

## Hardware-in-the-Loop-Systeme

# ADAS/AD-Funktionen sicher validieren

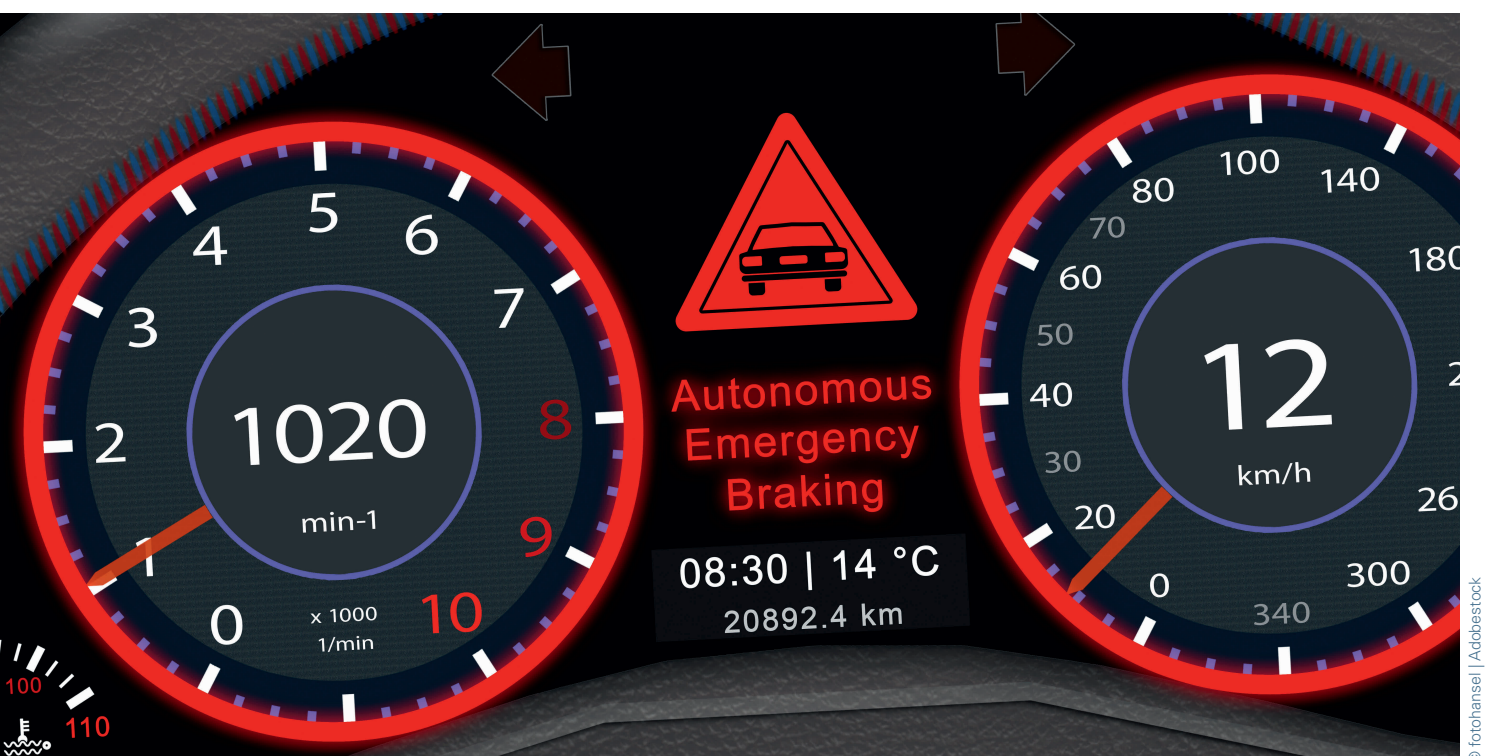
Die datenbasierte Weiterverwendung aufgezeichneter Testfahrten zur ADAS-Entwicklung und -Validierung hat sich als Validierungsmethode bewährt. Die synchrone Wiedergabe von Sensor-Rohdaten, Fahrzeug-BUS und Netzwerkinformationen spielt hier eine wichtige Rolle.

