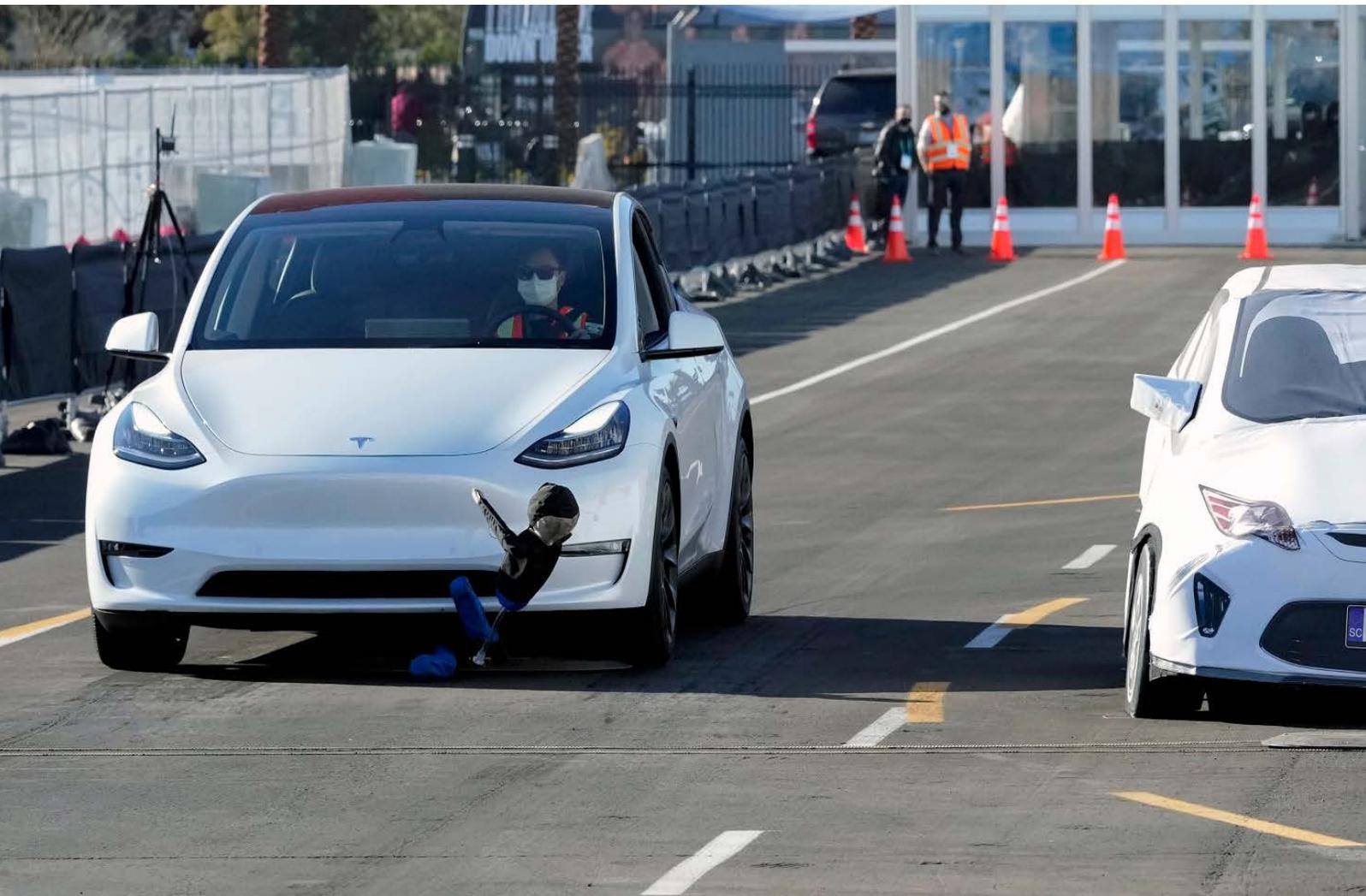


# Der blinde Fleck

Beim autonomen Fahren liegt Mercedes vorn, Tesla hängt hinterher. Das liegt an unterschiedlichen technischen Ansätzen. Doch der Weg zum „echten“ Robotaxi ist ohnehin noch weit – und nicht unumstritten. – Gregor Honsel

Foto: Charles Sykes / AP Images for Luminar Technologies



Juli 2021, auf einer Teststrecke bei Ingolstadt: Mit hohem Tempo fährt ein Tesla auf einen stehenden Dummy zu. Als der Dummy noch mehrere Fahrzeuglängen entfernt ist, fängt der Wagen an zu piepen. Zu diesem Zeitpunkt könnte eine Vollbremsung den Zusammenstoß wahrscheinlich noch verhindern. Doch das blaue Model X fährt weiter – trotz eingeschaltetem „Autopilot“. Der Dummy landet mit einem dumpfen Aufprall auf der Windschutzscheibe.

