (KI) steht vor einem Epochenwechsel: Forscher in aller Welt arbeiten an der „dritten Welle“ und wollen die KI dadurch noch menschenähnlicher machen. Kristian Kersting, Professor für Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen an der TU Darmstadt und Co-Sprecher des Hessischen Zentrums für Künstliche Intelligenz, erklärt in seinem Gastbeitrag, was Computer in Zukunft können werden – und wie wir im Alltag davon profitieren.

GASTAUTOR



Prof. Dr. Kristian Kersting ist Professor für Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen an der TU Darmstadt und Träger des ersten Deutschen KI-Preises (2019). Seit August 2020 ist er auch zusammen mit Prof. Dr. Dr. h.c. Mira Mezini Co-Sprecher des neuen Hessischen Zentrums für Künstliche Intelligenz, an dem sich 13 Hochschulen des Bundeslandes beteiligen. Das Land Hessen richtet dafür 20 zusätzliche Professuren ein und stellt in der fünfjährigen Aufbauphase 38 Millionen Euro zur Verfügung. Schwerpunkt der Arbeit wird die dritte Welle der KI sein.

S

tellen Sie sich bitte folgende Situation vor: Sie fahren in einem Ort und sehen ein Verkehrsschild mit der Höchstgeschwindigkeit 120 km/h. Was würden Sie tun? Aufs Gaspedal drücken und das Tempolimit ausreizen? Wahrscheinlich nicht – denn Sie wissen, dass man in geschlossenen Ortschaften nur maximal 50 km/h fahren darf.

Was aber würde eine heutige Künstliche Intelligenz (KI) tun? Sie wäre problemlos in der Lage, das Verkehrsschild zu erkennen und korrekt zu interpretieren. Ohne Zusatzwissen wäre für sie klar: Hier gilt ein Tempolimit von 120 km/h. Sie käme von sich aus nie auf den Gedanken, dass das Schild aus Versehen oder aus böser Absicht am Straßenrand platziert worden sein könnte.

Denn der KI fehlt eine typische menschliche Fähigkeit: Reflexion. In einer Situation wie dieser würde jeder Mensch nachdenken und Hypothesen bilden. Oder er würde seinen Beifahrer um dessen Meinung fragen. Genau das wollen wir mit der „dritten Welle der KI“ erreichen:

KI-Systeme sollen in Zukunft menschenähnlicher werden – indem sie bei ihren Entscheidungen Wissen über die Welt berücksichtigen und gegebenenfalls Menschen um ihre Meinung fragen.

Das lässt sich an einem aktuellen Beispiel zeigen. Heute können wir KI-Systemen bereits ethisches Verhalten beibringen, indem wir ihnen viele menschliche Texte präsentieren, aus denen sie unsere Vorurteile extrahieren – denn ethische Regeln sind in gewissem Sinn auch nur Vorurteile. Eine heutige KI würde darum sagen, dass das öffentliche Tragen einer Maske in Deutschland nicht akzeptiert ist. Dabei berücksichtigt sie aber nicht, dass in der Corona-Pandemie der Mund-Nasen-Schutz zu unserem Alltag gehört. In Zukunft könnte eine KI aktuelle Nachrichten durchsuchen und das so gewonnene Wissen bei ihren Entscheidungen berücksichtigen.

Um den Unterschied zu bestehenden KI-Systemen besser verstehen zu können, ist ein Blick in die Vergangenheit hilfreich: Während der ersten Welle der KI von 1956 bis in die 1980er-Jahre

wurde das intelligente Verhalten von Menschen vorprogrammiert. Aus einer großen Menge von Wenn-dann-Beziehungen konnte der Computer mithilfe einer Programmlogik seine Schlüsse ziehen. So entstanden die ersten „Expertensysteme“, die in einem speziellen Gebiet Handlungsempfehlungen gaben.

Wir profitieren von der zweiten Welle

Die zweite Welle der KI startete in den 1980er-Jahren und hält bis heute an. Heute sind die Computer in der Lage, aus Beispielen – auch „Daten“ genannt – zu lernen und so „intelligentes“ Verhalten zu entwickeln. Der Mensch muss nicht mehr alle Eventualitäten ersinnen und unzählige Regeln manuell vorprogrammieren. Programmiert ist nur noch der Lernalgorithmus. Zu den bekanntesten Erfolgen solcher KI-Systeme gehören der Sieg des IBM-Schachcomputers „Deep Blue“ über Weltmeister Garri Kasparow (1996) und der Sieg der KI-Software „AlphaGo“ gegen den südkoreanischen Go-Weltklasse-Spieler Lee Sedol (2016). Heute profitieren wir alle von der zweiten Welle der KI – zum Beispiel durch Spracherkennung im Smartphone oder durch Autos, die teilweise ohne unser Zutun fahren können.

Die dritte Welle nimmt gerade Fahrt auf. Und sie baut auf dem auf, was wir in den vergangenen zwei Wellen der KI entwickelt haben. Man könnte den neuen Ansatz so zusammenfassen: Wahrnehmung auf niedriger Ebene („Tempo 120“) und Argumentation auf hoher Ebene (Verkehrsregeln) miteinander kombinieren sowie Entscheidungen kontextualisieren (geschlossene Ortschaft) und sie auf menschenähnliche Weise kommunizieren (beim Beifahrer nachfragen).

Technisch nutzen wir dafür eine Kombination aus neuronalen Netzen, Wahrscheinlichkeitsmodellen und Logik – so wie es der Nobelpreisträger Daniel Kahneman in seinem Buch „Thinking, Fast and Slow“ für uns Menschen beschreibt: Das schnelle, instinktive und emotionale System (neuronalen Netzwerke und Wahrscheinlich-

keitsmodelle) arbeitet mit dem langsameren, Dinge durchdenkenden und logischeren System (Programmlogik) zusammen.

Zu den wichtigen Entwicklungen für die dritte Welle der KI gehört die „Neural Symbolic AI“: Während die bekannten Convolutional Neural Networks (CNN) beispielsweise aus den Pixeln einer Videokamera Verkehrszeichen erkennen können, fehlt ihnen eine besondere Zutat, die uns menschlich macht: der gesunde Menschenverstand – dieses intuitive Gespür für Zusammenhänge, das uns so selbstverständlich erscheint. Durch ihn können Menschen die Bedeutung eines neuen Wortes, die Eigenschaften von unbekanntem Substanzen oder auch soziale Normen anhand von wenigen Erfahrungen ableiten. Solche Schlüsse gehen weit über die verfügbaren Daten hinaus.

KI begreift die wahre Bedeutung

So weit ist die Technik derzeit noch nicht. Heutige neuronale Netzwerke verwechseln gerne einen auf die Seite gekippten Schulbus mit einem Schneepflug – anders als der Mensch: Wenn wir einmal gelernt haben, was ein Schulbus ist, werden wir keine größeren Schwierigkeiten haben, ihn auch in ungewohnten Situationen zu erkennen. Denn wir Menschen können abstrahieren, Lösungsstrategien verallgemeinern und auf ähnliche, wenn auch unterschiedliche Situationen anwenden.

„Durch die dritte Welle der KI werden Maschinen bald Partner des Menschen sein, die wie wir denken und uns verstehen.“

Dank der Neural Symbolic AI werden das bald auch Maschinen können. Wir werden in Zukunft neuronale Netze einsetzen, die (auch im Zusammenspiel mit anderen Methoden der KI) die wahre Bedeutung der Verkehrszeichen erfassen, sie als „Symbole“ begreifen und so mittels einer Programmlogik „eins und eins“ zusammenzählen können – zum Beispiel, dass man in einem Ort nicht 120 km/h fahren darf.

Durch die dritte Welle der KI werden Maschinen bald Partner des Menschen sein, die wie wir denken und uns verstehen. Sie werden zum Beispiel in der Klimaforschung Daten und Modelle für die Atmosphäre, die Ozeane und das Wolkensystem mit ökonomischen Modellen sowie Biosphärenmodellen zu einem „Big Picture“ zusammenfügen.

Zudem werden die künftigen KI-Systeme für uns viel durchschaubarer sein. Denn sie können ihre Entscheidungen in Worte fassen, von unwichtigen Details abstrahieren und uns so verständlicher machen, wie sie zu ihren Entscheidungen kommen: Warum nimmt das Navigationssystem genau diese Route? Warum empfiehlt mir die Finanzsoftware genau dieses Investment? Wieso lehnt eine KI einen bestimmten Bewerber ab und gibt einem anderen den Vorzug? Mit der dritten Welle der KI lösen wir das Problem der „Black Box“ und machen die Prozesse transparent.

Für die dritte Welle der KI werden gerade die Claims abgesteckt. Vor allem Unternehmen aus den USA haben das Potenzial der Entwicklung bereits erkannt und kaufen aktuell viele Start-ups in diesem Bereich. Auch in Europa sind wir gut aufgestellt, weil es hier viele fähige Wissenschaftler und Entwickler gibt – leider aber weniger Risikokapital. Der Zug ist jedoch noch nicht abgefahren, und es liegt an uns, die Zukunft der KI mitzugestalten. Meine Botschaft an Politik, Wirtschaft und Wissenschaft lautet darum: Lasst uns eine KI schaffen, die noch freundlicher und nützlicher ist. Eine KI zum Wohle aller. Reiten wir die dritte Welle! ◀

Ende Gelände

Text: Jost Burger Mitwirkender: Marc Kluge Fotos: Eduard Herr



Bereit für die Rennstrecke: Der Pro-Street RZR entstand als Derivat des Offroaders Polaris RZR. Die markanteste Änderung ist seine tiefe Straßenlage.

Mit seinen Offroad-Fahrzeugen hat sich Polaris eine treue Fangemeinde erarbeitet. Porsche Engineering hat für das US-Unternehmen in wenigen Monaten einen Demonstrator für eine Rennstreckenvariante eines Geländewagens gebaut. Dabei nutzten die Ingenieure ihre Erfahrungen aus der Sportwagenentwicklung.

Wyoming ist ein beschauliches Städtchen im US-Bundesstaat Minnesota, umgeben von Seen, Wäldern und Grasland – und damit ein idealer Standort für die Entwicklungsabteilung von Polaris, einen weltweit bekannten Hersteller von Offroad-Fahrzeugen. Vierrädrige Geländebuggys wie den RZR können die Ingenieure hier gleich neben ihren Büros testen. Den kompakten, hochbeinigen Zweisitzer mit seiner markanten Front kennt man schon seit Jahren in der Offroad-Szene. Doch im Sommer 2019 gab es bei einer großen Händlerschau am Firmensitz etwas Unerwartetes zu bestaunen: die Straßenversion „Pro-Street RZR“, in nur vier Monaten entwickelt und gebaut von den Experten von Porsche Engineering.

Die Idee für die Rennstreckenvariante des RZR kam den Ingenieuren von Porsche Engineering während eines gemeinsamen Projektes zur Fahrwerks- und Handlingoptimierung eines Polaris-Offroaders, der 2021 auf den Markt kommen soll. „Wir hatten die Idee, das Potenzial des RZR auf die Rennstrecke zu übertragen“, sagt Marc Kluge, Leiter Konstruktion Antrieb bei Porsche Engineering. Denn das RZR-Derivat bot ihm und seinen Mitarbeitern die Möglichkeit, das Gesamtfahrzeug-Know-how von Porsche Engineering unter Beweis zu stellen und dabei auch Erfahrungen aus der Sportwagenentwicklung einfließen zu lassen. „Der Pro-Street RZR zeigt, dass wir immer das komplette Fahrzeug betrachten und verstehen. Dazu gehört die Fahrwerkentwicklung ebenso wie unser Wissen um den Fahrzeugaufbau oder die Feinheiten der einzelnen Komponenten“, so Kluge. „Außerdem konnten wir Polaris zeigen, dass Porsche Engineering auf Wunsch auch komplette Demo-Fahrzeuge baut.“

„Wir spürten sofort, dass hier zwei sehr ähnliche Firmenkulturen am Werk sind: Begeisterung für die Technik, Mut zum Ausprobieren und Querdenken, kurze Wege bei der Umsetzung.“

Brian Gillingham,
leitender Ingenieur
bei Polaris

Brian Gillingham, leitender Ingenieur bei Polaris, war ebenso wie seine Kollegen von Anfang an von der Zusammenarbeit mit Porsche Engineering begeistert. „Wir spürten sofort, dass hier zwei sehr ähnliche Firmenkulturen am Werk sind: Begeisterung für die Technik, Mut zum Ausprobieren und Querdenken, kurze Wege bei der Umsetzung. Es hat sehr schnell ‚Klick‘ gemacht.“ Man habe ohne zu zögern darauf vertraut, dass die Idee umsetzbar sei – und ließ den Ingenieuren von Porsche Engineering große Freiheiten, um ihr Ziel zu erreichen.

