



Peter-Michael Ziegler

Fahrprüfung

Mit dem Autopiloten im Tesla Model S unterwegs

Die Oberklasse-Limousine Model S des kalifornischen Unternehmens Tesla Motors besticht durch mehrere Besonderheiten: reiner Elektroantrieb, wahnsinnige Beschleunigung, große Reichweite. Jetzt hat Tesla dem Fahrzeug auch noch einen Autopiloten spendiert – wir haben ihn ausprobiert.

Die E-Mail kam ganz unverhofft. Ob wir nicht Lust hätten, den neuen Autopiloten des Model S auszuprobieren, fragte Tesla Motors an. Vier Tage lang – ganz alleine. Ein Computer auf vier Rädern, der auch noch selbstständig fahren kann? Aber hallo.

Das Model S ist nach dem Roadster das zweite Elektrofahrzeug von Tesla. Hinter dem Unternehmen steht der Investor, Erfinder und Multi-Milliardär Elon Musk. Der gebürtige Südafrikaner machte sein Geld zunächst mit dem Aufbau des Internet-Bezahldienstes PayPal, der später für 1,5 Milliarden US-Dollar an eBay verkauft wurde.

Seinen Anteil investierte Musk in zwei neue Start-ups: das private Raumfahrtunternehmen SpaceX, das heute erfolgreich Satel-

iten ins All befördert und zu einem wichtigen Versorger der Internationalen Raumstation (ISS) geworden ist, sowie Tesla Motors.

Während der bis 2012 produzierte Roadster eher in die Kategorie Freizeitauto fällt, ist das seit 2013 auch in Deutschland erhältliche Model S als Limousine ausgelegt. Mehr entspanntes Reisen statt Cabrio-Feeling. Unser Testwagen sollte ein Model S „P90D“ sein, das sich – dank des P am Anfang – durchaus auch Sportwagen nennen darf.

Denn das rein elektrisch angetriebene und bis zu 250 km/h schnelle Fahrzeug kann so rasant beschleunigen, dass einem die Spucke weg bleibt. Im wörtlichen Sinn. Einige spüren es auch in den Ohren, wenn der Gleichgewichtssinn funkt: Achtung! Achter-

bahn-Start! In weniger als drei Sekunden von null auf hundert, das schaffen nicht viele Autos.

Und vor allem nicht so leise: Bis auf Reifen-Abrollgeräusche ist das Model S kaum zu hören – weder im Fahrzeug noch draußen.

Wahnsinn

Formel-1-Sprints im öffentlichen Straßenverkehr – das ist doch Wahnsinn, werden einige jetzt denken. Tatsächlich hat Tesla den Schaltknopf zum Abrufen der Maximalleistung auf dem zentralen 17-Zoll-Touchscreen-Display, über das die meisten Fahrzeugfunktionen des Model S bedient werden, in Deutschland auch mit dem Wort „Wahnsinn“ belegt.

Aber wie Achterbahnen, auf denen (statistisch belegt) nur sehr selten etwas passiert, ist auch das Model S so konstruiert, dass die Masse trotz hoher G-Kräfte sehr gut kontrollierbar bleibt. Verantwortlich dafür sind mehrere Besonderheiten des Fahrzeugs – darunter die Straßenlage, die sich völlig von anderen Pkw unterscheidet.

Während etwa ein Golf viel tun muss, um Gewichtsunterschiede zwischen Front (Motor, Getriebe, Klimaanlage, Batterie etc.) und Heck (Kofferraum) auszugleichen, ist das Model S mit einer zentralen, mehr als 700 Kilogramm schweren Akku-Einheit bestückt, die den kompletten Unterboden zwischen

Vorder- und Hinterachse ausfüllt. Ist das Fahrzeug zudem mit dem optionalen Smart-Air-Paket (pneumatische Federung statt Stahlfedern) ausgestattet, klebt das Auto gerade auf der Straße.

Die von einem Aluminium/Titan-Trägersystem gestützte und über wenige Schrauben mit dem Chassis verbundene Akkueinheit besteht aus 14 bis 16 Modulen mit eigenem Batteriemangement, in denen jeweils mehr als 450 zylindrisch angeordnete Lithium-Ionen-Zellen von Panasonic sitzen.

Abhängig von der bestellten Akku-Größe kommt das Model S so auf eine Gesamtenergiemenge von 70 bis 90 kWh, was bei ruhiger Fahrweise durchaus für 350 bis 400 Autobahnkilometer reicht.

