



© IPG Automotive GmbH

## Virtuelle Realität im Fahr Simulator

Die Simulation ist ein zentrales Werkzeug im Entwicklungsprozess moderner Assistenzsysteme. Durch die Einbindung des Fahrers in die Simulationsschleife können technische Performance und Mensch-Maschine-Interaktion realitätsnah und reproduzierbar getestet werden. IPG Automotive beschreibt einen Driver-in-the-Loop-Ansatz, der ein frühzeitiges Feedback und die sichere Bewertung kritischer Szenarien ermöglicht, ohne auf einen physischen Prototyp angewiesen zu sein.

Um reale Fahrerlebnisse in einer virtuellen Umgebung möglichst realistisch nachzubilden, wird der Fahrer über verschiedene Methoden direkt in die Simulationsschleife eingebunden. So entsteht eine natürliche Interaktion mit dem virtuellen Fahrzeug und dessen Umgebung unter praxisnahen Bedingungen. Für die subjektive Auswertung in klassischen Anwendungsfällen der Simulation wie der Bewertung des Fahrverhaltens oder der Antriebsstrangentwicklung ist der Driver-in-the-Loop (DiL)-Ansatz unerlässlich [1]. Er erlaubt die direkte Bewertung subjektiver Eindrücke und bildet gleichzeitig die Grundlage für die Ableitung objektiver Leistungskennzahlen, die sich in Offlinetests weiterverwenden lassen.

### KOMPLEXE INTERAKTIONEN REPRODUZIEREN

Die Simulation hat sich in der modernen Fahrzeugentwicklung als zentrales Werkzeug etabliert. Sie ermöglicht die Prüfung und Validierung unter kontrollierten, reproduzierbaren Bedingungen. Mit einer Simulationsplattform wie Car-Maker von IPG Automotive lassen sich virtuelle Fahrversuche von der frühesten Entwicklungsphase bis hin zur Validierung im Gesamtfahrzeug durchführen.

Das zu testende System wird in eine konfigurierbare virtuelle Umgebung eingebettet, in der sich Fahrscenarien realistisch abbilden lassen. Ein zentraler Vorteil liegt in der Möglichkeit, die komplexe Interaktion zwischen Fahrzeug,

Fahrer, Straße und Umgebung reproduzieren zu können. Modelle für Straßennetze, Verkehrsteilnehmer, Wetterbedingungen und Fahrerverhalten können kombiniert werden und erlauben die Bewertung der Systemperformance in einer Vielzahl von Szenarien – einschließlich seltener oder kritischer Grenzfälle, die in der realen Welt nur schwer oder unter hohem Risiko reproduziert werden könnten. Durch das Entkoppeln der Testdurchführung von realen Prototypen sowie dem Prüfgelände trägt die Simulation zu effizienteren und skalierbaren Entwicklungsstrategien bei.

Damit der Fahrer sinnvoll mit einer solchen Umgebung interagieren kann, muss diese zunächst überzeugend simuliert werden. Für Bildarstellungen leis-

## VERFASST VON



**Tim Sherrington**

ist Application Engineer und Driving Simulator Specialist bei der IPG Automotive UK Ltd in Solihull (Vereinigtes Königreich).



**Verena Wolf**

ist Manager Strategic Marketing bei der IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.



**Henning Kemper**

ist Specialist Editor bei der IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.

ten 3-D-Visualisierungen einen wichtigen Beitrag zur Realitätstreue von Objekten. Eine verbesserte Visualisierung von Objekten in einem simulierten Verkehrsszenario führt beispielsweise zu einem erhöhten Realismus, wie **BILD 1** zeigt, in dem Movie NX mit seinem Vorgänger IPGMovie verglichen wird.

