

Virtuelle Validierung von Fahrfunktionen entlang einer kontinuierlichen Werkzeugkette

Dr. Michael Kochem, Jan Stehle
IPG Automotive GmbH
Fautenbruchstraße 46
76137 Karlsruhe
michael.kochem@ipg-automotive.com
jan.stehle@ipg-automotive.com

Abstract: Moderne Fahrzeuge werden durch neue Softwarearchitekturen immer komplexer und deshalb häufig als „Software-defined Vehicle“ bezeichnet. Die Entwicklung, Validierung und spätere Aktualisierung sind mithilfe des realen Fahrversuchs nur sehr eingeschränkt und in einigen Fällen gar nicht realisierbar beziehungsweise wirtschaftlich unrentabel. Mithilfe der virtuellen Fahrzeugentwicklung kann in jeder Entwicklungsphase bis hin zum realen Test eine durchgängige Validierung der Software auf Basis reproduzierbarer Tests erfolgen.

Um diesen Ansatz in bestehende Prozesse zu integrieren, ist eine übergeordnete Ebene für den einfachen Zugang zur Simulation erforderlich. Diese muss eine Möglichkeit zur intuitiven Verwaltung und Versionierung von Datenmengen, Simulationsmodellen und Software bieten. Als Werkzeug für das Workflow-Management in der Simulation unterstützt VIRTIO zahlreiche Testmethoden. Daten, Testabläufe und Ergebnisse können für jede Entwicklungsphase wiederverwendet und der Entwicklungsaufwand erheblich minimiert werden.

1 Einleitung

In der Vergangenheit haben sich Fahrzeuge vor allem durch ihre Auslegung auf Basis verschiedener Hardware-Komponenten unterschieden, heute jedoch wird die Software immer mehr zum zentralen Unterscheidungsmerkmal und zum bestimmenden Faktor für die Eigenschaften eines Fahrzeugs.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der Fahrzeugsoftware ist aufgrund ständig neuer Anwendungen und Möglichkeiten erforderlich – auch dann, wenn sich das Fahrzeug bereits im Feld befindet. Darüber hinaus ist eine deutliche Verkürzung von Entwicklungszeiten (time-to-market) gefordert, da Fahrzeugbesitzer*innen zunehmend Softwareupdates (idealerweise Over-the-Air, kurz OTA) über den gesamten Produktlebenszyklus erwarten.

Diese Updates ermöglichen auch noch nach mehreren Jahren Fehlerbehebungen, Verbesserungen oder sogar neue Fahrzeugfunktionen. Dadurch kann jedes Fahrzeug zu einem Unikat werden. Aus Sicherheitsgründen ist es jedoch zwingend erforderlich, alle neuen Funktionen vor ihrem Einsatz im Feld ausgiebig zu testen und abzusichern. Dies wiederum ist mit hohen Kosten und einem enormen Aufwand für die Absicherung und Validierung verbunden.

Zur Überprüfung neuer Softwarefunktionen per Simulation haben sich verschiedene Methoden etabliert – beispielsweise Open-Loop- beziehungsweise Data-Replay-Testing. Bei dieser Methode können neue Algorithmen mit einer großen Menge von Messdaten, die auf RADAR-, LIDAR- oder Ultraschallsensoren basieren, sowie Fahrzeugmessdaten beaufschlagt und getestet werden. Im scheinbaren Gegensatz dazu steht das szenarienbasierte Testen, bei dem sich ein virtuelles Fahrzeug – ausgestattet mit der gleichen Sensorik und Aktorik wie das reale Fahrzeug – in einer simulierten Umgebung bewegt. Dies wird auch als Closed-Loop-Testing bezeichnet, da dabei alle Regelkreise geschlossen sind. Eine Zwischenstufe bilden gemessene Szenarien, die bei Bedarf mit künstlichen Objekten angereichert werden können. Eine weitere Zwischenstufe stellen künstliche Szenarien dar, die aus echten Szenarien generiert wurden, um die gleiche Situation in variablen Versionen darzustellen.

