



© nadia / Getty Images / iStock

Einsatz der Simulation für die Homologation automatisierter Fahrfunktionen

AUTOREN



Dr. Housseem Abdellatif
ist Global Head Autonomous
and Connected Driving bei
TÜV Süd in Garching.



Christian Gnant
ist Head of Test and
Validation Autonomous
and Connected Driving
bei TÜV Süd in Garching.

Virtuelle Tests sind zwingend notwendig zur Homologation zunehmend komplexer automatisierter Fahrfunktionen. TÜV Süd zeigt in diesem Beitrag wie die Simulation als legitimes und regulatorisch valides Prüf- und Homologationsmittel etabliert werden kann.

INTERNATIONALE RAHMENBEDINGUNGEN

Bei der Entwicklung der Homologations- und Zulassungsvorschriften für zukünftige automatisierte Fahrzeuge hat sich international das Verständnis etabliert, dass die Simulation für die offizielle Freigabe von automatisierten Fahrzeugen genutzt werden soll. Sowohl bei NHTSA in den USA, bei der UN/ECE in Europa als auch bei der CCA in China werden Regularien verabschiedet, die dies vorsehen. Erst mit der Simulation wird eine Skalierung der Tests möglich und nur so können die Komplexität und die enorme Vielfalt der Validierungs- und Homologationsaufgabe sowie die damit verbundenen Szenarien

beherrscht werden. Damit entsteht eine neue zentrale Frage: Welche Anforderungen muss das Simulationswerkzeug erfüllen, um zuverlässige und gesetzlich verbindliche Ergebnisse zu liefern?

In der Homologation sind bereits bei der UN/ECE-R140 [1] Ansätze vorhanden, Simulation zu nutzen. Hat der Hersteller für eine Fahrzeugvariante die Homologationstests für ESP erfolgreich auf dem Prüfgelände absolviert, so kann er weitere Fahrzeugvarianten in Rücksprache mit dem technischen Dienst mittels Simulation freigeben [2]. In der Richtlinie wird bereits eine Mindestgenauigkeit an die Simulation spezifiziert. Der Beweis der Genauigkeit ist ein verbindlicher Teil des Homologationsberichts. Es gilt, diesen Ansatz wei-

ter zu verfolgen und auf die weitaus komplexeren Systeme des automatisierten Fahrens zu erweitern.

SIMULATIONSBASIERTE UND VIRTUELLE HOMOLOGATION

Die Zuverlässigkeit der Simulation für die Freigabe automatisierter Fahrfunktionen ist bedeutend komplexer und vielschichtiger als bei der Freigabe von ESP-Systemen. Die damit verbundenen Anforderungen werden im Folgenden an Hand der unterschiedlichen Simulationsschritte erläutert. Es ist wichtig zu betonen, dass die Homologation keine Wiederholung der Absicherung beziehungsweise der Validierung ist, die beim Hersteller in Produktentwicklung und Herstellung durchgeführt wird. Die Homologation liefert einen gesetzlich verbindlichen und ausreichenden Nachweis für die Validität, Sicherheit und Verkehrstauglichkeit der automatisierten Fahrfunktion [3]. Teil der Typfreigabe ist immer ein abhängig von der Fahrfunktion definierter Testkatalog bestehend aus Fahrscenarien. Für diese werden auch die dafür auszuwertenden Kennwerte sowie Kriterien definiert. Wird ein Teil des Testumfangs virtuell durchgeführt, müssen alle Schritte analog **BILD 1** durchgeführt werden.

Der Validierungsbericht als finales Ergebnis der virtuellen Tests ist Teil des Prüfberichts des technischen Dienstes. Da dieser von der zuständigen Genehmigungsbehörde zur Homologation der Fahrfunktion herangezogen wird, sind die Ergebnisse der Simulation von entscheidender Bedeutung und müssen dementsprechend mit der nötigen Sorgfalt und nach aktuellem Stand der Technik erzeugt werden.

