



© Akarat Phasura | stock.adobe.com

Homologation und Validierung von automatisierten Fahrfunktionen

Automatisierte Fahrfunktionen müssen strenge regulatorische Anforderungen erfüllen, um die Sicherheit und Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Sie werden unter anderem in der UNECE R79 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa festgehalten. Am Beispiel dieser Regelung zeigen TÜV Süd und AVL, wie relevante konkrete Szenarien für die Validierung und Homologation von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen ermittelt werden und wie ein Validierungsframework sowie entsprechende Werkzeuge die Homologation optimal unterstützen.

AUTOREN



Dipl.-Ing. Benjamin Koller
ist Koordinator Lead Technical Regulation & Knowledge Management HAD bei der TÜV Süd Auto Service GmbH in Garching.



Dr. Tobias Düser
ist Department Manager Advanced Solution Lab bei der AVL Deutschland GmbH in Karlsruhe.



NACHWEIS VON SICHERHEIT

Der rasante Fortschritt bei der Automatisierung von Fahraufgaben macht die kontinuierliche Verbesserung der eingesetzten Algorithmen notwendig. Eine der größten Herausforderungen dabei ist der Nachweis der Sicherheit. Höhere Automatisierungsgrade nach SAE J3016, 2016 erfordern eine zunehmende Anzahl von Tests für die Homologation beziehungsweise Zertifizierung. Der größte Sprung für die Homologation findet beim Übergang von assistiertem (SAE Level 2) zu automatisiertem Fahren (SAE Level 3) statt, da die Verantwortung der Fahraufgabe vom Fahrer zum System transferiert wird. In diesem Zusammenhang sind die Sicherheit und die Funktionsfähigkeit der automatisierten Fahrfunktionen für den definierten Anwendungsfall zu gewährleisten und durch eine unabhängige Instanz zu bestätigen. Dabei müssen unzäh-

lige verschiedene Fahrsituationen berücksichtigt werden, sodass der Prüfumfang für die Freigabe von Systemen für automatisierte Fahrfunktionen komplexer wird [1].

Dieser Beitrag erläutert die Homologation und Validierung von automatisierten Fahrfunktionen am Beispiel der UNECE R79, in der einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage festgelegt sind [2]. TÜV Süd befasst sich mit der Homologationsmethodik und legt seinen Fokus insbesondere auf realisierbare und effiziente Ansätze. AVL entwickelt für diese Ansätze ein durchgängiges, offenes Validierungsframework und die entsprechenden Werkzeuge, um die Homologation bestmöglich durchführen zu können.

HOMOLOGATION

Die Homologation beschreibt den Prozess zur Prüfung, Freigabe und Zertifizierung von in Serie produzierten Produkten, damit diese die Zulassung für einen bestimmten Markt erhalten. Den Nachweis, dass die regulatorischen Anforderungen gegenüber der Typgenehmigungsbehörde erfüllt sind, übernimmt, abhängig vom Land, entweder der Hersteller selbst (Selbstzertifizierung) oder eine beliebige unabhängige Sachverständigenorganisation wie TÜV Süd (3rd-Party-System). Das letztgenannte System ist in Europa etabliert [3].

Regularien wie UNECE R139 beschreiben Fahrmanöver, die die Eignung von Systemen nachweisen sollen. Dies ist wichtig für die Typgenehmigung fahrdynamisch relevanter Funktionen, zu denen beispielsweise Bremsassistentensysteme zählen. Für den Sicherheitsnachweis von automatisierten Fahrfunktionen sind jedoch andere Methoden nötig. Szenarien bilden hier das zentrale Element, um die korrekten Entscheidungen in Wechselwirkung mit der Umgebung der automatisierten Fahrfunktionen nachzuweisen.

