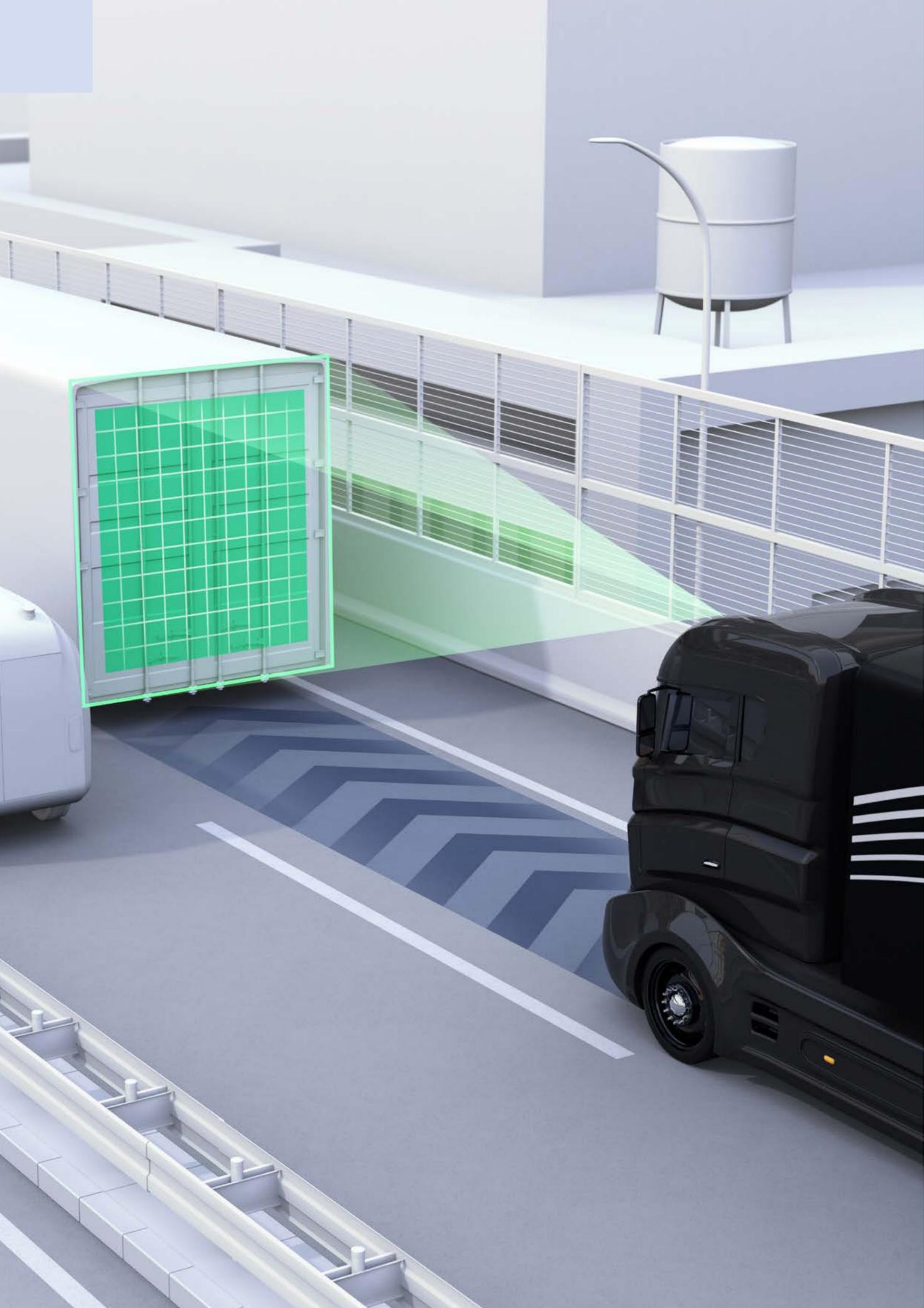


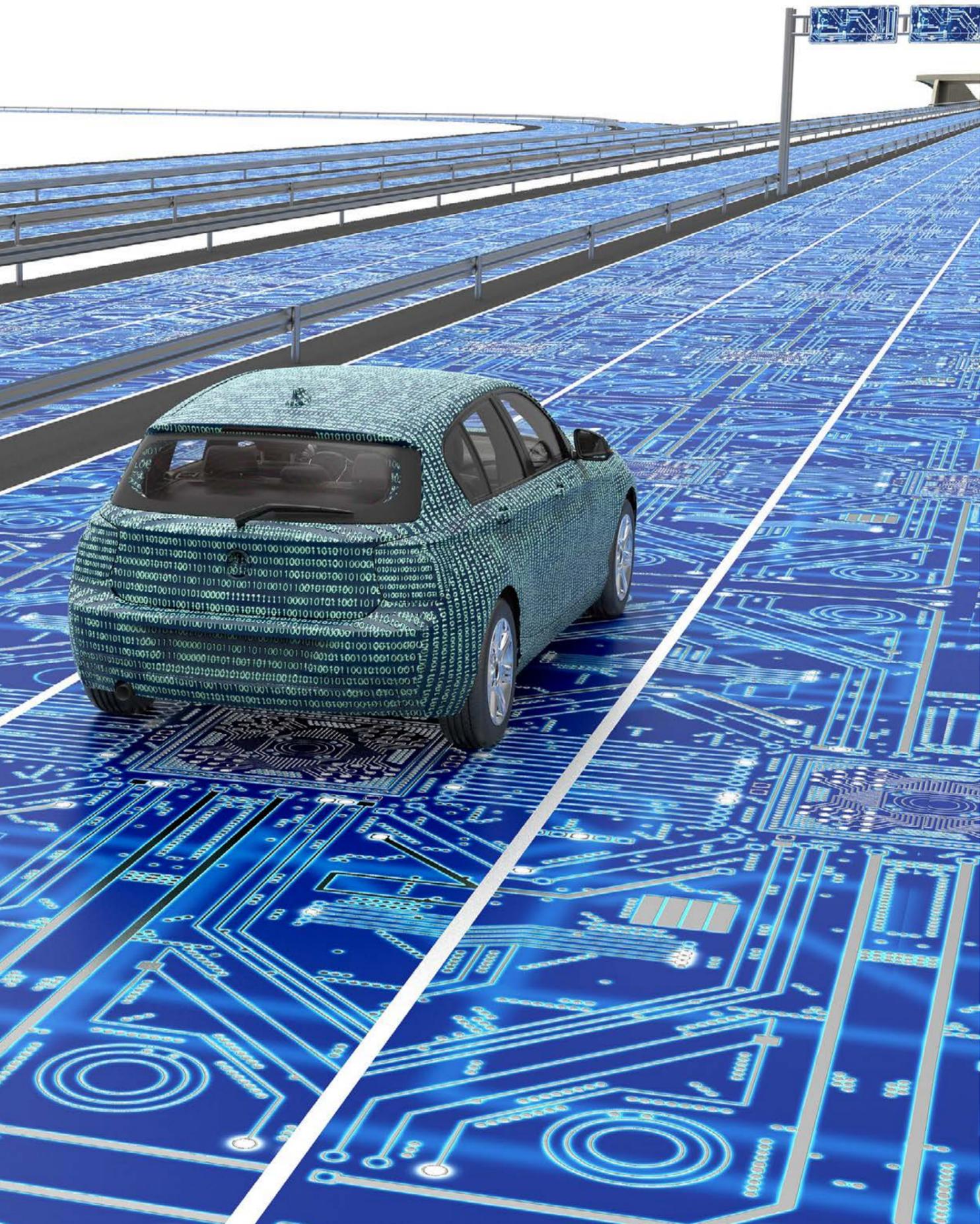
WHITEPAPER-SERIE AUTONOMES FAHREN

#03 Technische Voraussetzungen



Inhaltsübersicht

1. Grußwort von Heinz Baier Head of Industry Automotive Manufacturing Germany	5
2. Technologie – aktueller Entwicklungsstand	6
2.1 Kernthema Sicherheit	6
2.2 Reifegrade bei Sensorik	7
3. Autofahren mit neuartiger Hard- und Software	8
3.1 Herausforderung: Lokale Datenverarbeitung und -speicherung im Fahrzeug	8
3.2 Neue Fahrzeugkomponenten	10
3.3 Mechanische Komponenten – Antrieb	15
4. Vernetzung des Fahrzeugs mit der Umwelt	16
4.1 Navigation der Zukunft	16
4.2 Connected Car-Backend: Schneller neue Features	19
4.3 Mobilfunk: Mindestens 5G	22
4.4 Car-to-X-Kommunikation: Effizienterer Verkehrsfluss und weniger Unfälle	23
4.5 Verkehrsinfrastruktur: Fahrzeuge sprechen sich untereinander ab	28
5. Fazit	29
6. Autoren	30
7. Anhang	31



1. Grußwort von Heinz Baier Head of Industry Automotive Manufacturing Germany

Liebe Leserinnen und Leser,

noch sind vollautomatisierte Fahrzeuge „Science-Fiction“. Wie fern oder nah die Zukunft des autonomen Fahrens ist, hängt von vielen Aspekten ab. Einer der wichtigsten ist die Technik. Deshalb wollen wir uns in diesem Whitepaper ausschließlich mit den technischen Voraussetzungen des autonomen Fahrens beschäftigen – zum einen mit den Komponenten im autonomen Fahrzeug, also mit ADAS, verschiedenen Sensortypen wie Lidar, Radar, Kameras und Ultraschall sowie mit der Blackbox. Zum anderen widmen wir uns der Vernetzung des autonomen Fahrzeugs mit seiner Umwelt, das heißt den anderen Fahrzeugen, dem Verkehrsfluss und den Straßenverhältnissen.



Wann werden die neuen Technologien so ausgereift sein, dass tatsächlich flächendeckend autonome Fahrzeuge auf unseren Straßen unterwegs sind? Meine persönliche Einschätzung dazu lautet, dass bis dahin noch einige Jahre vergehen werden. Hier darf nichts überstürzt werden. Vielmehr muss die Technik so ausgereift sein, dass sie ein sicheres Fahren ermöglicht. Denn nur wenn autonomes Fahren tatsächlich sicherer ist, als wenn ein Mensch hinterm Lenkrad sitzt, wird es sich durchsetzen. Es geht eben nicht nur um Technik, sondern auch um eine breite gesellschaftliche Akzeptanz. Dafür bereitet jedoch eine ausgereifte, sichere und mehr Sicherheit bringende Technik den Boden. Bereits heute gibt es schon viele Funktionen, die von den Autofahrern täglich genutzt werden – von der Spurhaltung über das selbstständige Anfahren im Stau bis hin zum eigenständigen Einparken. Diese Unterstützungsleistungen für den Fahrer werden in den kommenden Jahren deutlich mehr werden. Zudem werden Akzeptanz und Vertrauen in der Gesellschaft dafür steigen.

Abschließend noch folgender Hinweis: Beim Schreiben über Technik gilt es, den Spagat zwischen „allgemein verständlich“ und „tief technisch“ zu machen. Wir haben dies folgendermaßen für Sie gelöst: Alle Kapitel, die sich detailliert mit der Technik befassen, haben wir mit „Tech-Talk“ gekennzeichnet. Wer daran kein Interesse hat, kann diese Passagen einfach überspringen, ohne dass dabei der rote Faden verloren geht.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine spannende und aufschlussreiche Lektüre.

