

Schlussbericht



SET Level

Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren

Beitrag des Zuwendungsempfängers: **IPG Automotive GmbH**
Bannwaldallee 60
76185 Karlsruhe

Laufzeit: 01.03.2019 – 31.10.2022

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 19A19004L gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Version: 1.0
Stand: 03.07.2023



Inhaltsverzeichnis

0 Optional: Zusammenfassung.....	3
1 Kurze Darstellung	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben	4
1.3 Planung und Ablauf.....	5
1.4 Stand der Wissenschaft und Technik	7
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
2 Eingehende Darstellung	11
2.1 Erzielte Ergebnisse	11
2.1.1 Teilprojekt 1: Use-Case Management und funktionsorientierte Anforderungsanalyse	11
2.1.2 Teilprojekt 2: Simulationsbasiertes und virtuelles Entwickeln / Testen.....	11
2.1.3 Teilprojekt 3: Modellspezifikation, -Entwicklung und –Validierung	14
2.1.4 Teilprojekt 4: Instanziierung von Werkzeugketten für Entwicklung und Testen...	16
2.1.5 Teilprojekt 5: Einbettung und kritische Reflexion	21
2.2 Zahlenmäßiger Nachweis.....	22
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	22
2.4 Nutzen und Verwertbarkeit	23
2.5 Bekannt gewordener Fortschritt	23
2.6 Veröffentlichungen.....	24
2.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen	24
2.6.2 Geplante Veröffentlichungen	24
3 Abbildungsverzeichnis.....	25
4 Tabellenverzeichnis.....	26

0 Optional: Zusammenfassung

SET Level wurde für den Einsatz von Simulation beim Entwickeln und Testen hoch automatisierter Fahrfunktionen in urbanen Umgebungen konzipiert. Dabei wurden wesentliche Partner aus der deutschen Automobilindustrie, Zulieferer, IT-Vendoren und renommierten Forschungseinrichtungen zusammengeführt, um Kompetenzen, Methoden und Technologien gemeinsam aufzubauen.

Als Erfolgsmerkmal und -nachweis wurden so genannte Simulation Use Cases (SUCs) konzipiert. Um einen Erfolgsnachweis und eine Basis für die Reflektion der gewählten Ansätze zu schaffen, wurden zu definierten Meilensteinen Demonstratoren implementiert und evaluiert. Neben Beiträgen zu Anforderungen und prozessrelevanten Themen setzte IPG Automotive diese Demonstratoren für SUC2 (Teilsystemabsicherung) und SUC3 (Komponentensimulation) auf Basis der Simulations- und Integrationsplattform CarMaker um. Dabei wurden Standardformate und -schnittstellen wie OpenSCENARIO, OpenDRIVE und Open Simulation Interface verwendet.

Damit wurde eine modulare, offene Simulationsarchitektur konzipiert und implementiert, die die Zusammenarbeit in der Automobilindustrie bei der Absicherung des automatisierten Fahrens ermöglicht und fördert.

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

IPG Automotive als Lösungsanbieter für den virtuellen Fahrversuch verfolgt das Ziel, mit dem Produkt CarMaker eine effektive, flexible und modulare Simulationsplattform für die Absicherung automatisierter Fahrzeuge und deren Teilkomponenten zur Verfügung zu stellen. Das Projekt SET Level bot dafür die Möglichkeit, die aus dem PEGASUS-Projekt bekannten Industriestandards weiter zu entwickeln und zu erproben, sowie die Prozess- und Toollandschaft rund um das Thema virtuelle Absicherung voranzutreiben.

Eine der Hauptaufgaben für IPG Automotive im Projekt SET Level war daher die Mitwirkung an der Definition von Schnittstellen zwischen einzelnen Simulationsbestandteilen. Gleichzeitig wurde unter Berücksichtigung der Anforderungen verschiedener Anwendungsfälle der Simulation (Simulation Use Cases) eine Simulationsarchitektur erarbeitet und evaluiert, wie Gesamtmodelle in einzelne Teilmodelle zerlegt werden können und wie diese Teilmodelle untereinander kommunizieren. Des Weiteren erfolgte die Mitwirkung an der Definition von Anforderungen an Szenarienbeschreibungsformate. Hierbei wurden die aus PEGASUS bekannten ASAM-Standards OpenDRIVE und OpenSCENARIO verwendet.

