

Virtuelle Evaluation von ADAS-Funktionen mit offenen Standards am Beispiel von Euro NCAP Szenarien

Karl Schreiner, Fabian Otter, Dennis Otte, Marek Bachmann und Frank Beutenmüller

TWT GmbH Science & Innovation, Industriestraße 6, 70565 Stuttgart, Germany
research@twt-gmbh.de

Zusammenfassung. Der Vortrag stellt die Integration der standardisierten Euro NCAP-Test Szenarien für den Kollisionsschutz von Fußgängern und Fahrradfahrern in Tronis® vor. Die Integration der standardisierten Euro NCAP-Test Szenarien zielt darauf ab, die Entwicklung automatisierter und vernetzter Fahrfunktionen zur Steigerung der Verkehrssicherheit zu verbessern und zu vereinfachen. Tronis® ist eine auf der Unreal-Engine basierende Plattform für virtuelles Prototyping und Absicherung von Fahrerassistenzsystemen und bietet die Möglichkeit, die Erfassung von Umgebungsdaten mittels Kamera sowie Radar- und Lidar-Technologien realitätsnah zu simulieren. In Kombination mit präziser Modellierung und Emulation realer Umgebungs-, Verhaltens- und Bewegungsdaten ist Tronis® in der Lage, kritische Unfallszenarien zwischen Fahrzeugen und Fußgängern oder Fahrradfahrern realitätsnah zu bewerten. Dies bietet den einzigartigen Vorteil, kritische Unfallszenarien zu evaluieren, die in der Realität aus ethischen Gründen nicht durchführbar sind. Weiterhin kann durch den Einsatz von Tronis® die Entwicklung entsprechender Systeme beschleunigt und die Notwendigkeit realer Prototypen reduziert werden. Tronis® entkoppelt das Testing von der Durchführung aufwändiger realer Fahrtests durch eine virtuelle Einspeisung der Umgebungsdaten an die Kameras und Sensoren der Fahrerassistenzsysteme.

1 Einleitung und Motivation

Die Automatisierung und virtuelle Simulation von Fahrerassistenzfunktionen in digitalen Simulationssoftware gewinnt immer mehr an Bedeutung für die Automobilindustrie. Im Fokus dieser Entwicklung steht die Notwendigkeit, Fahrerassistenzsysteme unter realistischen Bedingungen zu testen und zu validieren, um ihre Zuverlässigkeit und Effektivität zu gewährleisten. Der Aufwand für die Durchführung von realen Feldtests ist sehr hoch, da sie eine umfangreiche Planung, Organisation und oft auch den Aufbau spezieller Testumgebungen erfordern. Hinzu kommen die Kosten für Personal, Material und die Instandhaltung der Testeinrichtungen. Digitale Prüfgelände ermöglichen eine detailgetreue Nachbildung und Resimulation von realen Verkehrsszenarien, ohne

dass aufwändige physische Tests durchgeführt werden müssen. Diese virtuellen Umgebungen bieten eine sichere und effiziente Plattform für die Fahrsimulation, auf der die Assistenzsysteme unter verschiedensten Bedingungen getestet werden können. Die Integration solcher digitalen Gelände kann beispielsweise mit der Simulationssoftware Tronis® erfolgen [1].

1.1 Problemstellung

In der Entwicklung moderner Fahrerassistenzsysteme sind Systemtests am Gesamtverbund "Fahrzeug" im Zuge der Entwicklung unerlässlich. Dies betrifft sowohl entwicklungsbegleitende Fahrversuche als auch Abnahmetests für die Sicherstellung der abschließenden Serienreife.

Die Hochrüstung und Inbetriebnahme von Prototypen, die Durchführung umfangreicher Testkampagnen auf verschiedenen Strecken und unterschiedliche Bedingungen erfordern erhebliche finanzielle und personaltechnische Ressourcen. Eine weitere Herausforderung ist die begrenzte Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Unterschiedliche Wetterbedingungen, Fahrstile und Straßenverhältnisse können die Testergebnisse beeinflussen, was die Vergleichbarkeit erschwert. Zudem bestehen Risiken für die Sicherheit der Testfahrer und anderer Verkehrsteilnehmer, insbesondere bei Tests unter extremen Bedingungen oder bei der Erprobung neuer Technologien. Des Weiteren ist durch die fortschreitende Globalisierung und die zunehmende Dezentralisierung der Entwicklung und Produktion die lokale Verfügbarkeit von Prototypenfahrzeugen häufig nicht gegeben. Frühe Tests in der Vorentwicklung, während noch keine realen Fahrzeuge verfügbar sind, können mit virtueller Simulation zu extremen Kosteneinsparungen im späteren Verlauf führen, da Probleme in der Software früh erkannt werden (Shift-Left-Approach).