2 Die Rolle des virtuellen Fahrversuchs

Da Fahrfunktionen nicht nur innerhalb der eigenen Domäne, sondern auch im interdisziplinären Kontext fehlerfrei funktionieren müssen und Tests idealerweise im Gesamtfahrzeug durchgeführt werden sollten, ist deren Absicherung mit enormen Anforderungen verbunden. Hinzu kommt, dass Fahrzeuge und ihre Funktionen in immer kürzeren Zeitabständen aktualisiert und optimiert werden. Die Entwicklung, die Validierung und die spätere Aktualisierung mithilfe realer Fahrversuche ist daher nur sehr eingeschränkt und in einigen Fällen gar nicht realisierbar beziehungsweise wirtschaftlich unrentabel – eine Anpassung und Optimierung der Fahrzeugentwicklungsprozesse ist erforderlich.

Ein geeigneter Lösungsansatz ist die virtuelle Fahrzeugentwicklung. Dabei werden auf Basis eines virtuellen Fahrzeugs und/oder einer virtualisierten Umgebung die relevanten Entwicklungsbereiche in der Simulation abgedeckt, indem die zu testende Software in ein virtuelles Gesamtfahrzeugmodell integriert wird.

Um eine Durchgängigkeit des virtuellen Fahrzeugs (Digital-Twin) bis zum End-of-Life des realen Fahrzeugs zu gewährleisten, ist eine frühzeitige Integration unerlässlich. Deshalb ist es entscheidend, dass die Simulationsmodelle basierend auf konsistenten Daten zunehmend an Reife gewinnen. Eine durchgängige Validierung der entwickelten Software auf Basis reproduzierbarer Tests sollte in jeder Entwicklungsphase bis hin zum realen Test erfolgen.

2.1 Übergeordnete Datenverwaltungs-/Workflowmanagement-Ebene

Ein geeignetes Werkzeug für das Workflow-Management muss in erster Linie die Simulation mit diversen Testmethoden wie MIL/SIL/HIL/VIL, Open- und Closed-Loop-Tests sowie Prüfgeländetests mit realen Targets unterstützen. Entscheidend ist, dass die Daten- und Workflowverwaltung für alle Testmethoden geeignet sein muss. Die Mindestanforderung jedoch ist, dass vergleichbare Entwicklungswerkzeuge, beispielsweise die 0D- und 1D-Simulation, dazu in der Lage sein müssen, die erforderlichen Daten auszutauschen oder in einem Prozess zusammenzufassen.

Um dies zu gewährleisten, ist eine übergreifende Ebene der Datenverwaltung erforderlich. Diese muss die involvierten Mitarbeitenden dazu befähigen, die anfallenden Datenmengen zu verwalten, zu überprüfen und den Benutzer*innen und Anwendungen auf einfache Weise zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus muss die Software eine intuitive Verwaltung und Versionierung der anfallenden Daten, Simulationsmodelle und Software ermöglichen, siehe Abb. 1.

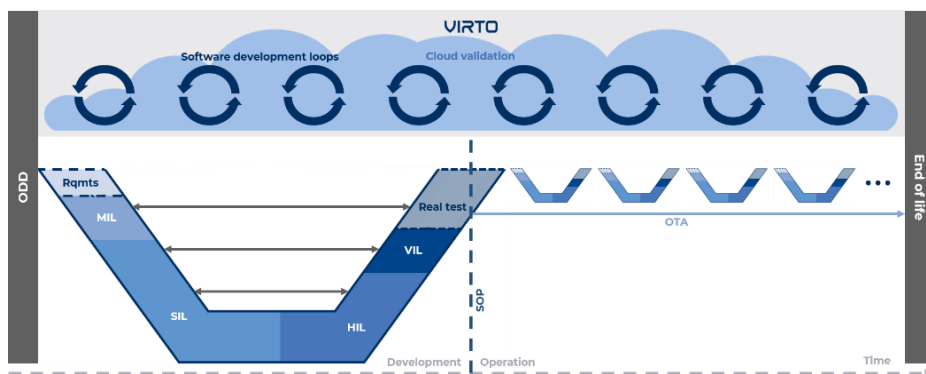


Abb. 1. Übergeordnete Datenverwaltung zur Unterstützung des Entwicklungs- und Maintenance-Prozesses, primär der Simulation

Das vorrangige Ziel ist es, die Simulation auch für Personen ohne Simulationserfahrung nutzbar zu machen. Den Schlüssel hierzu bilden konsistente Daten und Modelle des Fahrzeugs, der Komponenten, der Umgebung und der Manöver und Tests. Die Datenqualität steigt im Laufe der Entwicklung mit den Erkenntnissen aus dem Feld.