SZENARIENDEFINITION UND -MANAGEMENT

Die eingesetzte Simulationsumgebung muss nachweisen, dass Grundszenarien eindeutig implementiert beziehungsweise importiert werden, Variation und Parametrierung der Szenarien eindeutig definiert und stets identisch wiederholbar sind und alle notwendigen Prozessschritte durch eine korrekte und robuste Automatisierung abgebildet werden.

Die Beschreibung des Szenarios muss exakt in die Simulationsumgebung übertragen werden und dort wie

beschrieben ausführbar sein, **BILD 2**. Eine Standardisierung der Szenarien sowie die Beschreibung der Bestandteile ist aktuell Gegenstand verschiedener Gremien (zum Beispiel OpenDrive [3] und OpenScenario [4]). Automatisierte Prozesse minimieren potenzielle Fehlerquellen und nur so ist eine Skalierbarkeit der Szenarien zuverlässig möglich. Nach der Übertragung ist nachzuweisen, dass alle Bestandteile des Szenarios den Vorgaben entsprechen und sich – bei dynamischen Anteilen – auch so über die gesamte Dauer des virtuellen Tests verhalten. Falls benötigt, müssen Variationen der einzelnen Parameter des Szenarios definiert werden. Oft sind diese innerhalb der Richtlinie nicht genau spezifiziert und müssen in Absprache mit dem technischen Dienst definiert werden.

SIMULATIONSMODELLE UND -BESTANDTEILE

Die eigentliche Simulationsumgebung muss eindeutig vier trennbare Domänen vorweisen:

- Fahrzeugmodelle (ohne automatisierte Fahrfunktion)
 - Sensormodell(e)
 - Umfeldmodelle
 - die zu homologierende Fahrfunktion.
- Die eindeutige Trennung muss erfolgen, um die Universalität der Methode sicherzustellen, die IP des Fahrzeugherstellers und der Lieferanten zu schützen und die eventuelle Fehlerfindung bei der Testdurchführung zu kategorisieren. **BILD 3** zeigt eine High-level Struktur der virtuellen Umgebung.

Das Fahrzeugmodell liefert einen digitalen Zwilling des Fahrzeugs, der eventuell aus verschiedenen Submodellen diverser Hersteller und Lieferanten besteht. Unabhängig von der Modellierungstiefe müssen folgende Eigenschaften nachgewiesen werden:

- Eine Automatisierung der Parametrierung der Modelle: Es muss sichergestellt werden, dass eine Fahrzeugvariante eindeutig und wiederholbar erstellt und parametrisiert werden kann
- Eine Validierung der Modelle mit Hilfe von realen Messdaten als Bestandteil der Simulationsumgebung.