Angetrieben wird das „Model S P90D“ von zwei Elektromotoren: einem 350-kW-Motor auf der Hinterachse und einem etwas kleineren (193 kW) für die Vorderachse. Das Fahrzeug hat somit Allradantrieb – was für Autopilot-Funktionen ebenso von Vorteil ist wie die elektrische Lenkung, die vom deutschen Zulieferer „Robert Bosch Automotive Steering“ (früher ZF Lenksysteme) stammt.

Mobiles Auge

Überhaupt steckt viel von Bosch in dem Auto, wie auch von anderen namhaften Zulieferern der Automobilindustrie – Continental (Luftfederung) zum Beispiel oder Brembo (Scheibenbremsen). Aber in der Fahrzeugtechnik will Tesla das Rad auch gar nicht neu erfinden. Das Unternehmen versteht sich viel mehr als Hightech-Unternehmen mit Kernkompetenzen in Soft- und Hardware.

Maschinelles Lernen, künstliche Intelligenz, Big Data und vor allem Computer Vision, also die Befähigung von Computern, Bildinhalte zu interpretieren und in verwertbare Informationen zu überführen – das sind Themen, mit denen sich die Entwicklungsingenieure von Tesla Motors auseinandersetzen. Denn zu den großen Zielen, die Elon Musk verfolgt, gehört außer der Verbreitung von Elektromobilität die Einführung des autonomen Fahrens.

Damit ein Auto autonom fahren kann, muss es drei Grundfunktionen beherrschen: Masse selbstständig beschleunigen, Masse selbstständig abbremsen und Masse selbstständig in eine gewünschte Bahn lenken. Das automatische Beschleunigen und Abbremsen ist mit der Einführung von 77-GHz-Radarsystemen für Pkw schon länger möglich. Volkswagen beispielsweise nennt das ACC (Adaptive Cruise Control) und bietet das System selbst für Kleinwagen wie den Polo an.

Auch an das automatisierte Lenken trauen sich die meisten großen Automobilhersteller inzwischen heran. Allerdings sind die verfügbaren Systeme oft nur für niedrige Fahrgeschwindigkeiten ausgelegt, etwa in Staus. Tesla Motors geht einen Schritt weiter und hat Autopilot-Funktionen in das Model S integriert, die auch bei normalen Autobahnfahrten, auf Bundesstraßen und selbst im Stadtverkehr nutzbar sind.

Das Fahrzeug ist dazu ab Werk mit einem 77-GHz-Radarsystem ausgestattet, insgesamt zwölf Ultraschallsensoren sowie einer Frontkamera. Bei der Bildauswertung greift Tesla unter anderem auf Technik des israelischen Unternehmens Mobileye zu. Mobileye entwirft sogenannte SoCs (Systems on Chips) für Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), die unter dem Namen EyeQ vertrieben werden.

EyeQ-Chips enthalten mehrere parallel arbeitende Vision Computing Engines (VCE) sowie mehrere Vector Microcode Machines (VMP) und können dadurch verschiedene videobasierte ADAS-Funktionen wie Spurhalteassistent, Verkehrszeichenerkennung oder auch Frontaufprallwarnung miteinander kombinieren.

Mobileye ist kein Unbekannter in der Branche: 2014 belieferte das Unternehmen eigenen Angaben zufolge 18 Unternehmen der Automobilindustrie mit insgesamt 2,7 Millionen EyeQ-Chips. 2016 sollen es bereits 23 Unternehmen sein, die insgesamt 240 Fahrzeugmodelle damit bestücken. Zu den Kunden gehören auch deutsche Hersteller wie Audi, BMW und Opel. Gefertigt werden die EyeQ-Chips von STMicroelectronics.

Linksspur-Pächter

Wir sind mit dem Model S in vier Tagen rund 1000 Kilometer gefahren und haben Teslas Autopiloten in vielen Situationen ausprobiert. Von seiner besten Seite zeigte sich das System bei längeren Autobahnfahrten: Zweimal kurz den Autopilot-Schalthebel an der linken Lenkseite zu sich ziehen, die gewünschte Geschwindigkeit einstellen und schon fährt das Auto bis auf Widerruf von selbst.