GENERISCHE METHODE UND AUSWAHL DER SZENARIEN

Ein intensiv diskutierter Punkt ist der Umgang mit der immensen Anzahl von möglichen Verkehrssituationen und einer praktikablen Homologation [3]. Ein vielversprechender Ansatz, um damit umzugehen, sind szenarienbasierte

Tests. Annehmend, dass ein Großteil der Situationen unkritisch ist, beschränkt sich das szenarienbasierte Testen auf relevante Ereignisse (Szenarien). Ein Rahmen für diesen Ansatz wurde beispielsweise innerhalb des deutschen Förderprojekts Pegasus [4] entwickelt.

Die Validierung sowie die Homologation setzen szenarienbasierte Tests bereits ein. In der Homologation werden die Szenarien zusammen mit Key-Performance-Indikatoren (KPI) und Kriterien aus der relevanten Regularie definiert, zum Beispiel UNECE R79. Die größte Herausforderung bei der Ausführung der Szenarien stellt die Unsicherheit bei den Szenarienparametern dar. Diese sind meist im Detail nicht spezifiziert und für die unabhängige Bewertung des Systems in Absprache mit dem technischen Dienst zu definieren.

Bei der Validierung besteht die Hauptaufgabe darin, alle relevanten Szenarien und entsprechende Parameter auszuwählen. Einen vielversprechenden Ansatz definiert [5]. **BILD 1** zeigt das Verfahren im Überblick.

Zunächst verwendet der Ansatz logische Szenarien aus den Vorschriften. Das Ziel ist, die Parameter der logischen Szenarien einzuschränken, um den relevantesten Test zu identifizieren. Basierend auf den drei in **BILD 1** dargestellten Elementen werden die Parameter der logischen Szenarien optimiert. Die ersten beiden Elemente fokussieren die identifizierten Schwachstellen des zu testenden Systems und ermöglichen systemspezifische Szenariendefinitionen. Zur Erhöhung der Schwierigkeit wird die systemunabhängige Komplexität durch weitere Verkehrsteilnehmer gesteigert. Eine parallele Betrachtung der Elemente bei der Optimierung ist notwendig.

Resultat sind relevante konkrete Szenarien für die Validierung und Homologation von Fahrzeugen mit automatisierten Fahrfunktionen. Das Alleinstellungsmerkmal des Ansatzes ist eine systemspezifische Anpassung der relevanten Szenarien an die Schwachstellen des betrachteten Systems.

Die effiziente Ausführung der Szenarien stellt eine weitere Herausforderung dar. Speziell bei der Validierung von automatisierten Fahrfunktionen ist die Anzahl der Szenarien und Parameter enorm, sodass verstärkt virtuelle Methoden zum Einsatz kommen werden.