Die Visualisierungsmethoden wurden im Lauf der Zeit deutlich verbessert und haben sich zunehmend dem Bereich des sogenannten Uncanny Valley („Unheimliches Tal“) genähert, in dem virtuelle Elemente fast real erscheinen, aber durch kleinere Unstimmigkeiten immer noch minimal künstlich wirken. Fahrer nehmen dabei weniger die Detailtreue einzelner Objekte wahr, sondern reagieren empfindlich auf inkonsistente oder unrealistische Elemente. Zunehmend ist es nicht mehr die grafische Darstellung, die die Immersion begrenzt, sondern die physikalische Bewegung innerhalb der Szene.

In vielen Simulationen werden Fahrzeuge im Verkehr auf realistische Weise dargestellt, verhalten sich aber dynamisch nicht überzeugend. Es fehlen dynamische Reaktionen wie Rollen, Nicken oder plausible Wechselwirkungen mit der Fahrbahn, was die Glaubwürdigkeit der Szene und das immersive Erlebnis beeinträchtigt. Durch die Verwendung der physikalisch-basierten Simulation in CarMaker lassen sich diese Bewegungen präzise abbilden. Verkehrs-

teilnehmende reagieren so, wie sie es in der realen Welt tun würden. Dieser physikalische Realismus ist auch für die technische Genauigkeit relevant: Um Sensoren und ihr Zusammenspiel mit der Umgebung korrekt nachzubilden, muss die zugrundeliegende Physik das Verhalten realistisch widerspiegeln.

## VORTEILE DER IMMERSIVEN SIMULATION

Neben klassischen Entwicklungsaufgaben eignet sich der DiL-Ansatz auch zur Evaluierung von Funktionen aus Fahrersicht, etwa Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS). Bereits in frühen Entwicklungsphasen lässt sich damit beurteilen, ob eine neue Funktion einen realen Mehrwert bietet. DiL-Simulationen finden zudem zunehmend Anwendung bei Untersuchungen des Fahrerhaltens. Hier können beispielsweise Übergänge beim automatisierten Fahren nach SAE-Level 3 untersucht werden, um festzustellen, ob Laien intuitiv auf Kontrollübergaben vom Fahrzeug an den Fahrer und zurück reagieren.

Während sich elektronische Steuergeräte oder andere Hardware relativ unkompliziert in eine Simulationsumgebung integrieren lassen, ist die Nachbildung der Fahrerschnittstelle komplexer, da Sinneseindrücke einbezogen werden müssen. Im Gegensatz zu Hardware-in-



**BILD 1** Der Entwicklungsfortschritt vom Vorgänger IPGMovie (links) zum aktuellen Movie NX (rechts) bei der fotorealistischen Visualisierung (© IPG Automotive GmbH)

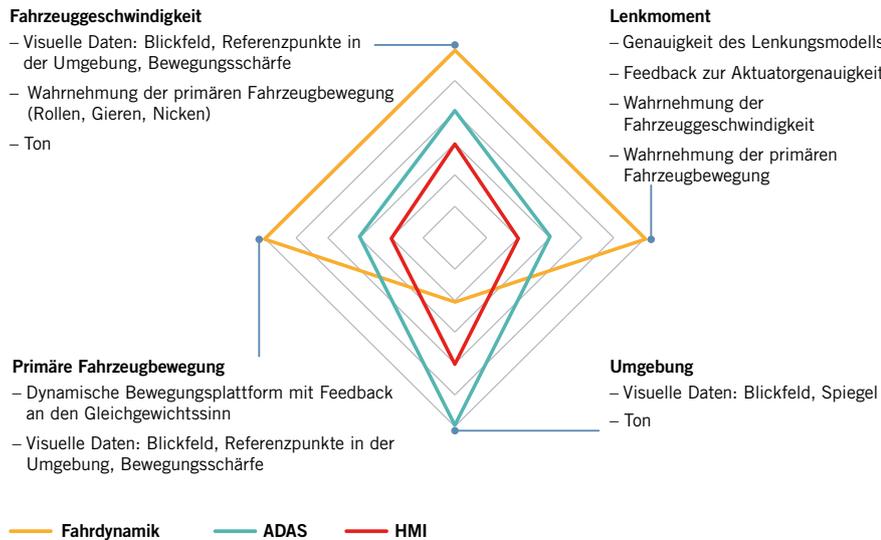


BILD 2 Anforderungen an die DiL-Simulation (© IPG Automotive GmbH)

the-Loop(HiL)-Systemen, die beispielsweise über den CAN-Bus und physische Sensoren kommunizieren, zielt der DiL-Aufbau für eine realistische immersive Erfahrung auf eine direkte Stimulation der menschlichen Sinne ab.

