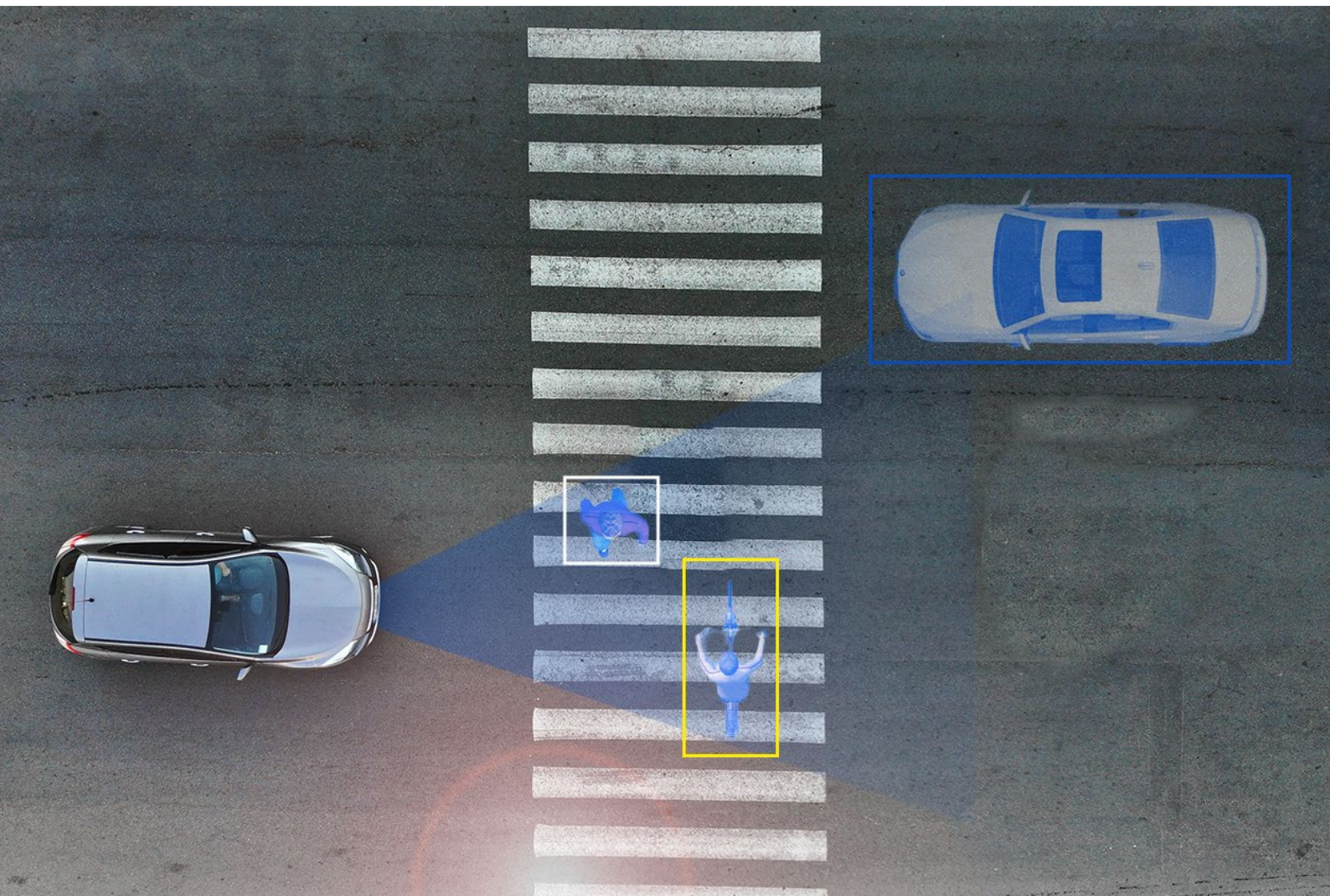


Die Vehicle-in-the-Loop-Methode



Autoren:

Charles Miquet, Manager Product Management Hardware & Test Systems
Alexander Frings, Manager Product Management Engineering Services

Kontakt:

IPG Automotive GmbH
Bannwaldallee 60
76185 Karlsruhe

web-contact@ipg-automotive.com



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Testmethoden	3
2.1 Das V-Modell.....	3
2.2. Übliche Simulationsmethoden	4
3. Definition der Vehicle-in-the-Loop-Methode	4
4. Szenariobasiertes Testen	6
5. Realisierung der Vehicle-in-the-Loop-Methode	7
5.1 Übertragung des realen Fahrzeugverhaltens in die Simulation	7
5.2 Übertragung der virtuellen Umgebung an das reale Steuergerät	9
5.3 Einbindung des menschlichen Fahrers.....	10
6. Anwendungsbeispiele	11
7. Zusammenfassung	11

1. Einleitung

Automatisierte Fahrfunktionen können in der Automobilindustrie nur mithilfe virtueller Fahrversuche in einem angemessenen Umfang entwickelt, getestet und abgesichert

werden. Durch ihre Komplexität und die Vernetzung der Systeme untereinander stellen sie sehr hohe Anforderungen an Test und Freigabe [1] (siehe Abb. 01).

Die Softwarekomplexität im Fahrzeug steigt stetig an. Als Alleinstellungsmerkmal von Produkten gewinnt Software zunehmend an Bedeutung