METHODEN

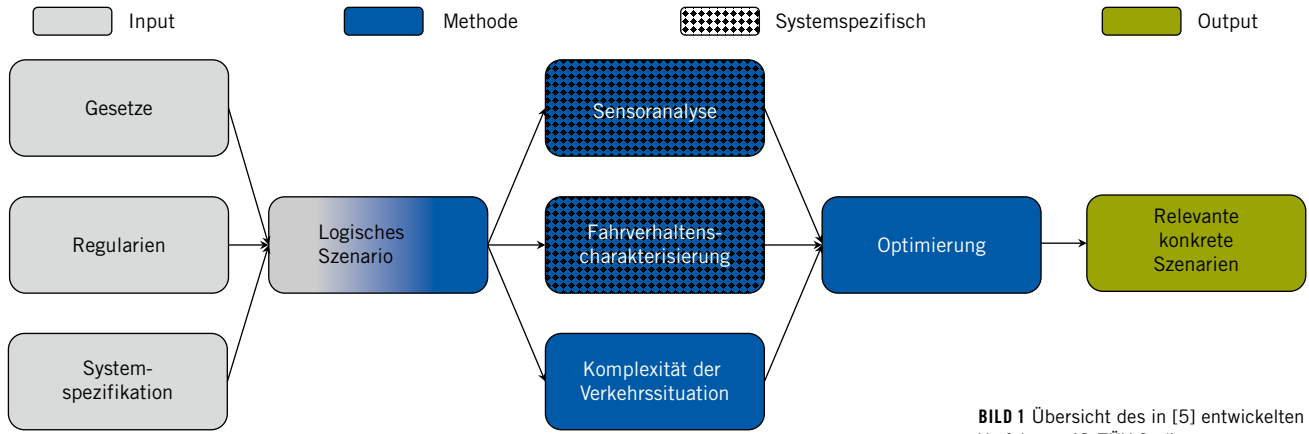


BILD 1 Übersicht des in [5] entwickelten Verfahrens (© TÜV Süd)

VALIDIERUNG AM BEISPIEL HIGHWAY PILOT

Kommen virtuelle Methoden zum Einsatz, müssen sie zunächst qualifiziert werden [6]. Hierbei wird deutlich, dass die Modelle und eingesetzten Werkzeugketten ausreichend mit der Realität korrelieren. Verschiedene virtuelle Methoden sind in **BILD 2** dargestellt.

Stark vereinfachte Simulationsmodelle reichen für die Systemvalidierung beziehungsweise Homologation nicht aus. Zum einen müssen die Modelle das Systemverhalten detailliert abbilden, zum

anderen muss sichergestellt sein, dass verschiedene Modelle und Werkzeuge numerisch korrekt gekoppelt sind.

Eine weitere Herausforderung ist die Zertifizierung der Werkzeugkette [3]. Am Beispiel Highway Pilot bei Nutzfahrzeugen werden die Komplexität und die Erfordernis einer Systemsimulation aufgezeigt. Für die Validierung und Freigabe auf Systemebene müssen verschiedene Subsysteme in ausreichendem Detaillierungsgrad vorhanden sein, zum Beispiel:

- Ein Lenkungsmodell für Spurführung und Folgen der geplanten Trajektorie
- Ein Bremsenmodell für Notbremsung

- Verschiedene Fahrdynamikfunktionen, auf die die automatisierte Fahrfunktion zurückgreift (beispielsweise ABS-Regler)
- Sensormodelle.

Das Vorgehen bei der Validierung orientiert sich grundsätzlich an der zukünftigen Rahmenrichtlinie (EU) 2018/858 der Europäischen Kommission.

Im Vergleich zur virtuellen Homologation des elektronischen Stabilitätsprogramms nach UNECE R140 ist der Prozess für automatisierte Fahrfunktionen deutlich komplexer. Es gibt mehr relevante Subsysteme und eine umfassen-