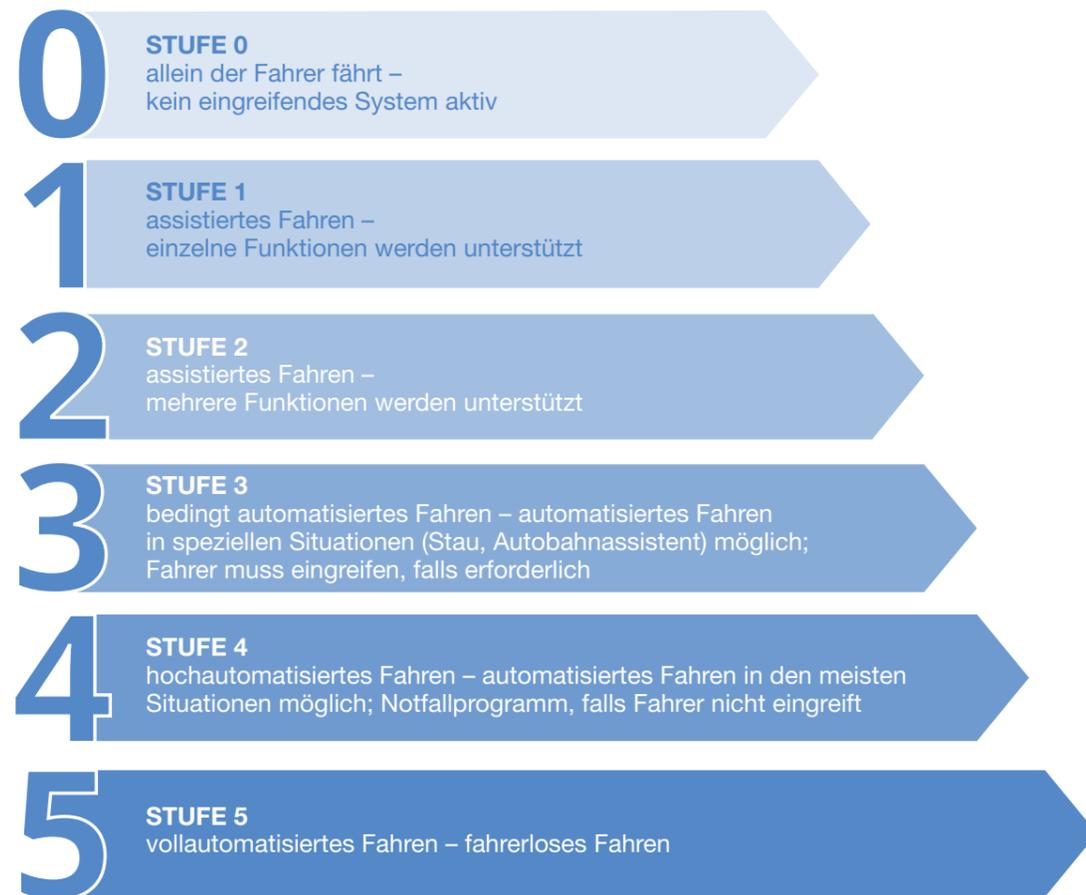
Heinz Baier

2. Technologie – aktueller Entwicklungsstand

2.1 Kernthema Sicherheit

Deutlich mehr Verkehrssicherheit – dieses Ziel gilt als einer der wesentlichen Treiber für autonome Fahrzeuge. Sicherheit ist somit ein großes, viel diskutiertes Thema. Die Vertrauensbildung bei den Verbrauchern erfordert ein Null-Fehler-System – nur dann wären Autofahrer bereit, das Steuer einem Autopilotensystem zu übergeben. Mehrere Vorfälle mit Beteiligung von autonomen Fahrzeugen wurden bereits gemeldet. Einer der größten Unfälle ereignete sich im Juli 2016, als ein Tesla Modell S im Autopilot-Modus einen Unfall verursachte. Obwohl das Auto mit mehreren Sensoren ausgestattet war, konnte keiner von ihnen einen entgegenkommenden Lkw erkennen und

die Kollision verhindern. Auch die Radarsysteme waren nicht in der Lage, den Anhänger des Lkws zu erkennen. Und die Kamerasysteme konnten die Lkw-Planen nicht vom Himmel unterscheiden. Der Fahrer hat den Unfall nicht überlebt. Andere autonome Fahrzeuge wie das Google-Auto in Kalifornien und ein Uber-Auto in Arizona im März 2017 waren ebenfalls in – nicht tödliche – Unfälle verwickelt. Als Vorsichtsmaßnahme hat Uber sein Testprogramm bis zum Abschluss der Untersuchung ausgesetzt. Wie hoch wird die technologische Reife von Sensorsystemen für das autonome Fahren der Stufe 3 im Jahr 2020 sein?



Die verschiedenen Entwicklungsstufen des autonomen Fahrens

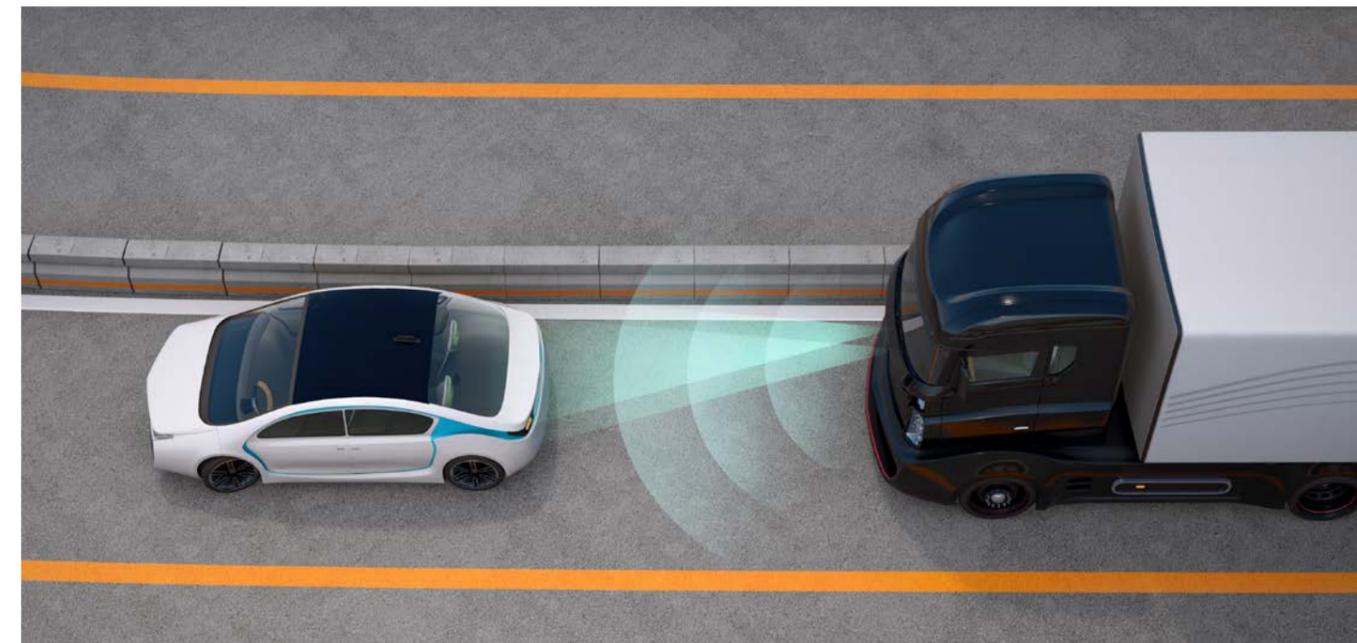
2.2 Reifegrade bei Sensorik

Ein hoher Reifegrad zeigt sich in der Ultraschall-technik. Hier gibt es umfangreiche Erfahrungen aus Anwendungsfällen in Park- und Fahrerassistenzsystemen. Im Gegensatz dazu werden Lidar (light detection and ranging) und Radar (radio detection and ranging) bis 2020 einen nicht so hohen Reifegrad innerhalb der autonomen fahrtüchtigen Fahrzeuge erreichen. Erstens ist die Technologie ziemlich neu auf dem Markt – Erkenntnisse und Best Practices müssen erst etabliert werden. Zweitens sind Lidar und Radar die am meisten datengesteuerten Sensoren. Für eine hohe Systemreife wird daher eine enge Integration von Software benötigt.

Darüber hinaus sind zuverlässige Lidar-Systeme derzeit noch sehr teuer. Bei der Lidar-Technologie wird erwartet, dass aktuelle Systeme durch eine hochauflösende 3D-Flash-Lösung ersetzt werden. Lieferanten wie Continental entwickeln derzeit die

nächste Stufe dieser Schlüsseltechnologie, die bis 2020 fertig sein soll. Diese Entwicklung ermöglicht die erforderliche Genauigkeit und den Detaillierungsgrad der Fahrzeugumgebung in Echtzeit.

Andere Sensoren, die grundlegende Anwendungsfälle abdecken (Höhenmesser, Gyroskop und Tachymeter), haben bereits ein sehr ausgeprägtes Entwicklungsstadium erreicht und bedürfen für das autonome Fahren keiner weiteren wesentlichen Verbesserung. Die notwendigen Weiterentwicklungen bei den Sensoren und deren fehlerfreie Integration werden länger als 2020 dauern. So lange es keine fehlerfreie Autopilot-Technologie gibt, werden die Fahrer weiterhin für die Kontrolle ihrer Fahrzeuge verantwortlich sein. Mit der Weiterentwicklung bestehender und neuer Technologien für ein völlig autonomes Fahren (Stufe 5) wird es mindestens bis 2030 dauern, wenn nicht länger.



3. Autofahren mit neuartiger Hard- und Software

Die autonome Fahrzeug-Technologie wird in ein sehr komplexes Ökosystem eingebettet sein, in dem verschiedene Plattformen, Systeme oder Komponenten mit dem selbstfahrenden Fahrzeug vernetzt sind. Der Datenaustausch ist eine der wesentlichen Herausforderungen für Automobilindustrie und Telekommunikationsanbieter. Auch wenn ein autonomes Fahrzeug in der Lage ist, selbstständig zu fahren, ist es auf den Empfang von Daten angewiesen – zum Beispiel Verkehrsinformationen, aktuelle Berichte über Straßenzustände oder Sicherheitsupdates – sowie deren lokale Verarbeitung und Speicherung.

■ 3.1 Herausforderung: Lokale Datenverarbeitung und -speicherung im Fahrzeug

Das autonome Fahren produziert täglich Terabytes von Daten. Somit sind die hocheffiziente Verarbeitung und Analyse – unter anderem in Echtzeit – sowie die Sicherung der Daten von hoher Bedeutung.

■ Daten vor Ort.

Viele Funktionen für das autonome Fahren müssen lokal im Fahrzeug verfügbar sein. Denn das massive Datenvolumen, welches in jedem Fahrzeug generiert wird, kann nicht über das Mobilfunknetz übertragen und in einem entfernten Backend verarbeitet werden. Folgende Aktionen müssen lokal im Fahrzeug ablaufen:

- Erfassen und Fusion von Sensordaten
- 360°-Umgebungsinterpretation und Labelling von Objekten
- (Echtzeit-)Analyse der Daten
- kontinuierliche Weiterentwicklung der Fahrzeugintelligenz mit selbstlernenden Algorithmen
- verlässliche Steuerung des Fahrzeugs über ECUs (elektronische Steuereinheiten) und Aktoren

Diese enorm großen Datenmengen bringen die bisherige Car-IT-Architektur an ihre Grenzen: Es werden zum einen echtzeitfähige Datenbusse mit höherer Bandbreite benötigt. Zum anderen muss die Hardware der Steuergeräte und des zentralen ADAS (Advanced Driver Assistance System = selbstlernender, hochentwickelter Zentralrechner) ebenfalls mit einer signifikant höheren Rechenleistung ausgestattet sein. Für die Fusion der Sensordaten von Lidar, Radar und diversen Kameras in Kombination mit „Deep Learning“-Ansätzen werden 20 bis 30 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde benötigt.

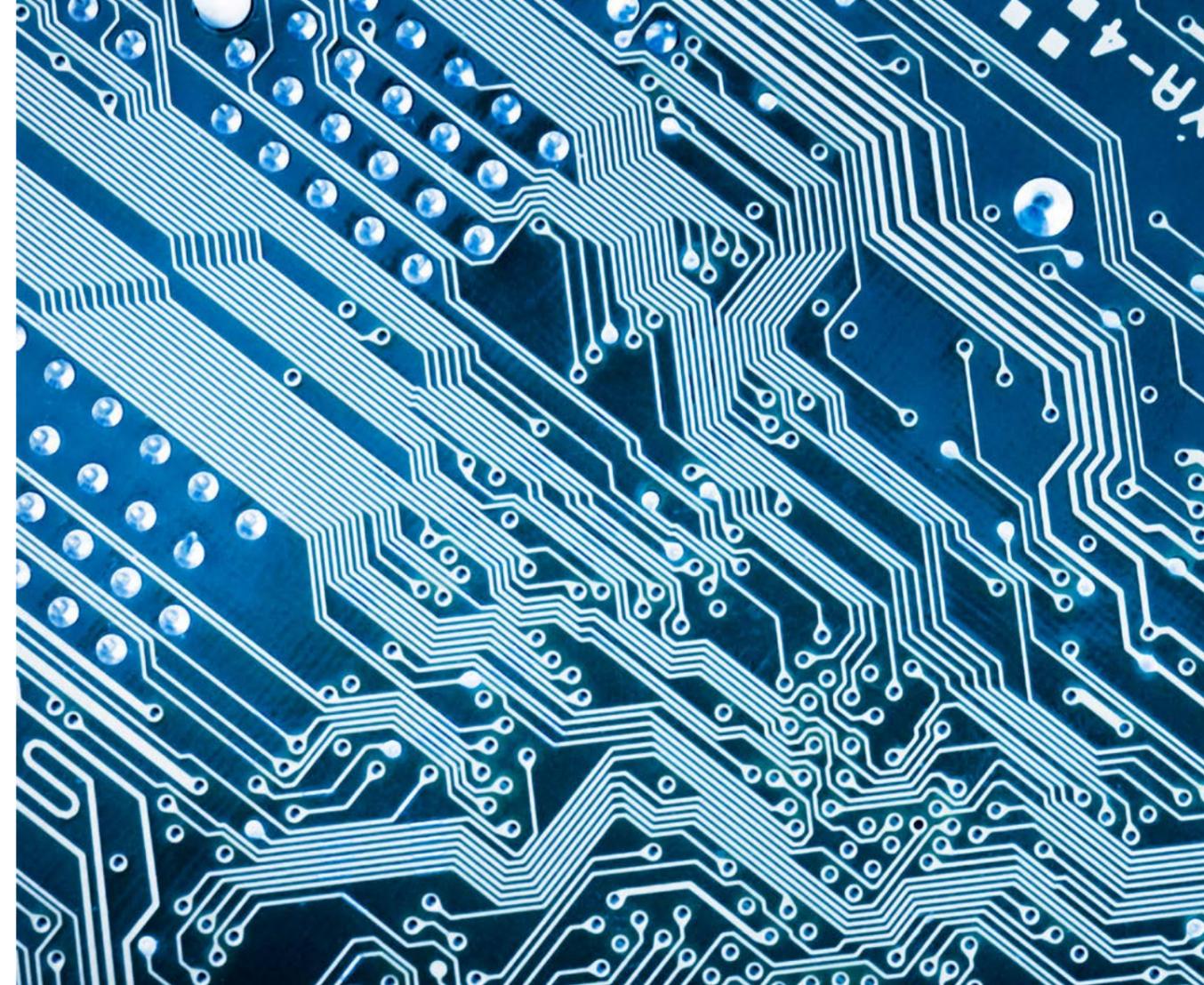
■ Auswertung fast in Echtzeit.