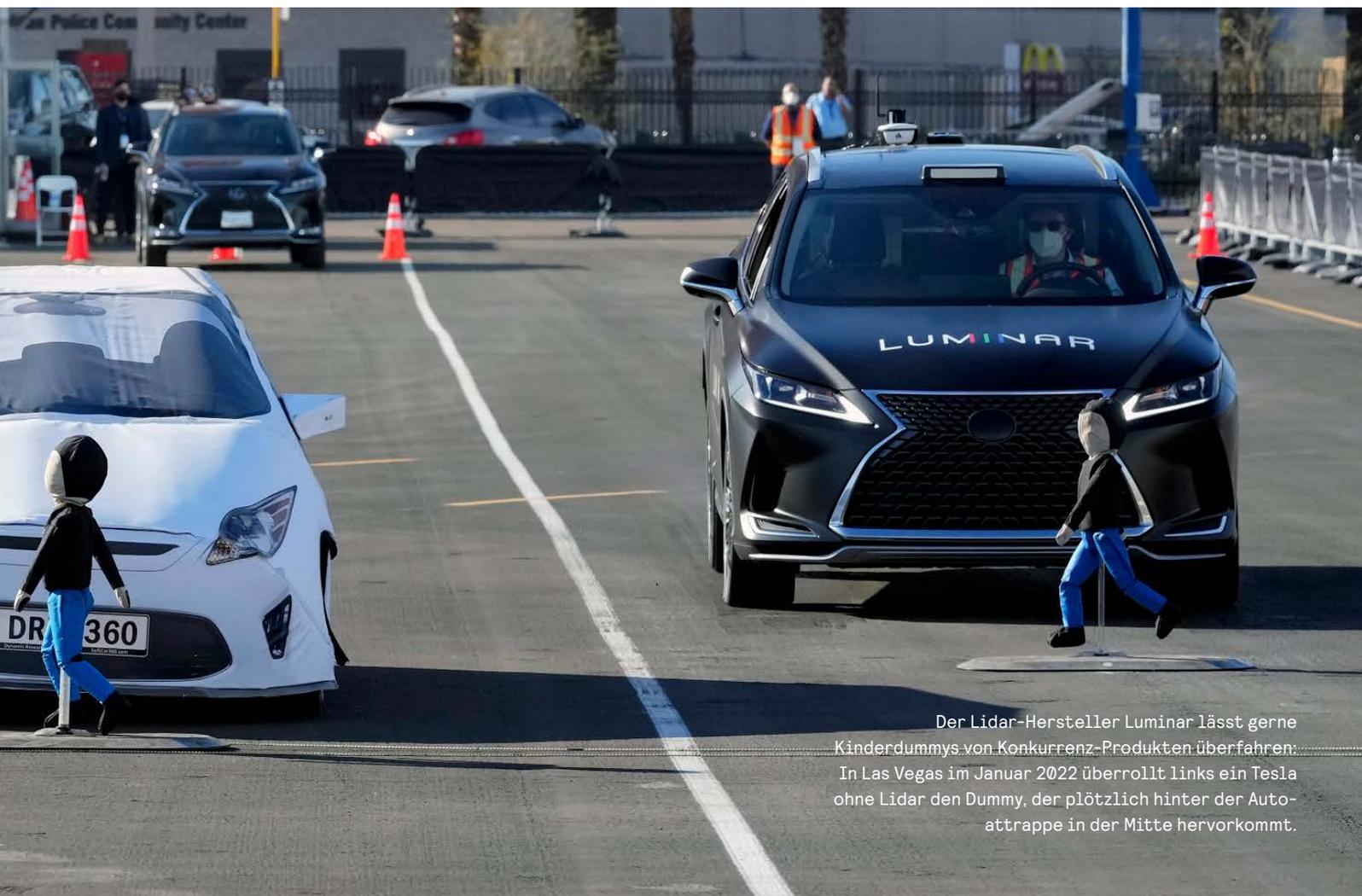
November 2022, in einem mehrspurigen Tunnel bei San Francisco: Diesmal bremst das Assistenzsystem eines Teslas – allerdings auf freier Strecke. Bilder einer Überwachungskamera zeigen, wie der Wagen blinkt, auf die linke Spur zieht und abrupt das Tempo reduziert. Sieben nachfolgende Autos fahren auf, neun Menschen werden verletzt, darunter ein zweijähriges Kind. Der Fahrer des Teslas behauptet später, er sei mit dem „Full Self Driving System“ (FSD) unterwegs gewesen, einer Weiterentwicklung des „Autopiloten“. Das könnte zwar eine Ausrede sein. Andererseits sei bereits der Autopilot für „Phantom-Bremssungen“ ohne erkennbare Ursachen bekannt, wie das *Teslamag* schreibt. Deshalb habe die Behauptung des Fahrers zumindest „eine gewisse Plausibilität“.