Anstatt Daten in Steuergeräte einzuspeisen, übermitteln DiL-Systeme Rückmeldungen in Echtzeit an den menschlichen Fahrer – visuell, haptisch, akustisch und über den Gleichgewichtssinn. Visueller Input wird über hochauflösende Bildschirme oder Virtual-Reality (VR)-Brillen erzeugt. Haptisches Feedback, etwa das Lenkmoment, wird über eine präzise Lenkungsschnittstelle reproduziert. Motor- und Umgebungsgeräusche werden akustisch nachgebildet, während eine Bewegungsplattform die fahrdynamischen Kräfte physisch erfahrbar macht.

Die Fahrzeugentwicklung profitiert stark von diesen immersiven Simulationmethoden. Funktionale Tests und subjektive Feinabstimmungen können deutlich früher erfolgen. Somit kann die Qualität des Prototyps verbessert werden, lange bevor ein realer Aufbau zur Verfügung steht. Auch sicherheitskritische Szenarien lassen sich risikofrei abbilden. Kurze Iterationszyklen werden durch schnelle A-B-A-Vergleichstests unterstützt, bei denen Parameter wie Federraten in Echtzeit angepasst und bewertet werden können – ohne Verzögerung durch Umbauten.

Ein weiterer Vorteil ist die Reproduzierbarkeit. Anders als reale Tests bietet

die virtuelle Umgebung konsistente Bedingungen und die volle Kontrolle über Fahrzeugspezifikationen. So werden verlässlichere Vergleiche und Entwicklungsergebnisse gewährleistet. Zusätzlich ermöglicht die Simulation die effiziente Demonstration konzeptioneller Ansätze, ohne maßgeschneiderte physische Prototypfahrzeuge für jeden Testfall herstellen zu müssen.

**TECHNISCHE UMSETZUNG**

Wie alle Simulationswerkzeuge sollte auch ein Fahrsimulator dem Grundsatz der zweckorientierten Modellgüte (Purpose Driven Fidelity) folgen. Der Detailgrad von Hardware und Software wird dabei am Anwendungsfall ausgerichtet. Wird beispielsweise eine Spurhaltefunktion im ADAS-Kontext bewertet, ist ein vollständiger Powertrain-in-the-Loop-Aufbau meist nicht erforderlich. Bei der Software können hochauflösende 3-D-Objekte helfen, die subjektive Wahrnehmung der Geschwindigkeit zu verbessern. Für die präzise Simulation der Bremspedalrückmeldung hingegen kann ein detailliertes Bremsenmodell entscheidend sein.

Auf der Hardwareseite gilt das gleiche Prinzip: Untersuchungen zum Fahrverhalten erfordern eine hochpräzise Bewegungsplattform. Liegt der Fokus jedoch auf schnittstellenrelevanten Elementen, also einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human-Machine Interface, HMI), ist eine solche Plattform nicht zwingend

erforderlich. Diese gezielte Differenzierung stellt sicher, dass der Simulator effizient und zweckmäßig eingesetzt wird.

BILD 2 zeigt die unterschiedlichen Anforderungen an die DiL-Simulation für die verschiedenen Domänen Fahrdynamik, ADAS und HMI und verdeutlicht die Notwendigkeit eines maßgeschneiderten Simulationsaufbaus in Abhängigkeit vom jeweiligen Entwicklungsfokus.

In klassischen Simulatoren mit herkömmlichen Bildschirmen begrenzt die Bildschirmgröße das Blickfeld des Fahrers. Um ein 90°-Blickfeld zu realisieren, ist eine physisch große Bildschirmfläche notwendig, BILD 3.