Von selbst heißt in dem Fall: Das Fahrzeug erkennt über die Frontkamera die Markierungen der Fahrspur, auf der es sich befindet und wird über die integrierte Steuerelektronik mittig auf dieser Spur gehalten, auch in Kurven. Zusätzlich verarbeitet das System Daten aus der GPS-gestützten Fahrzeugnavigation und weiß somit immer im Voraus, wann die nächste Kurve kommt.

Erfasst das Front-Radarsystem des Model S ein anderes Fahrzeug auf derselben Spur, das aber langsamer ist, bremst das eigene Fahrzeug automatisch ab und hält einen vorgegebenen Abstand ein, den der Fahrer über ein Drehrädchen am Autopilot-Schalthebel selbst wählen kann. Beschleunigt das vordere Fahrzeug, beschleunigt auch das Model S.

Tesla Motors bewirbt den neuen Autopiloten zudem mit einem automatischen Spurwechselassistenten. Dieser würde sich beispielsweise anbieten, um langsam fahrende Lkw ohne Fahrereingriff links zu überholen. So richtig „automatisch“ funktionierte das im Testfahrzeug aber noch nicht. Vielmehr muss der Fahrer beide Hände ans Lenkrad legen und selbst den Blinker betätigen – dann aber wechselt das Model S tatsächlich eigenständig und elegant von einer Fahrbahn auf die andere.

Der Grund für den obligatorischen Fahrereingriff beim Spurwechsel liegt auf der Hand: Für videobasierte ADAS-Funktionen greift das Model S derzeit nur auf die bereits erwähnte Frontkamera zu – braust ein Linksspur-Pächter im Mean-Look mit hohem Tempo von hinten heran, fehlt dem System diese Information. Die Entscheidung, ob ein Spurwechsel möglich ist, muss also (noch) der Mensch treffen.



Das 17-Zoll-Touchscreen-Display ist die zentrale Bedieneinheit des Tesla Model S. Dahinter sitzt ein Embedded-PC.



134 000 Euro ruft Tesla Motors für diese Version des Model S auf. Dafür sind Luftfederung und extra Sprint-Power inklusive.



Model-S-Besitzer erhalten ein Autoleben lang kostenlosen Strom an Supercharger-Stationen. Gedacht sind die Schnelllader allerdings nur für Langstreckenfahrten.

Künftige Fahrzeuge von Tesla Motors wie das Model X oder das für 2017 angekündigte Model 3 dürften aber mit viel mehr Kamerasystemen ausgestattet sein. Das sogenannte „hochautomatisierte Fahren auf Autobahnen“ (HAF), an dem auch alle großen deutschen Automobilbauer intensiv arbeiten, ist also nur eine Frage der Zeit.

HAF bedeutet, dass die Fahrzeugsteuerung über längere Zeit komplett an einen Computer übergeben wird. Der Fahrer muss das System dann nicht mehr dauerhaft überwachen, sondern kann sich auch fahrfremden Aktivitäten wie etwa dem Internet-Surfen widmen.

Große Ziele

So weit ist der aktuelle Autopilot im Model S noch nicht. Zwar kann der Fahrer durchaus für längere Zeit die Hände vom Steuer nehmen und das Auto auch bei höheren Geschwindigkeiten selbst fahren lassen – ohne dauerhafte Kontrolle geht es aber noch nicht. Trotzdem empfanden wir den Autopiloten schon jetzt als großen Komfort- und Sicherheitsgewinn.

Überrascht waren wir von der Präzision der Lenkautomatik. Selbst enge Kurven auf kleinen Landstraßen schaffte das System meist selbstständig – was nicht zuletzt dem präzisen Kartenmaterial geschuldet sein

dürfte. Bei der Navigation greift das Model S auf zwei Komponenten zu: Kartendaten von Navigon, die auf einer fest installierten Speicherkarte abgelegt sind, sowie Live-Daten von Google Maps.

Aber auch bei Überlandfahrten gilt: Vorsicht! Denn das Fahrzeug kann bislang nicht selbst einschätzen, ob die eingestellte Geschwindigkeit unter Umständen zu hoch ist. In der Stadt lässt sich der Autopilot ebenfalls aktivieren. Hat man beispielsweise im Stop-and-Go-Verkehr ein Auto vor sich, bremst das Fahrzeug an Ampeln bis zum Stopp und beschleunigt bei Grün auch wieder. Die Interpretation von Lichtsignalen sowie das Abbiegen an Kreuzungen beherrscht das System aber noch nicht.