2 Virtuelle Simulation

Bei der Simulation mit einer Game-Engine, wie beispielsweise mit der Unreal Engine von Epic Games [2], ist zunächst eine Abwägung der Eigenschaften dieser Technologie hervorzuheben. Die Engine ist darauf optimiert, mindestens 30 Updates des Simulationszustands pro Sekunde sicherzustellen. Dieser Wert kann auch höher liegen, moderne Spiele streben 60 bis 120 Frames/s an. Dies schränkt sowohl die zeitliche Auflösung, als auch die Genauigkeit der physikalischen Berechnungen ein. Das System nimmt Ungenauigkeit in Kauf, um die gewünschte Framerate zu erreichen. Allerdings liefert die Software dafür eine Soft-Realtime Simulation und eine immersive Darstellung der simulierten Umgebung.

Diese Echtzeitfähigkeit, also die Fähigkeit, die geforderten Simulationsdaten zuverlässig zeitgerecht bereitstellen zu können, ermöglicht es, eine geschlossene Feedbackloop mit externer Soft- oder Hardware zu implementieren, häufig sogar auf dem selben Computer. Dabei kann die Engine den Output dieses Systems direkt z.B. zur Steuerung des virtuellen Fahrzeugs nutzen. Dies kann auch über eine Middleware wie ROS oder APOLLO geschehen.

Die Immersion wird relevant, wenn die Reaktionen oder das Verhalten von Menschen untersucht werden soll. Die psychologische Wirkung eines Experiments auf einen menschlichen Beobachter kann nur dann verwertbare Ergebnisse liefern, wenn die Illusion gut genug gelingt.

Dem entgegen stehen Simulationsumgebungen wie Ansys oder Comsol, die physikalische Korrektheit und Präzision zum Preis eines hohen Berechnungsaufwands versprechen. Sie benötigen für die Berechnung einer simulierten Sekunde i.A. ein Vielfaches dieser Zeit und können somit keine geschlossene Feedbackloops in Echtzeit betreiben. Eine überzeugende Immersion ist in der abstrakten Darstellung dieser Software nicht zu erwarten.

3 Szenariengenerierung

In der virtuellen Absicherung ist die Entwicklung von Szenarien ein wichtiger Prozess. Je nach Use-Case erfordert die Simulation eine detaillierte Modellierung der Umgebung, damit dynamische Elemente unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden können. Eine wichtige Anforderung ist die Interoperabilität und die technische Eingliederung in bestehende Prozessketten. Im folgenden wird auf die Anwendung offener Standards für die Szenariengenerierung und die Erstellung von Verkehrsraummodellen eingegangen.

3.1 Szenarien aus Open Standards

Mit dem Einzug von trainierten Modellen auf Basis von Maschine Learning oder Neuronalen Netzwerken entsteht ein hoher Bedarf an Kartenmaterial, an dem die Modelle trainiert werden können. Dabei ist es wichtig, dass der Datensatz ausreichend Variation aufweist. Dies kann auch durch Parametrisierung erreicht werden. Die Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM) [3] stellt für diesen Zweck die Standards OpenDRIVE, OpenSCENARIO und OpenCRG bereit. Auf dieser Basis können Szenarien und Trainingsdaten zwischen verschiedenen Umgebungssimulationen ausgetauscht werden und die Reproduzierbarkeit gesichert werden. Mit dem Open Simulation Interface (OSI) steht zudem ein Standard für die Kommunikation mit einer Co-Simulation bereit.