**70 Prozent der Unfälle mit Fahrerassistenzsystemen gehen auf das Konto eines Teslas.**

Für Tesla könnte das Timing nicht schlechter sein. Erst wenige Stunden vor dem Vielfach-Crash hatte Firmenchef Elon Musk die Beta-Version der FSD-Software für jeden Kunden in Nordamerika freigegeben. Von ihr hängt nicht weniger als die Existenz des Unternehmens ab. Musk gab im vergangenen Juni selbst zu: Die Fähigkeit des autonomen Fahrens mache den Unterschied, „ob Tesla eine Menge Geld wert ist oder im Grunde genommen gar nichts“. Die Anleger haben sich ihr Urteil offenbar schon gebildet: Teslas Aktienkurs ist seit seinem Höchststand vom November 2021 um mehr als zwei Drittel abgestürzt.

Dass Musk sich nun auch noch Twitter aufgehalst hat und dort gerne Verschwörungsmymen verbreitet, macht die Sache nicht besser: Laut einer Umfrage des Spiegels von Ende Dezember gaben 63 Prozent der 2500 Befragten an, dass Musks öffentliches Auftreten ihre Meinung zu Tesla negativ beeinflusst habe.

Und nun droht er auch noch, bei seiner einstigen Paradedisziplin den Anschluss zu verlieren. Denn trotz irreführender Marketingbezeichnungen wie „Autopilot“ und „Full Self Driving“ kann bei Tesla von wirklich autonomem Fahren nicht die Rede



Der Lidar-Hersteller Lumina lässt gerne Kinderdummys von Konkurrenz-Produkten überfahren: In Las Vegas im Januar 2022 überrollt links ein Tesla ohne Lidar den Dummy, der plötzlich hinter der Autoattrappe in der Mitte hervorkommt.

sein. Selbst die aktuelle für bis zu 15000 Dollar hinzubuchbare FSD-Software ist lediglich ein besseres Assistenzsystem. Das bedeutet: Der Fahrer trägt die volle Verantwortung und muss sein Fahrzeug stets selbst überwachen. In der Nomenklatur des amerikanischen Ingenieursverbands SAE entspricht das Level 2 (siehe Kasten rechts).

Erst ab Level 3 aber darf der Fahrer während der Fahrt wirklich entspannen oder sich anderen Dingen widmen: E-Mails schreiben, lesen, Spiele zocken. Nur Schlafen nicht, denn wenn die Fahrzeugelektronik ihn dazu auffordert – etwa, weil sie wegen einer unübersichtlichen Baustelle überfordert ist –, muss er innerhalb von zehn Sekunden in der Lage sein, die volle Kontrolle zu übernehmen. Bis dahin liegt die Verantwortung beim Hersteller.

Seit Mai 2022 sind die ersten Serienautos mit Level 3 auf dem Markt. Sie tragen einen Mercedesstern – und nicht das Tesla-Logo. Es handelte sich um die Modelle der S-Klasse sowie der EQS-Baureihe. Bisher dürfen sie allerdings nur auf Autobahnen mit bis zu 60 km/h autonom fahren – ohne Spurwechsel. So sahen es die 2020 erlassenen Regeln des *UN-Weltforums für die Harmonisierung von Fahrzeugvorschriften* vor. Deutschland hat diese Regeln als erstes Land übernommen. Seit dem 1. Januar ist auch autonomes Fahren bis 130 km/h mit Spurwechseln erlaubt.