Einsatz vieler Gleichteile

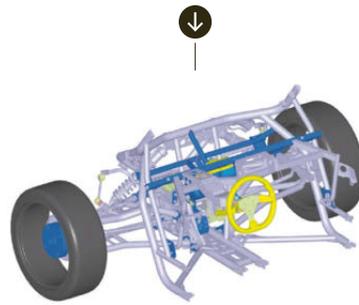
Ihre selbst gestellte Aufgabe lautete: Es sollte keine komplette Neuentwicklung, sondern ein Derivat auf Basis des bestehenden Offroaders entstehen. „Wir wollten möglichst viele Gleichteile verwenden und das Originalfahrzeugskelett nur minimal modifizieren“, so Kluge. Als bereits vorhandene „Carry-over-Parts“ (COP) boten sich Fahrzeugteile wie der Armaturenräger, der Antriebsstrang oder die Karosseriebeplankungen an. Ihr Einsatz machte die schnelle Umsetzung des Projektes erst möglich.

Das Ergebnis ist beeindruckend. „Seine Herkunft sieht man dem Pro-Street RZR noch an, zugleich ist er mit seinem puristischen Design aber ein absolut streckentauglicher Rennwagen“, findet Kluge. In der Tat: Die markante Front ist dieselbe geblieben. Nur der Stoßfänger fehlt, der die Offroad-Variante normalerweise ziert. Auch einen Großteil der Beplankung hat das Team von Porsche Engineering weggelassen. Das spart Gewicht und eröffnet den freien Blick auf Fahrwerk und Motor. Der Fahrerhäkig wurde ebenfalls verändert: Der Pro-Street RZR bekam einen

neuen und niedrigeren Überrollbügel. Die beiden Passagiere sitzen in einem flacheren Käfig ohne Dach und Windschutzscheibe, gefertigt aus dem Material, aus dem auch die Überrollkäfige der Porsche-Rennwagen bestehen. Das verändert die Gesamtsilhouette ebenso wie der breite und hoch angebrachte Heckspoiler.

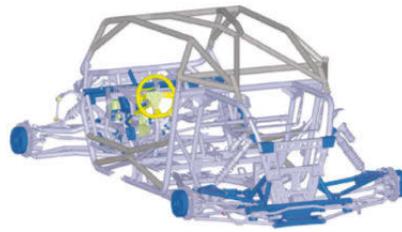
Die markanteste Änderung ist aber die neue Straßenlage. Während der hochbeinige Original-RZR eine Bodenfreiheit von mehr als 30 Zentimetern bietet, gleitet die Straßenvariante nur wenige Zentimeter über dem Asphalt – wie es sich für einen Rennwagen gehört. Unter anderem konnten hier die Ingenieure von Porsche Engineering ihre Erfahrung aus dem Rennsport einbringen: Neue Federbeine mit einem optimierten Winkel bringen das Fahrzeug näher an die Straße. Zusammen mit speziell abgestimmten Dämpfern, einer veränderten Querlenkergeometrie, neuen Stabilisatoren und 18-Zoll-Felgen verhelfen sie dem Fahrzeug zu einer breiteren Spur. Das führt zu einer stabileren Straßenlage und entspricht auch den speziellen Bedingungen von Rennstrecken: weniger Vertikalkräfte als im Gelände, aber höhere Seitenkräfte bei schnellen Kurvenfahrten. Und natürlich rollt der Pro-Street RZR nicht auf profilstarken Geländereifen, sondern auf einer Rennbereifung, die am Prüfstand ausgewählt wurde. „Das ist ein weiteres Beispiel dafür, dass wir das gesamte Fahrzeug bis ins letzte Detail für die Rennstrecke optimiert haben“, sagt Kluge dazu.

Die tiefe Straßenlage erforderte allerdings einen weiteren Umbau. Normalerweise ist der Tank des RZR unter den Sitzen angebracht. Da dort kein Platz mehr war, wurde er am Heckrahmen verbaut. Carbonschalen-Sitze und Hochleistungsbremsen prägen den Sportwagencharakter des Pro-Street RZR weiter. „Die leistungsfähigen Bremsen sind nötig, um mit den höheren Verzögerungen und dem damit verbundenen hohen Energieeintrag in die Bremse zurechtzukommen“, erklärt Kluge. Auch die Lenkung wurde an die Rennverhältnisse angepasst. Statt per Servolenkung steuert der Fahrer rein mechanisch. „Das gibt direkteres Feedback und sorgt für präziseres Handling, wie man es auf der Rennstrecke braucht“, erklärt Kluge. Motor und Automatikgetriebe blieben hingegen un-



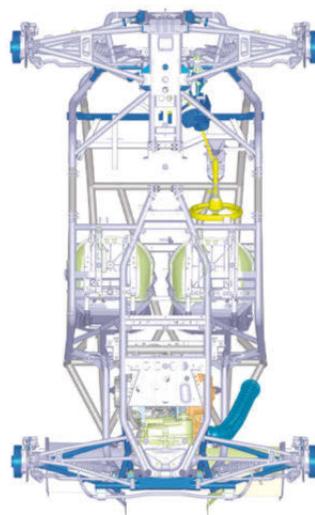
Frontrahmen

Für den Polaris-Streetrennwagen wurde das Fahrwerk neu ausgelegt und das Armaturenbrett abgesenkt.



Heckrahmen

Die Entwickler haben den Heckrahmen modifiziert, die Achsgeometrie verändert und neue Lenker eingebaut.



Gesamtansicht

Der Blick von unten zeigt die neue Fahrwerkgeometrie, die an die Anforderungen der Rennstrecke angepasst wurde.

verändert. Der Zweizylinder mit knapp einem Liter Hubraum und rund 170 PS beschleunigt den Pro-Street RZR auf rund 160 km/h.

In drei Monaten entwickelte, berechnete und konstruierte ein Team aus acht Kollegen an den Standorten Bietigheim und Mönsheim das RZR-Derivat. Danach bauten fünf Mitarbeiter von Porsche Engineering in vier Wochen das Demo-Fahrzeug auf und testeten es vor Ort. Im Juli 2019 kam das Derivat schließlich per Flugzeug nach Amerika – und sorgte dort für großes Aufsehen, wie sich Gillingham erinnert: „Unser Marketingleiter persönlich brach die Transportkiste auf. Und als der Pro-Street RZR im Juli 2019 herausgerollt wurde, waren wir alle begeistert.“

Großes Aufsehen in den USA

Gillingham hatte bereits die Gelegenheit, das Derivat selbst zu fahren. „Mein erster Gedanke war: Der liegt so tief!“ Natürlich sei das Fahrgefühl ein ganz anderes als bei der Geländevariante – nicht zuletzt aufgrund der niedrigeren Sitzposition, die zu einer anderen Sicht auf die Straße führt. Ein echtes Rennwagengefühl eben – Brian Gillingham nennt den Pro-Street RZR darum schlicht „cool“.

Bei den Besuchern der Händlershow in Wyoming sorgte die Vorführung des Pro-Street RZR für mehr als nur verwunderte Blicke. „Die Leute waren sehr interessiert und neugierig“, erinnert sich Gillingham. „Sie fanden das Fahrzeug richtig aufregend.“ Damit hatte Polaris sein Ziel erreicht. „Wir werden uns zwar auch in Zukunft vor allem im Offroad-Bereich bewegen. Aber wir haben gezeigt, dass in Polaris noch viel mehr steckt, wenn es um aufregende Technik geht“, so Gillingham. Auch in Zukunft soll der Pro-Street RZR darum als Publikumsmagnet bei Unternehmens-Veranstaltungen eingesetzt werden.

Bei Porsche Engineering ist man ebenfalls zufrieden. „Der Pro-Street RZR ist voll rennstreckentauglich und bietet extrem agiles und genaues Handling bei geringem Gewicht – so wie wir das geplant hatten“, sagt Projektleiter Kluge. Zweifel an der Umsetzbarkeit habe man zu keinem Zeitpunkt gehabt. „Eine tolle, hochmotivierte Truppe mit viel Spaß am Projekt hat bewiesen: Es geht!“



170 PS

hat der Zweizylindermotor mit knapp einem Liter Hubraum.



160 km/h

Spitzengeschwindigkeit erreicht der Pro-Street RZR auf der Straße.

Offroad-Spezialist: Der vierrädrige Geländebuggy RZR hat eine weltweite Fangemeinde. Auf Basis dieses Offroaders entstand der Pro-Street RZR.



„Der Pro-Street RZR zeigt, dass wir immer das komplette Fahrzeug betrachten und verstehen.“

Marc Kluge, Leiter Konstruktion Antrieb bei Porsche Engineering



Stabile Straßenlage: Der Pro-Street RZR bekam neue Federbeine mit einem optimierten Winkel. Gemeinsam mit den speziell abgestimmten Dämpfern, einer veränderten Querenkergeometrie, neuen Stabilisatoren und 18-Zoll-Felgen verhelfen sie dem Fahrzeug zu einer breiteren Spur.

Intelligent, vernetzt, Nardò.

Text: Christian Buck | Mitwirkende: Antonio Gratis, Roberto Buttazzi, Pierpaolo Positano | Fotos: Theodor Barth

Im Nardò Technical Center (NTC) von Porsche Engineering müssen sich die Mobilitätslösungen von morgen bewähren. Das NTC selbst stellt sich ebenfalls auf die Zukunft der Automobilentwicklung ein – mit einer modernisierten Infrastruktur, erweitertem Know-how und einem wachsenden Team von Spezialisten.

Gleich geht es los. „Test in drei, zwei, eins Sekunden“, tönt es aus dem Funkgerät. Sofort nach Ende des Countdowns setzt sich der silberne Porsche Cayenne in Bewegung. Aber Mario Toledo, Testingenieur von Porsche Engineering, hat weder die Hände am Steuer noch die Füße auf den Pedalen. Stattdessen hat ein Fahrerroboter das Kommando und sorgt dafür, dass das Auto sicher auf der Spur bleibt.

Gemeinsam mit dem Cayenne ist an diesem Morgen auch ein grauer Panamera auf der Fahrdynamikplattform des NTC in Süditalien unterwegs. Auf dem Testgelände von Porsche Engineering untersuchen die Ingenieure heute die Performance von autonomen Fahrfunktionen. Einen ganzen Stapel an Test-Szenarien hat Toledo ausgedruckt auf der Ablage über dem Armaturenbrett liegen, darunter: mit ausreichendem Abstand auf parallelen Spuren fahren, Spurwechsel nach rechts oder links und einem entgegenkommenden Fahrzeug ausweichen.