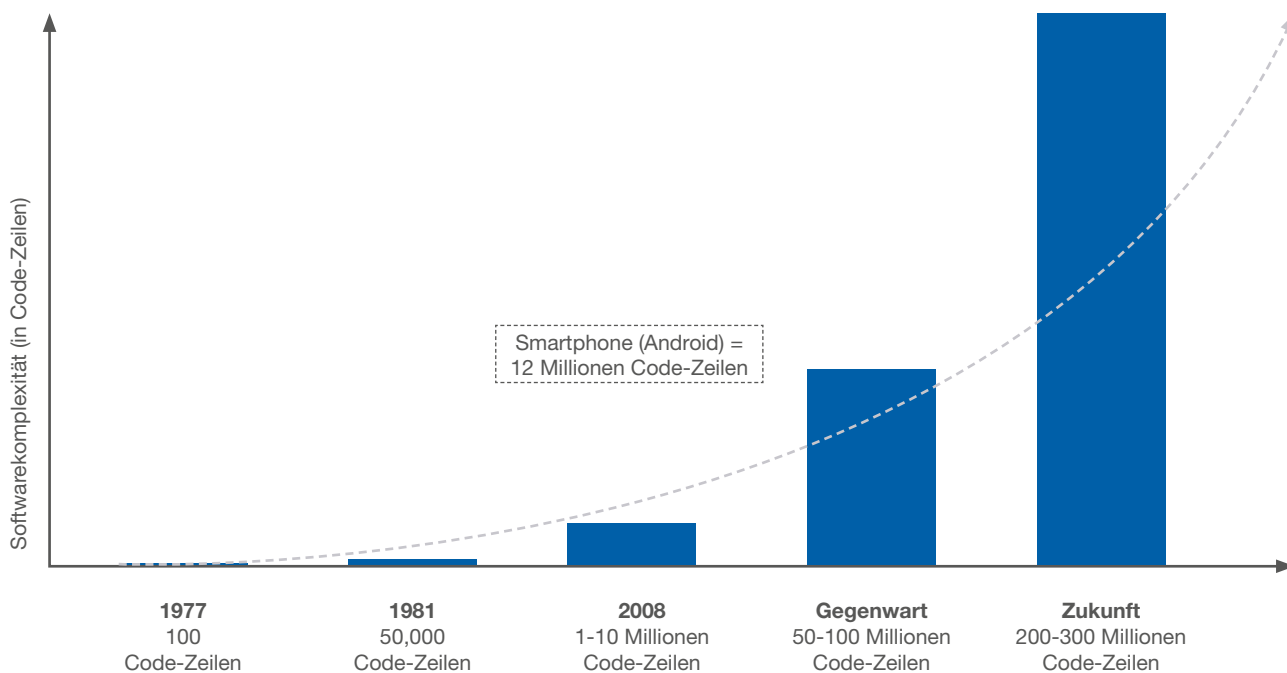


Abb. 01: Die Anzahl der Code-Zeilen in Fahrzeugen steigt stark an [1]

Um Fahrfunktionen wie zum Beispiel eine automatische Notbremsung zu realisieren, werden Daten verschiedener Sensoren fusioniert. So kann ein präzises Abbild der Verkehrssituation generiert werden. Bei der Entwicklung muss sichergestellt werden können, dass die Fahrfunktionen in allen erdenklichen Verkehrssituationen korrekt arbeiten. Die Grundvoraussetzung dafür ist eine schnelle und fehlerfreie Erfassung der gesamten Fahrzeugumgebung. Da beim automatisierten Fahren ab SAE-Level 3 das System und nicht der Fahrer die Umgebung kontrolliert [2], sind die Anforderungen an die Freigabe so hoch, dass sie mit herkömmlichen Fahrversuchen nicht mehr zu bewältigen sind. Der menschliche Fahrer kann hier nicht mehr als Rückfallebene genutzt werden, da er keine Verantwortung trägt.

Mithilfe der Vehicle-in-the-Loop-Methode (VIL) können die Grenzen der bekannten Testverfahren überwunden werden. Der Kern der Methode ist, die physikalischen Sensorsignale eines realen Fahrzeugs durch simulierte Sensorsignale zu ersetzen, um dem Fahrzeug eine virtuelle Umgebung zu emulieren. So lassen sich Einschränkungen der numerischen Simulation und der physikalischen Tests umgehen. Komplexe Testszenarien können reproduzierbar durchgeführt, Fahrversuche deutlich sicherer gestaltet, die Effizienz in Abstimmungsphasen erhöht und die Zusammenarbeit zwischen Versuch und Simulation verbessert werden. Die Methode ermöglicht eine nahtlose Integration in bestehende Testprozesse und Toolumgebungen bei OEMs und Tier1s.

2. Testmethoden

2.1 Das V-Modell

Als Basis für die System-Entwicklung wird von OEMs und Tier1s das V-Modell verwendet. Dies ist ein Vorgehensmodell, das die Fahrzeugentwicklung in verschiedene Phasen aufteilt. Es bildet die Grundlage zur Einordnung sämtlicher Arbeitsschritte in die verschiedenen Entwicklungsphasen. Die Nutzung von Simulationslösungen in diesem Vorgehensmodell ermöglicht

es, jederzeit gegen die Anforderungen testen zu können (siehe Abb. 02). Das erleichtert die Fahrzeugentwicklung, da der Test im klassischen Fahrversuch durch die steigende Komplexität von Fahrerassistenzsystemen und automatisierten Fahr-funktionen (ADAS/AV) extrem aufwändig wird.

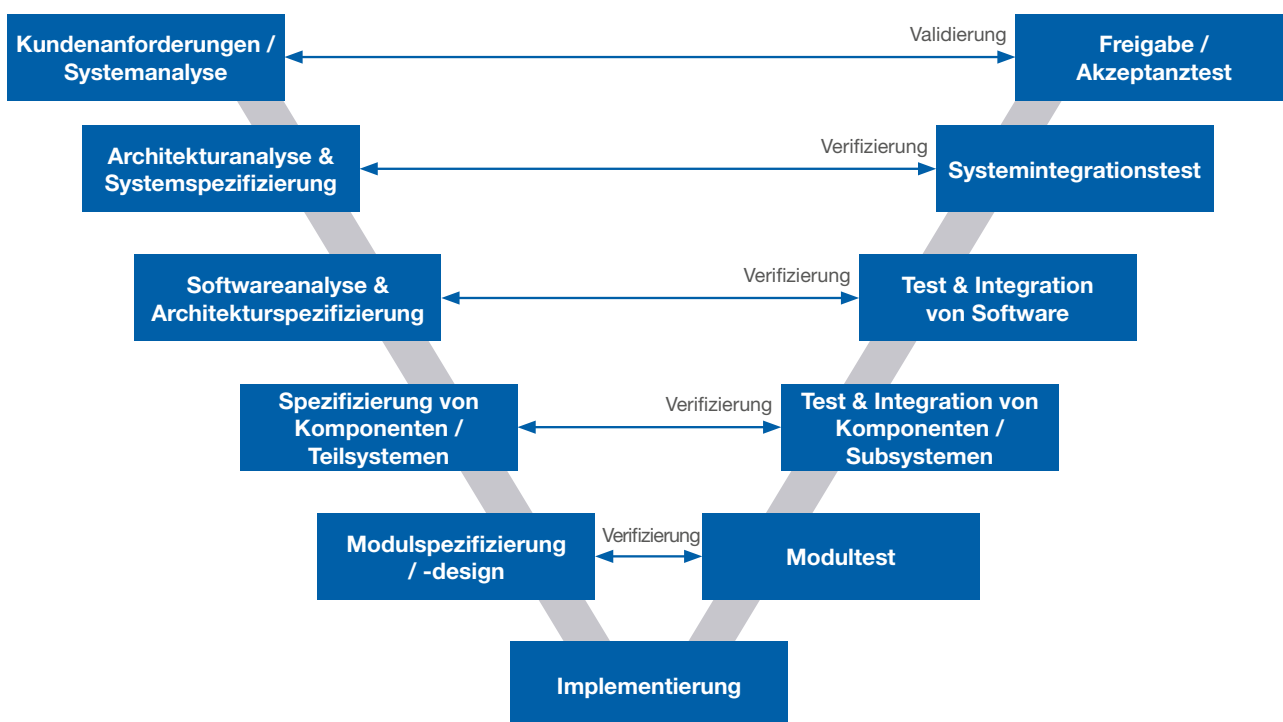


Abb. 02: Das V-Modell im Fahrzeugentwicklungszyklus nach Winner [3, 4]