Diese Standards sind für ein Ökosystem für Umgebungssimulationen von hoher Bedeutung. Für eine erfolgreiche Kooperation von mehreren Simulationsteilnehmern ist eine gemeinsame Ground Truth unerlässlich. Zudem können Straßenzüge, die einmal in OpenDRIVE implementiert wurden, immer wieder für unterschiedliche Experimente genutzt werden. Sie sind leicht zu parametrisieren.

Die deklarative Umgebungsbeschreibung bestehender Dokumente ist allerdings i.A. nicht auf eine fotorealistische Darstellung dieser Umgebung ausgelegt. Häufig enthalten sie wenig oder keine Informationen über statische Objekte oder Gebäude. Die Angaben beschränken sich typischerweise auf Bounding Boxen. Dies stellt die Entwickler vor die Herausforderung, die fehlenden Elemente (möglichst

automatisiert) zu ergänzen. Allerdings erleichtert die deklarative Beschreibung auch die Parametrisierung der Karten.

Zunächst muss für die Simulation ein Mesh für das Straßennetzwerk erzeugt werden. Dies ist relativ einfach, da die Beschreibung durch die Standards hier sehr detailliert ist. Eine Herausforderung liegt darin, dass Geometrien häufig überdefiniert sind. So wird in OpenDRIVE die Oberfläche von Kreuzungen durch überlagerte Lanes beschrieben. Dies führt jedoch zu visuellen Artefakten und kann zu Problemen mit den virtuellen Sensoren führen.



Abb. 1. Aus einer OpenDrive-Datei erstelltes Netz. Überlappende Straßen führen zu visuellen Artefakten auf der Oberfläche

Eine weitere Herausforderung liegt in der Gestaltung der Umgebung. Spezifisch Gebäude, Vegetation am Straßenrand oder verkehrsrelevante Objekte wie Bushaltestellen und deren Materialeigenschaften wie Reflexion benötigen eine detailliertere Beschreibung um dem angestrebten Detailgrad zu erreichen. Eine Stärke der Game-Engines ist die realistische Darstellung Reflexionen und Schattenwürfe zur Laufzeit.

3.2 Erstellung eines Verkehrsraummodells

Für eine ganzheitliche Darstellung der Szene in einer virtuellen Simulation benötigt die Umgebung oder der Akteur (zum Beispiel in Form von Sensoren) ein physikalisch parametrisiertes Verkehrsmodell, welches die Umgebung des Fahrzeugs und den Szenenkontext vollständig beschreibt. Weitere Daten sind Umweltinformationen oder Gebäude und Städtemöbel, die im Standard CityGML abgebildet werden, Katasterdaten und digitale Geländemodelle. CityGML ist ein Austauschformat und Datenmodell für 3D-Stadt- und Landschaftsmodelle und bietet eine wichtige Grundlage für Visualisierungen und Anwendungen im 3D-Kontext. Im Forschungsprojekt LevelUp werden Methoden zur automatisierten Erstellung und Integration von Level of Detail 3 (LOD3) Verkehrsraum Modellen entwickelt.

Die Prozesskette der Digitalisierung des Verkehrsraummodells besteht aus der

Datenerfassung von rohen Lidar Point Clouds, der Datenverarbeitung und Datenintegration. Bei der Erhebung von Rohdaten werden die Daten mithilfe von KI-assistierten Verfahren annotiert, welches für größere Datenmengen skaliert werden kann. Die Datenverarbeitung kombiniert eine Methode zur automatisierten Objekt-Rekonstruktion aus Fusionierten- oder Rohdaten und Methoden zur Objekterkennung. Im Bereich der Datenintegration liegt der Schwerpunkt auf ein automatisiertes Tool für die Integration verschiedener Datenquellen aus Kataster, Geländemodelle, Luftbilder, Gebäudemodelle, HD-Karten, Landnutzung und Straßenmodelle in ein ganzeinheitliches Verkehrsraummodell.