Solche Versuche für autonome Fahrfunktionen auf SAE-Level 4 (vollautomatisiertes Fahren) gehören im NTC mittlerweile zum Alltag – denn hier wird die Mobilität von morgen bis zur Serienreife getestet. Ständige Weiterentwicklung ist aber auch vom NTC selbst gefordert: „In der Automobilindustrie bahnt sich in den nächsten fünf bis zehn Jahren eine Revolution an, verursacht durch Trends wie autonomes Fahren, Connectivity und E-Mobilität“, sagt NTC-Geschäftsführer Antonio Gratis. „Darauf müssen wir uns einstellen – mit neuer Infrastruktur und neuen Kompetenzen.“

Was das bedeutet, zeigt sich auf der Rundstrecke des Testzentrums: Die innere Ringbahn, in der Vergangenheit vor allem für Tests von Nutzfahrzeugen genutzt,



„In der Automobilindustrie bahnt sich in den nächsten fünf bis zehn Jahren eine Revolution an.“

Antonio Gratis,
Geschäftsführer des
Nardò Technical Center

wurde 2020 mit 48 Kilometer neuen Fahrbahnmarkierungen versehen und sieht jetzt teilweise wie eine dreispurige Autobahn nach EU-Standard, teilweise wie ein dreispuriger US-Highway aus. „Die neuen Fahrbahnmarkierungen sind entscheidend für uns“, erklärt Davide Palermo, Manager des ADAS-Kompetenzzentrums. „Ohne sie wären Tests für autonome Fahrfunktionen auf SAE-Level 4 nicht möglich.“ Palermo führt gemeinsam mit seinem Kollegen Toledo sowie einem weiteren Testfahrer auf einem Motorrad vordefinierte Manöver durch, die typisch für die Autobahn sind: Spurwechsel, Fahren auf der mittleren Fahrbahn mit und ohne einen anderen Verkehrsteilnehmer voraus.

Effiziente Dauerlauftests mit Lenkrobotern

Manche Tests könnten in Zukunft im NTC sogar ganz ohne Menschen stattfinden: Im Februar 2020 war ein Porsche Cayenne mehr als 600 Kilometer bei maximal 130 km/h auf der Rundstrecke unterwegs – ohne menschlichen Eingriff. Steuer und Pedale wurden während des Dauerlauftests von einem Lenkroboter bedient, ein Testfahrer war lediglich aus Sicherheitsgründen an Bord. „Diese Form der Testautomatisierung verspricht höhere Effizienz und bessere Reproduzierbarkeit“, so Palermo. „Sie kann menschliche Fahrer aber nicht vollständig ersetzen.“

Neben den Verbesserungen der Teststrecken bereitet eine weitere Neuerung den NTC-Rundkurs auf die Zukunft vor: Ein Glasfaserkabel soll als Daten-Backbone künftig Displays, Ampeln und Sendemasten längs der Strecke miteinander verbinden und so die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und umgebender Infrastruktur ermöglichen (Vehicle-to-infrastructure). Zu diesem Zweck hat das NTC die Infrastruktur für die Verlegung



Komplett vernetzt: Das NTC-Versuchsfahrzeug ist mit vier WLAN- und zwei GPS-Antennen ausgestattet. Sie dienen der Vehicle2vehicle-Kommunikation beziehungsweise der präzisen Lokalisierung.

von 91 Kilometer Glasfaserkabel rund um die Kreisbahn und die Fahrdynamikplattform vorbereitet.

Außerdem arbeitet das NTC an einer eigenen Mobilfunk-Infrastruktur, die weitere Tests autonomer Fahrfunktionen und der Kommunikation zwischen Fahrzeugen (Vehicle-to-vehicle) möglich machen wird. Und in wenigen Jahren soll „Sim City“ als neues Testareal hinzukommen – eine Stadt mit beweglichen Häusern und Verkehrszeichen, in der sich unterschiedliche urbane Szenarien für die Untersuchung fortschrittlicher Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) aufbauen lassen.

Ein weiteres Upgrade des Rundkurses führt Antonio Leuzzi, Senior Manager Project Management, in der Praxis vor. „Bemerken Sie irgendwelche Unebenheiten?“, fragt er bei einer Fahrt mit 297 km/h über die 12,6 Kilometer lange Kreisbahn. „Letztes Jahr haben wir den Asphalt komplett erneuert – und er ist jetzt so extrem glatt, dass man selbst bei hohen Geschwindigkeiten keine Vibrationen spürt. Das ist besser für die Fahrer und führt zu genaueren Ergebnissen, etwa bei Schwingungsmessungen – besonders wichtig für E-Fahrzeuge mit ihrer von Haus aus geringen Geräuschkulisse.“

Umfangreiche Ladeinfrastruktur

Auch neben dem Werkstattbereich des NTC befindet sich eine Investition in die Elektromobilität. An zwei von Porsche Engineering entwickelten Schnellladesäulen können die Kunden des Testzentrums ihre elektrisch betriebenen Versuchsfahrzeuge in kürzester Zeit aufladen. Insgesamt sechs solcher HPC-Stationen (High Power Charging) sind über das Gelände verteilt, vier davon mit 920 Volt und 320 kW, zwei mit 950 Volt und 350 kW. „Das NTC soll wie eine Stadt der Zukunft sein“, erklärt Salvatore Baldi, Senior Manager Facilities Management. „Darum haben wir alle Arten von Ladesystemen installiert – von Wandboxen mit 7, 11 oder 22 kW über 50-kW-Ladestationen bis hin zu den HPC-Systemen.“

Um die Fahrzeugbatterien der Zukunft auf Herz und Nieren testen zu können, hat das NTC auch sein Brand-Testgelände aufgerüstet. Seit mehr als zehn Jahren finden hier Untersuchungen von Tanksystemen statt, mittlerweile rückt aber immer mehr die Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien in den Vordergrund. Sie können im NTC beispielsweise einer bis zu 700 Grad Celsius heißen Flamme ausgesetzt werden, um ihre Feuerfestigkeit auf die Probe zu stellen. Und falls es bei einem Versuch mit einem E-Fahrzeug zu einer gefährlichen Situation kommen sollte, steht in der NTC-Feuerwache ein Spezialcontainer bereit. „Dort können wir Elektroautos und Batterien in kritischem Zustand unter eine Art Quarantäne stellen“, sagt Baldi. „Wir ziehen sie mit einer Winde hinein und schließen den Container dann komplett.“ Wenn die Rauchmelder



„Das NTC soll bei der Ladeinfrastruktur wie eine Stadt der Zukunft sein.“

Salvatore Baldi,
Senior Manager Facilities
Management



„Neuen Herausforderungen in den Bereichen ADAS, elektrische Antriebe und NVH begegnen wir mit spezialisierten Gruppen aus Experten.“

Pierpaolo Positano,
Senior Manager Engineering



700 Hektar

Fläche umfasst das Nardò Technical Center von Porsche Engineering in Süditalien.



Die Teststrecken
des NTC sind insgesamt

70

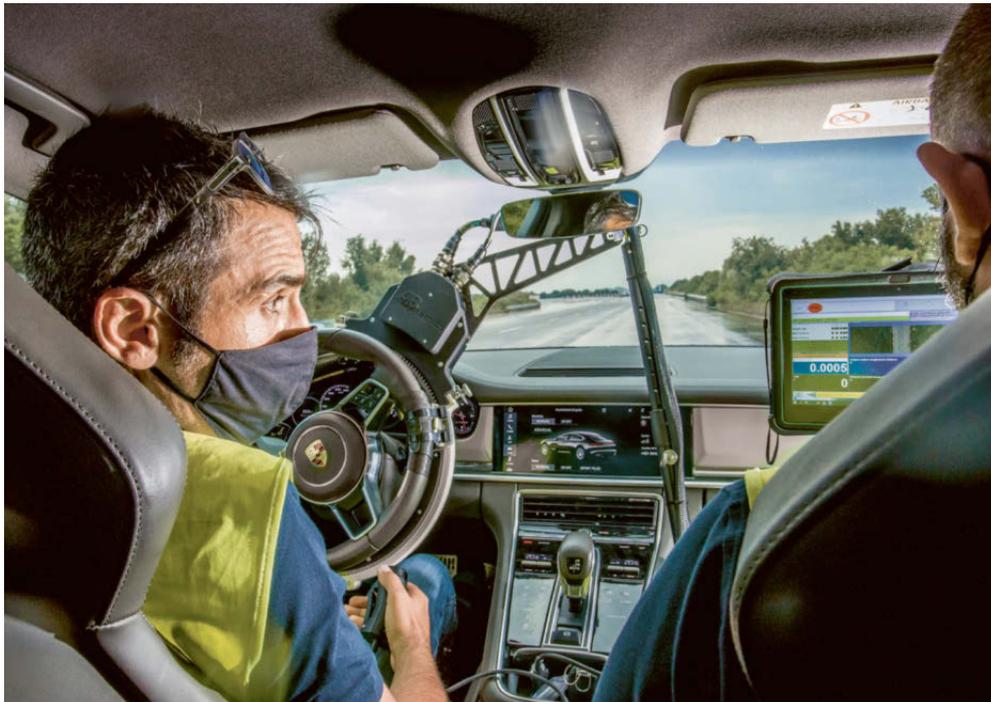
Kilometer lang.

Wie auf der Autobahn: Die neuen Fahrbahnmarkierungen auf dem inneren Ringkurs ermöglichen den Test von autonomen Fahrfunktionen.



Himmliche Ruhe: Auf dem frisch renovierten NTC-Rundkurs spürt Antonio Leuzzi keine Vibrationen, was zu genaueren Ergebnissen führt und besonders für E-Fahrzeuge mit ihrer geringen Geräuschkulisse wichtig ist.

Hände weg vom Steuer:
Davide Palermo (links)
überlässt einem Lenk-
roboter das Kommando.



Duett auf nasser Fahrbahn: Auf der Fahrdynamikplattform des NTC testen ein Porsche Panamera und ein Porsche Cayenne die Performance automatisierter Fahrfunktionen.



Umfangreiche Infrastruktur: E-Fahrzeuge in kritischem Zustand lassen sich im Spezialcontainer löschen (oben). Der Werkstattbereich des NTC ermöglicht die Vorbereitung der Versuchsfahrzeuge.



„Der Asphalt ist jetzt so extrem glatt, dass man selbst bei hohen Geschwindigkeiten keine Vibrationen spürt.“

Antonio Leuzzi,
Senior Manager
Project Management



„Wer bei uns arbeitet, hat teil an einem großen Abenteuer: der Transformation der Automobilindustrie.“

Nildo Sestini,
Senior Manager Human
Resources

Alarm auslösen, startet die Sprinkleranlage, um die Flammen in der Anfangsphase des Brandes zu reduzieren. Gleichzeitig wird das Flutungssystem aktiviert, das 800 Liter Wasser pro Minute bei einem Druck von 6 bar in den Container pumpt. Bei der Konzeption und dem Bau der Anlage hat das NTC mit den Arbeitsschutzexperten von Denios zusammengearbeitet.

Das NTC arbeitet zudem kontinuierlich an der Renovierung bestehender Werkstätten und am Ausbau der Werkstattkapazitäten. Kurzfristig sollen 20 modulare Werkstätten entstehen, die sich flexibel an die Bedürfnisse der Nutzer anpassen lassen. Neben der modernisierten technischen Infrastruktur können die Kunden in Zukunft aber auch von umfangreicheren Engineering-Services rund um ihre Versuchsfahrzeuge profitieren. „Bisher haben wir vor allem unser Testgelände vermietet“, erklärt Gratis. „In Zukunft wollen wir mehr Turnkey-Projekte übernehmen: Der Kunde bringt sein Fahrzeug zum NTC, und unser Team führt alle Tests vor Ort durch – bis hin zum finalen Report und den Empfehlungen für das Engineering. Die Kunden profitieren von vermiedenen Reisekosten und größerer Effizienz, weil sie vom NTC alles aus einer Hand bekommen.“

Höherwertige Services im Engineering

Um diesen Plan umzusetzen, baut Pierpaolo Positano, Senior Manager Engineering, sein Team aus mehr als 70 Ingenieuren, Mechatronikern, Technikern und Fahrern aus und erweitert es um neue Fähigkeiten in Bereichen wie ADAS und E-Mobilität. „Wir haben in den letzten Jahren viel Erfahrungen gesammelt, etwa mit Zuverlässigkeitstests oder Tests zur Fahrzeugdynamik“, so Positano. „Jetzt stehen wir vor neuen Herausforderungen, denen wir mit spezialisierten Gruppen aus Experten begegnen – zum Beispiel für NVH, ADAS und elektrische Antriebe. So können wir in Zukunft nicht nur Kilometer auf unseren Teststrecken, sondern auch unser Know-how anbieten – also höherwertige Services für unsere Kunden. Sie erwartet ein magischer Mix aus Infrastruktur und Kompetenz.“

Die nötigen Experten findet das NTC einerseits auf dem Arbeitsmarkt, andererseits durch seine enge Zusammenarbeit mit Hochschulen. So haben Positano und Nildo Sestini, Senior Manager Human Resources, Universitäten in Süd- und Norditalien besucht und den Studenten dort spielerisch Aufgaben gestellt. „Wir wollen nicht nur eine Präsentation halten, sondern mit den Nachwuchstalenten in einen Dialog treten“, sagt Sestini. Umgekehrt besuchen Gruppen von Hochschulen regelmäßig das NTC. „Das ist immer eine gute Gelegenheit, um sich besser kennenzulernen und geeignete Kandidaten für uns zu finden“, so Sestini. „Wir bieten vielversprechenden Studenten ein Praktikum über einen Zeitraum an, der so bemessen ist, dass sie Erfahrung und Kompetenz sammeln und ihren Beitrag zu unserem Zentrum leisten können.“

↓
40

komplett ausgestattete Werkstätten stehen den Kunden im NTC zur Verfügung.