Die Leistungsfähigkeit in der Verarbeitung für detaillierte Karten ermöglicht beispielsweise die Technologie von NVIDIA DRIVE PX 2. Mit vielen, teilweise sehr teuren Sensoren lassen sich große Datenmengen für die Offline-Auswertung erfassen. Die Daten werden lokal im Fahrzeug ausgewertet und die Kommunikation mit der Cloud wird minimiert. Dadurch kann die Auswertung nahezu in Echtzeit erfolgen – eine enorme Verbesserung im Vergleich zu den bisherigen langen Laufzeiten von bis zu mehreren Wochen.

■ Nicht alle Daten werden gebraucht.

Jedoch sind nicht alle anfallenden Streaming-Daten zu speichern. Vielmehr ist klar zu differenzieren, welche Daten weiterhin benötigt werden, damit das Fahrzeug sein zukünftiges Verhalten in unterschiedlichen Situationen optimieren kann (Machine Learning). Folgendes ist zu klären:

- **Kurzfristig benötigte Daten.** Welche Daten werden nur gebraucht, um mit der aktuellen Situation umzugehen, und können danach gelöscht werden (zum Beispiel aktuelle Temperatur, Radiosender oder Gewicht des Fahrzeuginnenraums)?
- **Langfristig benötigte Daten.** Welche Daten sollten gespeichert werden, weil sie zur Weiterentwicklung der künstlichen Intelligenz des Fahrzeugs beitragen (zum Beispiel Bremsverhalten auf schneebedeckten Straßen oder das Verhalten der Verkehrsteilnehmer an bestimmten Stellen der Straße wie an Schulen oder zu bestimmten Tageszeiten wie kurz vor Unterrichtsbeginn)?

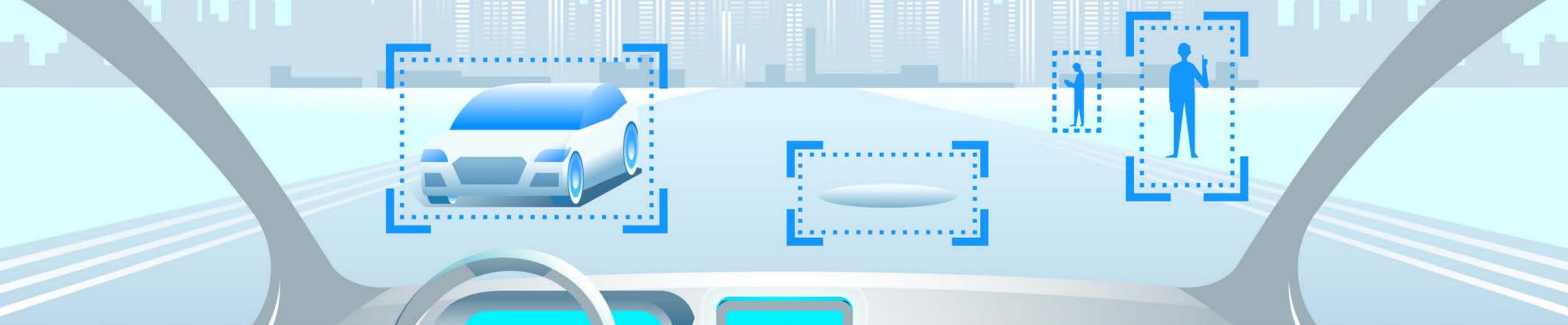


■ Software wichtiger als Hardware.

In Zukunft werden mechanische Komponenten stark an Bedeutung verlieren, während die Software das wichtigste Element im Fahrzeug sein wird. Deswegen werden viele Autokomponenten künftig keinen Platz in der Stückliste haben, was für manche Zulieferer eine große Herausforderung darstellen wird. Autonome Fahrzeuge werden zu rollenden Computern – analog müssen OEMs und Zulieferer ihre IT- und Software-Kompetenzen signifikant ausbauen.

■ Erforderliche Rechenleistungen für Datenverarbeitung im Auto.

Alle durch die Sensorik aufgenommenen Daten müssen im Anschluss analysiert und ausgewertet werden. Dafür sind für automatisierte Fahrzeuge neben echtzeitfähigen Bussystemen auch deutlich leistungsfähigere Recheneinheiten erforderlich. Berechnungen gehen von 50- bis 100-mal höheren Rechenleistungen als bei aktuellen Fahrzeugen aus. Mit der Plattform PX Pegasus stellt Nvidia ein System bereit, das über 320 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde verarbeiten kann. Dieses wurde eigens für Deep Learning und automatisiertes Fahren entwickelt und besteht aus vier Hochleistungsprozessoren. Durch derartige Systeme lässt sich ein Großteil der Daten direkt im Fahrzeug verarbeiten und das Datenvolumen minimieren, das an ein Backend-System übertragen werden muss.



■ 3.2 Neue Fahrzeugkomponenten

Betrachtet man das Fahrzeug als solches, so werden sich nicht nur die im Fahrzeug eingebauten Komponenten verändern, sondern es sind neue zu integrieren: Der zentrale Bordrechner ADAS, die gesamte Sensorik mit Lidar, Radar, Ultraschall und Kameras sowie die Blackbox.

■ ADAS – Zentraler Bordrechner künftig intelligenter als ein Mensch.

■ Weiterentwicklung des zentralen Bordrechners. Hoch entwickelte zentrale Bordrechner (ADAS) machen Verarbeitung, Analyse, Verwendung und Speicherung erzeugter Daten erst möglich – innerhalb von Millisekunden. Somit werden sich die heutigen ADAS weiterentwickeln müssen. Internationale Standards wie ISO 26262 gewährleisten bereits bestimmte funktionelle Sicherheitsstandards für elektrische und elektronische Systeme wie das ADAS. Sie werden in allen Phasen des Lebenszyklus‘ der sicherheitsrelevanten Fahrzeugsysteme Anwendung finden.

Das ADAS und speziell damit verbundene selbstlernende Algorithmen (Machine Learning) sind ein zentraler Erfolgsfaktor sowohl für OEMs als auch Zulieferer, die sich eine zukunftssträchtige Marktposition im Bereich der autonomen Fahrzeuge sichern wollen.

■ Machine Learning.

Das maschinelle Lernen – unter anderem basierend auf tiefen neuronalen Netzwerken – spielt eine tragende Rolle bei der Entwicklung autonomer Fahrzeuge. Menschliche Fahrer lernen wichtige Verkehrsregeln oder den Umgang mit kritischen Situationen von erfahrenen Fahrlehrern und in der Fahrpraxis. Auch das autonome Fahrzeug muss lernen. Vorprogrammierte Regeln können nicht jedes mögliche Szenario im Verkehr vorwegnehmen. Deshalb sind die selbstfahrenden Computer auf Rädern nicht nur mit einer Reihe von vorprogrammierten „Wenn-Dann-Regeln“ ausgestattet, sondern vor allem auf selbstlernende Algorithmen und die damit verbundenen Lernfähigkeiten angewiesen.

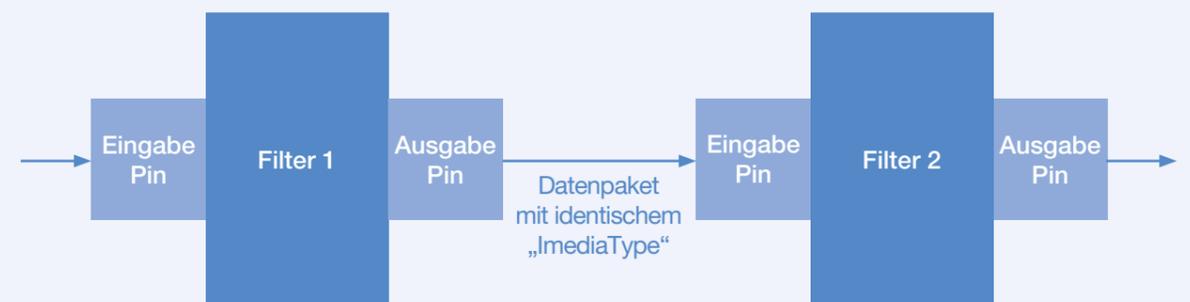
■ Fleet Learning.

Im Rahmen von Fleet Learning wird das Verhalten eines menschlichen Fahrers mit dem Verhalten des zentralen Bordrechners verglichen. An welcher Stelle in einer Kurve würde der Mensch bremsen und wann hätte das Auto selbstständig gebremst? Legt man das Verhalten an der gleichen geografischen Position von einer großen Zahl an Fahrzeugen übereinander, so kann man den optimalen Bremszeitpunkt ausloten und diese Information an alle anderen Fahrzeuge übermitteln, die diese Stelle noch nicht passiert haben. Daher lernen die Bordrechner zunächst vom realen, menschlichen Verhalten und speichern dieses Wissen für zukünftige, vergleichbare Situationen. Auf diese Weise werden über die Zeit die Bordrechner auf einen weit größeren Erfahrungsschatz zurückgreifen können und somit intelligenter sein als ein einzelner Mensch.

■ Tech-Talk – Automotive Data and Time-triggered Framework (ADTF).

ADTF ist eine Entwicklungs- und Testumgebung für das ADAS. Ursprünglich wurde die Entwicklungsumgebung von AEV – Audi Electronics Venture – entwickelt und für andere Entwickler freigegeben.

Bei ADTF werden Komponenten, zwischen denen Daten übertragen werden, als Filter bezeichnet. Jeder Filter hat Ein- und Ausgabe-Pins, die verbunden werden (siehe Abbildung).



Schematische Darstellung: Kommunikation zwischen zwei Filtern in ADTF

Die Übertragung zwischen zwei Filtern kann nur stattfinden, wenn beide Filter den gleichen Datentypen („lmediaType“) aufweisen. Der Datentyp wird vom Entwickler des Filters je nach Bedarf festgelegt – zum Beispiel eine feste Datenlänge oder ein Identifier für den zu sendenden Datensatz. Eine Kombination von Filtern wird „Filtergraph“ genannt und weist aufgrund der implizit festgelegten Richtung einen gerichteten Graphen auf. Für das Labelling von Bilddaten können vorhandene Filter eingebunden werden, womit sich der Entwicklungsaufwand minimieren lässt. Die Aufzeichnung von Videos wird beispielsweise über einen Kamerafilter realisiert. Ein Konvertierungsfilter konvertiert die Daten, weitere Filter werten sie aus. Als Ergebnis wird eine XML-Datei ausgegeben, die alle Objekte und deren Attribute für jedes Videobild beschreibt.