Beim Test einfacherer Systeme, etwa eines Einparkassistenten, müssen hauptsächlich stationäre Objekte variiert werden. Allerdings wird bei komplexeren Systemen, beispielsweise zur Unfallvermeidung, mindestens ein potenzieller Unfallgegner benötigt, der dynamisch bewegt werden muss. Eine Möglichkeit im klassischen Fahrversuch ist dabei der Einsatz von professionellen Testfahrern, die ein oder mehrere Fahrzeuge auf einem Prüfgelände bewegen. In der Praxis werden aber aus Sicherheitsgründen meist Dummy-Targets

– also unbesetzte Fahrzeugattrappen – eingesetzt, die für Auffahrscenarien im Längsverkehr verwendet werden können. Dabei können nur wenige Objekte gleichzeitig koordiniert werden. Untersuchungen von komplexeren Verkehrssituationen wie Querverkehr an einer Kreuzung können ohne den Einsatz von Simulationslösungen aufgrund der Gefahr für Mensch und Material und des hohen Aufwands kaum umgesetzt werden, zudem sind entsprechende Manöver nicht exakt reproduzierbar.

2.2. Übliche Simulationsmethoden

Um Fahrerassistenzsysteme mithilfe der Simulation ganzheitlich zu testen und zu bewerten, gibt es für die verschiedenen Entwicklungsphasen unterschiedliche Verfahren. In frühen Entwicklungsphasen werden Simulationsmethoden wie Model-in-the-Loop (MIL), Software-in-the-Loop (SIL) und Hardware-in-the-Loop (HIL) eingesetzt. Bei diesen Methoden werden die Systeme in ein virtuelles Fahrzeug integriert und in der Simulation getestet. Im Folgenden wird als Überbegriff für die verschiedenen Simulationsmethoden X-in-the-Loop (XIL) verwendet.

Die XIL-Methoden bieten dabei verschiedene Vorteile gegenüber dem realen Fahrversuch. So können bei herkömmlichen Fahrversuchen Probleme bei der Sensorwahrnehmung der Umgebung auftreten, die nur schwer von fälschlichen Entscheidungen der ADAS/AV-Steuergeräte zu unterscheiden sind. Bei der Simulation werden die simulierten Sensorsignale hingegen fehlerfrei aus einer reproduzierbaren Umgebung direkt an die zu testende ADAS/AV-Funktion übertragen. So kann innerhalb von kurzer

Zeit eine große Anzahl von Tests unter frei konfigurierbaren und reproduzierbaren Bedingungen durchgeführt werden.

Die lückenlose Abbildung aller Fahrzeug- und Aktuatormodelle ist jedoch sehr komplex. Die zunehmende Anzahl von ADAS/AV-Funktionen führt durch die Wechselwirkungen zwischen den Systemen zu einer exponentiell steigenden Menge nötiger Validierungen. Jedes einzelne System muss in die Simulationsumgebung eingebettet werden, was zu hochkomplexen Modellen führt.

Simulative Methoden sollen den realen Fahrversuch so ergänzen, dass er als letzte Instanz effektiv eingesetzt werden kann, um den Abgleich mit der Realität zu schaffen. Eine subjektive Bewertung im realen Fahrversuch bleibt unverzichtbar, um die Akzeptanz durch einen menschlichen Fahrer sicherzustellen. Mit der hier vorgestellten VIL-Methode können die Vorteile der Simulation und des realen Fahrversuchs kombiniert werden.

3. Definition der Vehicle-in-the-Loop-Methode

Das Funktionsprinzip von VIL ähnelt dem der XIL-Methoden, da die gleichen Sensorinformationen verwendet werden. Der Unterschied zu anderen Testmethoden besteht darin, dass bei VIL anstelle eines virtuellen Prototyps ein reales Fahrzeug verwendet wird. Die zu testende ADAS/AV-Funktion kann dabei sowohl als Modell, als auch in Form eines realen, physikalischen Steuergeräts vorliegen. Aus der Simulation werden Umgebungsinformationen an die ADAS/AV-Funktion übertragen, diese sendet wiederum ihre Informationen an das reale Fahrzeug. Der Regelkreis wird geschlossen, indem die Position des realen Fahrzeugs innerhalb der realen Umgebung an die Simulationsumgebung gesendet wird. Die Simulationsumgebung stellt dann die Korrelation mit dem virtuellen Fahrzeug in der virtuellen Umgebung her.

Abgesehen von Fahrzeug und Fahrer ist keine weitere Infrastruktur und kein weiteres Personal nötig. Die VIL-Methode vereint so die Vorteile der Simulation mit denen des realen

Fahrversuchs: Ein reales Fahrzeug – PKW oder LKW – wird in eine virtuelle Umgebung (inklusive Verkehr, Straßeninfrastruktur etc.) eingebunden und auf einem realen, freien Gelände bewegt. Der Fahrer sieht während des Fahrversuchs sowohl die virtuelle, als auch die reale Umgebung und kann die reale Fahrdynamik des Fahrzeugs bewerten – die Simulation wird auf diese Weise erlebbar gemacht.

Die VIL-Methode ermöglicht dabei eine sehr zuverlässige Durchführung der Tests auf einem hohen Integrationsgrad. Die Entwicklung kann von allen Vorteilen der virtuellen Welt profitieren: der Reproduzierbarkeit in dynamischen Szenarien, einem reduzierten Testaufwand, der Wiederverwendbarkeit von Testfällen und einer automatisierten Testauswertung. Damit alle Funktionen und die Performanz im realen Fahrzeug in den gleichen Szenarien und Umgebungen getestet werden können wie bei den anderen XIL-Methoden, hat die Durchgängigkeit der eingesetzten Simulationsumgebung höchste Bedeutung.

Ist diese gegeben, kann die VIL-Methode in allen Phasen der modellbasierten Entwicklung eingesetzt werden und ermöglicht so Rapid Prototyping. In sehr frühen Entwicklungsphasen, in denen nur Modelle oder Algorithmen zur Verfügung stehen, ermöglicht es die VIL-Methode ergänzend zur reinen Simulation, neue Funktionen im realen Fahrzeug zu entwickeln

und zu kalibrieren (siehe Abb. 03). Am Ende des V-Modells schließt die VIL-Methode die Lücke zwischen HIL-Simulation und realem Fahrversuch. Komplexe autonome Fahr-funktionen können so in allen Entwicklungsstufen im virtuell fließenden Verkehr getestet werden, was mit herkömmlichen Testmethoden nicht zu realisieren wäre.

