

## InVADE

Integrated Vehicle-in-the-Loop for Automated Driving and E-mobility

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - Konjunkturpaket (2021) FT	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.10.2021	<b>Projektende</b>	30.09.2024
<b>Zeitraum</b>	2021 - 2024	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Automatisiertes Fahren;X-in-the-Loop;Absicherungskette;Fahrzeugdynamik		

### Projektbeschreibung

Systematisches Testen und Absichern von automatisierten Fahrfunktionen ist einer der Schlüssel um diese Technologie zur Marktreife zu führen. Das Testen auf der Straße hat neben dem Vorteil der Realitätsnähe den Nachteil, dass der Zeit- und Kostenaufwand für komplexe Automatisierungsstufen ab SAE Level 3 enorm ist. Derzeit arbeiten viele Institutionen daran, das Testen auf der Straße weitgehend durch X-in-the-Loop Methoden, reichend von der rechnerischen Simulation (Model-in-the-Loop), Komponentenprüfständen (Simulation-, Hardware-, Processor-in-the-Loop) und Gesamtfahrzeugprüfständen (Human-in-the-loop, Vehicle-in-the-Loop) zu ersetzen. Einer der größten Herausforderungen ist es dabei das komplexe Wechselspiel zwischen ADAS/AD Sensorik, Fahrzeugführungsalgorithmus und Fahrzeugaktuatorik (Antrieb, Bremse, Lenkung) in ausreichender Realitätsnähe auf einem Prüfstand abzubilden. Auch das Generieren von relevanten Fahrscenarien beim szenarienbasierten Testen gestaltet sich als komplex, da die Kritikalität und Relevanz von Szenarien schwer beschreibbar sind.

Das Projekt befasst sich mit dem systematischen Testen von automatisierten Fahrfunktionen auf einem eigens im Projekt entwickelten Prüfstandskonzept. Es ermöglicht die Gesamtfahrzeugintegration und bietet Testmöglichkeiten für automatisierte Fahrfunktionen, den gesamten Antriebstrang und hochdynamische Fahrmanöver im Grenzbereich. Dazu wird in einem ersten Schritt eine vorhandene Simulationsumgebung auf einem Gesamtfahrzeugprüfstand mit harter Echtzeit appliziert. Verfügbare Sensormodelle und Sensorstimulatoren werden auf dem Prüfstand implementiert und mit Versuchsfahrten bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen detailliert validiert. Als Szenario werden Fahrten auf dem bereits im Detail modellierten Autobahnabschnitt der A2 Graz-West bis Laßnitzhöhe gewählt. Eine validierte Verkehrsflusssimulation erzeugt realitätsnahes Verhalten von Fahrzeugen des umgebenden Verkehrs. Diese Szenarien werden mit kritischen Situationen durch sogenanntes „Stress Testing“ erweitert und repräsentativ aus einer Tiefenanalyse von Unfalldatenbanken bestimmt. Den Abschluss des Projekts bildet eine Wirkungsanalyse des vorgestellten Konzepts, welche die effiziente Entwicklung von alternativen Antrieben, Fahrdynamikregelsystemen und automatisierten Fahrfunktionen demonstriert.

Die Innovation liegt dabei in der enormen Realitätsnähe welche durch Echtzeitverhalten aller Komponenten, Digitalisierung realer Strecken, Verkehrsflüsse und Unfalldaten sowie der Validierung und Verifizierung des Systems erreicht wird. Derzeit gibt es noch keine Normen und Gesetze, welche die Zulassungen automatischer Fahrzeuge regeln und die Entwicklung des

Prüfstands mit der weltweit höchsten Realitätsnähe bedeutet auch die Chance, hier eine einflussreiche Rolle zu spielen.

## **Abstract**

Systematic testing and validation of automated driving functions is one of the keys to bringing this technology to market maturity. In addition to the advantage of being closer to reality, road testing has the disadvantage that the time and cost required for complex automation levels for SAE Level 3+ is enormous. Currently, many institutions are working to largely replace road testing with X-in-the-loop methods ranging from virtual simulation (model-in-the-loop), component test benches (simulation, hardware, processor-in-the-loop) and whole vehicle test benches (human-in-the-loop, vehicle-in-the-loop). One of the greatest challenges is to reproduce the complex interaction between ADAS/AD sensor technology, vehicle guidance algorithms and vehicle actuators (drive, brake, steering) with sufficient realism on a test bench. The generation of relevant driving scenarios in scenario-based testing also turns out to be complex, since the criticality and relevance of scenarios are difficult to describe.