Sinnvollerweise sollte sich dies automatisch in den Simulationsmodellen widerspiegeln. Die in den Entwicklungsprozess eingebundene Datenverwaltungs- und Workflowmanagement-Software führt zur Etablierung der Simulation als essenzieller Bestandteil konventioneller Entwicklungsprozesse.

2.2 Optimierung des Entwicklungsprozesses

Nach der vorgelagerten Festlegung der Operational Design Domain (kurz ODD) [1, 2] für die bestimmungsgemäße Funktionsweise des Fahrzeugs oder einer Funktion ergeben sich die Anforderungen an das Gesamtsystem und die Teilsysteme. Auf dieser Grundlage erfolgt anschließend die Definition der Lastenhefte.

Klassischerweise würde die Entwicklung des Fahrzeugs oder einer bestimmten Funktion ausschließlich auf der Basis vorhandener Hardwarekomponenten inklusive realer Steuergeräte erfolgen. Diese Vorgehensweise ist allerdings zeitaufwendig und daher nur schwer mit einem agilen Software-Entwicklungsprozess vereinbar. Daher sollte die virtuelle Entwicklung frühzeitig eingebunden zu einem zentralen Bestandteil der Entwicklung werden. Dieser Prozess kann durch ein Daten- und Workflow-Management in der Cloud unterstützt werden, wobei die Simulation im Idealfall nahtlos integriert wird, sodass sie unbemerkt zum Einsatz kommt.

Anschließend erfolgt die Durchführung der verschiedenen Testmethoden. Dabei ist stets eine Durchgängigkeit der Daten des virtuellen Prototyps und der Umgebung gewährleistet. Die Eingangsdaten sowie die neu generierten Daten werden in der Cloud verwaltet, zueinander in Beziehung gesetzt und im Rahmen des Workflowmanagements für alle Testmethoden bereitgestellt. Um eine kontinuierliche Absicherung zu erreichen, können parallel dazu wiederholt Simulationen in großer Zahl in der Cloud durchgeführt werden. Sämtliche Daten, Testabläufe und Ergebnisse können für jede Entwicklungsphase wiederverwendet werden, was zu einem erheblich minimierten Entwicklungsaufwand führt. Dieser Prozess kann bis zum End-of-Life des Fahrzeugs nahtlos auf die Entwicklung von Software-Updates übertragen werden.

Darüber hinaus können Daten aus dem Feld zur Verbesserung des Simulationsprozesses genutzt werden. Die eingangs erwähnten Fahrzeugunikate können so ohne nennenswerten Aufwand mithilfe der Simulation getestet und freigegeben werden, bevor die Software auf das reale Fahrzeug übertragen wird.

2.3 Parallelisierung

Idealerweise bietet die beschriebene Umgebung auch Möglichkeiten für eine einfache Parallelisierung. Voraussetzung dafür ist, dass alle relevanten Komponenten wie Fahrzeug, Umgebung, virtuelle Steuergeräte, etc. wie bei der SiL-Simulation virtualisiert zur Verfügung stehen.

Wenn dies gegeben ist, können mit einem entsprechend hohen Parallelisierungsgrad sehr viele Tests in kurzer Zeit durchgeführt werden. Dies kann etwa durch skalierbare Rechenleistung und eine Automatisierung in der Cloud beziehungsweise mithilfe von Cloud-Technologien erfolgen [3].

Neben der eigentlichen Simulationsdurchführung sind automatisierte Auswertungen erforderlich. Aufgrund der hohen Simulationsanzahl werden sehr große Datenmengen erzeugt. Diese können eine vergleichbare Größe haben, wie die Datenmengen, die von realen Fahrzeugen im Feld aufgezeichnet werden. Eine übersichtliche Aggregation der im Zuge der Simulationen erzeugten sowie der gemessenen Daten ist unerlässlich.