V Virtuelle Welt	R Reale Welt	MIL	SIL	ECU HIL	System HIL	PT HIL/ VIL stat.	VIL dynamisch	Reale Welt
		V	R	R	R	R	R	R
ECU-Code / -Funktion		V	R	R	R	R	R	R
ECU		V	V	R	R	R	R	R
System (z.B. Lenkgetriebe)		V	V	V	R	R	R	R
Fahrzeug		V	V	V	V	R	R	R
Straße und statische Umgebung		V	V	V	V	V R	R	R
Fahrdynamik		V	V	V	V	V	R	R
Systemerfahrung		V	V	V	V	V	R	R
Fahrer		V	V	V	V	V	V R	R
Umgebungsverkehr		V	V	V	V	V	V	R

Abb. 03: Virtuelle Komponenten (V) und reale Komponenten (R) in verschiedenen Entwicklungsstufen [4]

Wenn das Steuergerät bereits im Fahrzeug integriert ist, kann die VIL-Methode gegen Ende des V-Modells dazu genutzt werden, vor dem Beginn der realen Fahrversuche einen sehr hohen Reifegrad der ADAS-Funktion zu erlangen (siehe Abb. 04). Da die Randbedingungen der Fahrversuche variabel

und reproduzierbar getestet werden können, sind im Anschluss zur Absicherung nur stichprobenartige Tests unter vollständig realen Bedingungen nötig. So können viele Iterationsschleifen im Freigabeprozess vermieden werden.

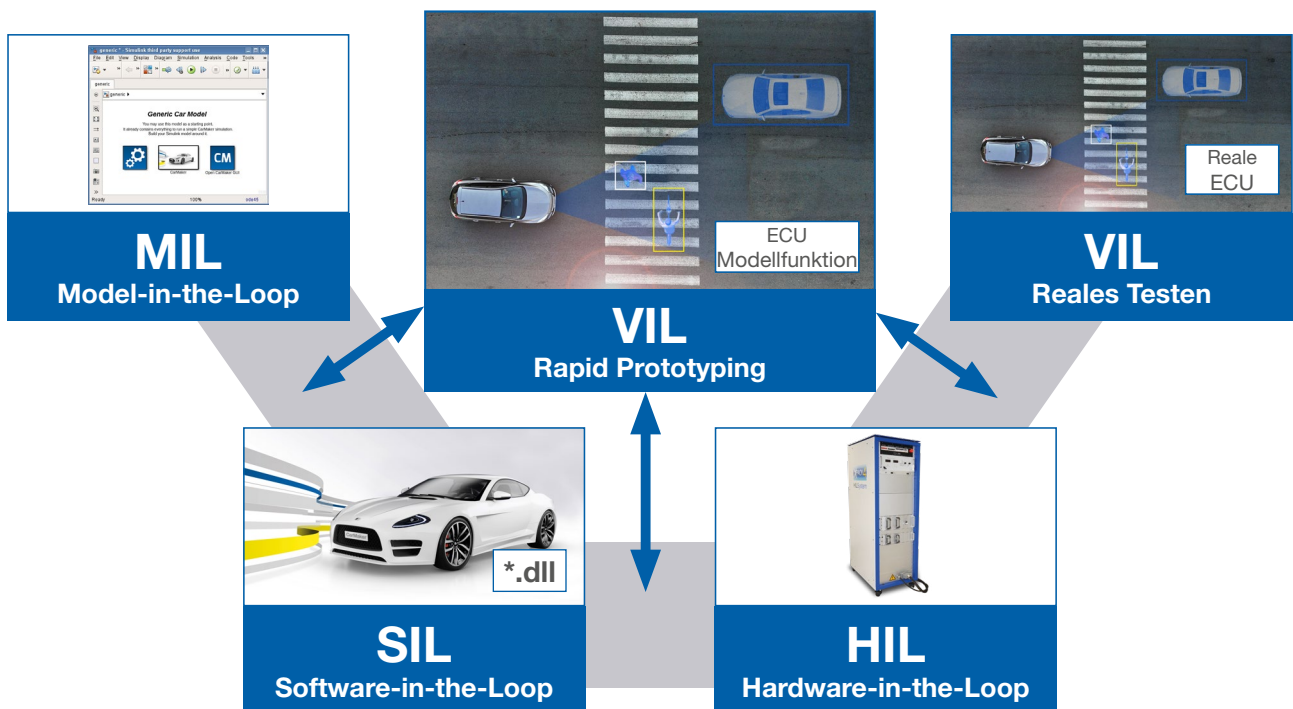


Abb. 04: Durch ihre zentrale Rolle im V-Modell ermöglicht die VIL- Methode Rapid Prototyping

4. Szenariobasiertes Testen

Für den Test von ADAS/AV werden realitätsnahe Verkehrsszenarien benötigt. Ein Verkehrsszenario ist ein Abbild einer Verkehrssituation und lässt sich in fünf verschiedene Ebenen unterteilen [5] (siehe Abb. 05). Ebene 1, die Straßenebene, beinhaltet die grundlegenden Elemente wie den Straßenverlauf, die Anzahl der Fahrspuren und die Topologie. Ebene 2, die Straßenausstattung, beinhaltet die Straßeninfrastruktur

wie Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsschilder etc. und stationäre Objekte wie Gebäude. Ebene 3 beschreibt eine temporäre Beeinflussung der Ebenen 1 und 2, etwa durch eine Baustelle. Ebene 4 umfasst bewegliche Objekte, also andere Verkehrsteilnehmer wie Autos oder Fußgänger [6]. Die Umweltbedingungen werden in der Ebene 5 definiert und umfassen beispielsweise Wetter und Tageszeit.

Straßenebene (E1)		Fahrstreifen 1	Kurve
		Breite	Krümmung
		Reibwert	
Straßenausstattung (E2)		Zulässige Höchstgeschwindigkeit	
		Höchstgeschwindigkeit	
		Long. Position des Verkehrszeichens	
Temporäre Beeinflussung E1 und E2 (E3)			
Bewegliche Objekte (E4)		LKW	PKW
		Masse	Masse
		Abmessungen	Abmessungen
Umweltbedingungen (E5)		Umwelttyp	
		Wettertyp	
		Tageszeit	

Abb. 05: Die verschiedenen Modellierungsebenen [5]

Die Verkehrsszenarien werden unabhängig vom zu testenden Fahrzeug erstellt und lassen sich für künftige Tests wiederverwenden. Bereits vorhandene Daten können als Basisszenarien in die Simulation übertragen werden – als Quelle dienen hier beispielsweise real durchgeführte Fahrversuche oder Unfalldatenbanken.