VR-Brillen in Fahrsimulatoren ermöglichen ein immersives Erlebnis simulierter Umgebungen und bieten dabei zahlreiche technische und praktische Vorteile, beispielsweise das natürliche, weite Blickfeld in einem kompakten Testaufbau. Durch die dynamische Projizierung des Blickfelds bei jeder Kopfbewegung wird die immersive Erfahrung intensiviert. Der stereoskopische 3-D-Blick erlaubt auch eine echte Tiefenwahrnehmung und erhöht den Realismus deutlich. Dank der mobilen Bauweise können Simulationen sogar am Schreibtisch durchgeführt werden. Zudem können mehrere Nutzer gleichzeitig dieselbe Simulation erleben. Insbesondere für Training, Evaluierung oder gemeinschaftliche Abstimmung im Entwicklungsprozess ist dies entscheidend.

Der Aufbau des DiL-Simulators richtet sich nach dem gewünschten Grad an Immersion und Rechenleistung. In einfachen Konfigurationen laufen alle Komponenten auf einem einzigen PC. Komplexe Konfigurationen nutzen ein Verteilungssystem, in dem zusätzliche Grafikrechner einzelne Blickfelder abdecken und so Umgebungen mit mehreren Bildschirmen ermöglichen. VR-Umgebungen können in eine Konfiguration mit mehreren PCs integriert werden. Dieser modulare Aufbau unterstützt die Integration von Hardwarekomponenten und ermöglicht den Einsatz über alle Entwicklungsphasen hinweg, BILD 4.

Je nach Anwendung kommen unterschiedliche technische Konfigurationen zum Einsatz. Beispielsweise werden bei der Vehicle-in-the-Loop(ViL-)Methode VR-Brillen oft mit Basisstationen verwendet, um eine präzise räumliche Ortung zu gewährleisten. Kabellose VR-Brillen

# Thermomanagement: Technologietrends scouten und verstehen

**Bei elektrifizierten Fahrzeugen ist das Thermomanagement entscheidend für Effizienz und Leistungsfähigkeit des Antriebsstrangs. Eine kostenfreie Web-App aus Baden-Württemberg unterstützt dabei, wichtige Technologieentwicklungen in modernen Pkw und Lkw einzuschätzen und Trends frühzeitig aufzugreifen.**

Die Optimierung bestehender und die Entwicklung neuer technologischer Lösungen zur Temperierung eröffnet Unternehmen der Automobilindustrie entlang der gesamten Wertschöpfungskette Wettbewerbsvorteile. Das Wissen um aktuelle Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung (FuE) und um Technologietrends ist wichtige Voraussetzung für die Entwicklung technologisch überlegener Produkte. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) besitzen oft keine eigenen Abteilungen für Trendscouting und Technologiemonitoring. Genau hier setzt eine kostenfreie Web-App aus Baden-Württemberg an und zeigt, wie weit Fahrzeugtechnologien entwickelt sind und wie schnell ihre Industrialisierung ist.

## Kostenlose Web-App zu Mobilitätstechnologien

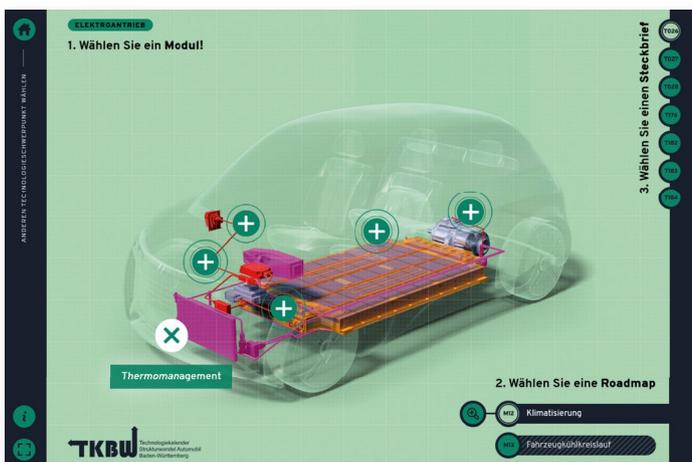
Die Web-App „Technologiekalender Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg“ bietet Informationen zu relevanten technologischen Entwicklungen in den Feldern Elektrifizierung, Automatisierung und Vernetzung von Pkw und Lkw. Aktuell umfasst sie einen Modulkatalog mit 47 Technologie-Roadmaps sowie über 220 Technologiesteckbriefe, die über Delphi-Methoden und Experteninterviews verifiziert werden. Die Web-App wird von der Landesagentur e-mobil BW sowie ihrer Anlaufstelle für KMU, Transformationswissen BW, zur Verfügung gestellt. Die Inhalte wurden durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. – Institut für Fahrzeugkonzepte erstellt und werden regelmäßig aktualisiert.