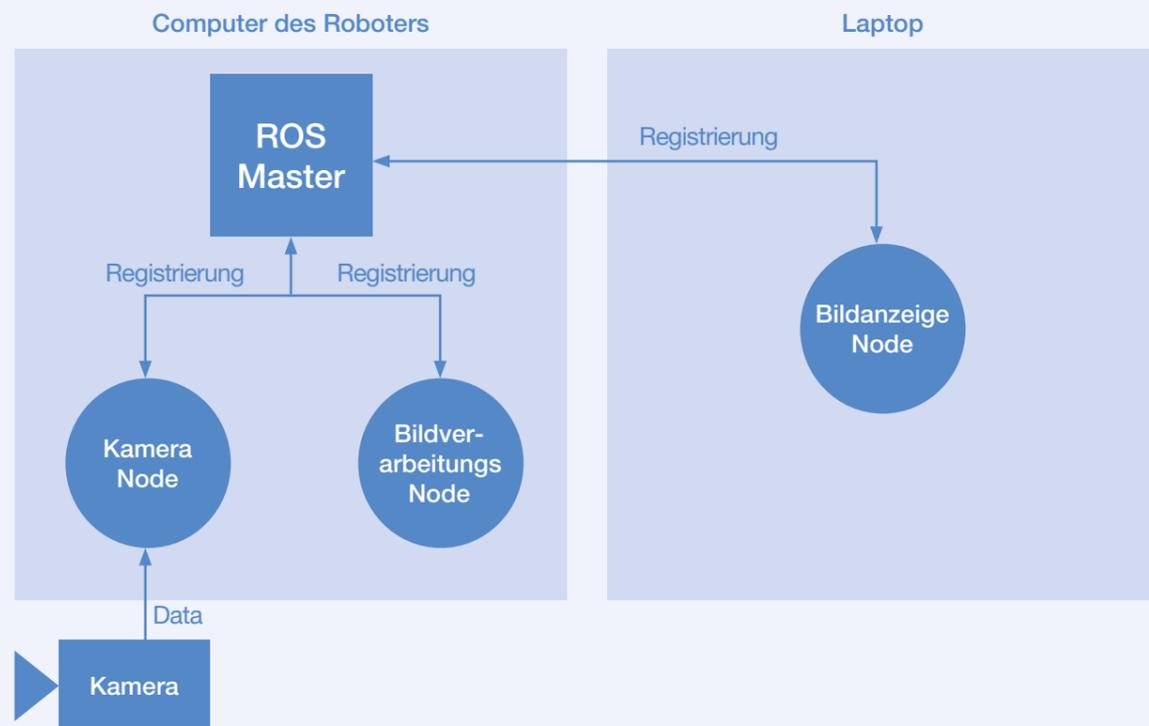
So kann ein OEM schnell und ohne großen Aufwand Filter von verschiedenen Zulieferern einbinden, die sich auf bestimmte Kerngebiete, beispielsweise die Mustererkennung, spezialisiert haben.

■ Tech-Talk – Robot Operating System (ROS).

Für die Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen hat sich ein zweites Software Framework als effizient erwiesen: das Robot Operating System, kurz ROS.

ROS ist ein Open Source Software Framework für die Entwicklung von Robotern. Ein komplexes Robotersystem besteht aus verschiedenen internen Recheneinheiten und Komponenten, die miteinander verbunden sind. Bei einem Roboter, der auf ROS basiert, stellt eine dieser Einheiten den Master dar, bei dem alle weiteren Komponenten als sogenannte „Nodes“ registriert werden müssen. Jeder Node läuft als eigener Prozess. Der Master stellt die Verbindung zwischen zwei registrierten Nodes her, indem er beiden Slaves die jeweiligen Verbindungsinformationen mitteilt.

Die Kommunikation in ROS läuft über Messages. Der Informationsaustausch zwischen zwei Nodes kann über Topics und Services erfolgen. Topics verfolgen den „Publisher/Subscriber“-Ansatz. Jeder Node kann Messages in Topics veröffentlichen (publish) und Topics anderer Nodes abonnieren (subscribe). Am Beispiel einer Kamera, die an eine Bildverarbeitungs-Unit und zur Anzeige an einen Laptop angeschlossen ist, wird hier ein ROS-Prozess gezeigt:



Ablauf eines ROS-Prozesses am Beispiel einer Publisher-Kamera

■ Sensorik – besser als Sehen und Hören.

Die Augen und Ohren eines menschlichen Fahrers werden im autonomen Fahrzeug durch hochausgereifte Sensorik ersetzt. Sensoren ermöglichen dem Fahrzeug, ein Bild der Umgebung zu generieren. Um auch bei Defekten und ungünstigen Umweltbedingungen wie Regen und Schnee eine Abbildung des Fahrzeugumfelds zu erhalten, wird eine redundante Auslegung der Sensoren erforderlich sein. Das umfasst nicht nur die doppelte Auslegung einzelner Sensoren, deren Sichtfeld sich überschneidet, sondern auch den Einsatz von verschiedenen Sensortypen, die auf unterschiedlichen physikalischen Grundlagen beruhen. Mit der Kombination der vier im Folgenden genannten Sensortypen (Lidar, Radar, Kameras und Ultraschall) und der Fusion der erzeugten Sensordaten wird es möglich, eine sehr verlässliche Erfassung des Umfeldes zu generieren und entsprechend das Fahrverhalten des autonomen Fahrzeugs abzuleiten. Die Verlässlichkeit wird über eine Kreuzvalidierung der jeweils erfassten Sensordaten sichergestellt.

■ Lidar.

An erster Stelle ist dabei der Lidar zu nennen, der auf Basis eines pulsierenden Lasers ein hochaufgelöstes 3D-Abbild seiner Umgebung und darin befindlicher Objekte generieren kann. Der Laserscanner sendet Infrarot-Laserimpulse aus und detektiert die reflektierten Strahlen. So können auch Objekte in einer Entfernung von 150 bis 200 Metern erfasst werden. Die Auflösung von Laserscannern ist im Gegensatz zu Radarsystemen deutlich höher und lässt sich durch Einsatz eines zweiten Laserscanners noch weiter erhöhen. Der große Nachteil von Laserscannern ist der Einfluss von Wetterkonditionen. Da es sich um eine optische Messart handelt, können Umweltbedingungen die Messungen verfälschen oder unmöglich machen.

Der Lidar ist aktuell noch der mit Abstand teuerste Sensor eines autonomen Fahrzeugs und erzeugt riesige Datenmengen.

■ Radar.

Des Weiteren werden Fernbereichs-(Long-Range) und/oder Nahbereichs-(Short-Range)-Radarsensoren verbaut, welche mit sehr hoher Genauigkeit den Abstand zu Objekten, ihren Winkel zum eigenen Fahrzeug und ihre relativen Geschwindigkeiten ermitteln können. Der Short-Range-Radar hat ein ähnliches Einsatzspektrum wie ein Ultraschallsensor und wird zum Einparken und Erfassen des Nahfelds eingesetzt. Das Umfeld kann so bei entsprechender Anordnung zu 360° überwacht werden und hilft bereits heute, vor Fahrzeugen im toten Winkel und Einschermern zu warnen. Der Long-Range-Radar hingegen reicht bis zu 200 Meter weit. Vorausfahrende Fahrzeuge und Hindernisse können detektiert werden.

■ Kameras.

Eine weitere Sensorart, die immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist ein Kamerasystem. Im Gegensatz zu Lidar und Radar liefern Kamerasysteme Bilder mit Farbinformationen. Dadurch ist es möglich, Oberflächentexturen – zum Beispiel Geschwindigkeitsschilder oder Fahrbahnkennzeichnungen – zu erkennen und somit eine Objekt-Klassifizierung vorzunehmen. Nachgeschaltete Mustererkennungs-Algorithmen können so Objekte unterscheiden. Zusätzlich sind Stereokameras in der Lage, für räumliche Informationen zu sorgen und Abstandsmessungen ermöglichen. Für Fahren bei Dunkelheit kommen hingegen Infrarot-Kameras zum Einsatz.

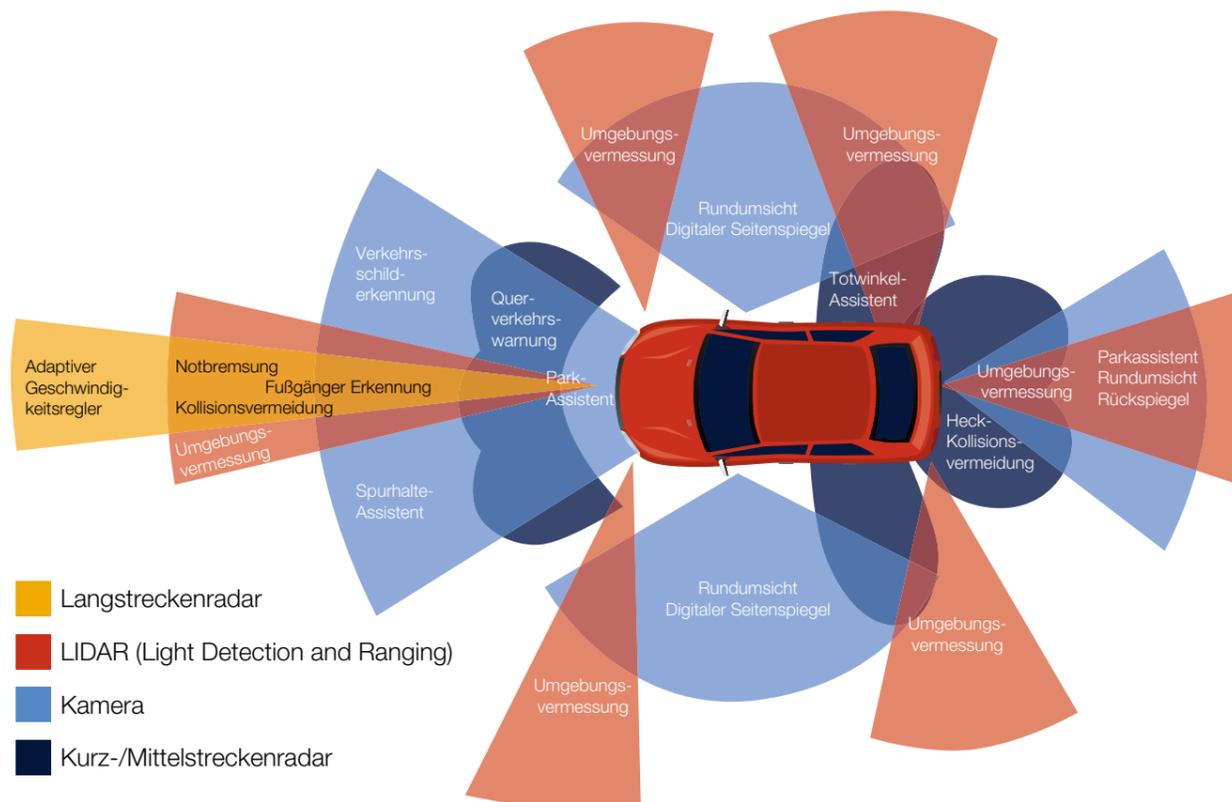
Auch Kameras erzeugen sehr große Datenmengen, welche lokal im Fahrzeug verarbeitet und selektiv gespeichert werden müssen.

■ Ultraschall.

Ultraschallsensoren werden vor allem für den Nahbereich eingesetzt und sind damit hauptsächlich für den Einparkassistenten von Bedeutung. Auch in Stausituationen können Ultraschallsensoren für die Abstandsregelung zum Einsatz kommen. Verbaut werden diese meist vorne, hinten und an der Seite des Fahrzeugs.

■ Überblick: Reichweite und Öffnungswinkel der verschiedenen Sensortypen.

In der folgenden Abbildung sind die Reichweiten und Öffnungswinkel sowie die Einsatzmöglichkeiten von verschiedenen Sensoren aufgezeigt. Dank der hohen Sensorenzahl sowie -vielfalt wird die Fahrzeugumgebung in einem Winkel von 360° durchgehend überwacht. Ein toter Winkel im nahen Umfeld des Fahrzeugs wird durch diese Sensorikauslegung weitestgehend vermieden.



Reichweite und Öffnungswinkel für verschiedene Sensortypen

■ **Blackbox.**

■ Blackbox – Datenaufzeichnung wie im Flugzeug. Analog zu Flugdatenschreibern in Flugzeugen wird die Blackbox im autonomen Fahrzeug alle relevanten Informationen wie Geschwindigkeit, Beschleunigungskräfte, Lenkbewegungen, geografische Positionen oder Fehlerdaten von Steuergeräten aufzeichnen, um bei Unfällen den Hergang möglichst lückenlos

aufarbeiten zu können. Damit können Behörden bzw. Versicherungen auf Basis einer umfangreichen Datenbasis objektiv die Schuld- und die damit verbundene Haftungsfrage klären, sprich: ob der Unfall durch menschliches oder technisches Versagen verursacht worden ist.

■ **3.3 Mechanische Komponenten – Antrieb**

■ **Elektromotor.**

Wir erwarten auch tiefgreifende Veränderungen des Antriebskonzepts: Aktuell geführte politische, technologische und umweltorientierte Diskussionen deuten stark darauf hin, dass der Antrieb nach Erreichen der Vollautomatisierung elektrisch sein wird. Mit den im Fahrzeug installierten Elektromotoren, Zweiganggetrieben und Batteriemodulen ebenso wie mit künstlicher Intelligenz und neuen sensorischen Sinnesorganen, welche dann das Fahrzeug steuern, werden sich auch die technischen Prioritäten verschieben.

■ **Stark erhöhter Strombedarf – woher kommt die Energie?**

Unter der Annahme, dass künftig alle autonomen Fahrzeuge elektrisch sein werden, stellt sich die Frage, aus welcher Quelle die benötigte Energie stammen wird. Geht man beispielsweise von einem Energieverbrauch des autonomen Elektrofahrzeugs von circa 20 Kilowattstunden pro 100 Kilometer und einer gesamten jährlichen Fahrleistung von 15.000 Kilometern aus, benötigt man 3.000 Kilowattstunden Strom vom Energieanbieter oder von der eigenen Photovoltaik-Anlage. Bei circa 46 Millionen zugelassenen Pkws in Deutschland entspricht das einem zusätzlichen Energiebedarf von circa 138 Terawatt oder 46 Millionen Zwei- bis-Drei-Personenhaushalten. Diese zusätzliche Leistung wird signifikante Investitionen im Bereich der öffentlichen sowie der privaten Energieerzeugung erfordern und bietet Chancen für die jeweiligen Infrastrukturanbieter.