Für jedes Verkehrsobjekt (Ebene 4) werden Manöver definiert, die dessen Bewegung im Verkehrsszenario festlegen. Die Manöverabläufe bestehen aus frei parametrierbaren und

beliebig kombinierbaren Anweisungen für die Längs- und Querdynamik. Alternativ können sich die Verkehrsobjekte autonom in der Umgebung fortbewegen, indem sie die Verkehrsregeln der virtuellen Teststrecke befolgen und auf andere Verkehrsteilnehmer reagieren.

Unabhängig von der Quelle der Szenarien ist es möglich, nicht nur das Basisszenario auszuführen, sondern Parametervariationen zu erzeugen und damit die Robustheit des Systems durch die Erweiterung des Testraums zu gewährleisten.

5. Realisierung der Vehicle-in-the-Loop-Methode

Um reale Fahrzeuge für das szenariobasierte Testen auf Basis der VIL-Methode einzusetzen, ist es notwendig, das Fahrverhalten des Testfahrzeugs in die Simulation einzubinden

und die virtuellen Umgebungsinformationen an das reale Steuergerät im realen Fahrzeug zu übertragen (siehe Abb. 06).

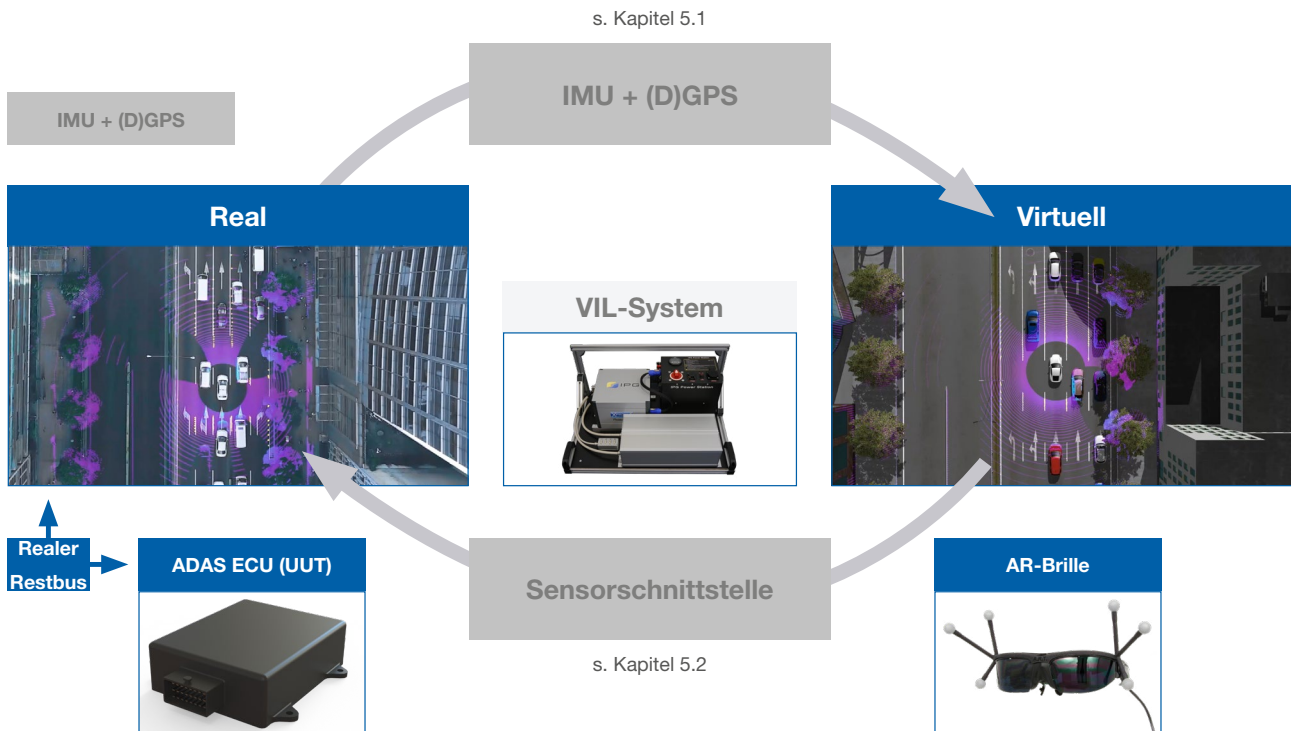


Abb. 06: Einbindung des realen Fahrzeugs in die virtuelle Welt

5.1 Übertragung des realen Fahrzeugverhaltens in die Simulation

Die Messung des realen Fahrzeugverhaltens erfolgt durch ein inertiales Navigationssystem (INS), dessen Messgrößen in die Simulation übertragen werden. Ein INS kombiniert in der Regel Inertialsensoren (Inertial Measurement Unit, IMU) mit einem (D)GPS-Empfänger zur Driftkorrektur. Das IMU beinhaltet dabei Beschleunigungs- und Drehratensensoren.

Die sechs Freiheitsgrade des Fahrzeugs im Raum lassen sich durch die drei translatorischen und die drei rotatorischen

Beschleunigungen bestimmen. Die relative Position wird durch die zweifache Integration über die Zeit aus den gemessenen Beschleunigungen abgeleitet. Voraussetzung dafür sind bekannte Anfangsbedingungen wie Ort, Geschwindigkeit und Ausrichtung. Um die kumulative Verstärkung des Fehlers durch die Integration über die Zeit auszugleichen, wird das erhaltene Signal durch ein (D)GPS-Signal als Absolutpositionsgeber gestützt.

Darüber hinaus müssen Sprünge in den Bewegungsdaten des virtuellen Egofahrzeugs und den daraus resultierenden Sensordaten (z. B. Abstände, Relativgeschwindigkeiten) zwingend vermieden werden. Dafür eignet sich folgende Extrapolation:

$$\vec{v}_{Ext}(t) = \vec{v}_{Ext}(t - 1) + \left(\vec{a}_{Meas} + \frac{\vec{ds} * k}{dt^2} \right) * dt$$

$$\vec{s}_{Ext}(t) = \vec{s}_{Ext}(t - 1) \left(\vec{v}_{Ext} + \frac{\vec{ds} * k}{dt} \right) * dt$$

$$\vec{ds} = \vec{s}_{Meas} - \vec{s}_{Ext}$$

Gl. 01: Die Extrapolation

Anhand der gemessenen Beschleunigungen \vec{a}_{Meas} können durch Extrapolation kontinuierliche Signalverläufe berechnet werden. Die Abweichungen \vec{ds} der Position, die durch Messfehler entstehen können, werden unter Einflussnahme der Filterkonstanten k minimiert. In Abbildung 07 sind die

Ergebnisse der Extrapolation dargestellt. Die Signalwerte verlaufen kontinuierlich und ohne Sprünge entlang der Messwerte. Durch die Implementierung einer Stillstandserkennung bleiben Position und Geschwindigkeit im Stillstand stabil.