Experten erwarten, dass Mercedes seine Fahrzeuge zügig für die neuen Regeln zertifizieren lässt. Weitere deutsche Hersteller wie Audi, BMW und Porsche dürften schon bald mit eigenen Level-3-Modellen nachziehen. Anschließend werden diese Systeme wohl von der Oberklasse in die preiswerteren Segmente durchsickern. Ob Tesla in absehbarer Zeit konkurrenzfähig kann? Das ist zumindest zweifelhaft, denn das Unternehmen verfolgt eine grundlegend andere Philosophie als der Rest der Branche.

### GLAUBENSKRIEG UM LASERSCANNER

Besonders die Verwendung von Laserscannern („Lidar“; siehe Kasten S. 60) hat sich zu einem Glaubenskrieg ausgeweitet, den Marketingabteilungen mit Videos führen. Dies ist auch der Hintergrund des eingangs erwähnten Dummy-Versuchs. Durchgeführt und als Video hochgeladen hat ihn der Lidar-Hersteller Luminar, an dem auch Daimler Truck und Volvo Cars beteiligt sind. Die Botschaft: Im Gegensatz zum Tesla kommt ein mit Luminar-Laserscannern ausgerüsteter Lexus weit vor dem Dummy zum Stehen.

Elon Musk hingegen hält Lidar für einen Irrweg. „Wer auf Lidar setzt, ist verloren“, sagte er im April 2019. Vordergründig geht es ihm wohl um die Kosten. Die Highend-Laserscanner der ersten Forschungsfahrzeuge kosteten oft mehr als das Fahrzeug selbst. Mittlerweile sind einfachere Modelle zwar schon für niedrige vierstellige Beträge zu ha-

„Wenn ich nur einen einzigen Sensor an einem Auto verbauen dürfte, dann bitte einen Laser-scanner.“

ben, aber auch das ist eine Menge, wenn man – wie Musk – scharf kalkulieren muss.

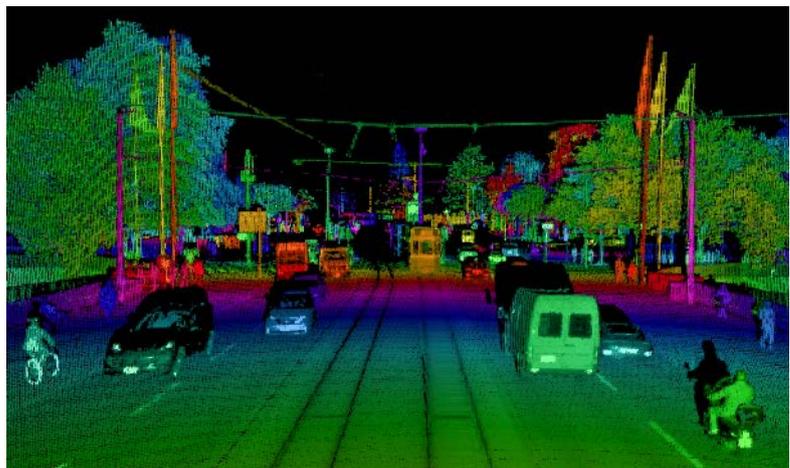
Dahinter steht aber auch so etwas wie ein Kulturkampf: Musk glaubt an die Macht von Software und Künstlicher Intelligenz. Mit ausreichend Trainingsdaten, so hofft er, lassen sich allein mit preiswerten Stereokameras ähnlich gute Ergebnisse erzielen wie mit aufwendiger Sensor-Hardware. Sein Argument: Menschen fahren auch nur nach Sicht, also sollte eine Maschine das eines Tages ebenfalls können. Sein Vertrauen in die Software reicht sogar so weit, dass er einige Tesla-Modelle zeitweise ohne Radarsensoren ausliefern ließ, die mittlerweile selbst bei japanischen Kleinwagen zur Grundausstattung gehören.

Nun kann man Musk zugutehalten, dass sein Erfolg oft genug gerade darauf beruhte, sich gegen den Rest der Branche zu stellen – und dass seine Strategie bisher ziemlich gut funktioniert hat. So bekommen Tesla-Modelle bei der Prüforgansation für Sicherheitssysteme Euro NCAP regelmäßig Bestnoten, auch dank ihrer Assistenzsysteme. Doch vieles spricht dafür, dass Tesla damit die Möglichkeiten seiner „Software statt Hardware“-Philosophie ausgereizt hat.