■ **Aufladen – selbstständig zur Ladestation.**

Die Entwicklung und Produktion der benötigten Batteriespeicher befindet sich nach Jahren des Stillstands seit einiger Zeit in einer technologischen Aufwärtskurve und wird zunehmend erschwinglicher. Beispielsweise kostet eine Kilowattstunde Kapazität einer Lithium-Ionen-Batterie aktuell zwischen 200 und 250 US-Dollar. Die Prognose für 2030 liegt bei unter 100 US-Dollar, und in Kombination mit längeren Batteriezyklen werden somit die wesentlichen Marktbarrieren verschwinden.

■ **Die Zukunft des Tankens.**

Der Aufladevorgang bietet zusätzliche Chancen für Anbieter. Denn: Autonome Fahrzeuge fahren selbstständig zur Ladestation, es wird dabei kein Fahrer anwesend sein, um den Ladevorgang zu starten. Somit müssen effiziente Wege zum Aufladen gefunden werden. Entweder wird es eine Renaissance des E-Tankworts geben oder Roboter justieren das Ladekabel am autonomen Fahrzeug oder induktive Ladestationen werden genutzt. Um das Jahr 2050 oder bereits früher wird es höchstwahrscheinlich einen Zulassungsstopp für Verbrennungsmotoren geben; damit wird ein Sterben der heutigen Tankstellen-Landschaft einhergehen. Ebenso wird die Nachfrage nach den Produkten der Petrochemie-Industrie einbrechen.

4. Vernetzung des Fahrzeugs mit der Umwelt

■ 4.1 Navigation der Zukunft

■ Echtzeit-Karten.

Hochpräzise, dynamische Echtzeit-Karten steuern das Fahrzeug mit einer Genauigkeit im Dezimeter-Bereich und sind somit unverzichtbar für das autonome Fahren. Echtzeit-Karten finden die bestmögliche Route und enthalten aktuelle Daten über Verkehrsregeln, Straßenschilder, mögliche Hindernisse oder Straßenverhältnisse.

Die Bedeutung der richtigen Karten für die autonome Technologie ist den OEMs bewusst. So haben BMW, Daimler und Audi 2015 das ehemalige Nokia Unternehmen HERE Technologies erworben, um sich den Zugang zu zukunftsweisenden Kartentechnologien zu sichern und sich gegenüber Wettbewerbern wie Google unabhängig zu machen.

Unternehmen wie HERE Technologies arbeiten an hochauflösenden digitalen Karten, um eine Reihe von Anwendungsfällen des hochautomatisierten Fahrens zu ermöglichen, welche über die Möglichkeiten der Fahrzeug-Sensorik weit hinausgehen.

So können zum Beispiel sicherheitsrelevante Informationen – über Verkehrshindernisse, Straßenschäden, Personen auf der Fahrbahn etc. – vorausschauend in das Fahrzeug eingespielt werden.

■ Satelliten.

Autonome Fahrzeuge benötigen für ein hochpräzises Fahrverhalten Genauigkeiten im Dezimeter-Bereich. Damit scheint die Ära des ursprünglichen amerikanischen Satellitensystems Navstar GPS endgültig vorbei zu sein, welches mit einer Positionstoleranz zwischen fünf und 15 Metern nicht die notwendige Genauigkeit in der Navigation liefern kann.

Das europäische Satellitensystem Galileo bietet aktuell einen Meter Genauigkeit für die Öffentlichkeit und einen Zentimeter Genauigkeit mit Verschlüsselung. Bis 2019 wird das auf Galileo basierende ESCAPE-Konsortium die Entwicklung einer innovativen Positionierungseingine fertigstellen, mit der sich die hohen Sicherheitsanforderungen des autonomen Fahrens erfüllen lassen. Das erste für den Automotive-Massenmarkt taugliche Galileo-Empfänger-Chipset mit Multi-Frequenz-Fähigkeit wird eine Kernkomponente dieser Positionierungseingine sein.

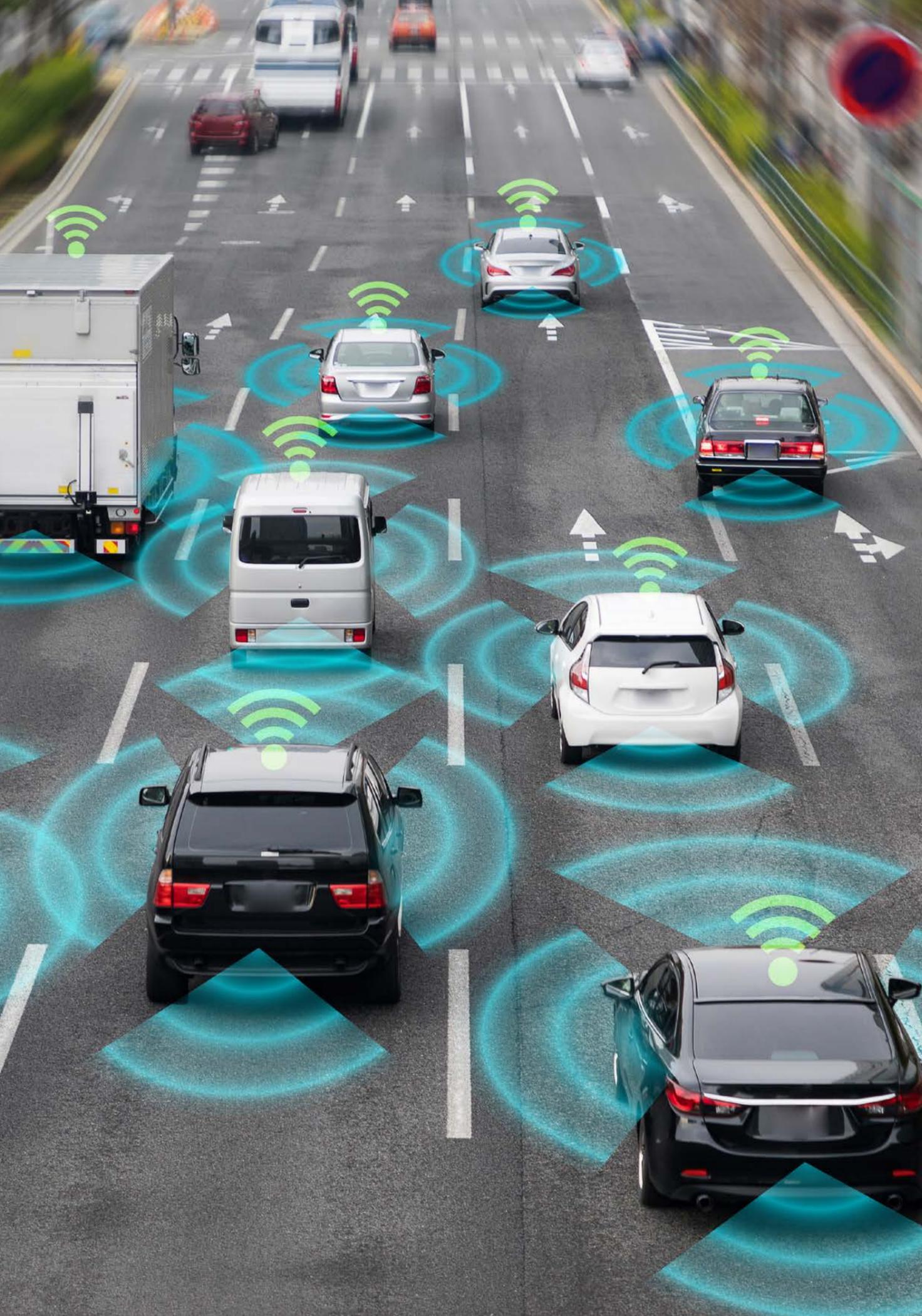
Die entsprechenden zukünftigen Technologien werden elementare Bestandteile eines jeden autonomen Fahrzeugs sein und stellen somit ein erhebliches Marktpotenzial dar.



Gründe für satellitengestützte Navigation

Warum benötigen autonome Fahrzeuge überhaupt eine satellitengestützte Navigation? Eigentlich sollte man annehmen, dass allein durch die eingebaute Sensorik wie Lidar, Radar oder Kameras Straßen und umgebende Objekte zu identifizieren sind. Das ist jedoch aus folgenden Gründen nicht ausreichend:

- **Vorausschauende Fahrweise.** Dank Navigationssystem kann das Fahrzeug Geschwindigkeit, Brems- oder Lenkverhalten bereits einige Sekunden im Voraus planen, bevor die Bord-Sensorik eine Kurve oder Kreuzungen überhaupt wahrnimmt und darauf reagieren kann. Mit Navigationssystem wird das Fahrzeug sozusagen zu einem ortskundigen Fahrer, der dank detaillierter Straßenkenntnisse sein Fahrverhalten optimal darauf einstellen kann – im Gegensatz zu einem Ortsfremden, der stark ad hoc fahren muss, was weniger effizient ist.
- **Kollaboratives Fahren.** Mit der Kenntnis der präzisen Position des Gegenverkehrs kann das System im autonomen Fahrzeug entscheiden, ob sich beispielsweise ein Überholvorgang in einer Kurve oder hinter einer Kuppe gefahrlos durchführen lässt. Dasselbe gilt für das Abbiegen auf eine schlecht einsehbare Kreuzung: Hier ist die präzise Positionsbestimmung von Fahrzeugen im Nahbereich sicherheitsrelevant.



■ 4.2 Connected Car-Backend: Schneller neue Features

■ Vorteile des Backend-Systems.

Es ist möglich, dass künftig die durch die Sensorik generierten Daten an ein Backendsystem übertragen, verarbeitet und an das Fahrzeug zurückgesendet werden. Durch dieses Prinzip entstehen diverse Vorteile. Beispielsweise lassen sich die durch das Fahrzeug generierten Daten mit zusätzlichen, zeitgleich gesammelten Daten durch weitere Fahrzeuge in der Umgebung zusammenführen. Vorzeitige Warnungen vor gefährlichen Situationen oder Verkehrsflussoptimierungen sind somit möglich. Des Weiteren kann ein Backend-System die im Fahrzeug zu verarbeitenden Daten reduzieren. Eine geringere Anzahl beziehungsweise geringere Leistungsfähigkeit der Steuergeräte führt zu Kosten-, Bauraum- und Gewichtersparnis. Neue Verarbeitungseinheiten, zum Beispiel eine neue Prozessoreinheit für Musteranalysen, können schnell in das Backend-System eingebunden werden. Außerdem lassen sich Leistung und Speichergröße des Systems nach Bedarf jederzeit unbegrenzt aufrüsten. Es fragt sich jedoch, ob die großen Datenmengen an das Backend in Echtzeit übertragen und verarbeitet werden können.

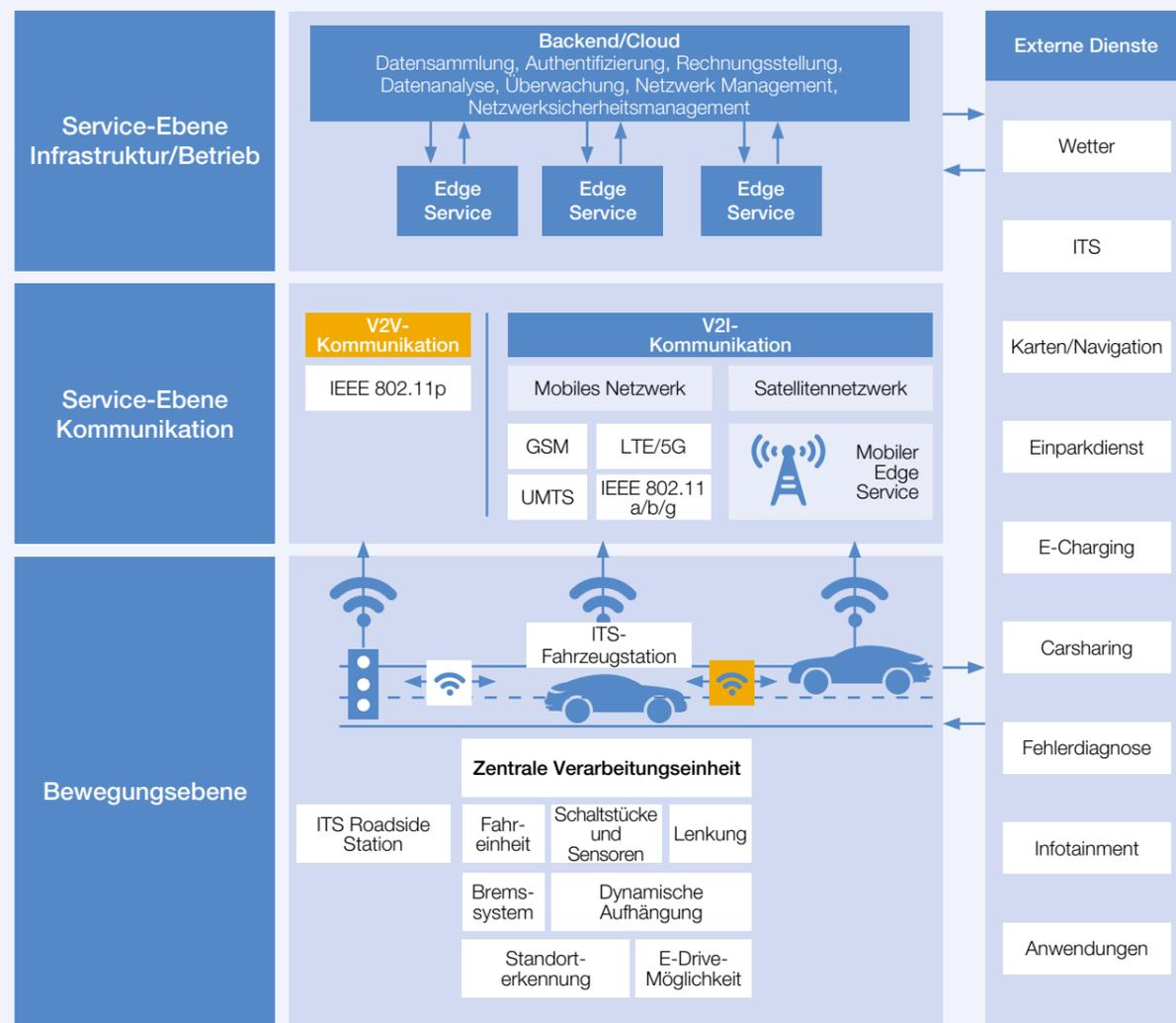
■ Herausforderung für Automobilindustrie.