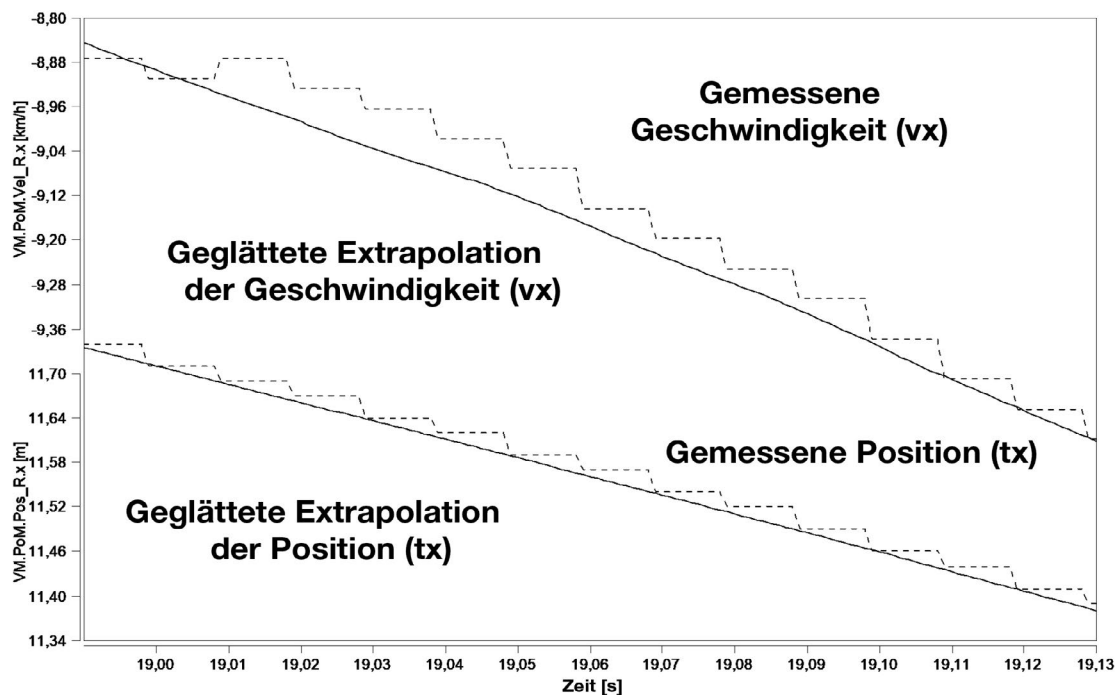


Abb. 07: Extrapolierte Signale von Bewegung und Position

Als Basis für die VIL-Methode sind zwei verschiedene Modi verfügbar – der freie und der absolute Modus. Im freien Modus wird die vollständige Umgebung simuliert. Das reale Fahrzeug muss dafür auf einer komplett freien Fläche stehen, die keine Bebauung, Bodenunebenheit etc. aufweisen darf. Wenn die Simulation gestartet wird, wird die Umgebung um das

Fahrzeug herum aufgebaut. Der Fahrer hat die Möglichkeit, den Start des Fahrversuchs relativ zum Fahrzeug auszulösen. Der Einsatz dieser Methode ist sinnvoll, wenn keine realen Gegebenheiten mit einbezogen werden, sondern – vom Fahrzeug abgesehen – alles simuliert wird.

Im absoluten Modus werden Eigenschaften der realen Umwelt in das virtuelle Testszenario übernommen – die Voraussetzung dafür ist die Modellierung der realen Umgebung in der Simulation. Dies bietet sich zum Beispiel an, wenn der Anwender über ein geeignetes reales Testgelände verfügt, dessen Eigenschaften im Test berücksichtigt werden sollen. In diesem Fall werden etwa reale Steigungen und Verkehrszeichen

in die virtuelle Umgebung übernommen, während die Verkehrsteilnehmer simuliert werden. Der Fahrversuch kann durch den Fahrer im absoluten Modus automatisiert streckenbasiert oder positionsbasiert gestartet werden, die Position muss dabei zwischen der Simulation und des realen Fahrzeugs synchronisiert sein.

5.2 Übertragung der virtuellen Umgebung an das reale Steuergerät

Um die Sensordaten an ein sensorbasiertes Steuergerät im Fahrzeug zu übertragen, gibt es verschiedene Möglichkeiten (siehe Abb. 08). Der bevorzugte Ansatz ist die sogenannte Over-the-Air (OTA)-Stimulation. Die Sensorschnittstelle wird dabei durch physikalische, sensorspezifische Komponenten angesteuert (Optik für die Kamera, Antenne für Radar, etc.). Der Vorteil dabei ist, dass die gesamte Verarbeitungskette des Sensors beansprucht und getestet wird – der Sensor wird auf diese Weise vollständig in das Testumfeld integriert. Eine Alternative zu der OTA-Stimulation ist die direkte Einspeisung von synthetischen Sensorrohdaten in den Sensor oder die passende Steuergeräte-Schnittstelle (z. B. Video-Streaming für Kameras [7]).

Es gibt jedoch auch eine sensorunabhängige Alternative: Anhand der Ground-Truth-Informationen der Umgebungssimulation stehen Objektlisten zur Verfügung, die als Input für die Anwendungslogik der Steuergeräte dienen können. Beim Restbus-Verfahren wird das gesamte Steuergerät vollständig umgangen, da die Ergebnisse der Simulation direkt an das Fahrzeugbussystem übermittelt werden. Diese Lösung zeichnet sich durch geringe Kosten aus, um die Anwendungslogik, zu der die Bewegungssteuerung oder Trajektorienplanung des Fahrzeugs gehören, zu testen.