Wenig hilfreich ist auch, dass Tesla sogar sicherheitskritische Software gerne als Beta-Version ausliefert und seine Kunden nebst unbeteiligten Verkehrsteilnehmern damit zu Versuchskaninchen macht. Laut US-Verkehrssicherheitsbehörde NHTSA gehen 70 Prozent der 329 bekannten Unfälle, die mit einem fortschrittlichen Fahrerassistenzsystem in Verbindung stehen, auf das Konto eines Teslas.

Keine gute Ausgangslage für einen Sprung auf Level 3, denn dies ist ein gewaltiger Schritt. „Bei Level 2 wird toleriert, dass das Auto bei der Fahrt

Laserscanner erfassen die Umgebung in einer detaillierten Punktwolke. Das dient nicht nur der Vermeidung von Zusammenstößen, sondern auch der zentimetergenauen Positionierung.



### Stufen des automatisierten Fahrens

Fahrer ↑	Fahrer führt dauerhaft Längs- und Querführung aus.	Fahrer führt dauerhaft Längs- oder Querführung aus.	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen.	Fahrer muss das System nicht mehr dauerhaft überwachen. Muss potenziell in der Lage sein, zu übernehmen.	Kein Fahrer im speziellen Anwendungsfall erforderlich.	System kann während der ganzen Fahrt alle Situationen automatisch bewältigen. Kein Fahrer erforderlich.
					System kann im spezifischen Anwendungsfall alle Situationen automatisch bewältigen.	
Automation ↓		System übernimmt die jeweils andere Funktion.	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall.	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall. Erkennt Systemgrenzen und fordert Fahrer zur Übernahme mit ausreichender Zeitreserve auf.		
	Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv.					
	Stufe 0 Nur Fahrer	Stufe 1 Assistent	Stufe 2 teillautomatisiert	Stufe 3 hochautomatisiert	Stufe 4 vollautomatisiert	Stufe 5 fahrerlos
	Automatisierungsgrad →					

maximal alle acht Stunden eine Funktion hat, die den Fahrer irritiert“, sagte Nicolai Martin, der bei BMW die Entwicklung des autonomen Fahrens leitet, gegenüber der *Wirtschaftswoc*he. „Bei Level 3 dagegen reden wir von einer Milliarde Kilometer ohne schwerwiegende Fehlfunktion.“ Er sieht „absolut keinen Weg“, Level 3 ohne Lidar zu erreichen. „Mit Kameras kann man ein System erreichen, das in 97 Prozent aller Fälle tadellos funktioniert. Aber man kommt nicht auf die nötigen 99,99 Prozent.“

Um die ausreichende Zuverlässigkeit zu erreichen, stopft Level-3-Pionier Mercedes seine Wagen mit Sensoren voll: Lidar, Radar, Stereokamera – und sogar Mikrofone und Heckkameras zum Erkennen von Martinshorn und Blaulicht. „Die Sensorarten ergänzen sich komplementär in ihren physikalischen Messprinzipien“, sagt Mercedes-Sprecher Alexandros Mitropoulos. „Falls die Kamera zum Beispiel durch tief stehende Sonne geblendet wird, können Radar und Lidar dies kompensieren. Und um beim Ausfall eines Sensors – etwa durch Verschmutzung oder Steinschlag – nach wie vor mehrfach redundant zu bleiben, führen wir Lidar als dritten Sensortyp ein.“

Daniel Göhring, Juniorprofessor für autonome Fahrzeuge an der FU Berlin, geht noch weiter. „Meine Erfahrung ist: Der Laserscanner ist der wichtigste Sensor überhaupt. Wenn ich nur einen einzigen Sensor an einem Auto verbauen dürfte, dann bitte einen Laserscanner.“ Göhring weiß, wovon er spricht: Schon als Postdoc hat er gemeinsam mit Raúl Rojas eine Versuchsplattform für autonomes Fahren mitentwickelt (siehe TR 9/2014, S. 84).

Auch wenn Lidar nach wie vor keine Option für Tesla ist, setzen die Texaner inzwischen offenbar doch wieder stärker auf Sensoren: Ende 2022 kündigte Musk sogenanntes „4D Imaging Radar“ an. Viele kleine Radar-Antennen, über das ge-

samte Fahrzeug verteilt, sollen eine ähnlich feine Auflösung wie teurere Laserscanner liefern (siehe Kasten S. 60). „Diese Rolle rückwärts ist ein großer Sprung nach vorn“, sagte Peter Fintl von der Unternehmensberatung Capgemini zum *Stern*. „Sollte Tesla so ein 4D-Radar bei der in wenigen Monaten anstehenden Modellpflege des Model 3 tatsächlich in Serie bringen, wäre das durchaus ein Paukenschlag. Damit kommt Tesla ohne Gesichtsverlust aus der Kamera-Sackgasse und ist in puncto Sensorik wieder ganz vorne mit dabei.“