Experten für Car-IT werden voll integrierte ADAS, Sensor- und ECU (Electronic Control Unit)-Systeme entwickeln müssen, welche die künstliche Intelligenz für das autonome Fahrzeug und dessen Betriebssystem abbilden. Das Connected Car Backend gehört in der Regel den OEMs und ist eine tragende Säule für funktionskritische Fahrzeug- und Infotainment-Dienstleistungen.

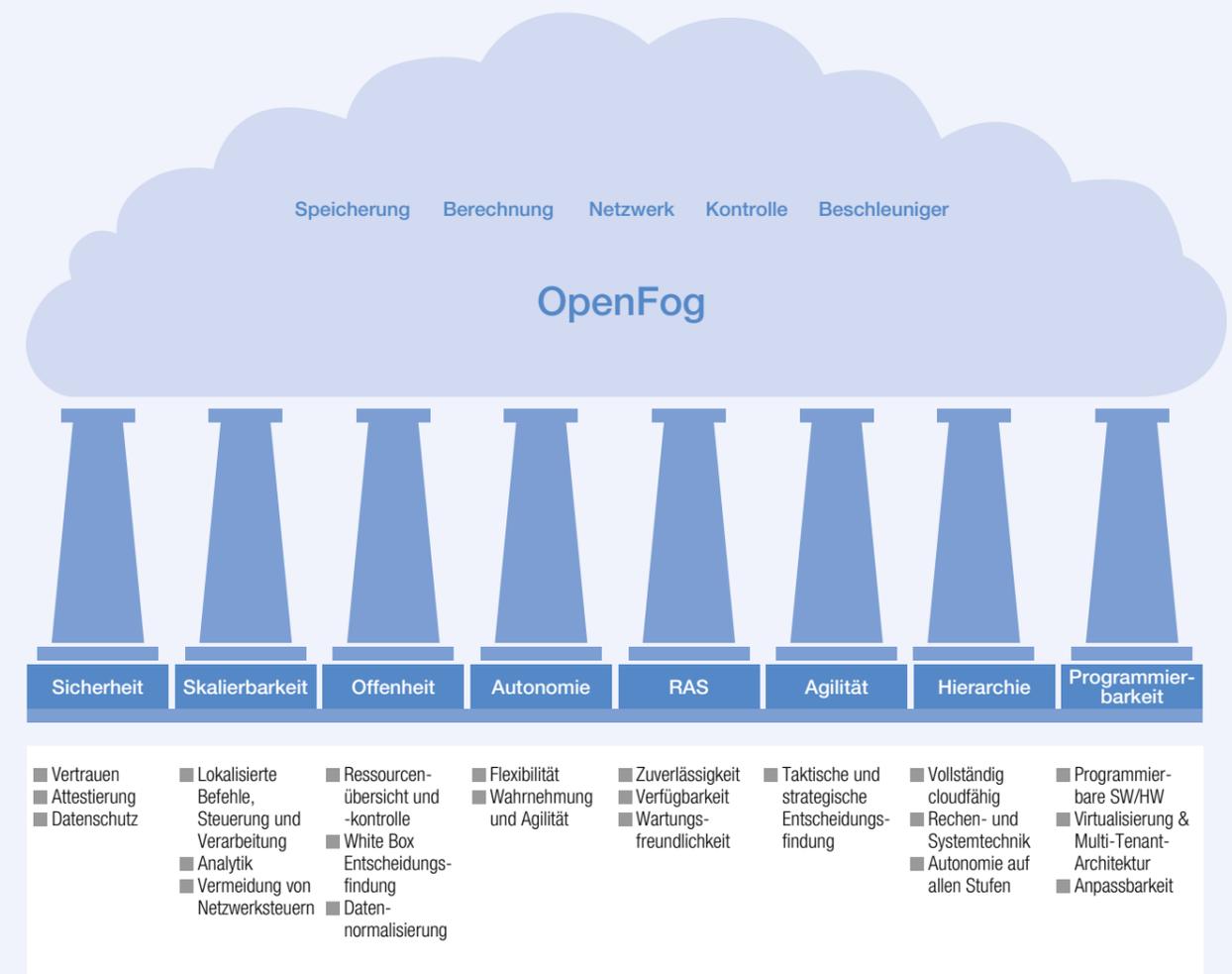
Mehr Softwarespezialisten sind also dringend erforderlich. Zudem muss sich die Automobilindustrie auf deutlich schnellere Entwicklungs- und Produktlebenszyklen einstellen – so wie sie in der IT üblich sind. Am Beispiel Tesla lässt sich dieser Trend eindrucksvoll darstellen: Neue Features bzw. das Schließen von Sicherheitslücken durch Patches werden mit Over-the-Air Software Updates gemacht. Wenn morgens der Besitzer oder Benutzer in das autonome Fahrzeug steigt, kommt er in den Genuss neuer Funktionalitäten oder einfach eines neuen „Look and Feel“ seines Fahrzeugs.

■ Tech-Talk – Backend Layer und OpenFog-Architektur.

Das Backend für autonome Fahrzeuge stellt die Infrastruktur, Middleware und Applikationslaufzeiten der Off-Board-Datenverarbeitung bereit und basiert auf Cloud Computing und Mobile Edge Computing. Die acht Säulen der OpenFog-Architektur dienen in Bezug auf Backend-Strukturen und Funktionalitäten als mögliche Struktur.



Backend Layer



Acht Säulen der OpenFog-Architektur

■ Tech-Talk – Architektur der Backend-Plattform.

Ein leistungsfähiger Cloud Backend Service sowie eine stabile, sichere und bewährte IT-Architektur sind wesentliche Erfolgsfaktoren für vernetzte und automatisierte Fahrzeuge. Die Architektur kann mit Hilfe von Geräte-, Edge- und Cloud-Ausfällen entworfen werden, um ein höheres Maß an Netzwerkstabilität zu erreichen und abgestimmte Architekturstandards zu ermöglichen.

■ Tech-Talk – Data Management auf der Backend-Plattform.

Die straßenseitige Datenerfassung stellt einen komplexen und infrastrukturintensiven Aspekt dar, wenn es um die steigende Anzahl der beteiligten Fahrzeuge und die riesigen Datenmengen geht. Die Verwaltung einer solchen Datenmenge in einer effektiven und kosteneffizienten Cloud-Plattform erfordert eine modulare und skalierbare Infrastruktur. Für das Near- und Realtime-Management und die Datenverarbeitung ist eine geeignete Prozessgestaltung erforderlich. Datenschutzbestimmungen und Fragen der Datensicherheit haben einen großen Einfluss auf die Backend-Plattform. Um eine stabile und flexible Software für den Backend-Service zu entwickeln, müssen Datenverarbeitungskomponenten ausgewählt und dimensioniert werden. Darüber hinaus sind detaillierte Pläne für Datenverarbeitungspipelines erforderlich, welche die Aufschlüsselung zwischen Cloud-Level und Edge-Level auf Funktionsbasis enthalten.

■ 4.3 Mobilfunk: Mindestens 5G

Die öffentliche Telekommunikationsinfrastruktur wird sich auf Veränderungen einstellen müssen. Auch wenn ein autonomes Fahrzeug ohne ständige Internetverbindung fahren kann, wird die heutige LTE-Technologie für einen Datenaustausch im erforderlichen Umfang nicht ausreichen. Für die zunehmende Nutzung von Infotainment- und Streaming-Diensten während des Fahrens sind bessere Netze mit höherer Leistungsfähigkeit unabdingbar.

Eine effektive Car-to-X-Kommunikation benötigt mindestens die zukünftige 5G-Mobilfunktechnologie, welche speziell für „Device-to-Device“, eine extrem stabile und massive Maschinen-Kommunikation, ausgelegt sein wird. Der kommende Standard soll dabei Datentransferraten von zehn bis 20 Gigabit pro Sekunde bei sehr geringen Latenzzeiten von weniger als einer Millisekunde ermöglichen – während

4G typischerweise im Bereich von 200 Megabits pro Sekunde operiert. Dadurch werden ad hoc Datenknoten für einen Datenaustausch zwischen dem Fahrzeug, anderen Verkehrsteilnehmern und Komponenten des Internet of Things ermöglicht.

Offiziellen Angaben zufolge liegt die 4G-Netzabdeckung in Deutschland aktuell bei mehr als 90 Prozent in Bezug auf die Bevölkerung. Die Praxis zeigt jedoch, dass selbst entlang wichtiger Autobahnabschnitte die Verbindungsqualität oft zu wünschen lässt. Funklöcher wird man sich in Zeiten des autonomen Fahrens jedoch nicht mehr leisten können. Die Bereitstellung von 5G in Europa wird Schätzungen zufolge circa 300 bis 500 Milliarden Euro an Investitionen benötigen und wohl bis 2025 zur Verfügung stehen.



■ 4.4 Car-to-X-Kommunikation: Effizienterer Verkehrsfluss und weniger Unfälle

■ Überblick: Anwendungsbeispiele für Car-to-Car Kommunikation.

Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen untereinander und der Infrastruktur wird im Umfeld des automatisierten Fahrens einen hohen Stellenwert einnehmen. Das „Car 2 Car Communication Consortium“ hat dafür einen technischen Ansatz aufgestellt. Befinden sich demnach zwei oder mehr Fahrzeuge beziehungsweise ITS (Intelligent Transport Systems) in Funkreichweite, verbinden sich deren Kommunikationsmodule und bauen ein Ad-hoc-Netzwerk auf. Informationen wie die Position, die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit der Teilnehmer werden über das Netzwerk geteilt. Warnungen vor Gefährdungen, die durch ein Fahrzeug erfasst werden, lassen sich an weitere Verkehrsteilnehmer weitergeben, was die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht. Auch ist der Verkehrsfluss durch diese Art der Kommunikation effizienter zu gestalten. Kollaborative Spurwechsel sind nur ein Beispiel, das an dieser Stelle genannt werden kann. Über Multi-Hopping, das heißt Informationen über mehrere Fahrzeuge zu übermitteln, wird die Reichweite von Warnmeldungen sowie weiterer Informationen erweitert.

Da der derzeitige Mobilfunkstandard 3G beziehungsweise 4G für eine garantierte Echtzeitübertragung nicht mehr ausreichen wird, entwickelt das European Telecommunications Standards Institute derzeit einen 5G-Standard namens ETSI ITS G5. Für diesen wurde bereits ein Frequenzband in Europa reserviert. Weitere Entwicklungen, zum Beispiel die Einrichtung des 5G Mobility Lab auf dem Aldenhoven Testing Center

durch Vodafone und die RWTH Aachen, zeigen, dass dieser Standard entscheidend vorangetrieben wird. Die flächendeckende Etablierung eines solchen 5G-Netzwerks ist jedoch sehr aufwendig. Deshalb darf man davon ausgehen, dass die ersten automatisierten Fahrzeuge (Automatisierungsstufe 3 und 4) mit den aktuellen Mobilfunkstandards arbeiten werden.

■ Weniger Unfälle, weniger Schadstoff-Emissionen.