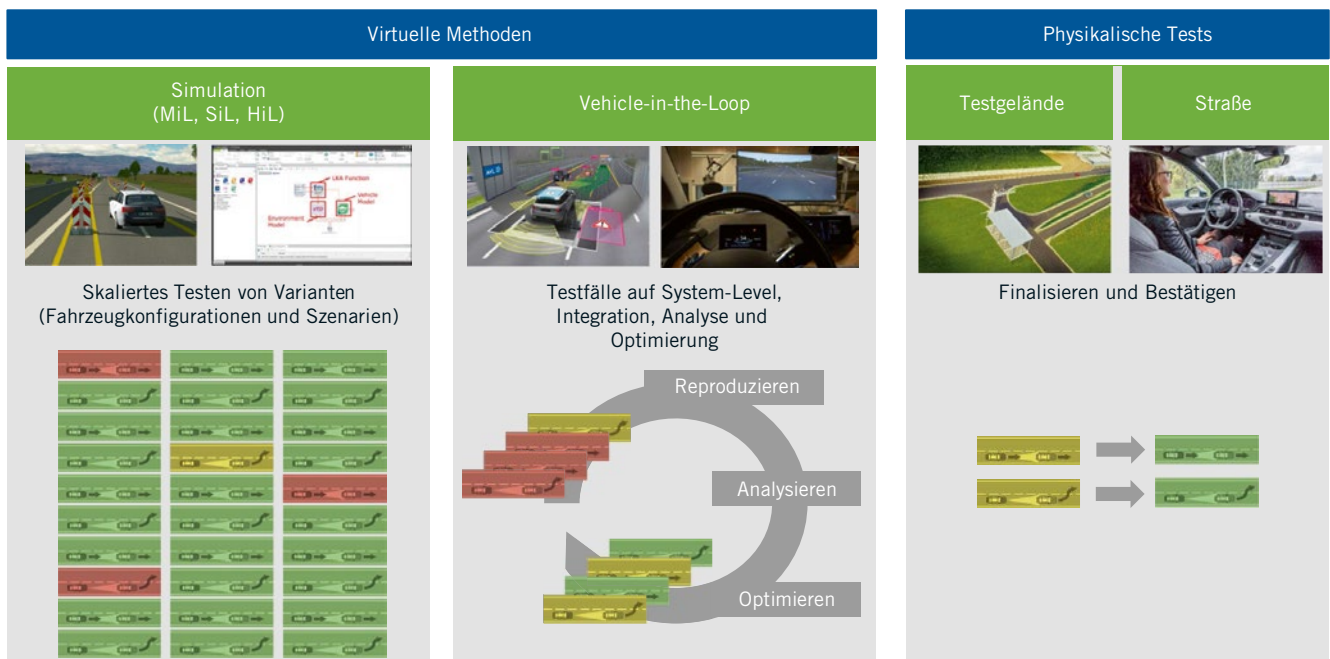
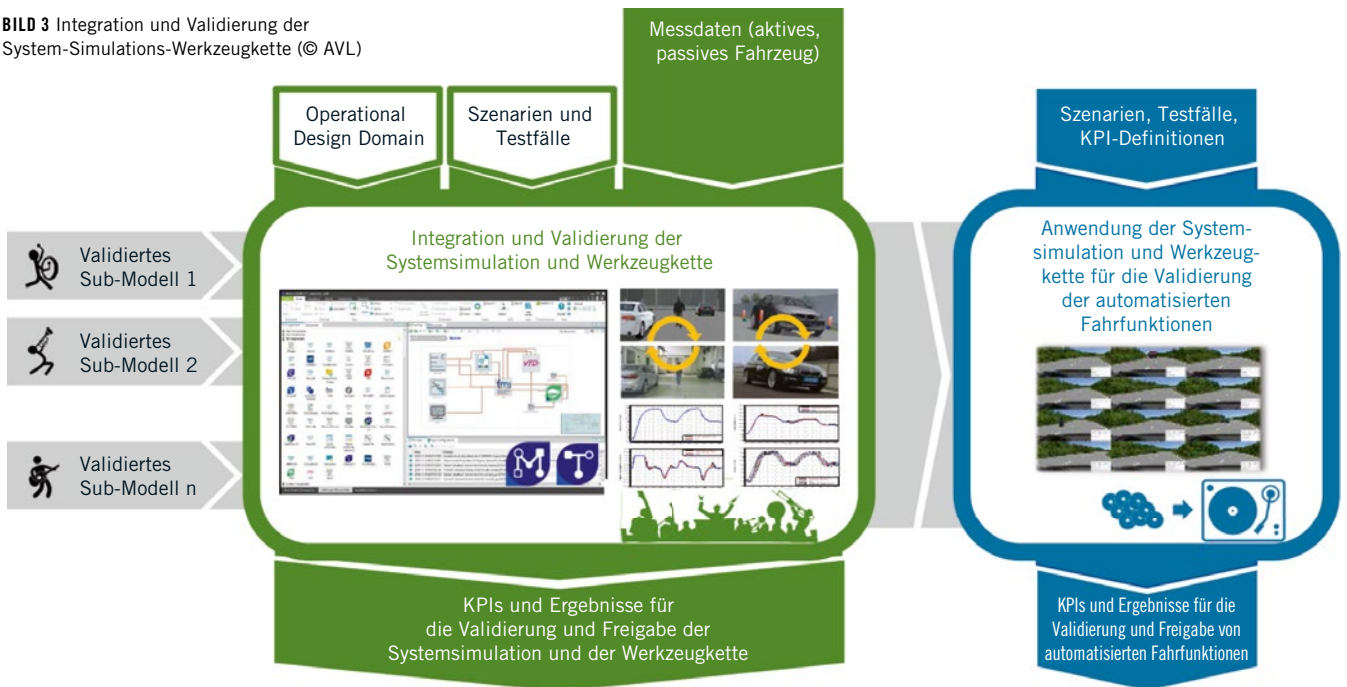