Sollte das funktionieren, hätte Tesla aber immer noch eine offene Flanke: die Bestandskunden. Seit Jahren verspricht das Unternehmen ihnen, irgendwann alleine durch Softwareupdates autonom fahren zu können. Doch mangels Lidar erscheint dies zunehmend illusorisch. Im September 2022 haben kalifornische Tesla-Besitzer deshalb eine Sammelklage eingereicht, weil sie sich durch die Werbung getäuscht fühlen. Wie der Abgasskandal bei VW zeigte, können sich Schadensersatz und Strafen in solchen Fällen auf Milliardensummen belaufen.

#### NEUES VERHÄLTNIS VON MENSCH ZU MASCHINE

Zudem ist es beim Sprung auf Level 3 mit aufwendiger Technik allein nicht getan. Auch das Verhältnis von Mensch zu Maschine muss neu austariert werden. Bis zu Level 2 hat der Fahrer stets die volle Verantwortung, egal wie gut das System auch ohne ihn zu funktionieren scheint, und ab Level 4 der Hersteller. Doch mit Level 3 tut sich ein Tal der Ungewissheit auf. „Aus Sicht des Human Factors ist Level 3 die größte Problemstufe“, sagt Nadja Schömig vom Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften. Sie hat in unzähligen Versuchsstunden im Fahr-

## LIDAR UND RADAR

Lidar („Light detection and ranging“) arbeitet ähnlich wie Radar, allerdings mit Laserstrahlen statt elektromagnetischen Wellen. Aus den aufgefangenen Reflexionen bauen die Systeme eine dreidimensionale Punktwolke auf. Moderne Lidar-Scanner nutzen Wellenlängen knapp oberhalb des sichtbaren Spektrums und haben eine Reichweite von mehreren hundert Metern. Der Vorteil von Lidar: Es arbeitet bei schlechten Licht- und Wetterverhältnissen zuverlässiger als eine Kamera, bietet eine höhere Auflösung als Radar und kann auch bewegte Objekte erkennen. Nachteil: Die Hardware ist recht teuer.

Im Automobil-Bereich wird derzeit vor allem das „Time of Flight“-Verfahren eingesetzt. Dabei wird die Zeit gemessen, die ein reflektierter Lichtimpuls braucht, um wieder einzutreffen. Beim „Frequency-Modulated Continuous Wave“ wird hingegen ein kontinuierlicher Strahl ausgesendet, dessen Frequenz fortwährend moduliert wird. Das Verfahren erlaubt höhere Reichweiten, ist allerdings aufwendiger und weniger erprobt.

Bei den ersten Forschungsfahrzeugen zum autonomen Fahren waren die Lidarsensoren deutlich als kleine Kuppeln an Stoßfängern oder auf dem Dach zu erkennen (siehe TR 8/2008, S. 24). In ihnen rotierten Laser, die ihre Strahlen in alle Richtungen verteilten. Mittlerweile gibt es kompakte Scanner ohne bewegliche Teile, die sich etwa in Frontschürze, Scheinwerfer oder Dächer integrieren lassen. Zur Kollisionsvermeidung reicht dies. Doch ein Rundum-Scanner ist weiterhin sinnvoll: Über den Vergleich der aktuellen Punktwolke mit einer hinterlegten dreidimensionalen Karte kann sich das Fahrzeug damit auf wenige Zentimeter genau orten (siehe TR 2/2009, S. 11). Die Stadt Berlin hat eine solche Karte erstellt, woanders fehlen sie meist noch.

Konkurrenz bekommt Lidar von „4D Imaging Radar“. Während klassische Radarsensoren nur drei Dimensionen erfassen (Geschwindigkeit, Distanz und horizontaler Winkel zum Fahrzeug), erfasst dieses System auch den vertikalen Winkel, wodurch sich etwa Fußgänger oder Radfahrer besser detektieren lassen.

simulator erforscht, wie Menschen mit Assistenzsystemen umgehen. Eine zentrale Frage dabei ist: Reichen die vorgeschriebenen zehn Sekunden aus, um den Fahrer „zurück in den Loop“ zu holen, wie es im Branchenjargon heißt?