**Johann Führmann**

Das Vertrauen der Menschen in das automatisierte Fahren nimmt kontinuierlich zu. Nahezu 100 Prozent (99,8 Prozent) können sich vorstellen, ein automatisiertes oder autonomes Verkehrsmittel zu nutzen. Im Jahr 2020 lag die Zustimmung der Bundesbürger:innen zur künstlichen Intelligenz am Steuer bei 93 Prozent, davor waren es

lediglich 77 Prozent. 66 Prozent – also zwei Drittel, würden autonome Busse nutzen, 62 Prozent der Befragten können sich vorstellen in selbstfahrende Privat-Pkws, Mini-Shuttle-Busse oder in autonom fahrende Taxis einzusteigen. Das sind ausgewählte Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage unter 1.003 Personen ab 16 Jahren, die im Auftrag

des Digitalverbands Bitkom im Jahr 2021 von Bitkom Research durchgeführt wurde. Gleichwohl bleibt festzuhalten: Auch, wenn die Technologie zum autonomen Fahren in den vergangenen Jahren große Fortschritte erzielt hat, braucht es noch etwas Zeit, bis dieser Traum wahr wird.



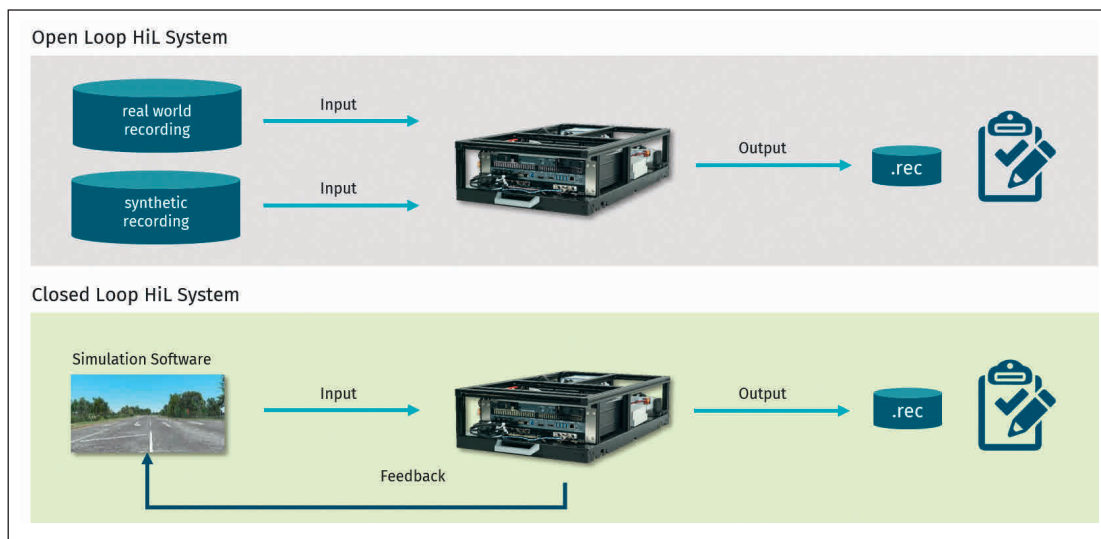
## Fünf Automatisierungsstufen

Am 20. Mai 2021 wurde vom Bundestag folgender Rechtsrahmen für das autonome Fahren verabschiedet: „Mit dem Gesetz werden die Voraussetzungen für den Einsatz autonomer, also fahrerloser Kraftfahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr im Regelbetrieb sowie im gesamten nationalen Geltungsbereich geschaffen – allerdings in