Ähnlich zur DevOps-Schleife wird so ein sich wiederholender (automatisierbarer) Simulationskreislauf etabliert: Eine Software(-komponente) wird in den virtuellen Versuchsträger integriert, im Integrationstest überprüft und dann für eine Vielzahl von Tests (Simulationen) in der Cloud bereitgestellt. Die automatisiert ausgewerteten Ergebnisse der Simulationen werden anschließend zur Verbesserung der Software(-komponenten) genutzt, sodass der Kreislauf von neuem beginnt, siehe Abb. 2.

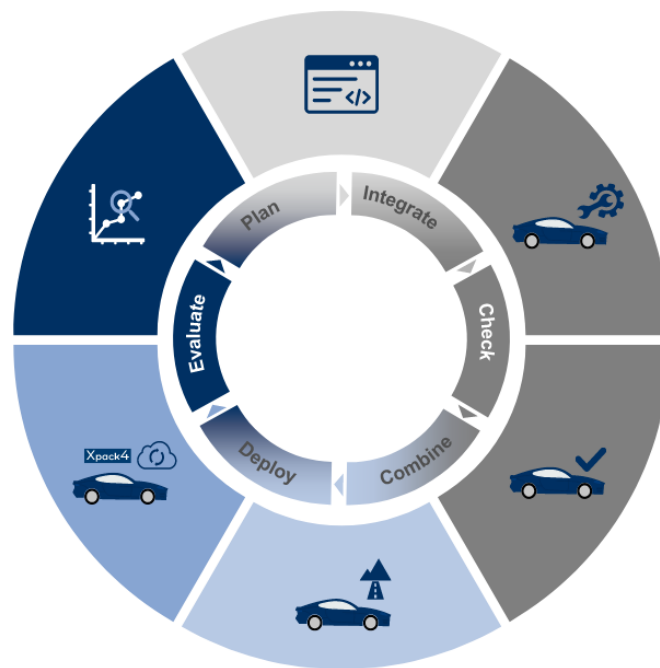


Abb. 2. Simulations-„DevOps“ als Grundvoraussetzung für die Parallelisierung

3 Praktische Anwendung der dargestellten Toolkette

Im Folgenden wird am Beispiel der Entwicklungs- und Testumgebung VIRTO eine Entwicklungsmethode skizziert, mit der den beschriebenen vielfältigen Herausforderungen der modernen Fahrzeugentwicklung begegnet werden kann. Als modulare App-Suite stellt VIRTO eine Sammlung einzelner Tools dar, die je nach Bedarf unabhängig voneinander oder als Gesamtwerkzeugkasten eingesetzt werden können, siehe Abb. 3.

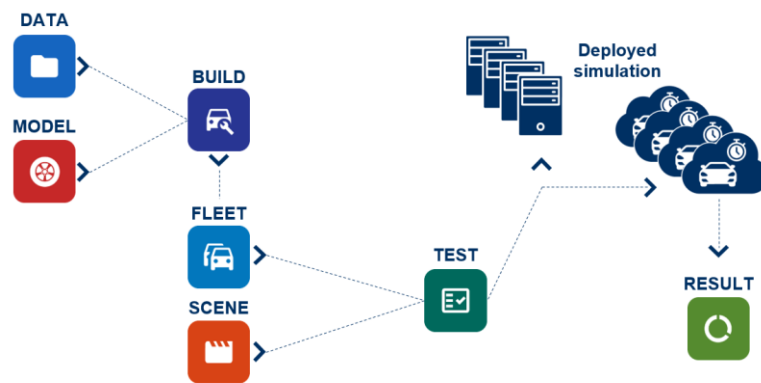


Abb. 3. Anwendungsübersicht der Entwicklungs- und Testumgebung VIRTO

Da in den meisten Unternehmen in der Regel bereits eine Vielzahl von Werkzeugen eingesetzt wird und individuelle Prozesse etabliert sind, bestand das vorrangige Ziel bei der Entwicklung darin, Lücken im Entwicklungsprozess zu schließen, um einen durchgängigen Testprozess zu ermöglichen. Entscheidend war, dass sowohl alle denkbaren Problemfelder berücksichtigt werden als auch eine flexible Anpassung an bestehende Entwicklungsprozesse realisierbar ist.