Um das herauszufinden, lenkt sie ihre Probanden gezielt ab, etwa durch Gedächtnisaufgaben oder Tetris. Dann misst sie, wie lange sie brauchen, um etwa bei einer plötzlich auftauchenden Baustelle wieder die Kontrolle zu übernehmen. Unter dem Strich hält sie die vorgeschriebenen zehn Sekunden für „durchaus akzeptabel“ – wenn sich der Fahrer an die Regeln hält. „Schlafen ist auf keinen Fall erlaubt“, sagt Schömig. Dies zu erkennen, ist für moderne Fahrzeugelektronik eine der einfacheren Übungen. Schon bei Level 2 überwachen Innenkameras oder Lenkradsensoren, ob der Fahrer bei der Sache ist. (Was einige Tesla-Kunden allerdings nicht daran hindert, die Sensoren durch Lenkradgewichte oder Sonnenbrillen zu täuschen und trotzdem ein Nickerchen zu machen.)

Doch wo genau verläuft bei Level 3 die Grenze zwischen erlaubter und unerlaubter Ablenkung? Kompliziert wird es beispielsweise, wenn der Fahrer etwas in der Hand hält. „Ein Handy, ein Tablet oder eine Zeitung kann man zur Not noch in den Schoß legen oder auf den Beifahrersitz werfen“, sagt Schömig. „Aber bei einem Döner wird es schwierig.“ Das Ganze sei eine Gratwanderung: „Eigentlich will

**„Ein Tablet kann ich zur Not auf den Beifahrersitz werfen. Bei einem Döner wird es schwierig.“**

man den Fahrer ja aus dem Loop lassen – aber irgendwie auch drin halten.“

Die Zulassungsregularien schreiben lediglich vor, dass Hersteller laufend anhand von bislang nicht genauer spezifizierten Kriterien überwachen müssen, ob der Fahrer verfügbar ist – etwa ein regelmäßiger Blick auf die Straße –, und dass mindestens zwei dieser Kriterien erfüllt sein müssen. Das bedeutet: Die Fahrzeugelektronik muss nicht nur laufend die Vorgänge außerhalb des Autos richtig interpretieren, sondern auch die im Inneren. „Das ist derzeit noch die größte Forschungsproblematik – wie kann eine Software in Echtzeit vorhersagen, dass ein Fahrer rechtzeitig bereit ist, wenn eine Übernahmeanforderung kommt?“, sagt Schömig. Eine Lösung wäre beispielsweise, dem Fahrer regelmäßig Fahrmanöver zu überlassen, die das System auch selbst machen könnte, oder die Zustimmung zu solchen Manövern einzufordern. Doch damit wäre es schon wieder vorbei mit der ungestörten Ruhe.

Bei Mercedes beobachtet eine Kamera im Display den Kopf und die Augenlider des Fahrers. Zudem werden die Sensoren zur Sitzbelegung ausgewertet. Was der Fahrer darf und was nicht, wird ihm bei der Fahrzeugübergabe, in der Bedienungsanleitung, mit diversen Animationen und Grafiken nahegebracht. „Schlafen, dauerhaft nach hinten blicken oder gar den Fahrersitz verlassen sind nicht

zulässig“, so Sprecher Mitropoulos. Die ganze Datenverarbeitung laufe ausschließlich an Bord, nichts davon werde nach außen übertragen. Erkennt die Fahrzeugelektronik, dass ein Fahrer offensichtlich nicht zur Übernahme bereit ist, oder fordert sie ihn vergeblich zur Übernahme auf, folgt eine optische und akustische Warnung. Dann rüttelt sie am Gurt. Reagiert der Fahrer immer noch nicht, hält das Fahrzeug kontrolliert an, schaltet die Warnblinker an und setzt einen Notruf ab.

### ENDE DER EUPHORIE

Auf Level 4 und 5 ist der Fahrer uninteressant. Theoretisch müsste bei Level 5 nicht einmal ein Lenkrad montiert sein. Doch technisch ist der Schritt noch einmal anspruchsvoller als der von Level 2 auf Level 3. Ford und Volkswagen etwa haben ihr gemeinsames Joint Venture *Argo AI* im vergangenen Oktober wegen „ausbleibender Fortschritte beim Autopiloten“ aufgelöst.