Cayenne

Kraftstoffverbrauch innerorts: 11,5–11,2 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts: 8,2–8,1 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 9,4–9,2 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 215–210 g/km
Energieeffizienzklasse: D

Panamera

Kraftstoffverbrauch innerorts: 11,4–11,1 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts: 7,5–7,0 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 8,8–8,6 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 201–197 g/km
Energieeffizienzklasse: D

Taycan 4S

Stromverbrauch kombiniert (Performance Batterie): 26,2 kWh/100 km
Stromverbrauch kombiniert (Performance Batterie Plus): 27,0 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+

Taycan Turbo

Stromverbrauch kombiniert: 28,0 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+

Taycan Turbo S

Stromverbrauch kombiniert: 28,5 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+



High Power Charging: Auf dem NTC-Gelände gibt es sechs Schnellladesäulen für E-Fahrzeuge.

Auch über die inhaltliche Zusammenarbeit mit den Universitäten in Lecce (Fahrzeugdynamik), Bari (Batterien und Batteriemanagementsysteme), Florenz (ADAS und autonomes Fahren) und Neapel (Fahrzeug- und Motorraddynamik) ergeben sich immer wieder Kontakte zu Top-Nachwuchskräften. Sestini glaubt an die ständig wachsende Attraktivität des NTC für kluge Köpfe: „Wer bei uns arbeitet, hat teil an einem großen Abenteuer: der Transformation der Automobilindustrie.“

Als besonders vielversprechende Talente gelten in der Automobilbranche die Teilnehmer an der Formula Student. Das NTC ist Sponsor des Teams der Universität Lecce, betrachtet sein Engagement aber nicht als reine Recruiting-Maßnahme – vielmehr will das Testzentrum damit auch einen Beitrag für die Entwicklung in Süditalien leisten. „Mit unserem Engagement bei der Formula Student und in anderen Bereichen wächst nicht nur das NTC, sondern unsere gesamte Region“, berichtet Sestini. „Wir wollen uns darum noch stärker in das Ökosystem um uns herum integrieren. Dazu gehören Schulen, Universitäten und lokale Institutionen.“

„Wir entwickeln unsere Infrastruktur, unser Know-how und unser Team kontinuierlich weiter“, fasst Gratis die vielen Aktivitäten im NTC zusammen. „Dabei haben wir immer die Megatrends der Automobilbranche im Blick. Und genauso wie neue Technologien bald das Fahrerlebnis revolutionieren werden, wird auch unser Testzentrum in eine neue Zukunft gehen. Das NTC 2.0 kommt sehr schnell.“

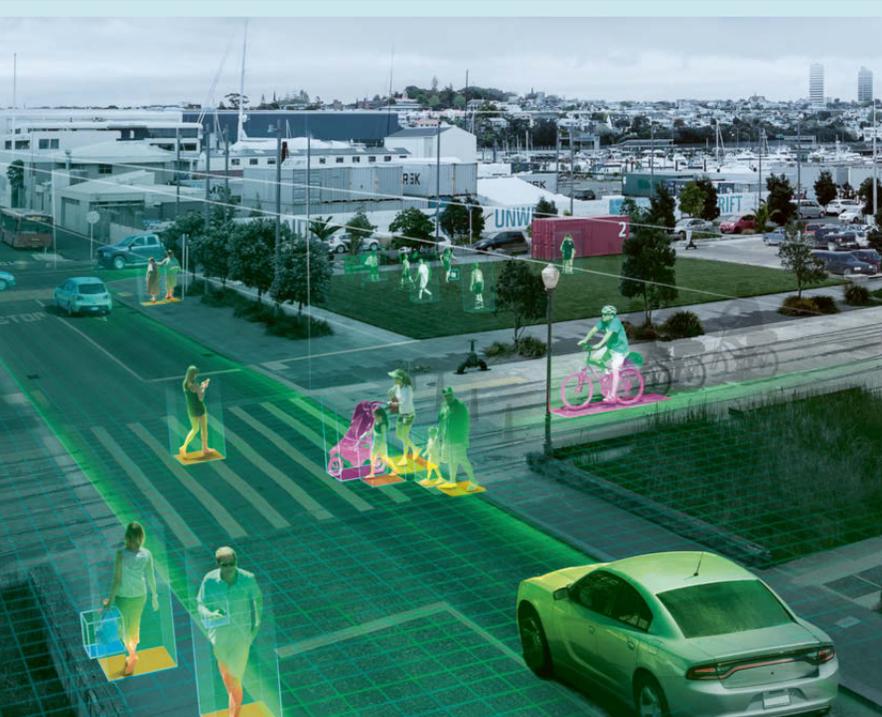
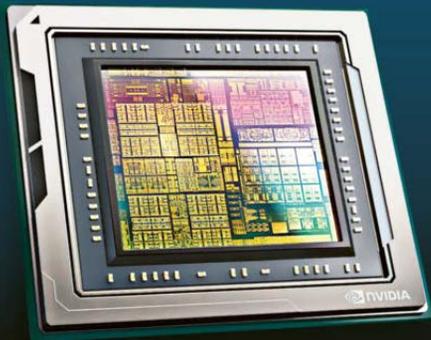
→ ZUSAMMENGEFASST

Das traditionsreiche Nardò Technical Center von Porsche Engineering investiert in neue Infrastruktur und in seine Engineering-Kapazitäten. Ziel ist es, den NTC-Kunden eine umfassende Palette an Dienstleistungen anbieten zu können – immer orientiert an automobilen Megatrends wie autonomes Fahren, vernetzte Fahrzeuge und E-Mobilität.



Der Nvidia-Hauptsitz in Santa Clara: Rund 13.800 Menschen arbeiten für das Unternehmen aus Kalifornien.

Gehirne für das autonome Fahren



Text: Constantin Gillies | Mitwirkender: Dr. Joachim Schaper

Nvidia ist mit Grafikkarten für den PC bekannt geworden. Doch die Prozessoren des US-Unternehmens können mehr – zum Beispiel KI-Anwendungen im Fahrzeug ermöglichen. Darum ist das Unternehmen heute ein wichtiger Partner der Automobilindustrie.

Technologien für das autonome Fahren:

Nvidias Orin-Chip (oben) soll autonome Fahrzeuge und Roboter steuern. Zudem trainiert das Unternehmen neuronale Netze in eigenen Rechenzentren.

A

utofahrer, die sich vom Navigationssystem leiten lassen, kennen das Problem: Liegen die Fahrspuren eng beieinander, kann das Navi nicht erkennen, auf welcher sich das Fahrzeug befindet. Dafür ist GPS nicht präzise genug – es kann die Position nur auf zwei bis zehn Meter genau bestimmen. Deutlich besser ist ein System, das Porsche Engineering derzeit entwickelt: Es nutzt Künstliche Intelligenz (KI), um aus den GPS-Daten eine exaktere Position zu errechnen. „Damit lässt sich zum Beispiel die Ideallinie auf einer Rennstrecke erkennen“, sagt Dr. Joachim Schaper, Leiter des Bereichs Artificial Intelligence and Big Data bei Porsche Engineering. Die nötigen Berechnungen können im Fahrzeug selbst ablaufen, und zwar in einem kompakten Rechner, der mit Grafikkprozessoren (Graphics Processing Units, GPUs) bestückt ist. „Das bringt KI-Funktionalität ins Fahrzeug“, so Schaper.

Hergestellt wird die Hardware-Plattform von der Firma Nvidia aus dem kalifornischen Santa Clara. „Wer den Namen hört, denkt nicht unbedingt an den Automobilbereich“, so Schaper. Denn die meisten PC-Nutzer verbinden Nvidia vor allem mit Grafikkarten. Oder besser gesagt: besonders schnellen Grafikkarten, wie sie für Computerspiele benötigt werden. Dieser Ruf stammt noch aus den frühen 2000er-Jahren. Zu dieser Zeit kamen die ersten Games mit aufwendiger 3D-Grafik auf den Markt, und wer Spiele wie „Quake 3“ oder „Far Cry“ ohne Bildschirnruckeln spielen wollte, brauchte leistungsstarke Hardware. Unter Gamern kristallisierte sich schnell ein Favorit heraus: die Grafikkarte GeForce von Nvidia. Sie wurde zum Verkaufsschlager und katapultierte die 1993 gegründete Firma in die Spitzengruppe der Hardware-Hersteller. Zur Jahrtausendwende machten die Amerikaner schon drei Milliarden US-Dollar Umsatz.

KI-Forscher als neue Kundengruppe

Anfang der 2010er-Jahre bemerkte Nvidia, dass eine völlig neue Kundengruppe auf den Plan trat, die sich nicht für Computerspiele interessierte: KI-Forscher. In der Wissenschaft hatte sich nämlich herumgesprochen, dass Grafikprozessoren perfekt für aufwendige Berechnungen im Bereich des maschinellen Lernens geeignet sind. Soll zum Beispiel ein KI-Algorithmus trainiert werden, sind GPUs, die Rechenschritte hochgradig parallel abwickeln, klassischen sequenziellen Prozessoren (Central Processing Units, CPUs) deutlich überlegen und können die Rechenzeiten wesentlich verkürzen. So entwickelten sich Grafikprozessoren rasch zum Arbeitspferd der KI-Forschung.

Nvidia erkannte die Chance früher als die Konkurrenz und brachte 2015 die erste Hardware auf den Markt, die für KI optimiert war. Dabei konzentrierte sich das Unternehmen sofort auf den Automobilsektor: Unter dem Label Nvidia Drive wurde eine erste Rechenplattform für den Einsatz im Pkw vorgestellt. Die sogenannte PX 1 konnte Bilder von zwölf angeschlossenen Kameras verarbeiten und gleichzeitig Programme



„Der Kunde kann sich seine Lösung zusammenstellen und spart sich die Grundentwicklung.“

Ralf Herrtwich, Senior Director Automotive Software bei Nvidia

DREI FRAGEN AN RALF HERTWICH

„Der Automotive-Bereich bringt die ganze KI nach vorne“

1

Wann kommt Künstliche Intelligenz (KI) im Auto an?

Das ist sie schon, zum Beispiel im Cockpit. Viele Hersteller bieten Sprachsteuerung an, die auf KI basiert. Die Leistungsfähigkeit dieser Systeme hat in den letzten Jahren spürbar zugenommen. Daneben wird vom Fahrzeug zunehmend erwartet, dass es seine Umgebung wahrnimmt und passend reagiert, Stichwort: Assistenzsysteme. Auch hier spielt KI eine wachsende Rolle. Solche Anwendungen im Fahrzeug gehören zu den anspruchsvollsten überhaupt. Wir erwarten, dass dieser Bereich die ganze KI nach vorne bringt.

2

Wann kommt das autonome Fahren?

In örtlich begrenzten Gebieten werden Roboter-Fahrzeuge schon eingesetzt, vor allem an Orten, wo das Wetter gut ist. Allerdings sehen wir bis auf Weiteres den Hauptmarkt bei den regulären Fahrzeugen mit Unterstützungsfunktionen, also bei den Autonomie-Leveln 1 bis 3. Insgesamt werden die kommenden Jahre von einem Wettstreit solcher Systeme geprägt sein – also von der Frage, welches Herstellersystem die meisten Situationen meistern kann. Es geht weniger um den Anspruch, wirklich komplett selbststeuernd zu sein.