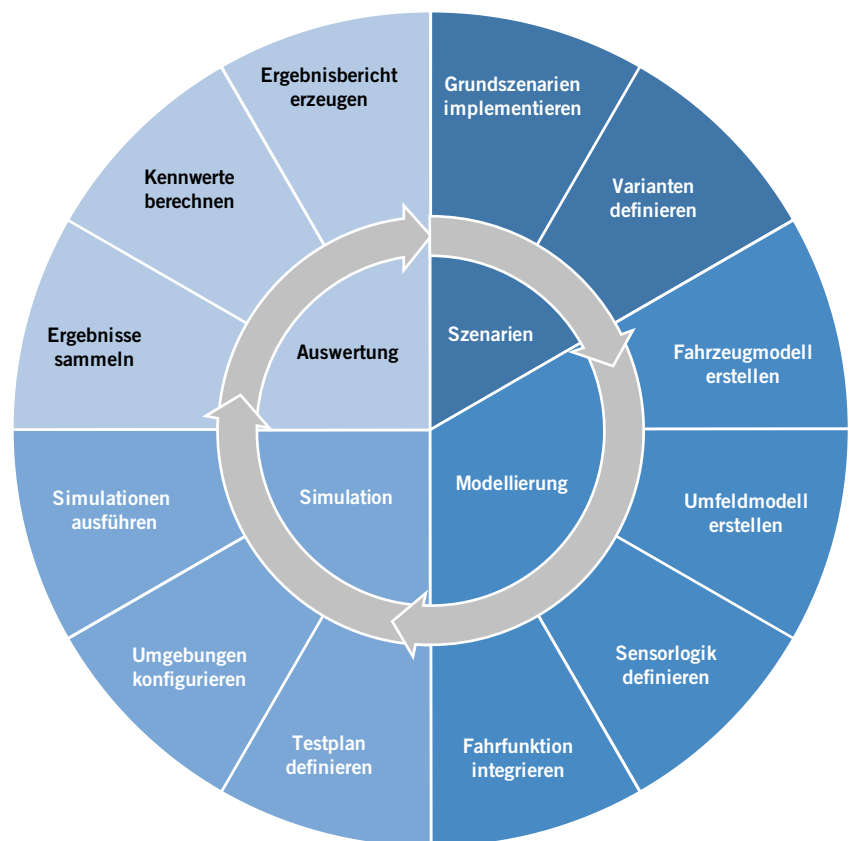


BILD 1 Ablauf einer virtuellen Validierung von automatisierten Fahrfunktionen (© TÜV SÜD)



BILD 2 Alle Elemente, deren Verhalten sowie Umweltbedingungen der virtuellen Welt müssen analog Szenarienbeschreibung abgebildet werden (© TÜV SÜD)

Die Sensormodelle müssen die unterschiedlichen benötigten Sensortypen wie Kamera, Radar, Lidar oder Ultraschall abbilden und insbesondere zwei Anforderungen erfüllen: Erstens, die Generierung der nötigen Informationen für die Sensorik der Fahrfunktion erfolgt analog Schnittstellenbeschreibung. Zweitens, die Validierung der einzelnen Sensortypmodelle mit Parametrierung analog Herstellerspezifikation mit Hilfen von realen Messdaten ist Bestandteil der Simulationsumgebung. Die Modellvalidierung für Sensor- und Fahrzeugmodell ist zwingend notwendig, um die Validität der Simulation als Prüfmittel nachzuweisen. Je nach Modellbestandteil erfolgt die Modellvalidierung auf unterschiedliche Art [5], [6], [7]. Fehlen entsprechende Vorgaben, so sind diese zu entwickeln und vom technischen Dienst freizugeben. Der Nachweis der Modellvalidität ist ein verbindlicher Teil des Homologationsberichts.

Das Umfeldmodell bildet alle Bestandteile der virtuellen Welt außerhalb des Fahrzeugs ab und muss zwingend folgende Eigenschaften erfüllen: Alle Vorgaben aus der Szenarienbeschreibung müssen erfüllt und physikalische

Grundgesetze eingehalten werden und die Weitergabe der resultierenden Informationen über dedizierte Schnittstellen muss über den gesamten Zeitbereich innerhalb des Gesamtmodells gewährleistet sein. Besonders wichtig ist die Weitergabe der Informationen an die Sensorik. Je nach Sensortyp werden unterschiedliche Stimulationssignale benötigt. Effekte wie zum Beispiel Überdeckung bei uneinsichtigen Kreuzungen müssen gewährleistet werden.

Für die Integration der Fahrfunktion gibt es unterschiedliche valide X-in-the-Loop (XiL)-Vorgehensweisen [9] mit folgenden zu erfüllenden Anforderungen:

- Die Fahrfunktion muss analog Schnittstellendefinition nachvollziehbar und nachprüfbar mit dem restlichen Modell verbunden werden.
- Die für die Validierung der Fahrfunktion benötigten Signale des Modells müssen fehlerfrei und eindeutig aufgezeichnet werden und nach Durchführung der Simulation zur Verfügung stehen.

Eine offene und dokumentierte Modellarchitektur ist zwingend notwendig.