Abb. 2. Beispiel importiertes Verkehrsraummodell in Unreal Engine

Abbildung 2 zeigt den Import am Beispiel der Stadt München, Schwabing-Freimann. Die Daten werden aus verschiedenen Quellen im Rahmen der Vorprozessierung zusammengestellt und können durch weitere Informationen beliebig ergänzt werden. Die Bereitstellung der erforderlichen Daten wird durch eine unabhängige Datenquelle in Form eines QGIS Server als Backend realisiert [4]. Im Rahmen des Projektes entwickelt TWT Plugins für Unreal Engine, welches die Integration von Geodaten aus einem GeoInformationsSystem (GIS) ermöglicht. Die Hauptkomponente erlaubt eine Verbindung zu einem Server und ruft die Geodaten über standardisierte Web Services ab. Dies wurde exemplarisch bereits erfolgreich realisiert. Derzeit werden folgende Services durch das Plugins unterstützt: WMS (WebMapService), WCS (WebCoverageService) und WFS (WebFeatureService).

Das Plugin übernimmt die automatische Koordinatentransformation zwischen Geokoordinaten und dem Koordinatensystem aus Unreal Engine. Bei Simulationsstart werden Chunks von Terraindaten generiert und mit entsprechend selektiertem Inhalt gefüllt. Ziel von LevelUp ist Entwicklung eines LOD3-digitalisierten Verkehrsmodell welches als Digitaler Zwilling, Simulatorunabhängig oder als Datenerzeugung für externe Algorithmen verwendet werden kann. Durch diese hohe Detail-tiefe von hochauflösenden 3D-Objekten

kann die virtuelle Validierung reale Szenarien genau simulieren, bevor sie in realen Fahrzeugen eingesetzt werden.

4 Testing SiL HiL

In diesem Kapitel werden zunächst allgemeine aktuelle Verfahren sowie Richtlinien und Gesetze im Bereich des Testens von Fahrerassistenzsystemen erläutert. Anschließend wird auf konkrete Testszenarien, insbesondere die NCAP-Test-Szenarien, eingegangen und deren Integration in die Tronis-Simulationsumgebung dargestellt.

4.1 Physische Tests

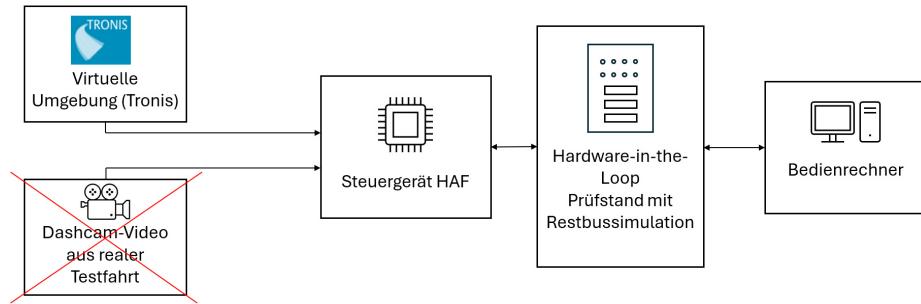


Abb. 3. Aufbau eines Videoprüfstands mit virtuellen Eingangsgrößen

Die EU-Verordnung 2019/2144 vom 27. November 2019 schreibt für neu typgenehmigte Personenkraftwagen seit Mitte 2022 und für alle neu zugelassenen PKWs seit Mitte 2024 vor, diese mit diversen Fahrerassistenzsystemen auszustatten¹. Dazu gehören Verkehrszeichenerkennung, Notbremsassistenten, Spurhalteassistenten und weitere Systeme. Die Verordnung spezifiziert im Detail die geforderten Eigenschaften dieser Sicherheitssysteme. Als Beispiel wird im folgenden die Verkehrszeichenerkennung (kurz: VZE) herangezogen. Sie muss in der Lage sein, zu jedem Zeitpunkt der Fahrt die aktuell gültige Geschwindigkeitsbegrenzung über Kameras in Verbindung mit Kartendaten bereitzustellen und diese Informationen sowohl dem Fahrer als auch dem Intelligenen Geschwindigkeitsassistenten zur Verfügung zu stellen.

Zur Absicherung der Funktionsweise ist es notwendig, tausende Kilometer in allen relevanten Märkten im realen Fahrbetrieb zurückzulegen. Nur somit konnte bisher eine zuverlässige Erkennungsrate gewährleistet werden. Unterstützend gab

¹ EU-Verordnung 2019/2144 vom 27. November 2019
(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32019R2144>)

es bisher die Möglichkeit, die reale Fahrt mit Dashcams aufzunehmen und das Videomaterial im späteren Verlauf als Eingabegröße zum Testen verschiedener Softwarestände und Applikationen zu nutzen (Video-Prüfstand).