BILD 2 Einsatz von virtuellen Methoden bei der Homologation und Validierung (© AVL)

BILD 3 Integration und Validierung der System-Simulations-Werkzeugkette (© AVL)



dere Operational Design Domain. Neben den eigentlichen Validierungsaufgaben nimmt die virtuelle Systemintegration beim Aufbau der Werkzeugkette einen hohen Stellenwert ein. Eine Trennung zwischen Modell und Modellparameterisierung ist zwingend erforderlich. Bevor die Umgebung für die Validierung und Homologation der automatisierten Fahrfunktionen eingesetzt wird, muss ein Integrations- und Validierungsprozess durchlaufen werden. Zur nachverfolgbaren Dokumentation der virtuellen Tests ist ein Parameter- und Modellmanagement erforderlich.

BILD 3 verdeutlicht das Vorgehen im Detail. Die Operational Design Domain und die damit verbundenen Szenarien sind bei der Definition einer Simulationsumgebung ebenso wichtig wie bei der Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen. Der Detaillierungsgrad der Simulationsmodelle leitet sich aus der Operational Design Domain ab. Bei der Festlegung von Detaillierungsebenen für Simulationsmodelle kann die in Arbeit befindliche ISO 11010-1 verwendet werden.

Ähnlich wie beim Fahrzeugentwicklungsprozess werden beim erweiterten Einsatz von Simulation auf Systemebene Integrationskompetenzen für das virtuelle Fahrzeug benötigt. Die Systemsimulation charakterisiert sich somit nicht

nur dadurch, dass die Subsystemmodelle valide sind, sondern dass die Simulation auf Systemebene valide ist. Aspekte wie eine numerisch korrekte Co-Simulation zwischen unterschiedlichen Werkzeugen und Modellen sowie die Integration von realen und virtuellen Komponenten spielen hier eine wichtige Rolle [7]. Die Validierung der Modelle und Werkzeugkette auf Systemebene liegt somit in der Verantwortung der Systemsimulation.

Für den Vergleich von Realität und Simulation werden spezielle Fahrscenarien definiert. Diese unterscheiden sich von den eigentlichen Szenarien, die zur Validierung der automatisierten Fahrfunktionen dienen. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen der Validierung des passiven Fahrzeugs (ausgeschaltete automatisierte Fahrfunktionen) und des aktiven Fahrzeugs (eingeschaltete automatisierte Fahrfunktionen).

Für den Vergleich von Realität und Simulation werden verschiedene Verfahren eingesetzt, zum Beispiel definierte Toleranzbänder für Zeitdaten [8], der Vergleich von Zustandsumschaltungen oder KPIs. Hinzu kommen statistische Analysen wie Regressionsanalysen.

METHODENANWENDUNG

Die vorgestellte Methode kann auf die UNECE R79 angewendet werden. Diese

Regelung beinhaltet beispielsweise Sicherheitsanforderungen an Lenkhilfe- und Assistenzsysteme (ADAS).