Um Schnittstellenkonformität und eindeutige Signalkonventionen zu gewähr-

leisten, sind etablierte Standards wie OSI (Open Simulation Interface [10]) und FMI (Functional Mockup Interface [11]) zu bevorzugen. Für die Validierung der Fahrfunktion werden auch die sogenannten Ground-Truth-Informationen benötigt, die transparent und richtig innerhalb der Architektur zur Verfügung stehen müssen. Die Modelle müssen keineswegs offene White-box-Modelle sein. Sind die Modellschnittstellen und -signale so dokumentiert und freizugänglich, dass eine korrekte Modellvalidierung eindeutig nachgewiesen werden kann, können Black-Box-Modelle verwendet werden. Dies ist bevorzugt, um nicht nur die IP der Urheber zu schützen, sondern die Eignung der Simulation für eine Homologation eindeutig von den Modellinhalten zu entkoppeln.

SIMULATIONS DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG

Bei der eigentlichen Simulationsdurchführung müssen folgende Vorgaben erfüllt werden:

- Definition des Testplans (Szenarien, Parametervariation und Kennwerte)

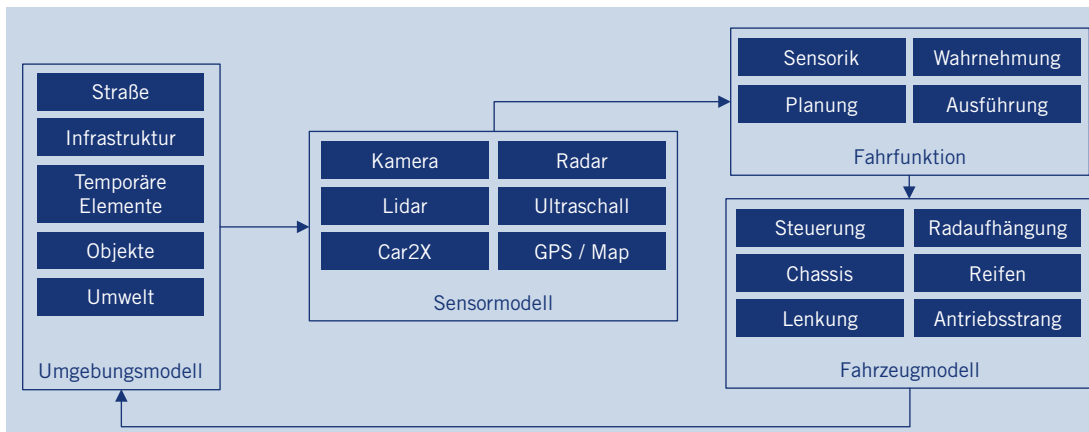


BILD 3 Modulare Modellstruktur garantiert Universalität der Methode (© TÜV SÜD)

analog den Vorgaben aus der herangezogenen Richtlinie

- eindeutige, nachvollziehbare und reproduzierbare Zuordnung der verwendeten Modellumgebung samt Parametrierung zu den einzelnen Testfällen
- eindeutige Zuordnung der Simulationsergebnisse zu den einzelnen Simulationsläufen.

Für jede einzelne Simulation ist zu verifizieren, dass diese mit genau den vorab definierten Inhalten aus dem Testplan durchgeführt, die benötigten Ergebnisse erzeugt wurden und diese dann dem Testfall eindeutig zugeordnet werden können.

Im letzten Schritt werden innerhalb der Auswertung alle Ergebnisse gesammelt und daraus für jeden Testfall die Kennwerte berechnet. Innerhalb des Validierungsberichts werden diese mit den in der Richtlinie vorgegeben Grenzwerten verglichen und das für die Freigabe relevante Ergebnis aufgeführt. Dabei muss die Kennwertberechnung den Vorgaben aus der Regularie entsprechen, wohldefiniert erfolgen und transparent einzusehen sein. Darüber hinaus muss der Validierungsbericht neben den berechneten Kennwerten auch alle für eine Nachvollziehbarkeit relevanten Details über die durchgeführten Tests (Meta-informationen) beinhalten.