Die Entwicklungs- und Testumgebung ermöglicht die Umsetzung der genannten Anforderungen unabhängig von Art und Größe des Unternehmens. Durch eine konsistente Entwicklungsumgebung führt dies zu einem reibungslosen Daten- und Workflowmanagement für eine vollständig nachverfolgbare Simulation.

Nachfolgend wird anhand ausgewählter Anwendungsbeispiele gezeigt, wie sich die jeweiligen Prozessschritte vereinfachen lassen.

3.1 Reduzierung der Komplexität von Simulationen

Bei der Durchführung von Simulationen ist selten eine exakte Abbildung des realen Verhaltens erforderlich. Die Annahme, dass einfache Modelle grundsätzlich auch eine geringe Komplexität aufweisen, ist allerdings eine häufige Fehleinschätzung. Um genau abwägen zu können, welcher Detaillierungsgrad benötigt wird und welcher sich unmittelbar auf die geforderte Auswertung auswirkt, ist ein ausgeprägtes Systemverständnis erforderlich. Das modulare Zusammenspiel der verschiedenen Anwendungen bietet an dieser Stelle ein großes Unterstützungspotenzial. So liefert die integrierte Datenbanklösung wertvolle Einblicke in den jeweiligen Entwicklungsstand und erhöht so das Vertrauen in die Parameterdatenbasis.

Die Modellverwaltung hingegen steuert dokumentierte und verifizierte Submodelle unterschiedlicher Detaillierungsgrade aus den verschiedenen Fachbereichen [4] bei, während die Lösung für den Modellaufbau den automatisierten Aufbau mittels vordefinierter Konfigurationen übernimmt, die auf langjährig erprobter Simulationstechnik basieren.

Auf diese Weise erstellte Fahrzeuge werden in einer virtuellen Flotte aus Gesamtfahrzeugen gesammelt. Dies erlaubt es, gezielt geeignete Fahrzeugmodelle für Tests zu verwenden, ohne sich mit der komplexen Modellierung und Parametrierung auseinandersetzen zu müssen. In Verbindung mit der Anwendung für den Modellaufbau kann diese Gesamtfahrzeugflotte stets aktuell gehalten werden, da der Aufbau automatisiert erfolgt, sobald neue Parameterdaten oder Modelle zur Verfügung stehen. Dies ermöglicht einen einfachen Zugriff auf ein zentrales, automatisiert gepflegtes Modell-Repository und damit erhebliche Synergien in der virtuellen Fahrzeugentwicklung.

Anhand einer aufgebauten Flotte unterschiedlichster Fahrzeugmodelle, die nach Anwendungsfällen aufgegliedert sind, unterstützt die Flottenverwaltung die gezielte Suche nach einem geeigneten Simulationsmodell für den jeweiligen Anwendungsfall.

3.2 Etablierung eines übergeordneten Workflows

Im Laufe des Entwicklungsprozesses erstellen verschiedene Fachbereiche zahlreiche Simulationsmodelle von Systemen oder Bauteilen. Einige der Simulationsmodelle werden innerhalb des Unternehmens, andere von Zulieferern entwickelt und bereitgestellt. Der bereichsübergreifende Austausch von Modellen oder Modelldaten (Parametern) ist, insbesondere in größeren Organisationen, häufig mit Schwierigkeiten verbunden. Darüber hinaus wird meist dem eigenen Modell ein höheres Vertrauen entgegengebracht als Modellen aus bereichsfremden Quellen.

Die Entwicklungs- und Testumgebung kann hier mit Anwendungen für die Modell- und Flottenverwaltung als wertvoller Multiplikator agieren, indem sie einen zentralen Speicherort für eine Vielzahl von Modellen bereitstellt. Dabei kann es sich sowohl um mechanische und hydraulische Subsystemmodelle als auch um Modelle der Steuergeräte (mit oder ohne modellierter Aktorik) handeln.