Ein Assistenzsystem ist die Automatically Commanded Steering Function (ACSF), die automatisch in die Lenkung eingreift, um den Fahrer während der Fahrt zu unterstützen. Die UNECE unterteilt ACSF in weitere Unterkategorien, wobei hier das Halten des Fahrzeugs innerhalb der gewählten Spur (B1) berücksichtigt wird. Für B1 sind folgende Szenarien definiert:

- Funktionsprüfung der Spurhalteunterstützung (UNECE R79 Anh. 8, 3.2.1 / Test 1)
- Prüfung der maximalen Querschleunigung (UNECE R79 Anh. 8, 3.2.2 / Test 2)
- Prüfung der Übersteuerungskraft (UNECE R79 Anh. 8, 3.2.3 / Test 3)
- Übergangsprüfung; Prüfung mit manueller Einwirkung (UNECE R79 Anh. 8, 3.2.4 / Test 4).

Jeder Test muss in vier Geschwindigkeitsbereichen (10 bis 60, 60 bis 100, 100 bis 130, >130 km/h) und mit definierten Minimal- und Maximalquerbeschleunigungen durchgeführt werden. Die automatisierte Fahrfunktion muss die entsprechenden Anforderungen für den gesamten Bereich erfüllen, woraus der Testplan entwickelt wird. **TABELLE 1** zeigt ein Beispiel für den endgültigen Testplan mit

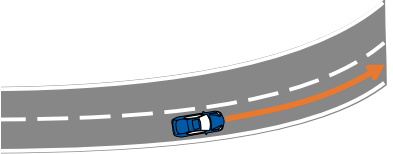
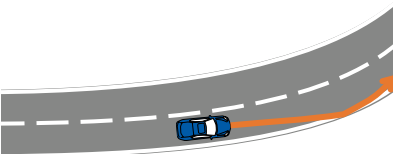
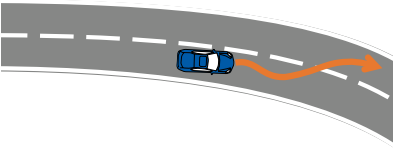

	Geschwindigkeitsbereich	Parameter Geschwindigkeit [km/h] zu verschiedenen Testinstanzen		
		Prüfgelände	Vehicle-in-the-Loop	Simulation
	Funktionsprüfung der Spurhalteunterstützung			
	0 bis 60 km/h	10, 50	10, 50	10, 20, ..., 60
	60 bis 100 km/h	70, 80	70, 100	70, 80, 90, 100
	100 bis 130 km/h	120	110, 120, 130	110, 120, 130
	> 130 km/h	140, 150	140, 170, 200, 210	140, 150, ..., 210
	Prüfung der maximalen Querbeschleunigung			
	0 bis 60 km/h	30	10, 30, 60	10, 20, ..., 60
	6 bis 100 km/h	90	90	70, 80, 90, 100
	100 bis 130 km/h	110	110, 130	110, 120, 130
	> 130 km/h	150	140, 150, 180, 210	140, 150, ..., 210
	Prüfung der Übersteuerungskraft			
	0 bis 60 km/h	30	10, 30, 60	10, 20, ..., 60
	60 bis 100 km/h	90	90	70, 80, 90, 100
	100 bis 130 km/h	110	110, 130	110, 120, 130
	> 130 km/h	150	140, 150, 180, 210	140, 150, ..., 210
	Übergangsprüfung; Prüfung mit manueller Einwirkung			
	Niedrige Geschwindigkeit	15	–	–
	Hohe Geschwindigkeit	130	–	–

TABELLE 1 Testplan und Szenarienparameterverteilung zu verschiedenen Testinstanzen [1] © TÜV Süd

den Szenarienparametern und der Verteilung auf geeignete Testinstanzen [1].