Mit dem letzten großen Software-Update für das Model S hat Tesla außerdem damit begonnen, Daten von allen mit Model-S-Fahrzeugen zurückgelegten Strecken in eine Cloud-Infrastruktur hochzuladen und zu analysieren. Automatisiert verarbeitet werden sowohl Informationen aus der Fahrzeugsensorik als auch Positions- und Fahrdaten. Ziel sind noch präzisere Abbildungen der Straßennetze.

Nach den Vorstellungen von Musk soll die Tesla-Flotte künftig wie ein selbstlernendes Netzwerk agieren, in dem jedes Fahrzeug von den Erfahrungen anderer Fahrzeuge profitiert. Registriert ein Tesla-Auto beispiels-

weise, dass Fahrbahnmarkierungen auf einer Straße fehlen, wird diese Information anderen Fahrzeugen, die ebenfalls an der Stelle vorbeikommen, zur Verfügung gestellt.

Möglich ist dies, weil alle Tesla-Fahrzeuge rund um die Uhr über Mobilfunk (in Deutschland per O2-Netz) oder WLAN mit dem Internet verbunden sind. Auch Software-Updates mit Bug-Fixes oder neuen Funktionen spielt Tesla „Over-the-Air“ (OTA) ein.

Freies Autofahren

Angezeigt werden Model-S-Besitzern eventuelle Updates – die man übrigens auch ignorieren kann – über das schon erwähnte 17-Zoll-Touchscreen-Display, das hochkant in die Mittelkonsole eingebaut ist und leicht in Richtung Fahrer zeigt. Ein zweites, etwa 12 Zoll großes Display im Armaturenbrett dient als Instrumententafel und liefert dem Fahrer Informationen zur aktuellen Geschwindigkeit, eingeschalteten Assistenzfunktionen oder auch Abbiegeanweisungen der Routenführung.

Während in anderen Fahrzeug-Cockpits oft ganze Heerscharen von physischen Knöpfen und Schaltern für das Bedienen von Klimaanlage, Sitzheizung, Radio, Navigation oder auch Telefon verbaut sind, kommt das Model S mit sehr wenigen aus: einem Warnblinker, einem elektrischen Handschuhfach-



Durch zweimaliges Heranziehen des unteren Schalthebels auf der linken Lenkrad-Seite aktiviert man den Autopilot des Model S.



Die Frontkamera nutzt der Autopilot des Model S vor allem für die Spurführung.



Die mehr als 6500 Lithium-Ionen-Akkus sind unter der gesamten Fahrgastzelle zwischen Vorder- und Hinterachse montiert.

Öffner sowie sechs Funktionselementen auf dem Lenkrad.

Der Rest wird über den 17-Zoll-Touchscreen bedient. Direkt dahinter befindet sich auch gleich ein Großteil der Intelligenz des Fahrzeugs: ein Embedded-PC von der Größe eines DIN-A4-Aktenordners mit zahlreichen Anschlüssen, der unter Ubuntu-Linux läuft. Das derzeit von einem Tegra-4-Prozessor angetriebene Mainboard entwickelt Tesla ebenso wie viele andere Platinen im Fahrzeug selbst.

An die Hauptplatine sind per USB jeweils ein WLAN-, ein Bluetooth- und ein Mobilfunkmodul angebunden. Sowohl die Touchscreen-Einheit als auch die Cockpit-Display-Einheit mit eigenem Tegra-3-Prozessor

haben außerdem Zugang zu einem Ethernet-Switch, an dem wiederum ein Gateway zum CAN-Bus des Fahrzeugs hängt. Dieses Gateway ist besonders geschützt, um zu verhindern, dass eventuell eingeschleuster Schadcode bis zur Antriebselektronik beziehungsweise zum Batteriemangement durchdringt.

Ein großer Vorteil des OTA-Prinzips von Tesla ist, dass das Unternehmen sofort reagieren kann, wenn Sicherheitslücken bekannt werden. Patches lassen sich so in kürzester Zeit an alle Fahrzeuge weltweit verteilen, statt aufwendige Rückrufe starten zu müssen.

Trotzdem dürfte es auch einige Menschen geben, die dem Tesla-Konzept eines vernetzten Fahrzeugs mit einiger Skepsis ge-

genüberstehen. Denn gefragt werden die Kunden in der Regel nicht, wenn in Kalifornien neue Features wie beispielsweise der Aufbau eines „Fleet Learning Network“ beschlossen werden.