Stufe 3 beginnt das hochautomatisierte Fahren – das Fahrzeug ist hier in der Lage in bestimmten Verkehrssituationen oder über längere Strecken automatisiert zu fahren, unter der Voraussetzung, dass der Fahrer selbst jederzeit das Steuer wieder übernehmen kann. Von Stufe 1 bis 3 liegt folglich die Verantwortung im Schadensfall stets beim Fahrer selbst. Erst ab Stufe 4 könnte sich das Blatt wenden, weil

## Was bislang geschah

Teilautomatisierte Systeme (Stufe 2) gibt es bereits. Deren intelligente Assistenten können beschleunigen, das Steuer teilautomatisiert übernehmen und vor allem bremsen. Dass der technologische Fortschritt sich nicht aufhalten lässt, zeigt sich an der klaren Aussage des ersten deutschen Automobilherstellers, schon in diesem Jahr neue



**Bild 1: Ablauf eines Open- vs. Closed-Loop-HiL-Systems.**

© b-plus

durch die zuständigen Landesbehörden vorher festgelegten Betriebsbereichen.“ Damit sind ab sofort höhere Stufen des automatisierten Fahrens (Stufe 3 bis 5) im öffentlichen Verkehr zulässig. Selbstfahrende Fahrzeuge sind auf öffentlichen Straßen also grundsätzlich erlaubt, die örtlichen Behörden müssen nur festlegen, auf welchen Straßenabschnitten und unter welchen Voraussetzungen, wie etwa Tageszeit oder Einsatzszenarien, die neue Technologie ab sofort eingesetzt werden darf.

Bei der Automatisierung von Fahrzeugen werden fünf Stufen (Level) unterschieden. Die Stufe 1 beschreibt das assistierte Fahren. Hierzu gehören Assistenzsysteme wie aktive Geschwindigkeitsregelung sowie Abstandsregelung und Bremsfunktionen. Mit der Stufe 2 ist das teilautomatisierte Fahren möglich. Zu den bereits etablierten Assistenzsystemen kommen Lenk- und Spurführungs- und Stauassistenten hinzu. Diese können automatisch beschleunigen und bremsen und sogar das Steuer zum Teil übernehmen. Auch intelligente Einparksysteme, wie für enge Parkbuchten, gibt es schon. Ab

dann technisch gesehen von einem vollautomatisierten Fahren gesprochen werden kann. Dabei brauchen sich die Insassen eines Fahrzeugs zu keiner Zeit auf den Verkehr zu konzentrieren. Sie können während der Fahrt die digitalen Unterhaltungsmöglichkeiten konsumieren, schlafen oder im Mobile Office arbeiten. Das System verfügt infolgedessen über die Autorität, das Fahrzeug in einem stabilen Zustand zu halten und etwa in einer gefährlichen Verkehrssituation sofort anzuhalten. Getoppt werden kann das nur noch durch intelligente Fahrzeuge, die ohne Insassen an Bord fahren und jede erdenkliche Verkehrssituation vorausschauend und fehlerfrei meistern. Kurzum: Das Fahrzeug übernimmt alle Fahrfunktionen und berücksichtigt zugleich das Verhalten aller anderen Verkehrsteilnehmer. Ist das der Fall, ist schließlich die Stufe 5 erreicht – das autonome Fahren. Ein gutes Beispiel hierfür sind Robotaxis, die als selbstfahrende Autos mehrere Fahrgäste abholen, und diese sicher von A nach B bringen. Doch wie ist der entwicklungstechnische Status-Quo?