## Technologiereifegrade im Thermomanagement

Leistungsparameter, wie Ladeleistung, Lebensdauer und Komfort von elektrifizierten Fahrzeugen, hängen stark vom Thermomanagement ab. In der Web-App werden detailliert 35 Schlüsseltechnologien aufgezeigt, die Teil aktueller FuE-Aktivitäten im Pkw- und Lkw-Segment sind: Vom integrierten und prädiktiven Thermomanagement über Latentwärmespeicher und Wärmepumpen mit Dampfeinspritzung bis hin zu beheizbaren Textilien und Flächenheizungen mit Carbon Nano Tubes.

Per Klick lassen sich die jeweiligen Vorteile und Ziele der Technologie, derzeitige Hemmnisse der Entwicklung, konkurrierende Technologien, den jeweiligen Einsatzbereich im Pkw oder Lkw sowie eine Zuordnung zu relevanten Kompetenzen anzeigen. Eine Roadmap für jede Einzeltechnologie visualisiert die erwartete zeitliche Entwicklung von Technologiereifegraden (TRL, Technology Readiness Level) und Produktionsreifegraden (MRL, Manufacturing Readiness Level). Zudem werden vergleichend weitere Entwicklungen im Themenfeld dargestellt.

Autorenteam: Benjamin Frieske (benjamin.frieske@dlr.de), Jonas Peschke (jonas.peschke@dlr.de) und Anja Krätschmer (anja.kraetschmer@e-mobilbw.de)



Jetzt Web-App starten:  
[www.tkbw.transformationswissen-bw.de](http://www.tkbw.transformationswissen-bw.de)

und sog. Behältnismodelle genutzt. Entsprechende Normen aus dem Bahnbereich beschreiben bereits Oberflächentemperaturen und CO<sub>2</sub>. Die Technologien T182 (Beheizbare Textilien) und T183 (Flächenheizung mit Carbon Nano Tubes) werden

bieten einen erweiterten Bewegungsradius und erlauben es dem Fahrer, das simulierte Fahrzeug zu verlassen, um mit der virtuellen Umgebung zu interagieren.

**ANWENDUNGSFÄLLE**

Die DiL-Simulation mit CarMaker deckt ein breites Spektrum an Anwendungsfällen ab und kann bereits in frühen Entwicklungsphasen verwendet werden, um das Fahrverhalten direkt zu evaluieren. Auch die Definition objektiver Evaluierungskriterien basierend auf den Eindrücken des Fahrers sind möglich. Besonders für Anwendungen aus dem Fahrdynamikbereich ist dies relevant, da automatisierte Tests die nuancierte menschliche Reaktion nicht vollständig abbilden können.

Auch in der Entwicklung und Validierung von HMI-Systemen spielt die DiL-Simulation eine Schlüsselrolle. Mit steigenden Anforderungen an Bedienkonzepte, etwa durch Vorschriften zu Touch- und Spracheingaben, wird die Evaluierung der Fahrerinteraktion mit dem System unter realitätsnahen Fahrbedingungen immer wichtiger. Funktionen, die im statischen Cockpit intuitiv wirken, können im realen Fahrkontext ablenken oder nicht intuitiv zu bedienen sein, besonders in komplexen Verkehrssituationen oder unbekanntem Umgebungen. Die DiL-Methode erlaubt hier eine realistische und reproduzierbare Erprobung unter kontrollierten Bedingungen.