Die Funktionsfähigkeit der erarbeiteten Konzepte und Schnittstellen wurde durch iterativ weiterentwickelte Demonstratoren basierend auf der etablierten Simulations- und Integrationsplattform CarMaker in verschiedenen Simulation Use Cases sichergestellt. Diese Demonstratoren dienten in Halbzeit- und Abschlussveranstaltung zur Veranschaulichung der Simulation Use Cases, konnten aber auch während der Projektlaufzeit von den Projektpartnern zur Weiterentwicklung der Komponentenmodelle verwendet werden.

1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben

SET Level wurde als Folgeprojekt von PEGASUS konzipiert. Das Projekt PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) mit einer Laufzeit von 2016 bis 2019 hatte das Ziel, Basismethoden für die Automatisierungslevel 3 und 4 im Einsatz auf Autobahnen zu entwickeln (siehe Abbildung 1). IPG Automotive lieferte schon einen Beitrag zu PEGASUS, weshalb die Arbeiten im Projekt SET Level nahtlos daran anknüpfen.

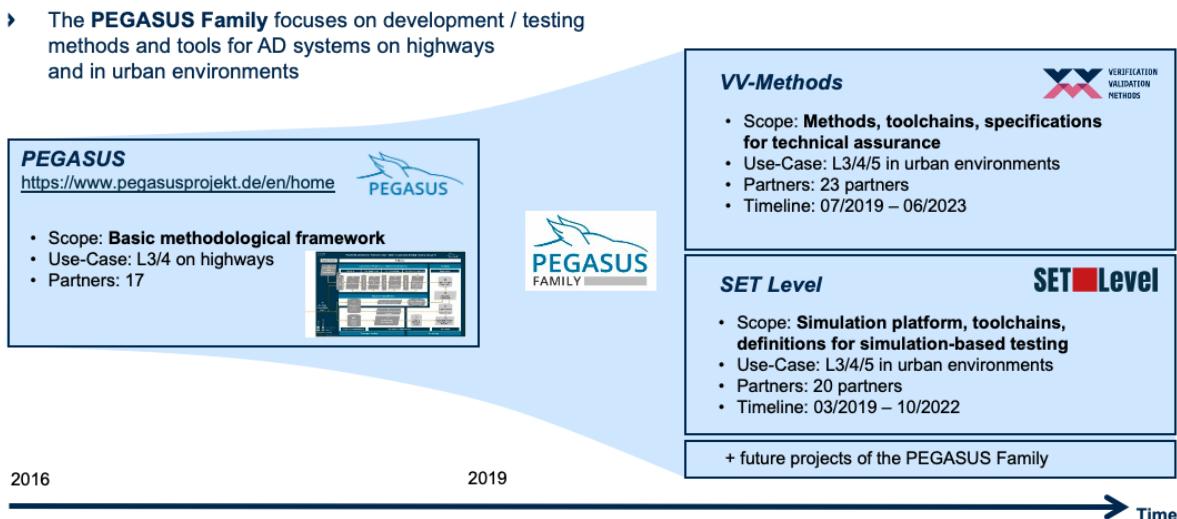


Abbildung 1: Projekte der PEGASUS-Familie

SET Level wurde speziell für den Einsatz von Simulation beim Entwickeln und Testen hoch automatisierter Fahrfunktionen in urbanen Umgebungen konzipiert. Dabei wurden wesentliche Partner aus der deutschen Automobilindustrie, Zulieferer, IT-Vendoren und renommierten Forschungseinrichtungen zusammengeführt, um Kompetenzen, Methoden und Technologien gemeinsam aufzubauen (siehe Abbildung 2).