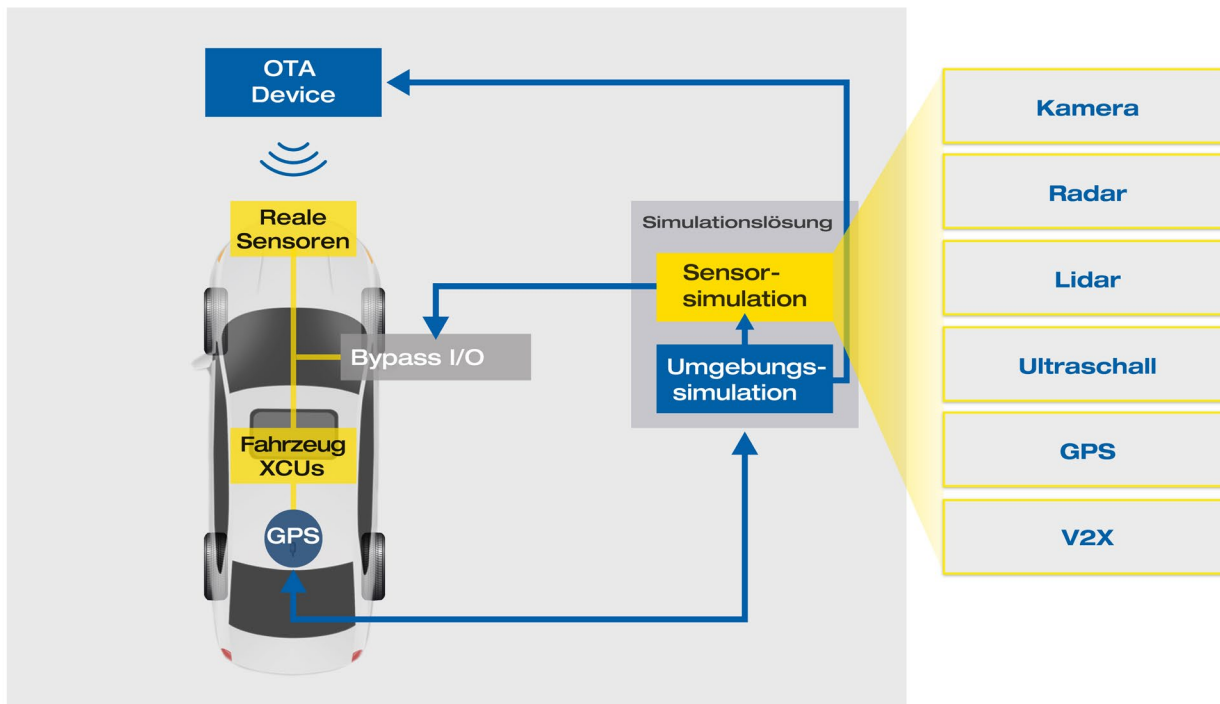


Abb. 08: Sensorsimulation

Die Sensormodelle müssen den erforderlichen Detailgrad der Umweltinformation für alle Subsysteme in Echtzeit bereitstellen. So wird sichergestellt, dass Funktionen wie die Perzeption, die Sensordatenfusion sowie die

Planung und Ausführung von Fahrmanövern am Prüfstand abgesichert werden können. Projektabhängig können dafür unterschiedliche Modellierungstiefen sinnvoll sein.

Dafür stehen verschiedene Güteklassen von Sensormodellen zur Verfügung, die eine flexible Anpassung an den Projektverlauf ermöglichen und die Subsysteme mit speziell angepassten Informationen versorgen:

- Rohsignalschnittstellen stellen Eingangsdaten für die Perzeptionsalgorithmen des Sensors bereit. Bei der Generierung der Rohsignale werden die Materialeigenschaften der Objekte und detaillierte physikalische Effekte berücksichtigt.
- HiFi-Sensormodelle liefern eine Objektliste. Die Informationen werden durch physikalische Effekte und/oder technologie-spezifische, teils stochastische Fehler angereichert – so ergibt sich eine realitätsnahe Objektliste für die verwendete Sensortechnologie.
- Ideale Sensormodelle geben eine Liste von relevanten detektierten Objekten aus und stellen eine ideale und technologie-unabhängige Umfelderkennung sicher.

Sämtliche genannten Lösungen lassen sich für alle Sensortypen umsetzen und an die finale Fahrzeugarchitektur anpassen.

5.3 Einbindung des menschlichen Fahrers

Ein menschlicher Fahrer oder ein Testroboter kann den vollständigen Testaufbau aus dem Fahrzeug heraus steuern. Über einen integrierten Bedien-PC mit Touchscreen kann die komplette Umgebungssimulation strecken-, positions- oder eventbasiert on-the-fly gesteuert, gestartet und ausgewertet werden. Dazu gehört beispielsweise das Laden von vordefinierten Szenarien.

Der Fahrer muss als Testfahrer oder Teilkomponente des hochautomatisierten Fahrzeugs in den Testprozess integriert werden. Dafür muss dem Fahrer die simulierte Umgebung im Testprozess dargestellt werden können, wofür eine entsprechende Schnittstelle notwendig ist. Dies kann entweder mithilfe von Monitoren erfolgen, die eine 3D-Echtzeitanimation darstellen, oder mit Augmented-Reality (AR)-Technik wie einer AR-Brille. So werden alle Ansprüche von einfacher Überwachung bis hin zum realen Fahrgefühl erfüllt.

Als Komfortfunktion können AR-Brillen die Fahrsituation inklusive aller virtuellen Elemente realitätsnah darstellen. Gut geeignet ist dafür die See-Through-Technik: Die reale Umgebung wird durch einen halb-durchlässigen Spiegel mit der simulierten Umgebung überlagert. Eine weitere Variante sind Brillen, die über (Stereo-)Kamerasysteme die reale Umwelt erfassen, an entsprechende Algorithmen weiterleiten und im Anschluss augmentieren. Aufgrund der Verwendung

von Stereodisplays in den Brillen kann das stereoskopische Sehen nachgebildet und der Realitätseindruck entsprechend erhöht werden.

Die in die Brille integrierte Inertialsensorik (Drehraten- und Beschleunigungssensor) kann die Kopfposition des Brillenträgers (und damit die korrekte Visualisierung) ermitteln und anschließend in die Simulation übertragen. In der Simulation kann dann die virtuelle Kamera sukzessive angepasst werden, damit der Brillenträger sich in der virtuellen Umgebung fortbewegen kann. Die fahrdynamischen Einflüsse auf die Inertialsensorik der Brillen sind dabei herausfordernd. Sie stimulieren die Beschleunigungs- und Drehratensensorik und messen Scheinbewegungen des Kopfes, die aufgrund der Fahrzeugbewegung auftreten.

Fest installierte kamerabasierte Trackingsysteme stellen eine Alternative dar, die die benötigte relative Bewegung und Orientierung des Kopfes zum Fahrzeug direkt ermitteln können. Derartige Systeme sind jedoch langsamer als Inertialsensorik-basierte Systeme, was zu unerwünschten Latenzen in der Visualisierung führen kann. Eine Möglichkeit zur Verbesserung stellt eine Sensordatenfusion dar, um ein sensordatenbasiertes Umfeldmodell mit allen relevanten Informationen zu bilden.