The project is concerned with the systematic testing of automated driving functions on a test bench concept developed specifically for the project. It enables overall vehicle integration and provides test capabilities for automated driving functions, the entire powertrain and highly dynamic driving maneuvers at the limit. For this purpose, an existing simulation environment is applied to a complete vehicle test bench with hard real-time in a first step. Available sensor models and sensor stimulators are implemented on the test bench and validated in detail with test drives under different environmental conditions. Driving on the already modeled in detail highway section of the A2 Graz-West to Laßnitzhöhe is chosen as scenario. A validated traffic flow simulation generates realistic behavior of vehicles of the surrounding traffic. These scenarios are extended with critical situations by so-called "stress testing" and determined representatively from an in-depth analysis of accident databases. The project concludes with an impact analysis of the presented concept, which demonstrates the efficient development of alternative powertrains, vehicle dynamics control systems and automated driving functions. The innovation lies in the enormous closeness to reality which is achieved by real-time behavior of all components, digitalization of real routes, traffic flows and accident data as well as validation and verification of the system. Currently, there are no standards or laws governing the approval of automated vehicles, and the development of the test bench with the highest level of realism in the world also means the opportunity to play an influential role here.

## **Endberichtkurzfassung**

### Motivation des Projekts

Eine wesentliche Herausforderung für die Markteinführung von Fahrzeugen mit höherer Automatisierung ist die Komplexität der Absicherung einer sicheren Fahrfunktion. Die Literatur ist sich einig, dass eine Absicherung auf der öffentlichen Straße nicht mehr sinnvoll ist.

Das InVADE-Projekt ermöglicht die Verlagerung des Absicherungsaufwands von der Straße in das Labor. Zu diesem Zweck wurde ein bestehender Antriebstrangprüfstand auf automatisiertes Fahren erweitert und ein entsprechender Prototyp erstellt.

### Herangehensweise

Die Integration der Fahrumgebungssensorik (ADAS Sensorik) im geschlossenen Labor ist jedoch hochgradig problematisch,

insbesondere bei Regen, Gegenlicht und Nebel. Durch geeignete Hard- und Software-Prototypen konnte die Integration dieser ADAS Sensorik (Kamera, Radar, Lidar) realisiert werden. Durch intensive Tests auf der DigiTrans Teststrecke mit einer Berechnungs- und Beleuchtungssimulation wurde die ADAS Sensorik systematisch analysiert und in das Prüfstandskonzept integriert.

## Ergebnisse

Im Projekt wurde ein Prototyp entwickelt, der mit einer quantifizierbaren Prognosefähigkeit ein systematisches Testen auf einem Integrationsprüfstand erlaubt. Hier ist die gleichzeitige Betrachtung des Antriebsstrangs mit Fokus auf elektrifizierte Antriebe, der Fahrzeugdynamik im nichtlinearen Bereich und der automatisierten Fahrfunktion möglich. Die Prognosefähigkeit wurde durch die Re-Simulation von ausgewählten Fahrversuchen und den statistischen Vergleich zwischen Versuch und Simulation bewertet. Dabei wurden neuartige Metriken entwickelt, um die Prognosefähigkeit objektiv zu quantifizieren. Die Prognosefähigkeit wurde durch systematisches Kalibrieren der Bestandteile der Systemsimulation verbessert, dies betrifft das Fahrzeugmodell, die ADAS Sensorik unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen, die automatisierte Fahrfunktion, den digitalen Zwilling der Fahrumgebung und die Kalibrierung des Verkehrs. Alle Komponenten wurden auf Echtzeitfähigkeit entwickelt, was mit einem simulierten Prüfstand auf einem Echtzeitsystem gelungen ist. Die Robustheit der Methode wurde mit Simulationen und Prüfstandsversuchen nachgewiesen. Eine abschließende Wirkungsanalyse zeigte Potenziale der Testmethodik in Hinblick auf die Entwicklung von Sicherheit, Fahrkomfort und Energieeffizienz, die durch geeignete Metriken bewertbar wurden.

## Ausblick:

**Systemsimulation :** Das Projekt zeigte Potenziale zur Weiterentwicklung der Systemsimulation auf, was für den Projektpartner IPG in die Weiterentwicklung seines Softwareproduktes CarMaker fließen wird. Der Partner FTG (TU Graz) möchte das Thema Prognosefähigkeit weiter vertiefen und dafür Zielwerte für unterschiedliche Entwicklungsstadien erarbeiten und diese zur Standardisierung vorschlagen.

**Prüfstand :** Der Partner KS wird den Prototyp des Integrationsprüfstandes weiterentwickeln. Speziell das Thema Lenkungssimulation und die Einbindung von Radar Target Simulatoren benötigt noch Weiterentwicklungen. Der Partner MAGNA hat das Potenzial eines Integrationsprüfstandes für die systematische Absicherung erkannt, benötigt aber eine standardisierte Herangehensweise zur Quantifizierung der Prognosefähigkeit der Systemsimulation, um auch effektiv experimentelle Erprobungen einsparen zu können.

## Projektkoordinator

- Technische Universität Graz

## Projektpartner

- IPG Automotive GmbH
- MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik GmbH & Co KG

- Kristl, Seibt & Co. Gesellschaft m.b.H.