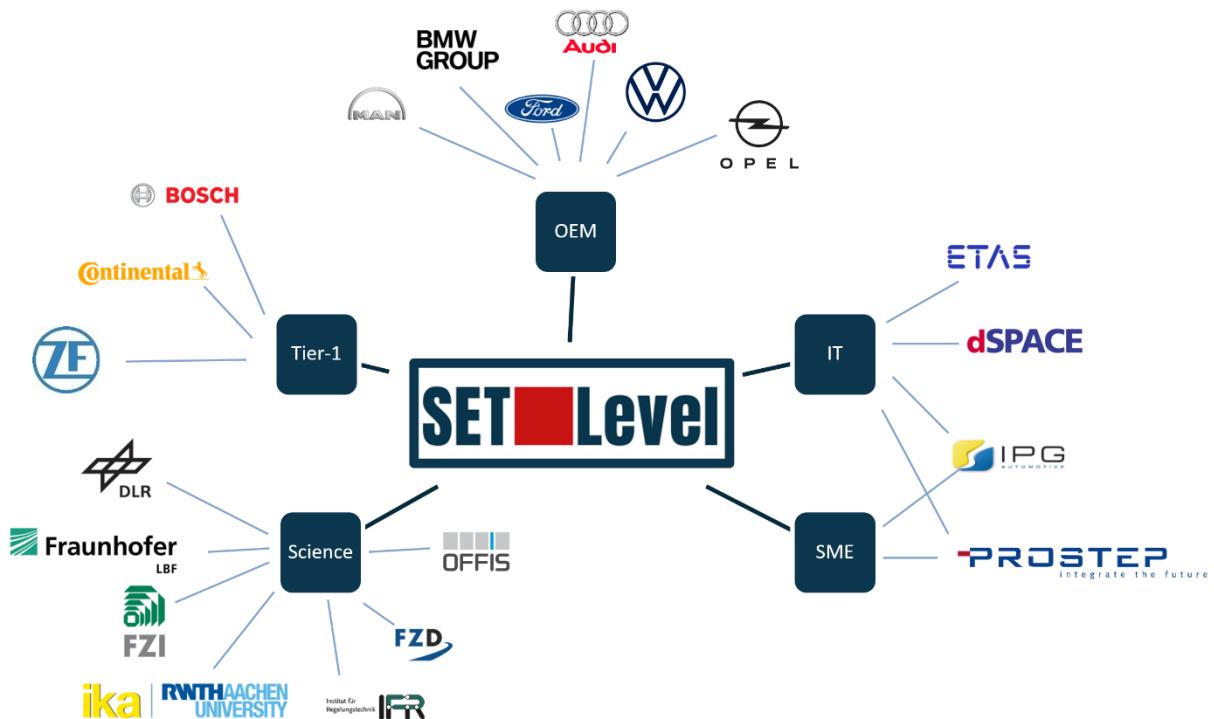


Abbildung 2: Zusammensetzung der Partner von SET Level

1.3 Planung und Ablauf

Grundansatz zur Erschließung und Bearbeitung der komplexen Fragestellung bildete ein iteratives Vorgehen unter schrittweiser Komplexitätssteigerung zur gemeinsamen Durchdringung und Entwicklung des Themas (siehe Abbildung 3).