Die Anwendungen zur Testdurchführung und Ergebnisanalyse bilden außerdem die Eckpfeiler, um aus den Simulationsergebnissen Handlungsschritte abzuleiten. Die Simulationen können aus den aufgebauten Fahrzeugen aus der Flottenverwaltung und den Szenarien aus der Szenarienverwaltung individuell zusammengestellt werden.

Die Ausführung der Simulationen auf geeigneten IT-Infrastrukturen wie Cloud- oder HPC-Rechnern wird von der Anwendung für die Testdurchführung verwaltet. Diese Vorgehensweise ermöglicht jederzeit einen Einblick in die Ergebniserzeugung. Die Ergebnisse werden in der Ergebnisverwaltung gespeichert und visualisiert.

Diese Durchgängigkeit bringt auch den großen Vorteil der Nachvollziehbarkeit mit sich, da dem Ergebnis entnommen werden kann, welche Ausgangsdaten der Simulation zugrunde lagen. Damit leistet die Entwicklungs- und Testumgebung einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Skalierbarkeit und ermöglicht es den Systementwickler*innen, sich auf die Innovation zu konzentrieren.

4 Zusammenfassung & Ausblick

Da sich Software zum entscheidenden Differenzierungskriterium im Fahrzeug entwickelt hat, sind ganzheitliche Lösungen zur Beherrschung der damit verbundenen Komplexität gefragt. Das vorrangige Ziel ist es, alle notwendigen Testfälle abzudecken und die Entwicklungszeiten deutlich zu verkürzen. Die Entwicklungs- und Testumgebung VIRTUO wurde speziell für diese Anforderungen entwickelt und setzt dabei auf gängige Workflows, sodass Lücken im Entwicklungsprozess gezielt geschlossen werden können und eine durchgängige Lösung entsteht. Dies führt zu einer Optimierung bestehender Arbeitsabläufe, während die durchgängige Entwicklungsumgebung eine nachvollziehbare Simulation gewährleistet.

Das Ziel sollte eine weitgehend automatisierte Validierung durch die Simulationsdurchführung sein, insbesondere von sicherheitsrelevanten Fahrfunktionen. Die durchgängige Nachverfolgbarkeit und Nachvollziehbarkeit sind wichtige Merkmale, um zukünftige, rein simulationsbasierte Freigaben neuer Softwareversionen zu ermöglichen. Die Anbindung an Requirements-Managementsysteme sowie die erweiterte Einbindung der beschriebenen, automatisierten Prozesse in den erweiterten Kontext des Produktentwicklungsprozesses können künftig zu einer weiteren Steigerung der Entwicklungseffizienz und letztendlich der Produktqualität führen [5, 6].

5 Literaturverzeichnis

- [1] SAE International, "The key to autonomous vehicle safety is ODD", [Online]. <https://www.sae.org/news/2019/11/odds-for-av-testing>, 2019, letzter Zugriff 05.08.2024
- [2] Erz, Jannis; et al., "Towards an Ontology That Reconciles the Operational Design Domain, Scenario-based Testing, and Automated Vehicle Architectures," 2022, *2022 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, Montreal, QC, Kanada, S. 1-8, doi: 10.1109/SysCon53536.2022.9773840.
- [3] Niederbrucker, Gerhard., et al., „Clouds Ahead – The Transformation of Vehicle Development and Data Management Processes”, 2021, In: Bertram, T. (eds) *Automatisiertes Fahren 2020. Proceedings*. Springer Vieweg, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34752-9_15
- [4] ISO 11010-1:2022-04, Straßenfahrzeuge - Personenkraftfahrzeuge – Klassifizierung Simulationsmodelle - Teil 1: Fahrdynamik
- [5] Gebhard, Bernd and Rappl, Martin, "Requirements Management for Automotive Systems Development," SAE Technical Paper 2000-01-0716, <https://doi.org/10.4271/2000-01-0716>, 2000
- [6] Dick, Jeremy.; Hull, Elizaeth; Jackson, Ken:. *Requirements Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61073-3>, 2017