3

Wie verändert Künstliche Intelligenz das automobile Ökosystem?

Je wichtiger Software-Funktionen werden, desto stärker verändert sich die Rolle der Tier-1-Zulieferer. Ihre traditionell starke Bindung an die Hersteller wird schwächer. In Zukunft können wir uns eine Dreiecks-konstellation vorstellen: Die OEMs arbeiten mit Technologieunternehmen wie Nvidia bei Prozessoren und Softwaremodulen zusammen, und der Tier 1 baut das Steuergerät. Einige OEMs legen heute schon Wert darauf, Softwarefunktionen selbst in der Hand zu behalten.

zur Kollisionsvermeidung oder Fahrerüberwachung ausführen. Sie hatte die Rechenleistung von über 100 Notebooks. Etliche Hersteller nutzten die Plattform, um die ersten Prototypen autonomer Fahrzeuge auf die Straße zu bringen.

Zunächst setzte Nvidia auf eine reine Hardware-Strategie und belieferte die OEMs mit Prozessoren. Derzeit hat das Geschäft im Automobilsektor zwei Säulen: Grafiksysteme für das Cockpit und Hardware für autonomes beziehungsweise computerunterstütztes Fahren. Die Umsätze im Automobilsektor wuchsen zwischen 2015 und 2020 stetig, sind aber bis heute im Vergleich zum Gesamtumsatz niedrig. Im letzten Jahr hat Nvidia im Automotive-Bereich 700 Millionen US-Dollar umgesetzt, was gut sechs Prozent des Gesamtumsatzes entspricht; allerdings steigen die Umsätze um neun Prozent pro Jahr. Jensen Huang, Gründer und CEO von Nvidia, sieht hier große Marktchancen. „Die Autos von morgen sind rollende KI-Supercomputer. Von den zahlreichen Steuergeräten werden nur zwei übrig bleiben: eines für das autonome Fahren und eines für die User Experience“, so der Vorstandschef.

Komplettes Paket aus Hard- und Software

Um noch stärker in der Automobilwelt Fuß zu fassen, hat Nvidia seine Strategie verändert: Das Unternehmen konzentriert sich nicht mehr nur auf Chips, sondern bietet ein komplettes Paket aus Hard- und Software an. „Der Kunde kann sich seine Lösung zusammenstellen und spart sich die Grundentwicklung“, erklärt Ralf Herrtwich, Senior Director Automotive Software von Nvidia. Ein OEM, der zum Beispiel ein teilautonomes Fahrzeug anbieten will, kann von Nvidia sowohl die Hardware zur Auswertung der Kamerabilder bekommen als auch neuronale Netze, die vortrainiert wurden – zum Beispiel eines, das selbstständig Verkehrsschilder erkennt. Anders als bei anderen Herstellern ist dieses Baukastensystem offen. „Alle Schnittstellen lassen sich einsehen. Der OEM kann das System so nach seinen Wünschen anpassen“, erklärt Herrtwich. Theoretisch kann ein Hersteller also vortrainierte neuronale Netze von Nvidia nutzen und diese dann mit Eigenentwicklungen kombinieren.

Durch diese Strategie der Offenheit will das US-amerikanische Unternehmen möglichst viele OEMs als Anwender gewinnen, was letztlich auch die Entwicklung der Produkte vorantreibt. „Wir können unsere Hardware am besten optimieren, wenn wir wissen, wie sie eingesetzt wird“, erklärt Herrtwich und gibt ein Beispiel: Die meisten Nvidia-Produkte sind ein System-on-a-Chip (SoC). Das heißt, ein Prozessor wird mit anderen elektronischen Komponenten auf einem Halbleiter zusammengefasst. Im Automobilbereich etwa kommen



„Die Autos von morgen sind rollende KI-Supercomputer.“

Jensen Huang,
Gründer und CEO von Nvidia

Chips mit eingebauten Videoeingängen zum Einsatz, an die externe Kameras angeschlossen werden. Doch wie viele Eingänge braucht man? Und wie muss die Netzwerkverbindung ausgelegt werden? Solche Fragen ließen sich nur im engen Kontakt mit den Anwendern klären, so Herrtwich. KI-Experte Schaper sieht das ähnlich: „Der Input von anderen OEMs ist wichtig.“ Entscheidend sei in der jetzigen Phase, die Entwicklungsprozesse gemeinsam zu beschleunigen.

Neben Hard- und Software bietet Nvidia eng kooperierenden OEMs auch Zugriff auf die eigene Infrastruktur an. So können die Hersteller daran mitarbeiten, neuronale Netze in Nvidia-Rechenzentren, in denen Tausende von GPUs parallel arbeiten, zu trainieren. Ein Selbstfahr-Algorithmus muss schließlich erst lernen, einen Fußgänger, einen Baum oder ein anderes Fahrzeug zu erkennen. Dafür wird er mit Millionen von Bildern aus dem realen Verkehr gefüttert, auf denen händisch die entsprechenden Objekte markiert wurden. Durch Trial-and-Error lernt der Algorithmus, sie zu identifizieren. Dieser Vorgang macht viel Arbeit (etwa das „Labeln“ der Objekte) und benötigt hohe Rechnerkapazitäten. Nvidia übernimmt beides. Automobilhersteller können so auf eine Künstliche Intelligenz zugreifen, die quasi schon einige Jahre die Schulbank gedrückt hat. ◀

Warum Grafikprozessoren die besseren KI-Rechner sind

Grafikprozessoren sind darauf spezialisiert, geometrische Berechnungen durchzuführen: einen Körper auf dem Bildschirm zu rotieren, ihn zu vergrößern oder zu verkleinern. Die dafür nötigen Matrix- und Vektorberechnungen beherrschen GPUs (Graphics Processing Units) besonders gut. Das ist ein Vorteil bei der Entwicklung von neuronalen Netzen. Sie ähneln dem menschlichen Gehirn und bestehen aus mehreren Schichten, in denen Daten verarbeitet und an die nächste Schicht weitergereicht werden. Um sie zu trainieren, sind vor allem Matrixmultiplikationen nötig – also genau die Spezialität von GPUs. Darüber hinaus besitzen

diese Rechnerarchitekturen sehr viel Speicher, um Zwischenergebnisse und Modelle effizient abzulegen. Die dritte Stärke von GPUs liegt darin, dass sie mehrere Datenblöcke gleichzeitig verarbeiten können. Die Prozessoren enthalten Tausende sogenannter Shader-Einheiten, von denen jede einzelne recht simpel und langsam ist. In der Masse jedoch können diese Rechenwerke parallelisierbare Aufgaben wesentlich schneller abarbeiten als herkömmliche Prozessoren (Central Processing Units, CPUs). Beim Training von neuronalen Netzen etwa senken Grafikprozessoren den Zeitaufwand um bis zu 90 Prozent.

Lademeister für E-Fahrzeuge

Text: Hans Oberländer Mitwirkender: Alexander Schneider-Schaper

Porsche bietet seinen Kunden eine Vielzahl an Lademöglichkeiten für zu Hause an. Ein Teil davon ist der Home Energy Manager (HEM), den Porsche Engineering entwickelt hat. Er setzt neue Maßstäbe – zum Beispiel ist er weltweit zugelassen und somit überall installierbar.

Abends nach Hause kommen, das E-Fahrzeug abstellen, die Batterie über den eigenen Stromanschluss aufladen und am nächsten Morgen mit ausreichender Reichweite wieder losfahren: Für dieses Szenario sind intelligente Ladelösungen für zu Hause erforderlich, die genügend Leistung zur Verfügung stellen und sich nahtlos in das bestehende System aus Verbrauchern integrieren. Der „Porsche Mobile Charger“ steht 2021 in drei Ausführungen bereit, sodass für alle Ansprüche eine passende Variante zu haben ist.

Das Basismodell ist mit einer Anschlussleistung von 3,6 kW und 7,2 kW erhältlich, der „Mobile Charger Plus“ ermöglicht bis zu 11 kW Ladeleistung, und der „Mobile Charger Connect“ ist sogar in der Lage, die Batterie mit bis zu 22 kW nachzuladen – falls das Fahrzeug entsprechend konfiguriert und der heimische Stromanschluss leistungsfähig genug ist. Intelligente Ladefunktionen machen das Nachladen zudem zu einer preiswerten Angelegenheit: Mit der Funktion „Kostenoptimiertes Laden“ können die Nutzer gezielt Tages- und Nachtzeiträume zum Laden nutzen, in denen der Strom besonders preiswert ist.

Angeschlossen werden die Mobile Charger-Modelle an eine Haus- oder Industriesteckdose. Kabel und eine

Wandhalterung gehören zum Lieferumfang. Für den Mobile Charger Connect sind auch ein elegantes Ladedock und eine freistehende Kompaktladesäule erhältlich. Das Besondere an dem leistungsfähigsten Modell ist sein fünf Zoll großes Touchdisplay. Es zeigt Daten wie den aktuellen Ladestand der Batterie und die noch verbleibende Ladezeit an. Alternativ lassen sich die Daten beim Mobile Charger Connect über die Porsche Connect App auch auf einem verknüpften Smartphone beziehungsweise Tablet anzeigen. Vor allem jedoch ist mit dem Mobile Charger Connect über PLC (Powerline Communication) und WLAN die Nutzung des Porsche Home Energy Managers möglich, der die Palette der Porsche-Ladelösungen abrundet und von Porsche Engineering entwickelt wurde.

Überwachung der Stromkreise

Eine der wichtigsten Aufgaben des Porsche Home Energy Managers: Er überwacht die Stromkreise im Haus und stellt dadurch unter anderem sicher, dass das Nachladen des E-Fahrzeugs nicht zu einer Überlastung führt. Denn mit dem Einzug der umweltfreundlichen Autos in die Garagen ihrer Besitzer bekommen es die Hausanschlüsse mit völlig neuen Verbrauchern zu tun: Während ein E-Herd beispielsweise eine



Heimische Tankstelle: Die Ladelösungen von Porsche lassen sich an persönliche Wünsche und räumliche Gegebenheiten anpassen.

Porsche Home Energy Manager



Abmessungen des Gerätes

- B** 159,4 Millimeter
- H** 73,2 Millimeter
- T** 90,2 Millimeter

Schnittstellen

2 × USB
1 × PLC

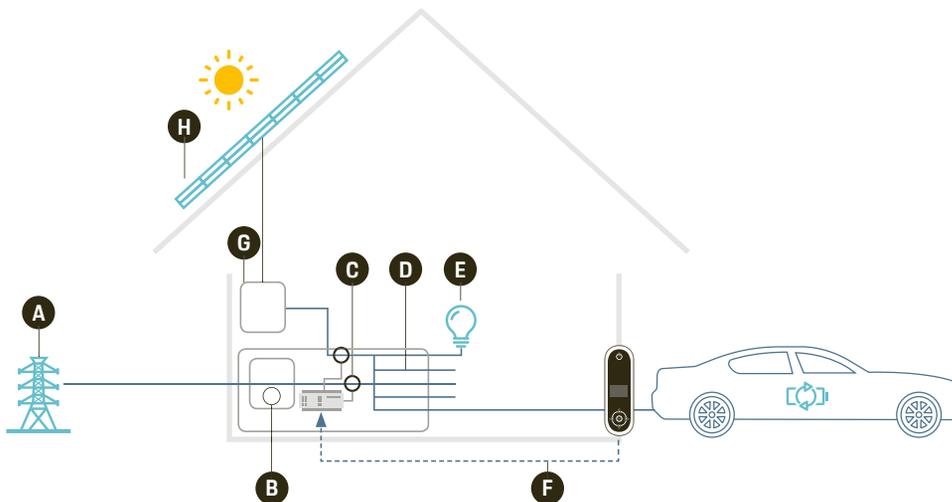
1 × WLAN
2 × Ethernet*

12 × CT Input
1 × RS485/CAN**

* 1 × genutzt,

1 × für zukünftige Anwendung/Nutzung ** für zukünftige Anwendung/Nutzung

Installationsvariante



- | | | |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
| A Stromversorgung | D Verteiler | G Wechselrichter |
| B Stromzähler | E Verbraucher im Haus | H Photovoltaik |
| C Stromsensoren | F EEBUS-Protokoll | |



EEBUS: Globale Sprache zum Datenaustausch

Das Internet der Dinge vernetzt immer mehr Geräte miteinander. Sie können sich aber nur dann verstehen, wenn alle eine gemeinsame Sprache sprechen. EEBUS („Energie-Effizienz-Bus“) bietet genau das: Als Kommunikationsschnittstelle im Smart Home ermöglicht EEBUS den Datenaustausch, etwa von Weißware wie Kühlschränken und Waschmaschinen sowie

Heizungs- und Lüftungssystemen, E-Fahrzeugen und anderen Geräten. So kann EEBUS dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß zu verringern – durch ein intelligentes Energiemanagement, das die Bereiche Strom, Wärme und Mobilität verbindet. Dadurch lässt sich Energie bedarfsgerecht verteilen, was Verbrauch und Erzeugung besser in Einklang bringt.