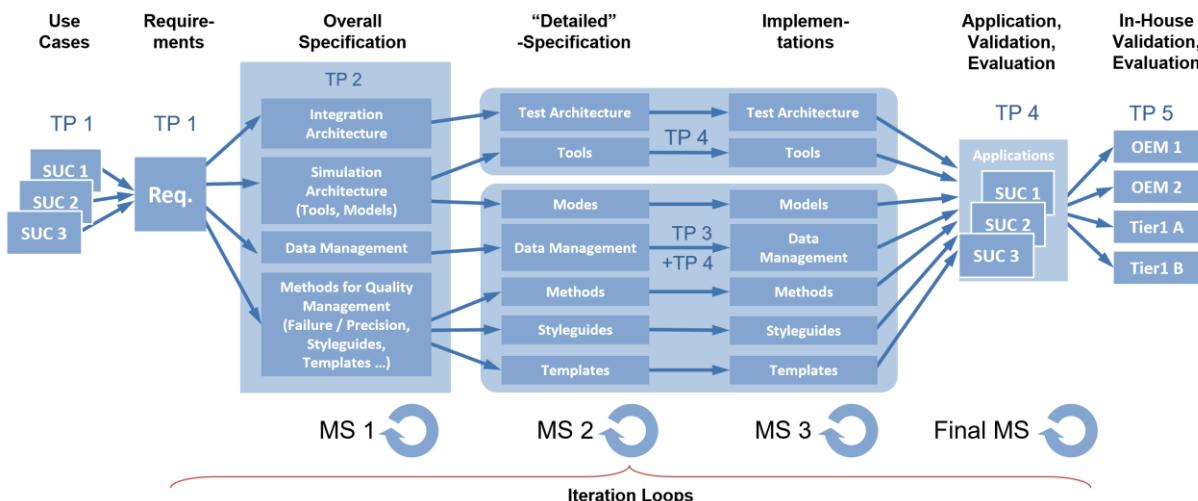


Abbildung 3: Schnelle Iterationen in Projektmeilensteinen

Als Erfolgsmerkmal und -nachweis wurden so genannte Simulation Use Cases (SUCs) konzipiert. Um einen Erfolgsnachweis und eine Basis für die Reflektion der gewählten Ansätze zu schaffen, wurden zu definierten Meilensteinen Demonstratoren implementiert und evaluiert. Dieses Vorgehen war entscheidend für ein schnelles Lernen und für den Nachweis, dass die Grundideen von SET Level, die modularisierte und auf Standards basierenden Architekturen von Simulationstools, auch wirklich funktionieren.

Ausgehend von den Use Cases wurden im Teilprojekt 1 (TP1) Anforderungen (Requirements) an Simulationstools spezifiziert. Inhaltlich fand die Konzeption (Specification) des modularen und standardbasierten Aufbaus von Simulationstools im Teilprojekt 2 (TP2) statt. Die detaillierte Spezifikation notwendiger Prozesse und die Implementierung von Modellen wurde im Teilprojekt 3 (TP3) durchgeführt. Die Ausführung von Simulationen auf unterschiedlichen Simulationstools (von der Implementierung bis zur Evaluation) fand in Teilprojekt 4 (TP4) statt. Die Sicherstellung der industriellen Anwendbarkeit erfolgte in Teilprojekt 5 (TP5) durch regelmäßige Bewertungen des aktuellen Entwicklungsstands sowie entsprechendes Feedback.

BMW und das DLR koordinierten das Projekt als Ganzes. Die Arbeit erfolgte in einer Vielzahl von Teilprojekten (siehe Abbildung 4).