Modelle der Stufe 3 anbieten zu wollen. Darüber hinaus gehen viele Experten aus der Industrie davon aus, dass Fahrzeuge der Stufe 4 bereits in den Jahren 2024 und 2025 auf den Markt gebracht werden. Ein technologischer Treiber ist hierfür die datenbasierte Weiterverwendung aufgezeichneter Testfahrten für das automatisierte Fahren (AD) sowie zur Entwicklung und Validierung moderner Fahrerassistenzsysteme (ADAS). Diese hat sich als Validierungsmethode bislang gut bewährt. Der Ansatz ist wirtschaftlich und nachhaltig zugleich und kann durch Hardware-in-the-Loop-Systeme (HiL-Systeme) für Umfeldsensorik und ADAS-Plattformen zeitnah und sicher umgesetzt werden. Neben der Fähigkeit zur Wiedergabe großer Datenmengen braucht es hierfür ebenso offene Programmierschnittstellen (API).

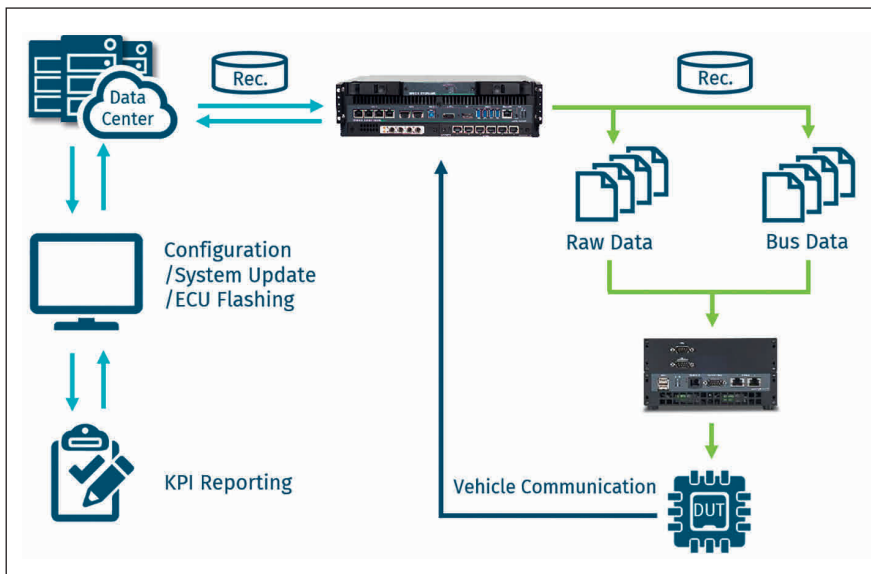
## Open Loop versus Closed Loop

Im Kern geht es um die zügige Optimierung neuprogrammierter Algorithmen im Entwicklungs- und Validierungsprozess. Mit HiL-Systemen für Sensor-

Technologien wie Radar, Lidar, Kamera und ADAS-Plattformen ist das möglich, weil diese die datenbasierte Weiterverwendung aufgezeichneter Sensorrohdaten aus Testfahrten sicherstellen. So kann die kontinuierliche Neu- und Weiterentwicklung eines komplexen und intelligenten Steuergerätes (Electronic Control Unit, ECU), kurz Prüfling oder auch Device under Test (DUT) genannt, in einem sehr hohen Tempo einfach

mit einem Open-Loop- und letzteres mit einem Closed-Loop-System testen. Beide Methoden bekommen den „Ist-Lenkwinkel“ als Eingangssignal und geben einen „Soll-Lenkwinkel“ aus. Lediglich im Closed-Loop-Betrieb hat das Ergebnis einen direkten Einfluss auf die Simulation. Im Beispiel Spurhalteassistent löst der „Soll-Lenkwinkel“ einen aktiven Lenkeingriff aus, wobei sich die Simulation unmittelbar anpasst.