Viele Einsatzmöglichkeiten



Porsche Mobile Charger Connect
Ladegerät mit 5-Zoll-Touchdisplay und maximal 22 kW Leistung.



Porsche Lade-Dock
Elegante Wandhalterung für den Porsche Mobile Charger Connect.



Porsche Kompaktladesäule
Sie bietet auf freistehenden Parkflächen Platz für den Porsche Mobile Charger Connect.

Anschlussleistung von 3,6 bis 7,5 kW hat, benötigt das schnelle Nachladen der Batterie bis zu 22 kW. Ein smartes Energiemanagement ist darum unverzichtbar: Es muss einerseits die zur Verfügung stehende Leistung maximal ausnutzen, um kurze Ladezeiten zu erreichen. Andererseits muss es aber auch dafür sorgen, dass alle anderen elektrischen Verbraucher ausreichend Leistung erhalten und niemals eine Überlastsituation eintritt.

Dazu überwacht der Porsche Home Energy Manager kontinuierlich den Strombedarf des Haushalts und gleicht ihn mit der verfügbaren Leistung des Stromanschlusses ab. Bei einer drohenden Überlastung kommuniziert er mit den Porsche-Ladegeräten und reduziert die Leistung für den Ladevorgang. Die Installation des Porsche Home Energy Managers ist denkbar einfach: Das Gerät wird von einer Elektrofachkraft in den Verteilerkasten des Hauses montiert, mit dem Internet verbunden und konfiguriert. Nach Abschluss des Installationsassistenten ist die Technik startklar.

Betont nutzerfreundlich konstruiert

Entwickelt hat den Porsche Home Energy Manager ein Team von Porsche Engineering – von der ersten Skizze bis zum marktfertigen Produkt. Die Anforderungen waren beim Projektstart im Jahr 2016 extrem hoch: Der Home Energy Manager, betont nutzerfreundlich konstruiert, sollte weltweit zulassungsfähig sein und in jedem Stromnetz funktionieren. Das Ergebnis: Der Home Energy Manager ist heute als einziges Gerät seiner Art weltweit zugelassen und installierbar. Hinter diesem Erfolg steckt allerdings auch eine Menge Arbeit: Die gemeinsam mit dem TÜV Süd betriebenen Zulassungsverfahren zogen sich über fast zwei Jahre hin, auch weil es in vielen Ländern zunächst noch gar keine Normen für die Geräteklasse der Home Energy Manager gab. „Wir haben auf vielen Feldern Pionierarbeit geleistet“, sagt Alexander Schneider-Schaper, Projektleiter Porsche Engineering, „auch bei den funktionalen Eigenschaften.“

Dadurch kann Porsche mit seinem Home Energy Manager neue Maßstäbe setzen: Wenn die erforderliche Kommunikations- und Energieladeinfrastruktur vorhanden ist, können theoretisch bis zu 254 Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Die Algorithmen berechnen und koordinieren die maximale Ladeenergie, die für die Elektrofahrzeuge verfügbar ist – während zugleich der Herd, die Heizung, das Licht und die vielen anderen Geräte im Haus weiter einwandfrei funktionieren. Die Nutzer können über die Web-Oberfläche einstellen, was geschieht, wenn mehrere E-Fahrzeuge geladen werden sollen. Es lassen sich eine bedarfsgerechte



„Wir haben auf vielen Feldern Pionierarbeit geleistet. Auch bei den funktionalen Eigenschaften.“

Alexander Schneider-Schaper,
Projektleiter Home Energy Manager bei
Porsche Engineering

Taycan Turbo S

Stromverbrauch kombiniert:
28,5 kWh/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 0 g/km
Energieeffizienzklasse: A+

Prioritätenliste erstellen und unterschiedliche Ladestrategien festlegen, etwa nach dem Motto: Wer zuerst kommt, lädt zuerst. Oder die verfügbare Ladeenergie wird gleichmäßig auf alle Fahrzeuge verteilt.

Ob Solaranlage, Klimaanlage und Heizung, ob Pool, Herd oder Kühlschrank und Co: Bis zu zwölf Stromkreise lassen sich mit dem Porsche Home Energy Manager in Echtzeit überwachen – branchenüblich sind drei Stromkreise. Die Kommunikation mit den Porsche Mobile Charger Plus und Connect für das E-Fahrzeug erfolgt über die EEBUS-Kommunikationsschnittstelle. Sie stellt eine standardisierte Sprache für den Datenaustausch und das Energiemanagement im Internet der Dinge zur Verfügung (siehe Kasten). Im nächsten Schritt sollen dann auch Heizung, Lüftung, Klima- und Hausgeräte mit dem Home Energy Manager über EEBUS kommunizieren. Das gewährt einen genauen Überblick über die Energieflüsse im Haus und bildet die Grundlage für eine bedarfsgerechte Energieverteilung. Dabei haben Heizung, Herd und Co Vorrang: Sollte es einmal zu einem Engpass bei der Stromversorgung kommen, weil viele Geräte in Betrieb sind, wird die Ladeleistung des E-Fahrzeugs reduziert.

Viele Nutzer versorgen ihre E-Fahrzeuge mit eigenem Ökostrom, etwa über die Solaranlage auf dem Dach. Der Porsche Home Energy Manager trägt dazu bei, Energiekosten langfristig zu optimieren – indem er etwa dafür sorgt, dass möglichst viel Energie aus der eigenen Solaranlage verbraucht wird. In vielen Ländern verfügen Kunden zudem über einen Stromtarif, bei dem zu bestimmten Zeiten geringere Kosten anfallen. Gibt der Nutzer seinen Stromtarif ein, optimiert der Home Energy Manager den Ladevorgang in Abhängigkeit von diesen Tarifen und vom gewünschten Ladezustand des Fahrzeugs.

Bisher lag der Fokus des Porsche Home Energy Managers auf dem Ladevorgang von E-Fahrzeugen. Aber längst plant das Team von Porsche Engineering, ihn so zu erweitern, dass er auch den Betrieb von Heizung, Klimaanlage und Haushaltsgeräten energie- und kosteneffizienter macht. Das Ziel: ein umfassendes Energiemanagement für das ganze Haus – von Porsche. Dabei könnte der Home Energy Manager zu einer Art Energiemarktplatz werden: Heizung, Kühlschrank, E-Fahrzeug und andere Verbraucher konkurrieren um den Strom, den die Solaranlage des Hauses oder der Netzanschluss liefert. Vorrangig wird das Gerät versorgt, das die höchste Priorität hat. Auch Verbesserungen beim Nutzerinterface stehen bevor: So wird der Home Energy Manager bald in die Porsche Connect App integriert, und der Einbau zu Hause soll zum einfachen Plug-and-Play werden. ◀

Eine einzigartige Symbiose der Gegensätze: Der neue Porsche Panamera deckt jetzt eine noch größere Bandbreite ab. Er verbindet die Performance eines Sportwagens mit dem Komfort einer exklusiven Limousine. Insbesondere mit dem 463 kW (630 PS) starken Panamera Turbo S unterstreicht der Sportwagenhersteller seinen hohen Anspruch auf Best-in-Class-Performance. Das neue Topmodell übertrifft die Fahrleistungswerte des bisherigen Panamera Turbo deutlich. Porsche verfolgt darüber hinaus konsequent seine E-Performance-Strategie. Der Panamera 4S E-Hybrid ergänzt das Plug-in-Hybrid-Angebot um einen komplett neuen Antrieb mit 412 kW (560 PS) Systemleistung. Die rein elektrische Reichweite wurde im Vergleich zu den bisherigen Hybrid-Modellen um bis zu 30 Prozent erhöht. Komfort und Sportlichkeit profitieren gleichermaßen von weiterentwickelten Fahrwerkkomponenten, Regelsystemen sowie einer neuen Generation von Lenkungsregelung und Reifen.

Verbesserte Fahrleistungen

Der neue Panamera Turbo S bietet mit 463 kW (630 PS) und 820 Nm Drehmoment 59 kW (80 PS) mehr Leistung und 50 Nm mehr Drehmoment als das bisherige Verbrenner-Topmodell Turbo. Das verbessert die Fahrleistungen signifikant: Der Standardsprint ist im Sport Plus-Modus nach 3,1 Sekunden absolviert. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 315 km/h. Der bekannte Vierliter-V8-Biturbo-Motor – entwickelt in Weissach, gebaut in Zuffenhausen – wurde dafür grundlegend über-

Panamera 4S E-Hybrid

Kraftstoffverbrauch kombiniert:
2,2–2,0 l/100 km
CO₂-Emission kombiniert:
51–47 g/km
Stromverbrauch kombiniert:
18,1–17,4 kWh/100 km
Energieeffizienzklasse: A+

Panamera Turbo S

Kraftstoffverbrauch innerorts:
14,9–14,8 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts:
8,5–8,4 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
10,8–10,7 l/100 km
CO₂-Emission kombiniert:
247–245 g/km
Energieeffizienzklasse: E

Panamera GTS

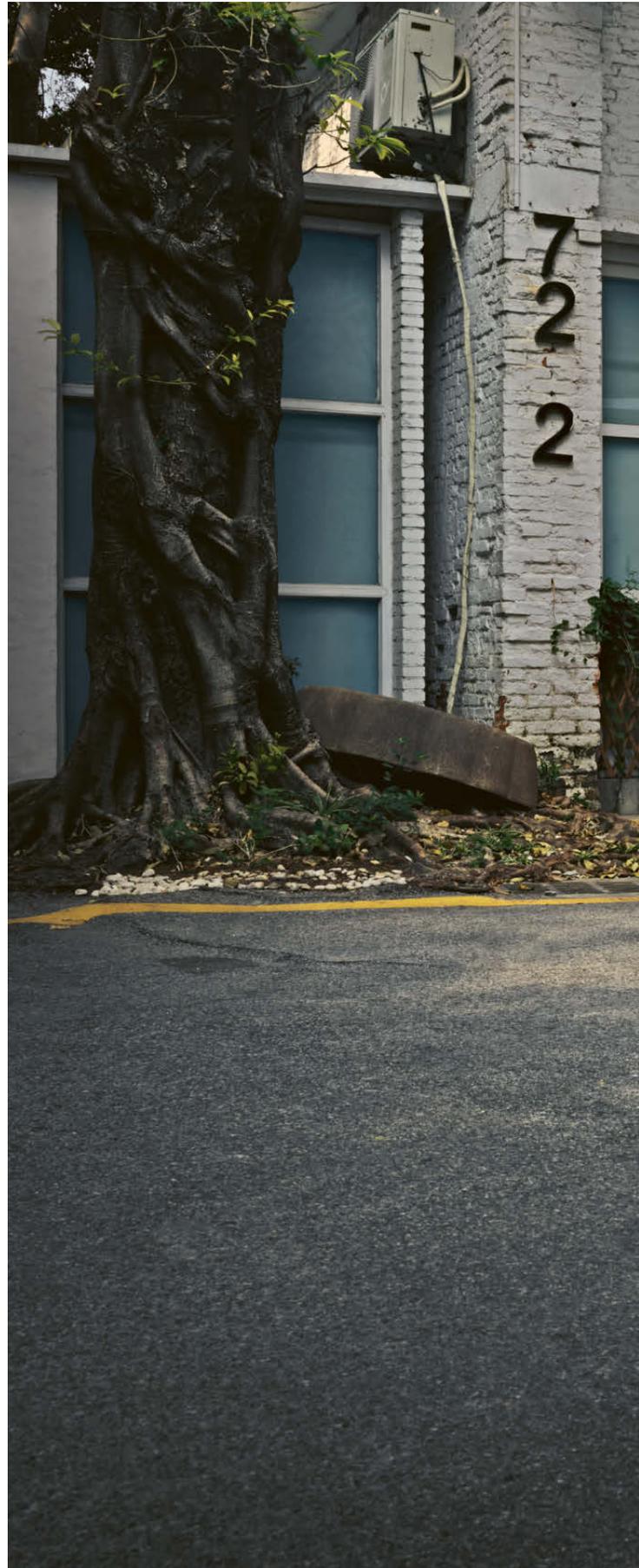
Kraftstoffverbrauch innerorts:
15,4–15,4 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts:
8,2–8,0 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
10,9–10,7 l/100 km
CO₂-Emission kombiniert:
249–244 g/km
Energieeffizienzklasse: F