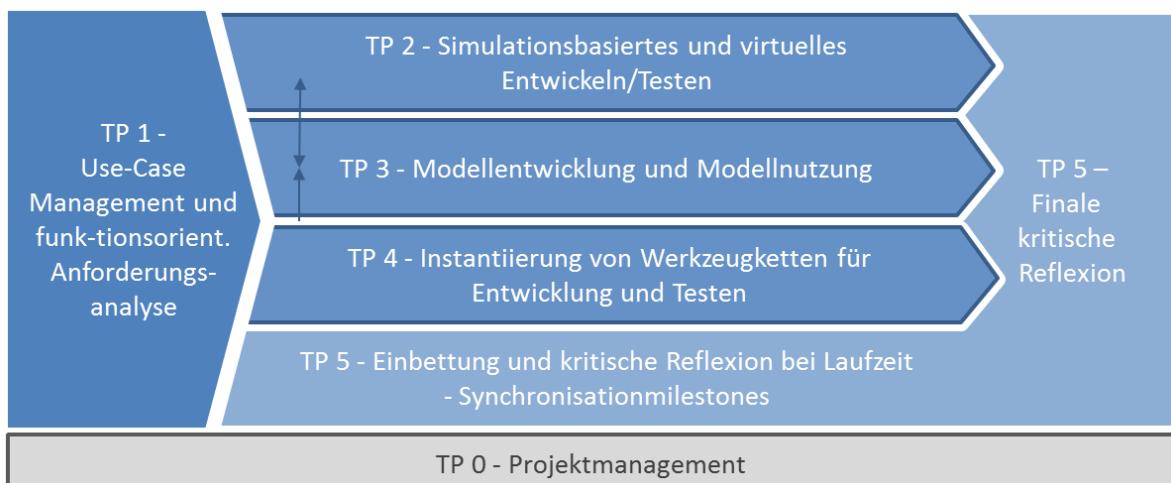


Abbildung 4: Aufbau der Teilprojekte von SET Level

Zeitplan

In Abbildung 5 ist eine Gesamtübersicht der Projektlaufzeit dargestellt. Die verschiedenen Farben sind qualitative Intensitätsangaben, grob eingeteilt in geringe, mittlere und hohe Kapazitätsbedarfe der jeweiligen Teilprojekte. Wie zu erkennen ist, hatte Teilprojekt 1 als Anforderungs- und Synchronisationsprojekt zu VVMethoden einen starken Fokus im ersten Jahr und benötigte im weiteren Verlauf immer weniger personelle Ressourcen, um die Kommunikation zu VVMethoden zu gewährleisten. Die Teilprojekte 2 und 3 hatten ihre Belastungsspitze beginnend mit Q3 über den größten Teil des zweiten Projektjahres. Teilprojekt 4 hatte einen gleichmäßigen Kapazitätsbedarf über die Projektlaufzeit, während der von Teilprojekt 5 über den Projektverlauf immer höher wurde und gegen Ende am höchsten war. In Abbildung 5 sind auch drei Gesamtmeilensteine jeweils zum Ende eines Projektjahres verzeichnet, deren Hauptergebnisse als Prototyp, Vorversion, Endversion der Werkzeugketten verstanden werden können.

Arbeitspaket	Projektjahr 1				Projektjahr 2				Projektjahr 3				Projektjahr 4		
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
0															
1.1															
1.2															
2.1															
2.2															
2.3															
3.1															
3.2															
3.3															
4.1															
4.2															
4.3															
4.4															
5.1															
5.2															
5.3															

Abbildung 5: Zeitplanung mit Meilenstein- und Abschlussberichten

Dabei war als Erfolgsmerkmal die Konzeption von Simulation Use Cases (SUCs) und deren Implementierung in Demonstratoren entscheidend für schnelles Lernen und für den Nachweis, dass die Grundideen von SET Level, die modularisierte und auf Standards basierenden Architekturen von Simulationstools auch wirklich funktionieren.

Als zielführend hat sich die Organisation sog. Quartalsmeetings bewährt, bei denen alle Projektbeteiligten nach vorgegebener Agenda ihre jeweiligen Fortschritte berichtet und das jeweils weitere Vorgehen mit den übrigen Projektpartnern diskutiert und abgestimmt haben.

Im ersten Projektjahr konnten alle Quartalsmeetings durch physische Treffen vor Ort organisiert werden. Erfolgsfaktor war dabei die Einrichtung eines gemeinsamen Repositories für Dokumente, Modelle und weitere Artefakte auf der Basis von GitLab.

Ab dem zweiten Projektjahr waren Corona-bedingt im Wesentlichen nur noch virtuelle Meetings möglich. Hier hat die Nutzung von Microsoft Teams und die Einführung von Miro als Kommunikationsplattform erheblich geholfen.

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Das Projekt SET Level knüpfte an den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik betreffend Methoden und Werkzeuge des Testens automatisierter Fahrzeugfunktionen an. Insbesondere lieferten die Dokumentationen aus den Projekten PEGASUS (Verweis <https://www.pegasusprojekt.de/de/>), ENABLE S3 (Verweis <https://enable-s3.eu/>) und SmartSE (<https://www.prostep.org/en/projects/smart-systems-engineering/>) dafür eine gute Ausgangsbasis.

Die Hauptergebnisse des Projektes PEGASUS sind in der Definition einer Gesamtmethode zur Bewertung einer hochautomatisierten Fahrfunktion zusammengeführt worden. Diese Gesamtmethode umfasst die Aspekte Anforderungsdefinition, Testableitung, Testvorgehen und Werkzeugunterstützung. Bereits dort wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Rolle der Simulation gelegt, und die Thematik der Formulierung von Simulationsaufgaben mithilfe der damaligen Versionen der Formate OpenDRIVE und OpenSCENARIO wird eingehend betrachtet. Insbesondere werden dort auch Defizite der Formate für die zweckgemäße Nutzung festgestellt und Vorschläge zur Behebung der Defizite gemacht. Diese Untersuchungen zur Rolle von Simulation in der Absicherung hochautomatisierter Fahrzeugfunktionen und zu den Realisierungsansätzen für eine praktisch nutzbare Anwendung konnten für SET Level aufgegriffen werden und bildeten einen wesentlichen Teil der Basis, auf der das Projekt systematische Lösungen entwickelte.