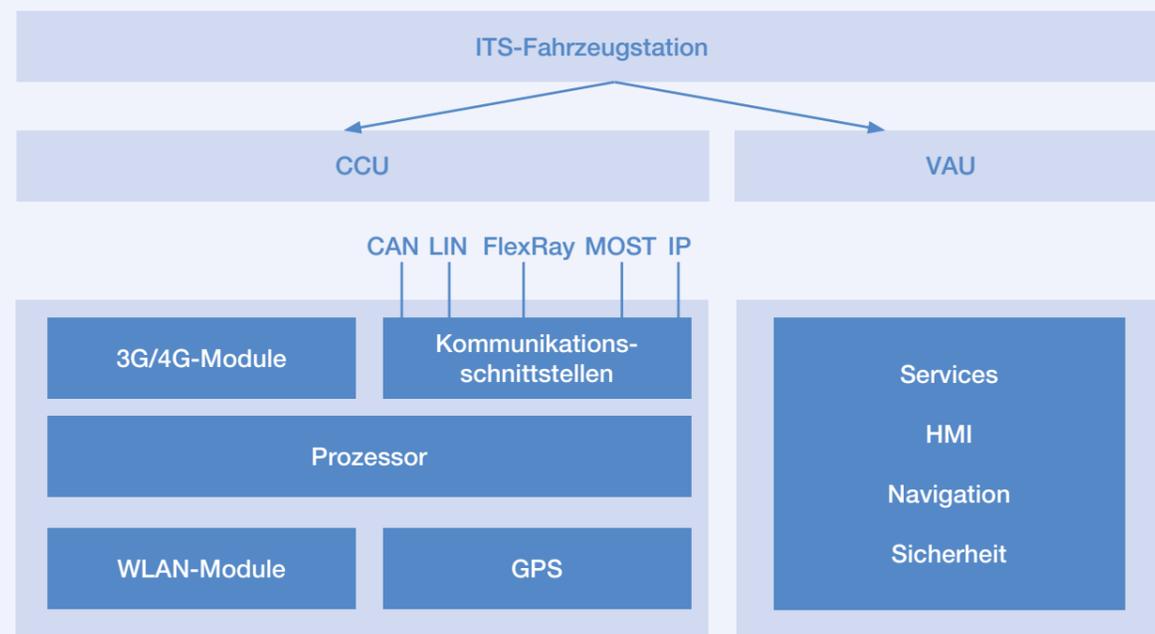
Durch das Internet of Things (IoT) und durch Car-to-Car-Kommunikation wird der Verkehr reibungsloser fließen, Unfallzahlen werden sinken. Ein effizienterer Verkehrsfluss wird weniger CO₂- und Stickoxid-Ausstoß produzieren bzw. in Zeiten der Elektromobilität insgesamt weniger Energie benötigen und somit einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten. Sinkende Unfallzahlen sind sowohl Chance als auch Herausforderung für die Versicherungsunternehmen. Denn Haftungsansprüche werden auf ein Minimum sinken. Werden die Versicherer in Zeiten autonomen Fahrens vielleicht obsolet?

■ Ein neuer Markt.

Außerdem werden Fahrzeuge nicht nur miteinander kommunizieren, sondern auch mit ihrem gesamten Ökosystem wie Ampeln, Parkhausschranken oder Ladestationen. Für eine solche direkte Kommunikation mit dem Fahrzeug müssen alle möglichen Kommunikationspunkte mit Einheiten zum Senden und Empfangen von Daten ausgestattet werden. Hier wird ein ganz neuer Markt entstehen, der ein beträchtliches Potenzial mit sich bringt.

■ Tech-Talk – ITS-Fahrzeugstation.

Um die Vehicle-to-X-Kommunikation aus technischer Sicht zu ermöglichen, muss jedes Fahrzeug über eine ITS-Fahrzeugstation verfügen, um mit der Umwelt zu kommunizieren. Im SimTD-Projekt, das den Test und die anschließende Auswertung der Vehicle-to-X-Kommunikation auf öffentlichen Straßen zum Ziel hatte, wird die ITS-Fahrzeugstation in die Communication Control Unit (CCU) und die Vehicle Application Unit (VAU) unterteilt.



ITS-Fahrzeugstation – Komponenten

Die CCU verwaltet die Verbindungen zwischen dem Fahrzeug und der Umgebung. Beispielsweise können Sensoren des Fahrzeugs über verschiedene Kommunikationsschnittstellen an die CCU angeschlossen werden. Die erzeugten Daten werden dann auf der integrierten Prozesseinheit verarbeitet. Ein weiteres Feature der CCU ist ein GPS-Empfänger zur Erfassung der Position und Zeitsynchronisation des Fahrzeugs. Die CCU benötigt ein Modem für die Fernkommunikation und ein Modem für die Kurzstreckenkommunikation. Für die Fernkommunikation ist ein 3G/4G-Modem erforderlich. Für die Kurzstreckenkommunikation benötigt die CCU ein Wireless-LAN-Modul.

Die VAU bietet eine Plattform für die Entwicklung von Anwendungen und den Zugriff auf verschiedene Systemschnittstellen. Die entwickelten Anwendungen erhalten über ein Application Programming Interface (API) Zugriff auf die Dienste. Beispielsweise kann ein Navigationsdienst als Dienst bezeichnet werden. Um neue Dienste hinzuzufügen, basierte das VAU-Konzept auf dem OSGi-Framework.

■ Tech-Talk – Mobile Edge Computing (MEC).

Mit MEC lassen sich cloudbasierte Rechenleistung, Anwendungen, Daten und Dienste bis an den Rand des Netzwerks erweitern. Diese Struktur reduziert die Entfernung zwischen Netz und Kunden. Außerdem ist MEC isoliert vom Rest des Netzwerks möglich. Dadurch können lokale Informationen nur am lokalen Rand gespeichert werden. Dies reduziert die Signallast auf die zentrale Cloud, und das gesamte Netzwerk erreicht mehr Ausfallsicherheit. Zusätzlich verringert der Einsatz von MEC die Signal-Latenzzeit. Der Prozess wird auf lokale Kanten des Netzwerks ausgedehnt, um die Datenlatenz auf ein Minimum zu reduzieren und die Leistung der Anwendungen zu verbessern. Dadurch ist die Echtzeit-Übertragung von Daten möglich.

Darüber hinaus kann den Betreibern von Edge-Diensten eine hohe Bandbreite und ein direkter Zugriff auf Funknetzinformationen angeboten werden, die für die angeschlossenen Fahrzeuge wichtig sind.

Um Dienste für verschiedene Betreiber und Netzteilnehmer anbieten zu können, muss ein technischer Standard für die Spitzentechnologie definiert werden. Das European Telecommunication Standards Institute (ETSI) und verschiedene Partner der Industrie entwickeln ein Konzept für diese Vereinheitlichung.

■ Tech-Talk – Connectivity-Architektur.

Die ideale Unterstützung für neue Daten-Geo-Tagging- und Mapping-Services erfordert eine End-to-End-Lösung im Hinblick auf Skalierbarkeit, Latenz, garantierte Informationsbereitstellung, Unterstützung heterogener Datenraten und Servicekontinuität. Zudem muss die Architektur in einem global heterogenen Kontext adaptiv sein, da es in der Regel einen Mix aus Dedicated Short Range Communication (DSRC), Vehicle-to-X- und LTE-Kommunikation gibt. Darüber hinaus müssen kommunikationsorientierte MEC- und Multi-Service-Netzwerk-Slicing-Konzepte integriert werden, um eine optimale Signalaufteilung zwischen Sensorrohdaten, Positionsinformationen, ausgearbeiteten Mapping-Informationen etc. zu ermöglichen. Zusätzlich ist ein Bewertungsverfahren zu implementieren, um Informationen zu klassifizieren und zu trennen. Informationen, die von Fahrzeugen und anderen Netzwerkteilnehmern gesendet werden, können fehlerhaft oder irreführend sein, was die Notwendigkeit zuverlässiger Bewertungsmethoden zur Klassifizierung von Datenlieferanten und schließlich zum Ausschluss von Daten von unzuverlässigen Nutzern erfordert.

■ Tech-Talk – Data Collection und Data Fusion.

Das Sammeln und Zusammenführen von Daten ist eine der wichtigsten und auch anspruchsvollsten Dienstleistungen in Bezug auf die Backend-Serverstruktur. Die Aufgabe besteht darin, eine Schnittstelle zu definieren, die mit den Bordsensoren des Fahrzeugs interagiert und relevante geo- und zeitbezogene Informationen sammelt. Dabei muss die Datengröße auf ein Minimum reduziert werden, wobei die Qualität der verschmolzenen Daten erhalten bleibt. Darüber hinaus ist es notwendig, dass die entworfene Modulschnittstelle an die spezifischen Technologien im Fahrzeug und an die von verschiedenen Anbietern verfügbaren APIs anpassbar ist.

Um die Fusion von georeferenzierten Informationen zu ermöglichen, sind Fusionsschemata auf Cloud-Ebene erforderlich. Spezielle Kommunikationsprotokolle müssen für die Komprimierung von Daten adressiert werden und reduzieren so das Risiko einer Bandbreitenüberlastung. Neue Kommunikationsprotokolle und Plattformen wie RTSP, QUIC oder Kafka müssen ebenso berücksichtigt werden wie Techniken zur Staukontrolle, adaptive Streaming-Kanäle etc. Die Verarbeitung der vom Fahrzeug generierten Informationen und die Bewertung ihrer Konsistenz erfordern eine robuste Datenfusion.

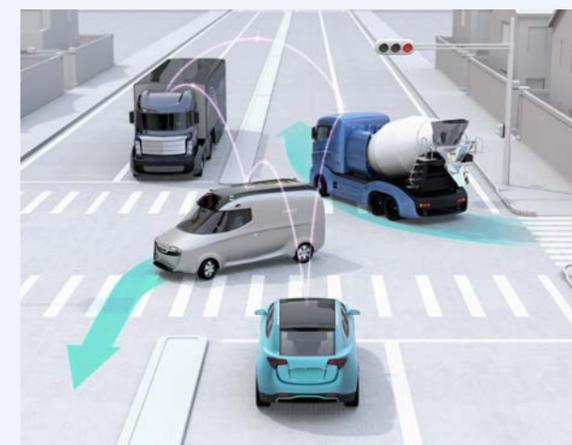


■ Tech-Talk – Communication Layer.

■ Short Distance Communication.

Ein wesentlicher Aspekt beim Aufbau einer soliden Vehicle-to-X-Kommunikation basiert auf einer Echtzeit-Informationsübertragung. Erkennt ein Fahrzeug beispielsweise ein kritisches Hindernis oder gefährliche Situationen, müssen Fahrzeuge in der Nähe sofort gewarnt werden. Das ETSI (European Telecommunications Standards Institute) entwickelt und testet einen Standard für die Vehicle-to-Vehicle-Kurzstreckenkommunikation (ETSI ITS G5). Die ETSI ITS G5 basiert auf dem Wireless LAN Standard IEEE 802.11p. In Europa ist das 5,9-GHz-Frequenzband bereits für diesen Zweck reserviert.

Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, verbindet sich jeder Verkehrsteilnehmer (Fahrzeuge, ITS, Infrastruktur), der sich innerhalb der Kommunikationsreichweite (circa ein Kilometer) befindet, automatisch mit dem Netzwerk. Befindet sich ein Teilnehmer nicht im Kommunikationsbereich, übertragen andere Fahrzeuge das Signal über den Multi-Hopping-Ansatz.

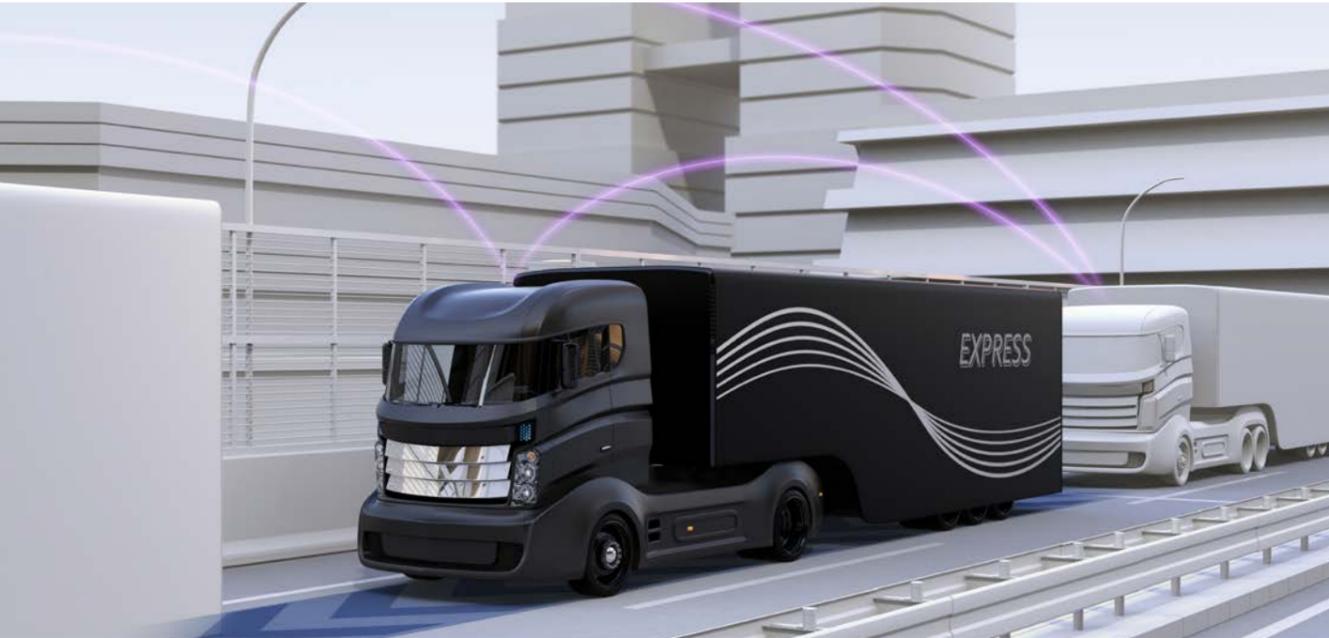


Short Distance Communication Incident

Die Implementierung des ETSI ITS G5 Standards stellt einen sehr komplexen Prozess dar. Ein gut funktionierendes und leistungsfähiges Netzwerk erfordert eine hohe Netzabdeckung im Betriebsbereich. Der flächendeckende Bau von leistungsfähigen ITS-Stationen ist unverzichtbar und erfordert viel Zeit und Investitionen.