Panamera

Kraftstoffverbrauch innerorts:
11,4–11,1 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts:
7,5–7,0 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
8,8–8,6 l/100 km
CO₂-Emission kombiniert:
201–197 g/km
Energieeffizienzklasse: D

Panamera 4

Kraftstoffverbrauch innerorts:
11,6–11,4 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts:
7,3–7,1 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert:
8,8–8,7 l/100 km
CO₂-Emission kombiniert:
202–199 g/km
Energieeffizienzklasse: D





Klassenbesten mit Performance-Plus

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

Der neue Porsche Panamera wird seiner Rolle als viertüriger Sportwagen mit leistungsstarken und effizienten Antrieben mehr denn je gerecht. Neue Modelle wie der Panamera Turbo S unterstreichen darüber hinaus den Anspruch auf Best-in-Class-Performance. Mit dem ebenfalls neuen Panamera 4S E-Hybrid präsentiert Porsche einen weiteren antrittsstarken Plug-in-Hybrid.

arbeitet. Um die enorme Kraft kontrolliert auf die Straße zu übertragen und die Kurven-Performance zu maximieren, wurden unter anderem die Dreikammer-Luftfederung, das Porsche Active Suspension Management (PASM) und die Wankstabilisierung Porsche Dynamic Chassis Control Sport (PDCC Sport) inklusive Porsche Torque Vectoring Plus (PTV Plus) modell-spezifisch appliziert und weiter optimiert.

Der V8-Biturbo-Motor des Panamera GTS wurde vor allem im Hinblick auf seine Leistungsentfaltung optimiert. Mit 353 kW (480 PS) und 620 Nm liefert der neue Panamera GTS 15 kW (20 PS) mehr Leistung als das Vorgängermodell. Diese nimmt bis nahe der Drehzahlgrenze kontinuierlich zu. Die Leistungsentfaltung kommt somit der eines klassischen Saugmotor-Sportwagens gleich. Außerdem wird bei der neuen serienmäßigen Sportabgasanlage durch asymmetrisch aufgebaute Endschalldämpfer die klassische V8-Klangcharakteristik noch stärker herausgearbeitet als bisher. Im neuen Panamera und Panamera 4 kommt nun weltweit in allen Märkten der bereits bekannte 2,9-Liter-V6-Biturbo-Motor zum Einsatz. Die Leistungswerte bleiben mit 243 kW (330 PS) und 450 Nm unverändert.

Für alle neuen Panamera-Modelle wurden die Fahrwerk- und Regelsysteme in Richtung Sportlichkeit und Komfort getrimmt und teilweise komplett neu appliziert. So sorgt beispielsweise das überarbeitete Porsche Active Suspension Management für eine spürbare Verbesserung des Dämpfungskomforts, während die Regelung der elektrischen Wankstabilisierung Porsche Dynamic Chassis Control Sport für mehr Aufbauruhe sorgt. Darüber hinaus kommt eine neue Generation von Lenkung und Reifen zum Einsatz.

Neues leistungsstarkes Hybrid-Modell

Mit dem neuen Panamera 4S E-Hybrid präsentiert Porsche ein weiteres performance-orientiertes Plug-in-Hybrid-Modell. Das intelligente Zusammenspiel des 100 kW (136 PS) starken, in das Achtgang-Doppelkupplungsgetriebe PDK integrierten Elektromotors und des 2,9-Liter-V6-Biturbo-Aggregats mit 324 kW (440 PS) ergibt eine Systemleistung von 412 kW (560 PS) und ein maximales Systemdrehmoment von 750 Nm. Entsprechend beeindruckend sind die Fahrleistungen: In Kombination mit dem serienmäßigen Sport Chrono-Paket gelingt der Sprint von 0 auf 100 km/h in 3,7 Sekunden. Bei 298 km/h ist die Höchstgeschwindigkeit erreicht. Die Bruttokapazität der Batterie wurde mittels optimierter Zellen im Vergleich zu den bisherigen Hybrid-Modellen von 14,1 auf 17,9 kWh erhöht und die Fahrmodi wurden mit Blick auf eine noch effektivere Energienutzung optimiert. Der Panamera 4S E-Hybrid verfügt nun über eine rein elektrische Reichweite nach WLTP EAER City von bis zu 54 Kilometern (NEFZ: bis zu 64 Kilometer).



Modellpflege: Das Leuchtenband verläuft jetzt nahtlos über die Ladeklappe (oben). Das Porsche Communication Management (PCM) umfasst zusätzliche digitale Funktionen und Services (unten).



630 PS

Leistung liefert der neue Panamera Turbo S. Sein Drehmoment beträgt 820 Nm.

3,1 Sekunden

benötigt er im Sport Plus-Modus für den Sprint von 0 auf 100 km/h.

Die neuen Panamera-Modelle erhalten jetzt ab Werk die bis dato optionale Sport Design-Front mit markanten Lufteinlassgittern und großen seitlichen Kühlluftöffnungen sowie einzeliger Bugleuchte. Das komplett neu gezeichnete Bugteil des Panamera Turbo S differenziert sich über größere seitliche Lufteinlässe und neu gestaltete Elemente in Exterieurfarbe, die durch ihre horizontale Verbindung die Breitenwirkung verstärken. Die Leuchtzeilen der doppelten Turbo-Bugleuchten stehen nun deutlich weiter auseinander.

Das überarbeitete Leuchtenband verläuft jetzt mit angepasster Konturführung nahtlos über die Ladeklappe. Dadurch verbindet es die beiden neu gestalteten LED-Heckleuchten fließend miteinander. Die GTS-



Minuten

für die Fahrt auf der Nordschleife des Nürburgrings: Optimierungen am Fahrwerk und am Antrieb des neuen Panamera machten den Rekord möglich.

Modelle tragen serienmäßig die neuen abgedunkelten Exclusive Design-Heckleuchten mit dynamischer Coming-/Leaving-Home-Funktion. Drei neue 20 und 21 Zoll große Räder ergänzen das Angebot, sodass nun insgesamt zehn verschiedene Designs zur Verfügung stehen.

Das Porsche Communication Management (PCM) umfasst zusätzliche digitale Funktionen und Services wie zum Beispiel die verbesserte Online-Sprachbedienung Voice Pilot, den Risk Radar für aktuelle Verkehrszeichen- und Gefahreninformationen, das drahtlose Apple® CarPlay und viele weitere Connect-Dienste. Darüber hinaus bietet der Panamera eine umfangreiche Auswahl an innovativen Licht- und Assistenzsystemen wie den jetzt serienmäßigen Spurhalteassistenten inklusive Verkehrszeichenerkennung sowie Porsche InnoDrive inklusive Abstandsregeltempomat, Nachsichtassistent, Spurwechselassistent, LED-Matrix-Hauptscheinwerfer inklusive PDLS Plus, Park Assistent inklusive Surround View und Head-up-Display. ◀

Schnell unterwegs: Der Rekord-Panamera war zum Schutz des Fahrers mit einem Rennsitz und einem Sicherheitskäfig ausgerüstet.

Nürburgring: Rekordzeit in der Oberklasse



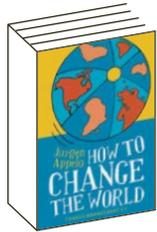
Ganz vorne: Lars Kern hält den Rekord in der Kategorie „Oberklasse“

Schon vor seiner Weltpremiere hat der neue Porsche Panamera seine außergewöhnliche Performance eindrucksvoll unter Beweis gestellt: Testfahrer Lars Kern absolvierte auf der legendären Nürburgring-Nordschleife am 24. Juli 2020 eine volle Runde über 20,832 Kilometer in exakt 7:29,81 Minuten. In der offiziellen Rangliste der Nürburgring GmbH wird diese von einem Notar beglaubigte Zeit als neuer Rekord in der Kategorie „Oberklasse“

geführt. Die Rekordzeit unterstreicht die umfangreiche Weiterentwicklung der zweiten Panamera-Generation: Bereits 2016 hatte Lars Kern mit einem 550 PS starken Panamera Turbo den Eifel-Kurs in 7:38,46 Minuten bezwungen – über die damals für Rekordfahr-

ten üblichen 20,6 Kilometer, also ohne den rund 200 Meter langen Streckenabschnitt an der Tribüne Nummer 13. Gemäß den neuen Statuten der Nürburgring GmbH wurde diesmal über die komplette Nordschleifen-Distanz von 20,832 Kilometer gemessen. Zum Vergleich: Die 20,6 Kilometer hatten Lars Kern und der neue Panamera bereits nach 7:25,04 Minuten hinter sich gelassen. Damit war das Rekordgespann rund 13 Sekunden schneller als vor vier Jahren.

Wissen vertiefen

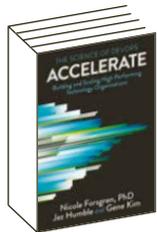


Change Management 3.0

Auch wenn es nicht leicht ist, Organisationen umzugestalten: Jeder kann ein effektiver Akteur für Veränderungen werden – mit Wissen über Change Management und den agilen Mindset.

How to Change the World

Jurgens Appelo
Jojo Ventures BV



Die Leistung von Software-Teams messen

Nicole Forsgren, Jez Humble und Gene Kim haben einen Weg gefunden, die Leistung von Softwareentwicklungsteams mit statistischen Methoden zu messen. Dieses Buch stellt die

Ergebnisse und die Wissenschaft hinter dieser Forschung vor.

Accelerate – The Science of Lean Software and DevOps

Nicole Forsgren, Jez Humble, Gene Kim
IT Revolution Press



Wenn alles automatisiert wird

Gastgeberin Jennifer Strong und das Team der MIT Technology Review befassen sich in diesem Podcast mit Themen rund um Künstliche Intel-

ligenz – zum Beispiel dem autonomen Fahren, Gesichtserkennung und möglichen Fehlern der Algorithmen.

In Machines We Trust (Podcast)



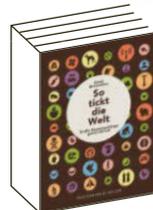
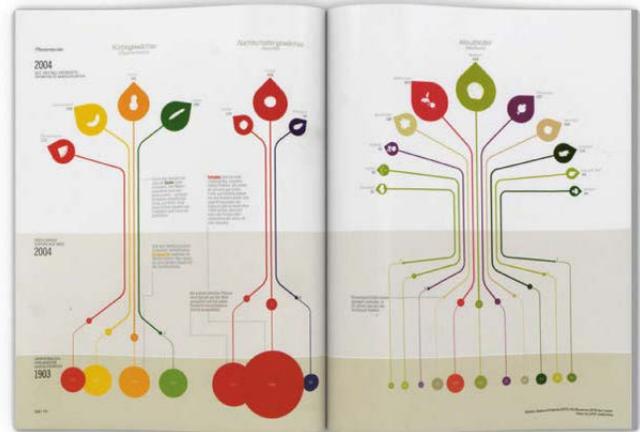
Die Welt durch die Augen von Software sehen

Das verspricht die Website „Software Engineering Daily“. Artikel und Podcasts

greifen aktuelle Themen wie „Robotic Process Automation“ oder „Hyperparameter Tuning“ sowie Megatrends wie die Blockchain-Technologie auf.