Aus PEGASUS stand weiterhin eine erste Version des Open Simulation Interface (OSI) zur Verfügung, das die Einbindung von Simulationsmodellen mittels Functional Mockup Interface

spezifiziert. Die ursprüngliche Verwendung zur Einbindung von phänomenologischen Sensormodellen sollte im Rahmen von SET Level auf weitere Modellklassen erweitert werden. OSI entsprechend der neuen Anforderungen weiterentwickelt werden.

ENABLE S3 betrachtete Verifikation und Validierung nicht nur im Automobilbereich, sondern auch in Luft- und Raumfahrt, Bahn, Seefahrt sowie Medizin- und Agrartechnik. Das Projekt strebte nach möglichst einheitlichen, übertragbaren Ansätzen, Methoden und Lösungen. So konnten neben spezifischen automobilbezogenen Ergebnissen (etwa zur Simulationsvalidität) auch generische Beschreibungen in SET Level herangezogen werden, um darauf aufsetzend die automobilspezifischen Ansätze weiter zu entwickeln.

Für SET Level sehr spezifische Konzepte und Ergebnisse konnten aus dem prostep-ivip-Projekt SmartSE herangezogen werden. Die dort entwickelten und erprobten Ansätze zur Austauschbarkeit von Verhaltensmodellen eingebetteter Systeme unter Verwendung des FMI-Standards (Functional Mockup Interface) wurden direkt im Projekt aufgegriffen. Auch der Credible Simulation Process hat seine Wurzel in SmartSE.

Damit sind die wesentlichen Teile der fachlichen Aufsetzbasis von SET Level skizziert. Um den Stand der Wissenschaft und Technik umfassend zu beschreiben, müsste eine große Zahl an Quellen referenziert werden, da die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen von vielerlei Seiten bearbeitet wurde und wird. An dieser Stelle sei auf die Dokumentationen der oben besprochenen drei Projekte verwiesen, die mit ihren Dokumentationen bereits einen großen Teil davon abdecken.

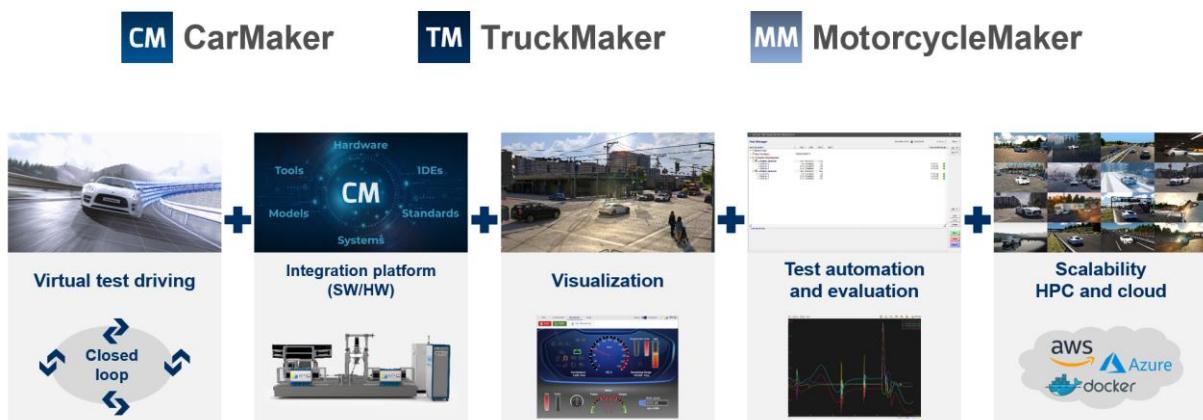


Abbildung 6: Übersicht über CarMaker Simulationsplattform

Die Grundlage der Arbeiten von IPG Automotive in SET Level war die Simulationsplattform CarMaker, die eines der etabliertesten Tools in der virtuellen Fahrzeugentwicklung darstellt. Die Simulationsplattform besteht aus mehreren Elementen, die in Abbildung 6 dargestellt sind. Die Virtual Test Driving Plattform ist der Kern des virtuellen Fahrversuches. Hier wird analog zum Verständnis in SET Level eine statische Umgebung (Straße, Verkehrsschilder, Infrastruktur und Vegetation) als Basis für die virtuelle Welt generiert und genutzt. In dieser Welt bewegen entsprechend des Testfalls gesteuerte Verkehrsteilnehmer (PKW, LKW, Fußgänger, Fahrradfahrer, Tiere, etc.) und können untereinander und mit dem Testfahrzeug interagieren. Für den Aufbau von Testszenarien steht eine grafische Benutzeroberfläche zur Verfügung. Mit dem Scenario Editor lässt sich ein Straßennetzwerk für CarMaker im proprietären Format Road5 intuitiv aufbauen und bei Bedarf als OpenDRIVE exportieren oder ein bestehendes Straßennetzwerk im OpenDRIVE-Format importieren. Die Kompatibilität zu OpenDRIVE wird kontinuierlich erhöht und laufend auf neue OpenDRIVE-Versionen erweitert.