Die virtuelle Absicherung mit Tronis erlaubt es nun, den Großteil der Fahrstrecke virtuell zurückzulegen. Über die Simulation können Verkehrszeichen aus allen relevanten Ländern und in verschiedensten Zuständen in die Software zur Verkehrszeichenerkennung eingespielt werden. Abbildung 3 zeigt schematisch den Aufbau eines Prüfstands für hochautomatisiertes Fahren (HAF) unter Einsatz virtueller Umgebungsdaten.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die Integration externer realer Sensorik durch Hardware-in-the-Loop (HiL) Systeme. Dies ermöglicht es den Anwendern, das Verhalten von realer Sensorik unter verschiedenen Bedingungen zu testen. Dies bedeutet, es steht kein reales Fahrzeug und keine reale Umgebung zur Verfügung, sondern ein virtuelles Fahrzeug [5]. Das virtuelle Fahrzeug liefert Informationen wie Position, Orientierung und bietet eine Schnittstelle um die Ergebnisse aus der externen realen Hardware wiederzuverwenden.

4.2 NCAP

Das European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) ist eine unabhängige Organisation, die 1997 in London gegründet wurde, um die Sicherheit von Neuwagen in Europa zu bewerten.

NCAP-Szenarien definieren standardisierte, reproduzierbare Tests, die reale Verkehrssituationen darstellen. Diese Szenarien umfassen typische Unfallkonstellationen wie das plötzliche Auftauchen von Fußgängern oder Fahrradfahrern, was die Leistungsfähigkeit von Kollisionsschutzsystemen unter praxisnahen Bedingungen prüft. Abbildung 4 zeigt ein NCAP Szenario in dem ein Fußgänger aus der Sichtverdeckung zwischen zwei Autos spontan auf die Straße tritt. Für Automobilhersteller sind diese Tests von hoher Relevanz, da die Ergebnisse sowohl die Sicherheitsbewertung ihrer Fahrzeuge als auch deren Marktakzeptanz beeinflussen.

Zur Evaluation und Entwicklung neuer und leistungsfähiger Kollisionsschutzsysteme wird es sinnvoll und teilweise unerlässlich sein, die NCAP-Tests in einer virtuellen Umgebung durchzuführen. Fahrradfahrer und Fußgänger werden in den klassischen physischen Tests durch Puppen repräsentiert, die jedoch nicht in der Lage sind, das komplexe und dynamische Verhalten realer Menschen nachzubilden. Abbildung 5 zeigt die Implementierung des "CPNC-50" NCAP Szenarios. Für moderne, KI-basierte Kollisionsschutzsysteme sind in solchen Szenarien Nuancen im Verhalten entscheidend, da sie die Differenzierung ermöglichen, ob ein Fußgänger die Straße betritt oder nicht. Da es ethisch nicht vertretbar ist, diese Tests mit realen Personen durchzuführen, bietet hier die virtuelle Umgebung von Tronis eine sichere und realitätsnahe Alternative. Mithilfe immersiver Augmented Reality und Virtual Reality lassen sich menschliche Verhaltensmuster präzise simulieren, ohne die Sicherheit der Probanden zu gefährden. Dies ermöglicht eine genauere und praxisnähere Bewertung der Kollisionsschutzsysteme.