Ein weiterer Fokus liegt auf der Blickfeldbewertung aus dem Fahrzeug. DiL-Simulationen ermöglichen die Untersu-



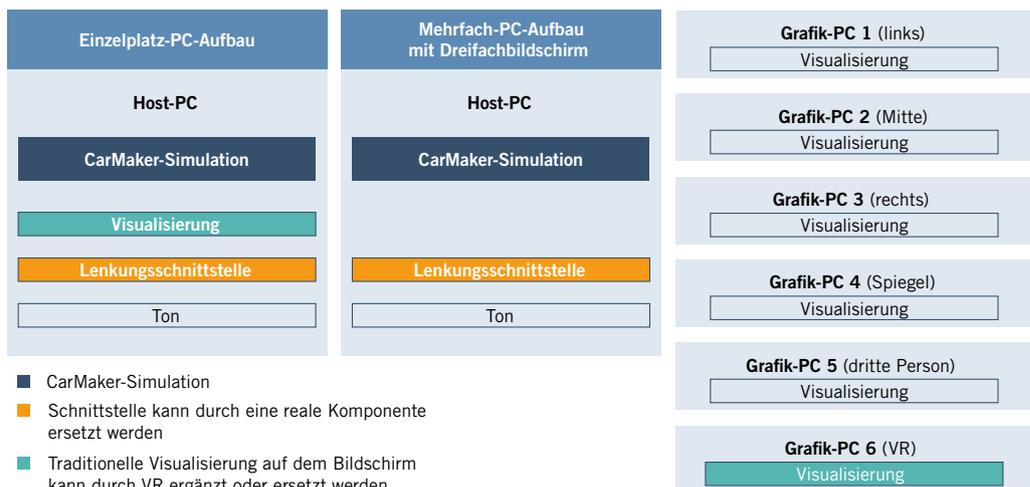
**BILD 3** Unterschiedliche Blickfelder im DiL-Simulator bei verschiedenen Bildschirmdiagonalen (43, 49 und 65 Zoll) und unterschiedlichen Abständen zum Bildschirm (70 und 120 cm) (© IPG Automotive GmbH)

chung von Sichteinschränkungen, wie etwa breite A-Säulen, sowie von Sichtbarkeiten von Personen beziehungsweise Objekten beim Rückwärtsfahren oder Abbiegen. VR-Komponenten erhöhen den Realitätsgrad, indem sie Kopfbewegungen und räumliche Wahrnehmung mit einbeziehen. Dies ist insbesondere für ergonomische Designbewertungen und sicherheitskritische Sichtprüfungen entscheidend.

Zugleich erfordert jeder Anwendungsfall eine spezifische Konfiguration des Simulators: Für die HMI-Bewertung sind ein realitätsnahes Cockpit und authentische Bedienelemente erforderlich, beispielsweise Spiegel. Für Untersuchungen

des Fahrgefühls sind eine feinauflösende Bewegungsplattform und ein exaktes Modell der Fahrbahnoberfläche unerlässlich, um fehlerfreies Feedback und Testvalidität zu gewährleisten. Durch die flexible Kombination aus CarMaker, VR-System und modularer Hardware lassen sich individuelle Aufbauten für unterschiedliche Entwicklungs- und Evaluierungsschwerpunkte umsetzen. Neben subjektiven Bewertungen unterstützt die DiL-Simulation auch die funktionale Absicherung: Zwar sind vordefinierte Testläufe und Testmanager sehr effektiv für die Überprüfung bekannter Fehlerbilder, doch kleinere Abweichungen oder neuartige Probleme lassen sich häufig

**BILD 4** Allgemeiner technischer Aufbau des DiL-Simulators (© IPG Automotive GmbH)



nur im interaktiven Fahrversuch identifizieren – ein entscheidender Vorteil des DiL-Ansatzes.