Data Replay (Raw Data Replay) einer realen Testfahrt oder einer simulierten Umgebung. In diesem Testumfeld sind Open-Loop-Systeme wesentlich kostengünstiger als Closed-Loop-Systeme. Bei Ersterem können die aufgezeichneten Testfahrten (Recordings) immer wiederverwendet werden. Letztere benötigen dagegen eine Simulationsumgebung. Darüber hinaus kommen sowohl Open-Loop- als auch Closed-Loop-Systeme beim Testen eines Steuergerätes zum Einsatz. Erstere greifen nicht direkt in die Fahrfunktion ein. Bei Closed Loop-Systemen haben die Signale des zu prüfenden Sensors hingegen einen direkten Einfluss auf die Simulation selbst. Auch wichtig zu wissen: Bei Open-Loop-Systemen können die Recording-Daten aus einer Speichereinheit kommen, respektive lokal vorliegen. Alternativ kann das Beziehen der Recording-Daten aus der Cloud oder dem Datacenter stattfinden, während bei Closed Loop immer der Verbindungsaufbau mit der relevanten Simulations-Software ausschlaggebend ist. Infolgedessen werden Software-Bausteine immer relevanter, APIs sorgen zudem für den Zugang zur hauseigenen und fremden Hardware auf Seiten der Sensorhersteller. All das gilt für Sensorvalidierung, Systemvalidierung und Plattformvalidierung gleichermaßen. Der Schwerpunkt verlagert sich dabei immer stärker auf vernetzbare und kundenspezifische Software-Bausteine – alles in Kombination mit bewährter Hardware.



**Bild 2: HiL-Ablauf mit Datacenteranbindung und Key Performance Indikator (KPI) Reporting**

© b-plus

fortgeführt werden. Dabei gilt es zwischen HiL-Systemen mit einem offenen und einem geschlossenen Regelkreis zu unterscheiden. Erstere werden auch Open-Loop-Systeme, letztere als Closed-Loop-Systeme bezeichnet.

Testet man zum Beispiel einen Spurhalteassistenten, dann ist es entscheidend, ob es sich hierbei um ein Spurhaltewarnsystem (Emergency Lane Departure Warning System, LDWS) oder einen aktiven Spurhalteassistenten (Lane Centering Assist, LCA) handelt. Der Unterschied besteht darin, ob der Assistent den Fahrer nur warnt (LDWS) oder direkt in die Fahrzeuglenkung (LCA) eingreift. Für das Testszenario bedeutet das einen großen Unterschied. Bei einem warnenden System muss nur getestet werden, ob die Abweichungen von der Spur erkannt werden. Im Gegensatz dazu muss bei einem eingreifenden System das Ausgangssignal fehlerfrei übergeben werden, weil eine direkte Rückwirkung auf die Simulation erfolgt. Ersteres lässt sich

Während bei Open-Loop-HiL-Systemen ein synthetisches oder reales Recording für die Testzwecke ausreicht, benötigt man für die Closed-Loop-Variante eine leistungsstarke Simulationsumgebung (**Bild 1**). Dadurch kann getestet werden, ob der Lenkeingriff auch zuverlässig durchgeführt werden kann.

### Data Driven Software Development

Um das Vertrauen des Menschen in ADAS/AD-Systeme auch weiterhin zu stärken, ist die Absicherung von Qualität und Validierung unter Verwendung präziser Prüf- und Testsysteme für moderne Sensorik unverzichtbar. Die b-HiL Hardware ist in diesem Zusammenhang ein multifunktionales Entwicklungswerkzeug für Testingenieure im ADAS-Umfeld sowie eine Hardware-Einheit, die in der CONiX HiL Solution zum Einsatz kommt. Der Hauptpart des b-HiL ist es, Datenströme zu emulieren. Diese Daten kommen aus einem