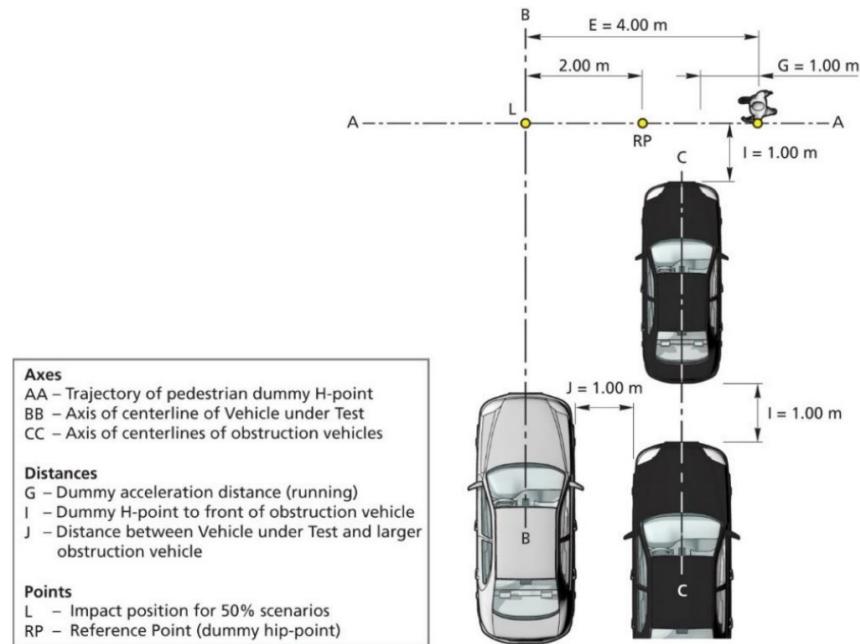


Abb. 4. Car-to-Pedestrian Nearside Child 50% (CPNC-50)"Kollisionsszenario aus dem Test Protocol for AEB VRU Systems" des Euro NCAP



Abb. 5. CPNC-50 modelliert in Tronis

5 Zusammenfassung

Die Integration der Euro NCAP-Test Szenarien in virtuelle Testumgebungen zeigt auf, wie virtuelle Absicherung die Entwicklung und das Testen von Fahrerassistenzsystemen revolutionieren kann. Durch die realitätsgetreue Simulation von Verkehrssituationen und die Möglichkeit, Tests, die den Menschen betreffen, sicher durchzuführen, entsteht ein wesentlicher Wettbewerbsvorteil. Traditionelle Testmethoden erfordern umfangreiche Ressourcen und sind oft zeitintensiv. Virtuelle Tests hingegen eröffnen den Zugriff auf einen großen Pool von parametrisierbaren Karten und Szenarien und ermöglichen eine schnellere und kosteneffizientere Durchführung, ohne dabei die Qualität der Ergebnisse zu beeinträchtigen. Darüber hinaus garantieren sie eine hohe Reproduzierbarkeit der Tests. Zukünftige Arbeiten sollten sich auf die Weiterentwicklung der Vehicle-to-Everything-Kommunikation (V2X) und die Integration weiterer offener Standards konzentrieren. Die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Infrastruktur bietet großes Potenzial, die Sicherheit und Effizienz automatisierter Fahrfunktionen weiter zu steigern. Virtuelle Testumgebungen in Kombination mit den Euro NCAP-Test Szenarien werden zukünftig ein unverzichtbares Werkzeug für die moderne Fahrzeugentwicklung darstellen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde teilweise vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Projektes „Entwicklung einer Methode zur automatisierten Erstellung und Integration eines Level-of-Detail 3 (LOD3) Verkehrsraum Modells“ (LevelUP) gefördert.

Literatur

- [1] Karl Kufieta und Michael Ditze. „A virtual environment for the development and validation of highly automated driving systems“. In: *Bargende M., Reuss HC., Wiedemann J. (eds) 17. Internationales Stuttgarter Symposium*. Vieweg: Springer Vieweg, Wiesbaden (2017), 2017, S. 1391–1401.
- [2] *Unreal Engine Website*. Letzter Zugriff: 11. September 2024. 2024. URL: <https://www.unrealengine.com/de>.
- [3] ASAM. *Standards - ASAM*. Letzter Zugriff: 11. September 2024. 2024. URL: <https://www.asam.net/standards/>.
- [4] *QGIS project. QGIS Server manual*. Letzter Zugriff: 11. September 2024. 2024. URL: https://docs.qgis.org/3.22/de/docs/server_manual/introduction.html.
- [5] Felix Kistler u. a. „Vehicle endurance testing through automated test driving“. In: *20. Internationales Stuttgarter Symposium*. Hrsg. von Michael Bargende, Hans-Christian Reuss und Andreas Wagner. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020, S. 389–401. ISBN: 978-3-658-29943-9.