Um den Anforderungen der UNECE R79 zu entsprechen, wurde für jedes Szenario und jeden Geschwindigkeitsbereich ein realer Test durchgeführt. Zudem wurden für die Validierung der Modellqualität der virtuellen Tests weitere Realtests vollzogen. Die Methode Vehicle-in-the-Loop (ViL, zum Beispiel der AVL Drivingcube) ermöglicht es, sicherheitskritische Tests bei hohen Geschwindigkeiten einschließlich gesamter Signalkette und Verzögerungszeiten mit dem Fahrzeug in einer virtuellen Umgebung durchzuführen. Darüber hinaus können die Parametervariationen in einem weiten Bereich (unterschiedliche Geschwindigkeiten, Kurvenradien etc.) über ViL-Ansätze angewendet werden. Da die Simulation eine skalierbare Testmethode ist, wurden viele Parameterkombinationen auf diese Testinstanz verteilt. Dies dient auch der Vervollständigung der Testabdeckung.

Für die Sicherheitsbewertung des zu testenden Systems werden nachstehende Pass-/Fail-Kriterien verwendet:

- Test 1: Nichtüberfahren der Fahrbahnmarkierung, Querruck $\leq 5 \text{ m/s}^2$

- Test 2: Nichtüberschreitung der Querbeschleunigungsgrenzwerte sowie Querruck $\leq 5 \text{ m/s}^2$
- Test 3: Übersteuerungskraft des Systems $\leq 50 \text{ N}$
- Test 4: Optische und akustische Warnsignale sowie Systemabwurf des zu testenden Systems.

Nach den Einzeltests (Szenarienparameter und Testinstanzen) werden die Ergebnisse ausgewertet und zur Berechnung der vorgegebenen Durchlauf-/Fehlerkriterien verwendet. Das Endergebnis wird in einem detaillierten Bericht dokumentiert, der zukünftig für die Homologation verwendet werden kann [1].

ZUSAMMENFASSUNG

Für eine effiziente Validierung und Homologation von automatisierten Fahrfunktionen ist eine Kombination aus virtuellen und realen Tests sowie physikalischen Wirkungsprüfungen zwingend notwendig, um die Komplexität und Situationsvielfalt mit entsprechend hohem Maß abbilden zu können. Zwar bestehen noch keine heranziehenden internationalen Regularien für automatisierte Fahrfunktionen, aber es gibt laufende Aktivi-

täten zum Beispiel bei den Vereinten Nationen oder Allianzen wie IAMTS oder ASAM, die diesen Ansatz beinhalten.

LITERATURHINWEISE

[1] Gnandt, C.; Düser, T.: Homologation and Validation of Automated Driving Functions – It’s all about an efficient method and process. In: 8th Int. Symposium on Development Methodology, 2019
 [2] UNECE, Addendum 78: UN Regelung 79, 4. Edition, 2018
 [3] Düser, T.; Abdellatif, H.; Gutenkunst, C.; Gnandt, C.: Ansätze für die Homologation automatisierter Fahrfunktionen. In: ATZelextronik 14 (2019), Nr. 10, S. 54-60
 [4] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Pegasus-Projekt, 2019. Online: <http://www.pegasus-projekt.info/de/>, aufgerufen am 18.02.2019
 [5] Ponn, T.; Gnandt, C.; Diermeyer, F.: An Optimization-Based Method To Identify Relevant Scenarios For Type Approval Of Automated Vehicles. 26. ESV, 2019
 [6] Abdellatif, H.; Gnandt, C.: Einsatz der Simulation für die Homologation automatisierter Fahrfunktionen. In: ATZelextronik 14 (2019), Nr. 12, S. 70-73
 [7] Benedikt, M.; Watenig, D.; Zehetner, J.: Functional Development of Modern Control Units through Co-Simulation and Model Libraries. In: ATZelextronik worldwide 10 (2015), Nr. 3, S. 30-33
 [8] ISO/DIS 19365: Passenger cars – Validation of vehicle dynamic simulation – Sine with dwell stability control testing



DIESER BEITRAG IST IM E-MAGAZIN VERFÜGBAR UNTER:

www.emag.springerprofessional.de/atz