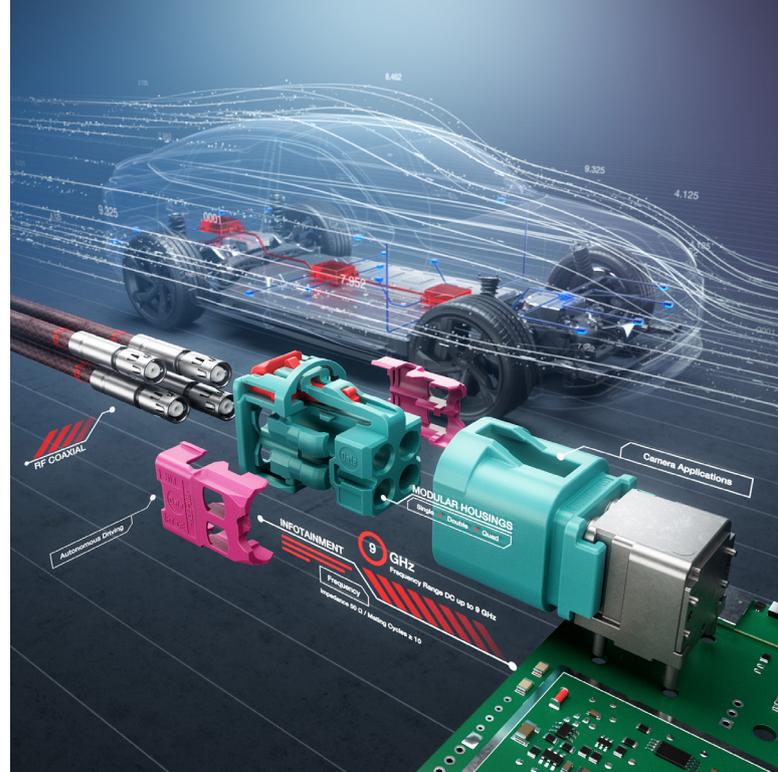
## FAZIT

Die Driver-in-the-Loop-Simulation ist ein zentraler Bestandteil der modernen Fahrzeugentwicklung. Sie ermöglicht realitätsnahe, kontrollierte und reproduzierbare Tests von Fahrzeugsystemen und Fahrerinteraktionen ohne den Einsatz physischer Prototypen. Durch die Einbindung des menschlichen Fahrers in die Simulationsschleife können Entwicklungsteams die subjektiven Eindrücke bewerten, neue Funktionen für HMI und ADAS evaluieren und das Fahrerverhalten in kritischen Szenarien beobachten.

Mit CarMaker steht eine skalierbare, modulare Simulationsumgebung zur Verfügung, die unterschiedliche Aufbauten vom Desktop-VR-System bis hin zu vollumfänglichen Bewegungsplattformen unterstützt. Diese immersiven Simulationen erhöhen die Effizienz, Genauigkeit und Sicherheit. Damit ist der DiL-Ansatz über alle Entwicklungsphasen hinweg ein unverzichtbares Werkzeug.

## LITERATURHINWEIS

[1] Thommyppillai, M.; Sherrington, T.: Optimizing MiL/SiL Models Used in DiL Applications & Benefits of Vehicle Dynamics Models in ADAS Applications. Vortrag, Open House UK, Warwickshire, 24. September 2024



RMC® – ROSENBERGER MINI-COAX

## Modulares Mini-Coax-Steckverbindersystem zur High-Speed-Datenübertragung im Fahrzeug

Entwickelt für die hohen Anforderungen moderner Fahrzeug- und Kommunikationstechnologien.

- Datenübertragung im Frequenzbereich von DC bis 9 GHz
- Modularer Baukasten
- Hohe Leistungsfähigkeit
- Platzsparendes Design
- Maximale Flexibilität

RMC® wird bereits von namhaften und führenden Automobilherstellern eingesetzt.



[www.rosenberger.com/rmc](http://www.rosenberger.com/rmc)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:  
[www.atz-worldwide.com](http://www.atz-worldwide.com)