SIMULATIONS DATENMANAGEMENT

Die innerhalb der Simulation verwendeten Daten spielen eine wesentliche Rolle für die Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse des Validierungsberichts. Die Simulationsumgebung muss deshalb weitere Eigenschaften erfüllen: Zum

einen müssen alle Daten, die für die in **BILD 1** dargestellten Prozessschritte verwendet werden, mit Hilfe eines geeigneten Datenmanagements inklusive einer Versionskontrolle nachvollziehbar verwaltet werden. Zum anderen muss es möglich sein, auch nach einiger Zeit die Ergebnisse der Funktionsvalidierung nachzuvollziehen und gegebenenfalls zu reproduzieren.

Neben den Daten und Funktionen für Szenario, Modellierung, Simulation und Auswertung beinhaltet dies auch Informationen über die verwendete Software sowie deren Version oder spezifische Erweiterungen. Auch der Nachweis, dass das verwendete Simulationsdatenmanagement die Anforderungen erfüllt, ist ein verbindlicher Teil des Homologationsberichts.

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Homologation von zunehmend komplexen automatisierten Fahrfunktionen realisieren zu können, müssen als Teil der Typgenehmigung virtuelle Tests durchgeführt werden. Hierzu ist es notwendig, Anforderungen an die Vertrauenswürdigkeit der Simulation zu definieren. Es ist unabdingbar, dass dazu Fahrzeughersteller, Zulieferer, Hersteller der benötigten Werkzeuge sowie unabhängige Prüforganisationen eng mit den Behörden zusammenarbeiten. Durch Prüfung der durchgeführten Modellvalidierung und Qualifikation der Simulationsumgebung durch eine unabhängige Prüfinstanz kann die Simulation als legitimes und regulatorisch valides Prüf- und Homologationsmittel etabliert werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] UNECE (Hg.): Addendum 139 – Regulation No. 140: Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to Electronic Stability Control (ESC) Systems, 2017. Online: <https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs121-140.html>, aufgerufen am 22.10.2019
- [2] Holzmann, H.; Hahn, K.M.; Webb, J.; Mies, O.: Simulationsbasierte ESP-Homologation für Pkw. In: ATZ 114 (2012), Nr. 9, S. 698 - 702
- [3] ASAM e.V. (Hg.): ASAM OpenDRIVE, 2015. Online: <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>, aufgerufen am 22.10.2019
- [4] ASAM e.V. (Hg.): OpenSCENARIO, 2017. Online: <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/>, aufgerufen am 22.10.2019
- [5] International Organization for Standardization (Hg.): ISO 4138:2012 Passenger cars – Steady-state circular driving behaviour – Open-loop test methods. Geneva, 2012
- [6] International Organization for Standardization (Hg.): ISO 19365:2016 Passenger cars – Validation of vehicle dynamic simulation – Sine with dwell stability control testing. Geneva, 2012
- [7] Düser, T.; Abdellatif, H.; Gutenkunst, C.; Gnant, C.: Ansätze für die Homologation automatisierter Fahrfunktionen. In: ATZelektronik 14 (2019), Nr. 10, S. 54 - 60
- [8] UNECE (Hg.): Addendum 65 – Regulation No. 66: Uniform technical prescriptions concerning the approval of large passenger vehicles with regard to the strength of their superstructure. Geneva, 1995. Online: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r066r1e.pdf>, aufgerufen am 22.10.2019
- [9] Riedmaier, S.; Nesensohn, J.; Gutenkunst, C.; Düser, T.; Schick, B.; Abdellatif, H.: Validation of X-in-the-Loop Approaches for Virtual Homologation of Automated Driving Functions. GSVF-Symposium. Graz, 2018
- [10] Open Simulation Interface OSI. Online: <https://github.com/OpenSimulationInterface>, aufgerufen am 22.10.2019
- [11] Functional Mockup Interface FMI. Online: <http://fmi-standard.org/>, aufgerufen am 22.10.2019



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.ATZelectronics-worldwide.com