Software Engineering Daily
softwareengineeringdaily.com/

Über den Tellerrand

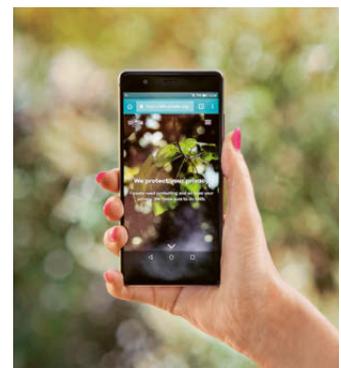


⤴ Große Zusammenhänge genial einfach

Mit bunten Grafiken erklärt dieses Buch spielerisch sowohl einfache als auch komplexe Zusammenhänge. Darunter: Die häufigsten Ursachen für die Flugzeugabstürze der letzten 20 Jahre und die Zahl der verschiedenen Arten von Sternen, aus denen die Milchstraße besteht.

So tickt die Welt

David McCandless
Frederking & Thaler



⤴ Suchen und Bäume pflanzen

Google kennt jeder. Eine Alternative zu der populären Suchmaschine ist Ecosia. Mit den Werbeeinnahmen pflanzt das Unternehmen Bäume an – bereits mehr als 110 Millionen weltweit.

www.ecosia.com

Für das Kind in uns



⌚ Kinderleicht einen Roboter programmieren



Mit dem Set können Kinder ab sieben Jahren die Grundlagen des Programmierens, des Maschinenbaus und der Robotik lernen. Sie müssen sich nur für eines der fünf Modelle entscheiden und die kostenlose App herunterladen.

LEGO Boost 17101
 Programmierbares Roboticset
www.lego.com

⌚ Teleskop im Eigenbau

Sternenbeobachtung zum Schnäppchenpreis: Mit diesem Kit kann man sich ein 72-Zentimeter-Teleskop bauen. Mit Ausnahme der Linsen und des Spiegels besteht der Bausatz vollständig aus Karton und ist so konzipiert, dass er ohne Klebstoff zusammengeschoben werden kann.

buildyourownkits.com



Intelligent unterhalten



⌚ Gefährliche Ermittlungen

Die junge Software-Ingenieurin Lily Chan (gespielt von Sonoya Mizuno) ermittelt in der geheimen Entwicklungsabteilung ihres Arbeitgebers, der Hightech-Firma Amaya mit Sitz nahe San Francisco. Sie glaubt, dass das Unternehmen hinter dem Mord an einem Freund steckt, und will die Wahrheit herausfinden.

Devs (Fernsehserie)



Kritische Würdigung

Big Data, Feminismus, Datenkapitalismus, Inklusion und datenbedingte Diskriminierung: Mit diesen aktuellen Themen beschäftigt sich dieses Buch – in Form von Erklärungen, schwarz-weißen Illustrationen und Katzen.

KI, wir müssen reden

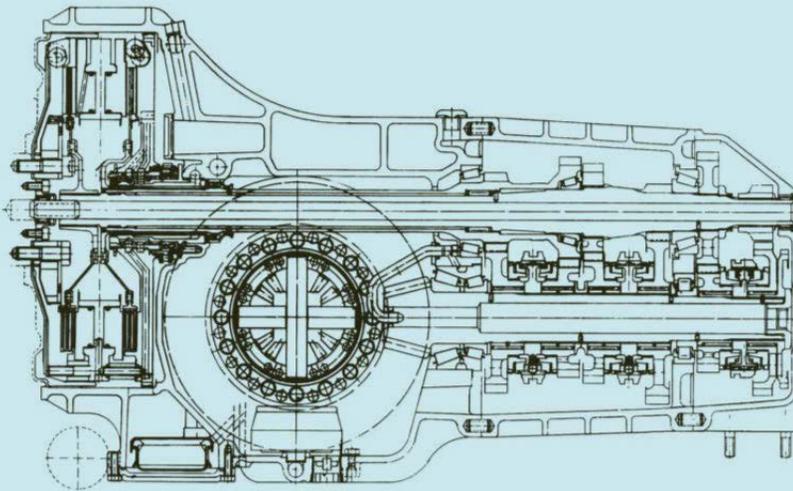
Julia Schneider, Lena Kadriye Ziyal
 epubli



Suche nach dem digitalen Osterei

Dieser Science-Fiction-Roman des US-Autors Ernest Cline setzt sein 2011 erschienenes, preisgekröntes Debüt „Ready Player One“ fort, in dem der Protagonist Wade Watts ein „Osterei“ in einem Virtual-Reality-Spiel sucht. Ab November 2020 kann man lesen, wie die Story weitergeht.

Ready Player Two
 Ernest Cline
 Ballantine Books



Neues Konzept: Der Urahn des PDK von 1981 (links) und ein Porsche 956 mit Doppelkupplungsgetriebe von 1984.

1983

Nach jahrzehntelanger Vorarbeit entsteht Anfang der 1980er-Jahre das Porsche Doppelkupplungsgetriebe (PDK), das ab 1983 im Porsche 956 getestet wurde und ab 1984 dort im Renneinsatz war. Nach der Jahrtausendwende kommt das PDK in die Serie, wo es seine Vorteile voll ausspielen kann – unter anderem den Gangwechsel ohne Zugkraftunterbrechung und einen verringerten Kraftstoffverbrauch.

718 GTS 4.0 (mit PDK)

Kraftstoffverbrauch innerorts: 13,0 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts: 7,6 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 9,6 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 219 g/km
Energieeffizienzklasse: G

718 Spyder (mit PDK)

Kraftstoffverbrauch innerorts: 13,7 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts: 8,1 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 10,2 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 232 g/km
Energieeffizienzklasse: G

718 Cayman GT4 (mit PDK)

Kraftstoffverbrauch innerorts: 13,7 l/100 km
Kraftstoffverbrauch außerorts: 8,1 l/100 km
Kraftstoffverbrauch kombiniert: 10,2 l/100 km
CO₂-Emissionen kombiniert: 232 g/km
Energieeffizienzklasse: G

S

chon vor mehr als 50 Jahren waren die Porsche-Ingenieure auf der Suche nach einem Getriebekonzept, das die Vorteile eines Handschaltgetriebes besitzen und die Nachteile einer Vollautomatik vermeiden sollte. So entstand bereits 1964 ein Fünfgang-Renngetriebe mit lastschaltbarer Doppelkupplung, 1968 folgte ein automatisches Viergang-Getriebe mit elektrohydraulischer Steuerung. Für die Studie 995 über einen Zukunfts-Sportwagen konstruierten die Entwickler 1979 erneut ein Doppelkupplungsgetriebe, das später zur Grundlage des Porsche Doppelkupplungsgetriebes (PDK) wurde. Das PDK entstand ab 1981, wurde 1983 erstmals im Porsche 956 getestet und war dort ab 1984 im Renneinsatz – in einem der wohl erfolgreichsten Rennsportwagen. Dazu trägt auch das PDK bei: Durch das Schalten ohne Zugkraftunterbrechung beschleunigt das Fahrzeug schneller und verbraucht gleichzeitig weniger Kraftstoff. Für den Serieneinsatz ist das PDK seiner Zeit allerdings zu weit voraus – die Elektronik und die Rechenleistung der Steuergeräte sind noch nicht in der Lage, die hohen Komfortansprüche für den Betrieb in einem Straßenfahrzeug zu erfüllen.

Das änderte sich nach der Jahrtausendwende. Porsche griff die PDK-Entwicklung wieder auf und präsentierte im 911 Carrera der Generation 997 das erste Doppelkupplungsgetriebe für Seriensportwagen. Es ist ideal auf die Sportwagen zuge-

schnitten: Das PDK vereint die Fahrdynamik und den sehr guten mechanischen Wirkungsgrad eines manuellen Schaltgetriebes mit dem hohen Schalt- und Fahrkomfort eines Automatikgetriebes. Die Gänge des PDK sind auf zwei Teilgetriebe verteilt, die über zwei parallele Lastschaltkupplungen mit dem Motor verbunden sind. Die ungeraden Gänge sowie der Rückwärtsgang sind mit Kupplung I verbunden, dem ersten Teilgetriebe. Die geraden Gänge sind als zweites Teilgetriebe mit Kupplung II verbunden. Prinzipiell werden die einzelnen Gänge wie bei einem mechanischen Handschaltgetriebe über Schaltgabeln gewählt, die beim PDK jedoch elektrohydraulisch betätigt werden.

Schaltvorgänge absolviert das Doppelkupplungsgetriebe bereits bei seinem Debüt um bis zu 60 Prozent schneller als ein Automatikgetriebe. Es ermöglicht zudem den Gangwechsel ohne Zugkraftunterbrechung und reduziert den Kraftstoffverbrauch. Bis heute spielt das PDK diese Vorteile aus. Es sorgt in zahlreichen Porsche-Fahrzeugen für atemberaubende Schaltzeiten und Beschleunigungswerte, zudem verringert es den Verbrauch und ermöglicht Funktionen wie prädiktives Fahren und Schalten. Seit September 2020 werden auch die Porsche-Modelle 718 GTS 4.0, 718 Spyder und 718 Cayman GT4 mit einem PDK angeboten. Im Vergleich zu den Fahrzeugen mit manuellem Schaltgetriebe sprinten sie rund eine halbe Sekunde schneller auf 100 km/h. ◀

Porsche Engineering Magazin

Ausgabe
1/2021



Impressum

Herausgeber

Porsche Engineering Group GmbH
Michael Merklinger

Redaktionsleitung

Frederic Damköhler

Projektleitung

Caroline Fauss

Redaktion

Axel Springer Corporate Solutions GmbH & Co. KG, Berlin

Chefredaktion: Christian Buck

Projektmanagement: Marie Fischer, Nicole Langenheim

Bildredaktion: Bettina Andersen

Autoren

Richard Backhaus, Jost Burger, Constantin Gillies,
Marius Mihailovici, Hans Oberländer

Gastautor

Prof. Dr. Kristian Kersting

Art Direction

Christian Hruschka, Juliane Keß, Maria Christina Klein

Übersetzung

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

Kontakt

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

Produktion

Herstellung News Media Print, Berlin

Druck

Eberl Print GmbH, Immenstadt

Leserservice

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

Senden Sie gerne Firma, Name und Anschrift an:

magazin@porsche-engineering.de



Bildquellen, soweit nicht anders ausgewiesen: Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG; S. 1, 8: Totto Renna; S. 4: Theodor Barth, Steffen Jahn, Intel Corporation;
S. 7: Mona Budisan; S. 10: Illustration nach Vorlage einer Filmszene des Filmes Alphago <https://www.alphagomovie.com>, Christian Hruschka; S. 14: Getty Images;
Illustration S. 23: Florian Müller; S. 28, 29: Epic Games; S. 31: Gabriel Aldea; S. 32: Steffen Jahn; S. 34: Bell Labs; S. 35, 38: Intel Corporation; S. 36: Intel Free Press;
Illustrationen S. 37, 38: Florian Müller; S. 39: Christoph Kaminski / IBM Research; S. 45: Robert Utendorfer; S. 52, 53: Nvidia; S. 54: K. Tschovikov

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

**PURER SPORTSGEIST.
ZU JEDER ZEIT.**

Leistung – seit jeher fester Bestandteil der Porsche DNA. Mit dem neuen Porsche Panamera wird das für Performance-Enthusiasten unverzichtbare Sport Chrono Paket erstmals um einen Zeitmesser in Manufakturausführung aus dem Hause Porsche Design erweitert. In Verbindung mit ihm erscheint die neue Sport Chrono Collection: exklusive, COSC-zertifizierte Uhren, die mit Porsche Design Uhrwerken ausgestattet sind und die Porsche Performance an das Handgelenk des Trägers bringen.

SPORT CHRONO SUBSECOND

porsche-design.com/sportchrono-collection