■ Long Distance Communication.

Neben der Kurzstreckenkommunikation muss es auch eine Technologie für die Fernkommunikation geben. Dazu ist die Verfügbarkeit der Signal-Latenz nicht wichtig, da die geteilten Informationen nicht sofort genutzt werden. Fernkommunikation lässt sich für die Verteilung von Verkehrsinformationen, Infotainment, Fernnavigation und Ferndiagnose einsetzen, und zwar auf Basis bestehender mobiler Technologien wie 3G oder 4G. Da es bereits einen Standard und ein bestehendes Netzwerk gibt, kann davon ausgegangen werden, dass die ersten angeschlossenen und automatisierten Fahrzeuge die 3G- oder 4G-Technologie nutzen und der ITS G5-Standard schrittweise implementiert wird.



■ 4.5 Verkehrsinfrastruktur: Fahrzeuge sprechen sich untereinander ab

■ IT-Plattform statt Schilder und Ampeln.

Physische Verkehrszeichen und Verkehrsführungselemente lassen sich durch die Nutzung der autonomen Technologie minimieren: Verkehrsregeln und Verkehrsinformationen werden einfach an das SDC gesendet und dynamisch aktualisiert. Daher muss es eine übergeordnete Institution geben, welche den Verkehr auf Basis einer IT-Plattform zentral regelt.

Künftig wird eine IT-Plattform extrem umfangreiche Informationen über standort-abhängige Verkehrsregeln enthalten: Zwischen welchen Geo-Koordinaten entlang welcher Straße gibt es eine Tempo-30-Zone? In welchen Straßenabschnitten herrscht absolutes Halteverbot? An welcher Kreuzung gibt es welche Vorfahrtsregeln?

Sogar der komplette Wegfall von Ampelanlagen ist denkbar: Die Fahrzeuge koordinieren sich untereinander und regeln je nach Verkehrsaufkommen die Vorfahrt dynamisch im Sinne der besten Lösung für den Schwarm. Ähnlich kann es sich beispiels-

weise bei Tempolimits rund um eine Schule verhalten: Außerhalb der Schulzeiten an Werktagen, am Wochenende oder während Ferienzeiten könnte das Limit von 30 auf 50 Kilometer pro Stunde hochgesetzt werden, ohne dass dabei physische Straßenschilder benötigt werden.

■ Verkehrsregeln und Fahrbahnbegrenzungen.

Die aktuell geltenden Verkehrsregeln könnten dynamisch auf einen Screen oder die Scheiben des autonomen Fahrzeugs projiziert werden, damit sie den Passagieren bekannt sind und sie somit das Fahrverhalten des SDCs nachvollziehen können.

Werden darüber hinaus auch bauliche Fahrbahnbegrenzungen, zum Beispiel Leitplanken, überflüssig werden? In Zeiten einer hochentwickelten und somit hochverlässlichen autonomen Fahrzeugflotte ist dies durchaus denkbar. Durch den Wegfall dieser baulichen Begrenzungen wäre es auch möglich, die Nutzung der Straßen je nach Verkehrsaufkommen zu flexibilisieren.

5. Fazit

Im Augenblick werden schrittweise die technischen Voraussetzungen für das autonome Fahren geschaffen: Mit Hochdruck arbeitet man an der Weiterentwicklung des ADAS und der Sensoren – diese werden immer besser und auch zunehmend bezahlbarer. Hinzu kommt die Aussicht auf den neuen 5G-Standard und neue Technologien wie Edge Computing sowie große Fortschritte in punkto Künstliche Intelligenz. Diese Entwicklungen bei den Fahrzeugkomponenten und dem gesamten Ökosystem eines vernetzten Fahrzeugs beeinflussen sich gegenseitig, sodass sich daraus ein ganzheitliches neues Konzept für sicheres autonomes Fahren ergeben wird.

Vergleicht man die Entwicklung der Technik im und um das Fahrzeug mit einer Bergbesteigung, so befinden wir uns aktuell kurz vor dem Gipfel. Ist dieser in naher Zukunft (fünf bis zehn Jahre) erreicht, wird dies das autonome Fahren enorm beflügeln. Folgt dann der technischen Machbarkeit – und zwar einer, die höchste Sicherheit verspricht! – auch die ökonomische Realisierbarkeit, wird es nicht mehr allzu lange dauern, bis ein autonomes Fahrzeug keine viel bestaunte Ausnahme auf unseren Straßen mehr ist.

Lesen Sie mehr zum autonomen Fahren! In unserer Whitepaper-Serie behandeln wir u. a. die folgenden Themen:

- #01 Entwicklung des autonomen Fahrens
- #02 Rechtliche und gesellschaftliche Voraussetzungen
- #03 Technische Voraussetzungen
- #04 Sicherheit
- #05 Fahrzeugentwicklung der Zukunft

■ NTT DATA – wir entwickeln neue Technologien für die Fahrzeuge der Zukunft.

NTT DATA verfügt nicht nur über langjährige Erfahrung mit vernetzten Fahrzeugen. Wir sind zudem in Forschung und Entwicklung für autonomes Fahren aktiv. Ein Beispiel dafür ist PReVENT, ein von der EU unterstütztes Projekt mit Fokus auf präventiver Verkehrssicherheit. Im Rahmen von PReVENT hat NTT DATA an „Wireless Local Danger Warning“ mitgewirkt. Auf Basis dieser Frühwarnsystem-Technologie können Fahrzeuge über WLAN kommunizieren und sich gegenseitig vor Gefahren warnen – ein wichtiger Mosaikstein für eine voll funktionsfähige Vehicle-to-X-Kommunikation.

■ Mit NTT DATA Geschäftsmodelle, Organisation, Prozesse und IT neu ausrichten.

Wir unterstützen die etablierte Automobil- und Zuliefererindustrie, mit der Entwicklung neuer Fahrzeug- und Mobilitätsmodelle Schritt zu halten, die weltweite Marktführerschaft zu verteidigen und sich differenzierend zu positionieren. Dafür bieten wir integrierte Gesamtlösungen mit einem gut funktionierenden Zusammenspiel von Prozessen und IT-Applikationen. Denn wir wissen: Die nahtlose Integration der „Embedded“-Fahrzeugwelt mit dem Internet of Things und dem Connected Car Backend wird den entscheidenden Wettbewerbsvorteil ausmachen. Zudem gilt es für unsere Kunden, die Grundlagen für neue Geschäftsmodelle, zum Beispiel Carsharing, zu schaffen – nicht nur im Hinblick auf die IT, sondern auch auf Sicherheits- und rechtliche Fragen. Auch hier sind wir für die Automotive-Branche Ansprechpartner Nummer eins.

Wenden Sie sich an uns!

6. Autor



christian.seider@nttdata.com

Christian Seider

ist Vice President Automotive bei NTT DATA Deutschland. Er verfügt über rund 20 Jahre Erfahrung in der Beratungs- und IT-Dienstleistungsbranche. Seine Schwerpunkte liegen in der Geschäftsmodelltransformation, Process Excellence sowie der IT-Systemimplementierung und -betreuung für Automotive Tier 1 und OEMs. Er hat zahlreiche Artikel und Whitepaper über disruptive Markttrends und Produktinnovationen in der Automobil- und Hightech-Industrie verfasst. Seinen Abschluss in Wirtschaftsingenieurwesen hat er um eine „Executive Education“ am Stanford Center for Professional Development erweitert. Beruflich wie privat ist er Auto-Enthusiast..



gustavo.filip@nttdata.com

Gustavo Filip

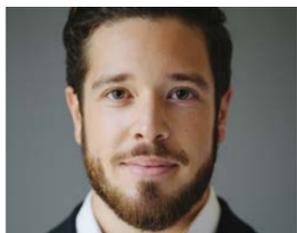
ist Vice President Automotive bei NTT DATA Deutschland. Der gebürtige Argentinier (aufgewachsen in Buenos Aires) verantwortet das Hybrid-Cloud-Geschäft. Er verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Automobilindustrie mit den Schwerpunkten Consulting, IT Service und IT. Gustavo Filip hat einen Abschluss als Ingenieur für Elektrotechnik an der TU München. Sein Interesse gilt dem Wandel in der Mobilität, der durch die neue Vernetzung erst möglich geworden ist.



johannes.weiss@nttdata.com

Johannes Weiß

ist Business Consultant bei NTT DATA Deutschland und im Bereich Innovation Product Lifecycle Management tätig. Nach zweijähriger Tätigkeit als Werkstudent und Masterand während seines Masters of Engineering an der Hochschule München sowie der Aalto University in Finnland stieg er 2018 im Bereich EE Electric and Electronic als Berater bei NTT DATA ein. Seine Schwerpunkte sind Prozessanalysen und Systems Engineering. Angetrieben wird er von dem Ziel, den Straßenverkehr durch die Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen und der Infrastruktur im Straßenverkehr sicherer zu machen.



nicolas.stahlhofer@nttdata.com

Nicolas Stahlhofer

ist Senior Consultant für Strategy & Business Transformation bei NTT DATA Deutschland. Seine Beratungserfahrung verbindet Fachexpertise für vernetzte Mobilitätskonzepte und Business-Ökosysteme mit seinem Praxis-Know-how in Design Thinking und Innovationsprozessen. Im Rahmen seiner Ausbildung in International Business und Wirtschaftspsychologie durchlief er Stationen in München, San Francisco und Los Angeles (UCLA). Er ist Autor des Buches „Conscious Business in Germany“. Seine Arbeit zeichnet sich durch seinen ganzheitlichen Beratungsansatz und die Leidenschaft zu „purpose-driven“-Geschäftsmodellen und -Strategien aus.

7. Anhang

Danksagung

- Jochen Puff, Head of Digital Enterprise
- Jens Krüger, Product Lifecycle Management, Automotive
- Leonid Borodulkin, Global Center of Excellence Connected & Autonomous Vehicle
- Odine Mansury, Leiterin Industrie Marketing Automotive
- Niklas Bielmeier, Industrie Marketing Automotive

Impressum

NTT DATA Deutschland GmbH
Hans-Döllgast-Straße 26
80807 München
Deutschland
Telefon +49 89 9936 -0
de.nttdata.com

Referenzen – Bilder

Seite 1: Mopic/Shutterstock
Seite 2: Chesky/Shutterstock
Seite 4: posteriori/Shutterstock
Seite 7: Chesky/Shutterstock
Seite 9: Standret/Shutterstock
Seite 10/11: Pavel Vinnik/Shutterstock
Seite 17: jamesteohart/Shutterstock
Seite 18: metamorworks/Shutterstock
Seite 23: Panchenko Vladimir/Shutterstock
Seite 26: Jirsak/Shutterstock
Seite 27: Chesky/Shutterstock
Seite 28: Chesky/Shutterstock

Über NTT DATA

NTT DATA ist ein führender Anbieter von Business- und IT-Lösungen und globaler Innovationspartner seiner Kunden. Der japanische Konzern mit Hauptsitz in Tokio ist in über 50 Ländern weltweit vertreten.

Der Schwerpunkt liegt auf langfristigen Kundenbeziehungen: Dazu kombiniert NTT DATA globale Präsenz mit lokaler Marktkenntnis und bietet erstklassige, professionelle Dienstleistungen von der Beratung und Systementwicklung bis hin zum Outsourcing.

Weitere Informationen finden Sie auf de.nttdata.com

NTT DATA Deutschland GmbH
Hans-Döllgast-Straße 26
80807 München
Deutschland
Telefon +49 89 9936 -0
de.nttdata.com