„Nach der großen Euphorie beim autonomen Fahren haben alle Hersteller erkannt, dass es noch etliche Jahre benötigen wird, bis das in allen Situationen und auf allen Straßen möglich ist“, fasst Markus Lienkamp, Professor für Fahrzeugtechnik an der TU München, die Lage zusammen. „Nach meiner Kenntnis ar-

beitet kein Unternehmen an einer Level-5-Technologie.“ Das könne er sich mit der heute bekannten Technologie auch nicht vorstellen. FU-Forscher Göhring sieht das auch so – und macht auf ein Problem außerhalb des Einflussbereichs der Hersteller aufmerksam: „Kameras sind nicht ausreichend für die Ampelerkennung.“ Wirklich zuverlässig sei nur eine direkte Funkverbindung zwischen Ampel und Auto. Dafür müssten aber die entsprechenden Kreuzungen umgebaut werden. Das kostet viel Geld und Zeit.

Steven Peters, Professor für Fahrzeugtechnik an der TU Darmstadt, erwartet für die deutschen Premium-Hersteller deshalb „keinen Markt im Robotaxi-Geschäft“, sondern eine „eher evolutionäre Weiterentwicklung“ von Autobahnpiloten, Bremsassistenten für die Stadt sowie vollautomatische Parksysteme. Tatsächlich ist autonomes Parken auf Level 4 bereits möglich – zumindest in entsprechend ausgerüsteten Parkhäusern: Im November bekam Mercedes vom Kraftfahrtbundesamt die Zulassung für ein gemeinsam mit Bosch realisiertes automatisches Parkhaus in Stuttgart.

Und auch bei autonomen Shuttle-Bussen, die im Schneckentempo über genau definierte Strecken fahren (siehe TR 1/2018, S. 34), lässt sich Level 4 hierzulande schon ausprobieren. Noch weiter sind Hersteller in den USA und China.

Dort gelten jeweils eigene, von den UN-Empfehlungen abweichende Regeln für autonomes Fahren. Allein die Alphabet-Tochter Waymo hat in Phoenix und San Francisco mehrere hundert Robotaxis im Einsatz – zum Teil ohne Sicherheitsfahrer an Bord, allerdings nur in bestimmten Teilen des Stadtgebiets.

Ähnliche Dienste bieten die chinesischen Konzerne SAIC und Baidu an. Doch ansonsten unterscheiden sich die Ansätze grundlegend: „In den USA und Europa verfolgt die Branche einen On-Board-Ansatz, sie will die maximal mögliche Intelligenz ins Fahrzeug packen“, sagt Volkmar Tanneberger, ehemaliger Entwicklungschef bei Volkswagens Joint Venture mit SAIC, gegenüber der Fachzeitschrift *Automotive/IT*. In China hingegen finde die Datenverarbeitung viel stärker in der Cloud statt. Dafür gebe es durchaus technische Gründe, weil Chinas massive Verkehrsprobleme in den Metropolen durch ein zentrales System besser zu managen seien. Der Ansatz komme aber auch „politisch gelegen“, weil er die engmaschige Überwachung der Bürger erleichtere.

Auch wenn all diese Robotaxis auf handelsüblichen PKWs beruhen, haben sie doch mehr mit den Shuttle-Bussen gemein als mit den kommenden Level-3-Limousinen, denn sie sind eher ein öffentliches als ein privates Verkehrsmittel.

Neben dem ÖPNV sehen Fachleute auch bei der Logistik ein großes Potenzial für autonomes Fahren. Waymo arbeitet unter anderem mit Daimler Trucks und Volvo an Lastwagen mit Level 4. Die VW-Tochter MAN entwickelt ebenfalls eine vergleichbare Lösung. Gerade beim ÖPNV und der Logistik sei Level 5 gar nicht nötig, meinen viele Experten – etwa bei festen Buslinien oder genau definierten LKW-Routen zwischen Logistikzentren. Solche Strecken seien „technisch weit einfacher zu realisieren“, sagt TU-Professor Lienkamp. Zudem sei bei solchen Anwendungen der wirtschaftliche Anreiz größer: Personal ist knapp und teuer, und die Fahrzeuge sind den ganzen Tag unterwegs. Dadurch lohnt sich der Einbau teurer High-End-Sensorik eher als bei privaten PKWs.

Völlig überflüssig wird der Mensch auf absehbare Zeit aber nicht: Wenn Level-4-Lastwagen die großen Logistikzentren miteinander verbinden, müssen immer noch menschliche Fahrer einspringen, um die Ware zum eigentlichen Ziel zu bringen. ●

Die Robotaxis der Alphabet-Tochter Waymo sind schon von Weitem an ihren Sensoren zu erkennen. Auf dem Dach befindet sich ein Rundum-Laserscanner.