### Kundenspezifische Anforderungen

Es gibt viele Prüf- und Testsysteme, die heute im Einsatz sind. Ein Grund hierfür ist, dass zum Beispiel ein Notbremsassistent, Objekte frühzeitig erkennen sollte. Mit den Lösungen der b-plus automotive werden genau solche Steuergeräte von verschiedenen Sensorherstellern validiert. Fakt ist: Sensorhersteller wünschen sich verlässliche Systeme, möchten durch HiL-Systeme die Anzahl an realen Testfahrten so gering wie möglich halten, um damit effektiv Entwicklungskosten zu sparen. Auch die schnelle Verfügbarkeit solcher Prüf- und Testsysteme sowie auch der bereits erbrachte Nachweis zur Zuverlässigkeit jener Systeme sind kritische Er-

folgsfaktoren. Wie überall gilt auch hier das Vier- oder Mehraugen-Prinzip für die Qualitätssicherung: Aus diesem Grund gibt es ein Entwickler-Team für das Steuergerät (Sensor) sowie ein Team, das den Sensor anschließend auf seine Funktionsfähigkeit prüft. Abweichungen oder sogar Fehler bei der notwendigen Validierung entstehen schließlich, wenn das HiL-System (Hardware) nicht funktioniert. Die anschließende Fehlersuche beim zu prüfenden Steuergerät wird sodann sehr aufwendig und bedeutet einen höheren Zeitaufwand. Deshalb bietet b-plus einen programmierten HiL-Aufbau nach der jeweiligen spezifischen Anforderung des Kunden. Dabei werden stets Zuverlässigkeit und Funktionsfähigkeit des Systems ab einer vorab definierten Schnittstelle garantiert. Das verhindert vor allem eines: Lange Validierungsprozesse. Ein weiterer sowie kritischer Erfolgsfaktor lässt sich unter dem Terminus High Fidelity zusammenfassen. Das heißt konkret: Die Prüf- und Testsysteme müssen im Bereich Recording vor allem durch eine hohe Wiedergabetreue überzeugen. Das bedeutet, dass bei der Rohdateneinspeisung insbesondere auf die Zeitsynchronisierung (Time Synchronization) von Bus- und Rohdaten fortwährend geachtet werden muss. Die b-plus automotive unterstützt hier mit einem leistungsfähigen Support. Das gilt in Zukunft auch für Closed-Loop mit Simulationsumgebung und Betrieb von Experten im Datacenter (**Bild 2**).

## Zeitsynchrone Wiedergabe von Sensor-Rohdaten

Um die Bedürfnisse und Anforderungen von Sensorherstellern im Bereich Test- und Prüfsysteme im ADAS-Umfeld zu erfüllen, bietet b-plus die CONiX HiL Solution. Anstelle von realen Testfahrten setzt man zudem immer öfter auf Simulationen, die helfen sollen, dass „Device under Test“ (DUT) in Echtzeit zu prüfen und weiterzuentwickeln. Erst wenn in diesem Testschritt tatsächlich alle Fehler behoben und alle Funktionen ausreichend geprüft wurden, erfolgt der finale Test mit einem Fahrzeug, erneut auf der Straße. Die CONiX HiL Solution lässt sich in vorhandene Tools und -prozesse nahtlos integrieren und ermöglicht die zeitsynchrone Wiedergabe von Sensor-Rohdaten, Fahrzeug-BUS und Netzwerkinformationen. Dabei unterstützt die skalierbare Lösung gängige Sensortechnologien wie Radar-, Lidar-, und Kamerasensoren. Als Physical Layer werden außerdem und u.a. CSI2, GSML2 und FPD-III befördert. Abgerundet wird der Funktionsumfang durch die Simulation der Fahrzeugkommunikation über CAN (FD) und Automotive Ethernet mit den dazugehörigen Protokollen. Fernab dessen, können große HiL-Systeme in externen Rechenzentren ausgelagert und per Cloud-Anbindung bedient werden. ■ (eck)

[www.b-plus.com](http://www.b-plus.com)



Anfang des Jahres 2000 begann **Johann Führmann** als Softwareentwickler für radar- und kamerabasierte ADAS-Sensoren. Bald darauf verlagerte sich sein Schwerpunkt auf HiL-Systeme für ADAS-Steuergeräte. Er arbeitet derzeit als Business Developer bei b-plus. © b-plus