6. Anwendungsbeispiel

Um die VIL-Methode zu veranschaulichen, wird hier die Vorgehensweise von NCAP Tests (New Car Assessment Programme) erläutert. Das Bewertungsschema umfasst 5 erreichbare Sterne, die den Endkunden eine Möglichkeit bieten sollen, die Sicherheit verschiedener Fahrzeuge zu vergleichen. Die entsprechende Bewertung erfolgt dabei durch die Durchführung einer Reihe verschiedener Fahrversuche, die die häufigsten Unfallursachen aus dem realen Straßenverkehr nachstellen sollen. Der kontinuierlich wachsende Stellenwert der bekannten Fahrzeugsicherheitsbewertungen führt zu immer größeren Entwicklungsaufwänden. Eine der Ursachen dafür ist, dass regelmäßig neue Testvorgaben eingehalten werden müssen.

Für die Prüfung der Systeme gibt es diverse Anforderungen, die kaum im realen Fahrzeug umsetzbar sind. Testscenarien müssen subjektiv erlebbar und mit wenig Aufwand reproduzierbar sein, um sie bewerten zu können. Die wichtigste Anforderung ist aber, dass beim Testen keine Gefahr für Mensch oder Material entsteht.

Durch die Simulation, insbesondere in Verbindung mit der VIL-Methode, wird es ermöglicht, frühzeitig im Entwicklungsprozess abzuschätzen, wie die eingesetzten

ADAS/AV-Systeme in bestimmten Situationen agieren und ob sie die erforderlichen NCAP-Kriterien erfüllen. Auf diese Weise können neue Sicherheitssysteme gefahrlos und effizient entwickelt und bereits vorhandene Funktionen optimiert werden. In der Abstimmungsphase und bei der Funktionsprüfung in einem frühen Entwicklungsstadium kann die Entwicklungszeit deutlich verkürzt werden.

Tests von Notbremsassistenten beispielsweise sind sehr teuer und zeitaufwendig, da für diese Tests eine große Anzahl verschiedener Dummy-Targets eingesetzt wird, die ein nur eingeschränkt realistisches Fahrverhalten aufweisen und dennoch sehr hohe Kosten verursachen. Eine Studie von Bast [8] zeigt hier, dass die Anzahl der möglichen Testfälle an einem typischen Arbeitstag mithilfe der VIL-Methode schätzungsweise um den Faktor 4,5 gesteigert werden kann.

Diese Steigerung kann erzielt werden, da nur ein Testfahrer benötigt wird, weniger Vor- und Nachbereitungszeit nötig ist und die Tests deutlich schneller durchgeführt werden können. Die VIL-Methode ermöglicht es also, Entwicklung und Test von NCAP zu optimieren und gleichzeitig Zeit und Kosten einzusparen.

7. Zusammenfassung

Durch die VIL-Methode werden komplexe Fahrversuche leicht beherrschbar. Während bei herkömmlichen physischen Testmethoden für jedes am Test beteiligte Fahrzeug ein realer Testfahrer benötigt wird, kann die VIL-Methode mit lediglich einem Fahrzeug und einem Fahrer umgesetzt werden. Alle anderen Fahrzeuge, einschließlich Fahrern, sowie die Straßeninfrastruktur werden simuliert.

Im realen Fahrversuch müssen darüber hinaus alle am Test beteiligten Fahrer ihre Manöver genau koordinieren. Ab einer gewissen Anzahl von Fahrzeugen ist das, auch unter großem Aufwand, kaum mehr umsetzbar. Mit der VIL-Methode hingegen können sich beliebig viele Verkehrsteilnehmer in einem Verkehrsszenario bewegen. Ergänzend können sie miteinander synchronisiert werden und getriggerte Events ausführen. Auch die Feinabstimmung bestimmter Parameter wird mit der VIL-Methode sehr effizient möglich, da deren Funktion vollkommen isoliert betrachtet werden kann und

nicht von äußeren Einflüssen abhängt. Die mögliche Gefahr, die von vielen realen Fahrversuchen ausgehen kann, wird hier durch die virtuelle Umgebung und die simulierten Verkehrsteilnehmer vollständig eliminiert.

Aufgrund der genannten Vorteile gegenüber des klassischen Fahrversuchs können Projekte mithilfe der VIL-Methode erfolgreicher umgesetzt werden. Im Projektmanagement orientiert man sich zur Quantifizierung der erzielten Ergebnisse häufig am sogenannten magischen Dreieck, das die drei zentralen Parameter aufzeigt, die ein Projekt und dessen Erfolg definieren: Qualität (Erreichung der gesetzten Ziele), Zeit (Dauer des Projekts) und Kosten (Einhaltung des festgelegten Budgets). Sobald einer dieser Parameter geändert wird, hat das in der Regel direkten Einfluss auf die anderen beiden Parameter: Wenn etwa die Qualität steigen soll, wird dies üblicherweise durch steigende Kosten und einen höheren Zeitaufwand begleitet.

Bei der VIL-Methode hingegen ist es möglich, die Qualität der Ergebnisse signifikant zu erhöhen und gleichzeitig die Kosten sowie die Dauer des Projekts zu reduzieren. VIL ermöglicht es, komplexe Szenarien reproduzierbar und erlebbar zu testen und trägt durch sein Funktionsprinzip maßgeblich dazu bei, den Erfolg künftiger Entwicklungsprojekte neu zu definieren.

Referenzen

- [1] WebCast WirelessCar, Volkswagen, 19. Dezember 2018, Wolfsburg
- [2] SAE International SAE J3016 Levels of Driving Automation
<https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>
- [3] Pfeffer, R. et. Al.: Automated Driving - Challenges for the Automotive Industry in Product Development with Focus on Process Models and Organizational Structure
- [4] Winner, H. et. Al.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, 3. Auflage
- [5] Menzel, T. et. Al.: Detaillierung einer stichwortbasierten Szenariobeschreibung für die Durchführung in der Simulation am Beispiel von Szenarien auf deutschen Autobahnen
- [6] PEGASUS Project, „PEGASUS METHOD - An Overview,“ 2019. [Online].
Available: <https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/PegasusAbschlussveranstaltung/PEGASUS-Gesamtmethode.pdf>. [Zugriff am 4 Januar 2020]
- [7] Pfeffer, R., Haselhoff, M.: Einspeisen von Videodaten in ein reales Fahrzeug für effizientere Testverfahren, ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 07/2016, S. 48-53
- [8] Safety Assist Conference 2015: Conduction of Euro NCAP Pedestrian Testing at BAST