Spätestens 2018 ist in Europa aber sowie so Schluss mit dem Traum vom „freien Autofahren“. Denn dann müssen EU-Neufahrzeuge mit dem automatischen Notrufsystem eCall ausgestattet sein. Das bedeutet verpflichtenden Einbau von Satellitennavigationsempfänger und Mobilfunkmodul in jeden Neuwagen. Tesla Motors hat diesen Schritt bereits vollzogen. (pmz@ct.de)

ct Weitere Infos, Bilder und Videos: ct.de/ypjd

Drei Fahrer, drei Meinungen zum Model S



Schnelle Freundschaft

Ein Auto, das in drei Sekunden von 0 auf 100 beschleunigt, brauche ich im Alltag nicht. Mit dem Autopiloten des Model S könnte ich mich allerdings sofort anfreunden. Wer unsicher ist, kann die Hände zunächst auf dem Lenkrad liegen lassen. Dann spürt man schon sehr genau, wie fein und präzise die Lenkbewegungen sind. Das schafft Vertrauen. Mir reichte nach einer Weile bereits ein einzelner Finger als Lenkrad-Kontrolle.

Anders als zunächst erwartet, führte der halbautonome Fahrmodus des Model S – also keine automatischen Überholvorgänge, keine automatische Anpassung an Geschwindigkeitsbeschränkungen – bei mir auch nicht dazu, dass ich mich weniger auf den Verkehr um mich herum konzentriert hätte. Im Gegenteil: Die geistigen Ressourcen, die man sonst für das manuelle Spurhalten einsetzt, kann man jetzt viel besser in die Beobachtung des Verkehrs investieren.

Allerdings wird es wohl noch etwas dauern, bis die Technik in Preisregionen angekommen ist, die für mich akzeptabel sind. Solange muss mein Kleinwagen halt noch durchhalten. (Johannes Maurer)



Zwei Gesichter

Beim Model S bin ich genauso zwiespalten wie das Auto selbst, das einerseits Dragracer ist – andererseits aber auch bequeme Reisekutsche. Die Idee, Autopilot-Funktionen „Over-the-Air“ nachzuliefern, ist zwar zeitgemäß, aber auch riskant. Denn plötzlich hat jeder einen „Autopiloten“. Ob man damit vernünftig umgehen kann, fragt keiner. Womöglich gefährdet man nicht nur sich selbst, sondern auch Insassen und andere Verkehrsteilnehmer.

Nutzt man die Autopilot-Funktion sinnvoll, reist man allerdings deutlich entspannter über die Autobahn. Auch Staus nerven viel weniger – das Auto weiß schon, was es tut. Anders als der E-Golf ist das Model S auch kein Spielzeug, sondern dank 350 Kilometer Reichweite (bei gesitteter Fahrweise) ein tatsächlich sinnvoll nutzbares Auto.

Ein zuschaltbares Fahrgeräusch wäre noch gut, damit Passanten das Auto im Stadtverkehr nicht nur sehen, sondern auch hören – aber vielleicht wird das ja eh noch vorgeschrieben. Für einen TIE-Fighter-Sound würde ich dann auch 'nen Zehner locker machen. (Volker Zota)



Haben-Wollen-Faktor

Das Model S gehört zu den besten Autos, die ich bislang gefahren habe. Und das waren schon einige. Antrieb und Lenkung reagieren sehr präzise, die Straßenlage ist einfach sensationell. Mit etwas Übung kann man das Auto sogar mit nur einem Pedal fahren. Denn allein die Rekuperation (Energierückgewinnung) reicht oft schon aus, um das Fahrzeug an einer Ampel oder Kreuzung zum Halten zu bringen. Die neuen Autopilot-Funktionen vergrößern den Haben-Wollen-Faktor nur. Man fühlt sich, als habe ein neues Zeitalter des Autofahrens begonnen.

Allerdings ist der Preis für das Fahrzeug so hoch, dass wohl nur die wenigsten es sich leisten können. 100 000 Euro sollte man schon einkalkulieren, will man auf Annehmlichkeiten wie Luftfederung oder Panoramadach nicht verzichten. Und dann muss ich an meinen jüngsten Autokauf denken. Neuwagen, vor einem Jahr. Was ich damals auf keinen Fall wollte? Ein vernetztes Auto. Mich regen schon die ständigen Updates auf meinem Smartphone auf. Und was ist das Model S? Der Inbegriff des vernetzten Autos. (Peter-Michael Ziegler)