Das dynamische Verhalten der Verkehrsteilnehmer wird ebenfalls im Scenario Editor parametrisiert und kann im proprietären Test Run Format gespeichert werden. In PEGASUS wurde eine rudimentäre Kompatibilität zum Standardformat OpenSCENARIO erweitert. Der Simulationskern von CarMaker wird laufend weiterentwickelt, um die Kompatibilität zu OpenSCENARIO

zu erhöhen und neue Versionen des Standards zu unterstützen. Die Nutzung der Kernfunktionalitäten bei der Übersetzung von Szenarien im OpenSCENARIO-Format in das proprietäre Format wurde im Rahmen des SET Level Projekts implementiert und laufend auf neue Funktionalitäten erweitert.

Das zu testende Fahrzeug ist im virtuellen Fahrversuch mit einem deutlich größeren Detailgrad als andere dynamische Objekte modelliert und kann vom Anwender frei parametert werden. Unter anderem sind komplexe Sensormodelle, Antriebsstrang- und Fahrwerkskomponenten sowie einfache Steuergerätemodelle verfügbar. Der Anwender ist dabei auch in der Lage, einzelne Modelle des Testfahrzeuges oder der anderen Bestandteile des virtuellen Fahrversuches durch eigene Modelle bzw. Komponenten des virtuellen Prototyps durch eigene Software- oder Hardwareanteile (Steuergeräte und/oder Aktuatoren) zu ersetzen, um dem realen Prototypen im Verlauf des Fahrzeugentwicklungs-prozesses möglichst nahe zu kommen. Dafür stehen dem Anwender teils proprietäre, teils standardisierte Schnittstellen zur Verfügung, die frei für den jeweiligen Anwendungsfall konfiguriert werden können. Eine im Projekt genutzte Standardschnittstelle stellt beispielsweise das Functional Mockup Interface (FMI) dar.

Die Steuerung des Fahrzeugs übernimmt IPGDriver, ein detailliertes Fahrermodell mit menschlichen Eigenschaften, im geschlossenen Regelkreis, oder eine explizite Vorgabe der Eingabegrößen für Lenkung und Pedale im offenen Regelkreis. Für Fahrerassistenzsysteme und automatisierte Fahrfunktionen im virtuellen Fahrversuch werden zudem Sensormodelle benötigt, die die Schnittstelle zur simulierten Welt abbilden können. Je nach Anwendungsfall lassen sich hier unterschiedliche Modellklassen verwenden (siehe Abbildung 7), die zum in PEGAUS und SET Level verwendeten Konzept des Open Simulation Interface mit den verschiedenen Sensormodellarten passen:

- Ideale Sensormodelle: Sie können mit perfektem Wissen über die Welt unabhängig von der Sensortechnologie (Radar, Lidar, Ultraschall, Kamera) alle relevanten Objekte fehlerfrei („Ground Truth“) detektieren und geben eine Liste von detektierten Objekten aus. Diese Modellklasse wird genutzt, um die Datenbasis für OSI:GroundTruth Nachrichten zu generieren. Aus dem PEGASUS-Projekt stand für SET Level eine erste, robuste OSI-Implementierung zur Verfügung.
- HiFi-Sensormodelle: Sie stellen phänomenologische Sensormodelle dar, die abhängig von der Sensortechnologie (Radar, Lidar, Ultraschall, Kamera) physikalische Effekte und Detektionsfehler modellieren. Sie geben eine Objektliste mit realistischen Ungenauigkeiten und Fehlern (z. B. False Positives und False Negatives) aus. Diese Modellklasse wurde im Rahmen von PEGASUS von Sensormodellzulieferern als externes Modell entwickelt und an CarMaker angebunden. CarMaker selbst besitzt in der Zwischenzeit eigene, proprietäre phänomenologische Modelle, die außerhalb von SET Level entwickelt wurden.
- Rohsignalschnittstellen („Raw Signal Interfaces“, kurz „RSI“): Sie stellen Sensorrohsignale (Kamerabilder, Lidar-Reflektionen, usw.) bereit und beziehen als einzige der drei Modellklassen auch die Perzeptionsalgorithmen (z. B. Bildverarbeitung bei Kameras) mit ein. Sie benötigen eine entsprechend detailliert modellierte 3D-Umgebung und ein physikalisches Modell für die Signalausbreitung. Diese Modellklasse wird verwendet, um die Datenbasis für geometriebasierte Sensormodelle über OSI zu generieren. In PEGASUS wurde an dieser Stelle nur erste rudimentäre Implementierungen für Radar umgesetzt. In SET Level wurde die Implementierung erweitert und auf weitere Sensortechnologien angewendet.

		Sensors		
		Ideal	HiFi	RSI
Use cases		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basic function test ▪ Reference sensor 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Function test ▪ Fail-safe test 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perception algorithm development ▪ Signal chain test
	Features	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Output: object list ▪ Ground truth information ▪ Technology-independent ▪ Easy to parameterize 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Output: object list ▪ Technology-specific errors ▪ Physical phenomena ▪ Post processing/ target selection included 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Output: raw signal ▪ Technology-specific errors ▪ Detailed physical effects ▪ Validated

Abbildung 7: Sensormodellklassen in CarMaker

Die Visualisierung von CarMaker, Movie NX, generiert auf Basis der Szenarioparametrierung automatisch eine 3D-Darstellung der Verkehrssituation. So kann die Szenariodefinition und auch das Verhalten des zu testenden Systems leicht visuell überprüft werden. Movie NX und dessen Vorgängertechnologie IPGMovie dienen auch als Schnittstelle für physikalische Sensormodelle (Rohsignalschnittstellen), die die Signalausbreitung in der 3D-Szene berechnen.

Die letzten beiden Säulen von CarMaker stellen die automatisierte Ausführung von vielen Simulationen in kurzer Zeit sicher. Mit dem Testautomatisierungswerkzeug Test Manager sind die Definition und Variation der Testfälle, Berechnung aussagekräftiger Kennwerte sowie die Bewertung der Testergebnisse auf Basis von eigenen Kriterien und Auswertealgorithmen möglich. Zudem wurde die Möglichkeit geschaffen, mehrere Simulationen parallel lokal oder in der Cloud berechnen zu lassen, um die immense Anzahl an nötigen Tests für die Absicherung des automatisierten Fahrens in ausreichend kurzer Zeit durchführen zu können. CarMaker kann außerdem über eine API (application programming interface) von außen ferngesteuert werden und die Testautomatisierung damit durch ein externes Testautomatisierungswerkzeug, das möglicherweise tiefgreifende Design-of-Experiments-Features besitzt, übernommen werden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern gestaltete sich für IPG Automotive folgendermaßen:

- projektübergreifende Quartalstreffen als Präsenz- und virtuelle Treffen
- regemäßige Telefonkonferenzen mit den Projektpartnern auf AP- und UAP-Ebene
- für direkte Zusammenarbeit mit einzelnen Projektpartnern zur Fertigstellung der Demonstratoren nach Bedarf virtuelle Treffen sowie Präsenztreffen
- Informationsaustausch projektübergreifend per Email sowie den projekteigenen Gitlab-Server

Mit externen Stellen arbeitete IPG Automotive im Rahmen des Projektes SET Level nicht zusammen.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

Für eine eingehende Darstellung der Gesamtergebnisse des SET Level Projekts wird auf den Abschlussbericht des Konsortiums verwiesen. An dieser Stelle liegt der Fokus auf Beiträgen und Ergebnissen von IPG Automotive ohne Anspruch eine nahtlose Darstellung im Projektkontext. Die einzelnen Beiträge werden entsprechend der relevanten Arbeitspakete gelistet, um die Einordnung in das Gesamtprojekt zu erleichtern.

2.1.1 Teilprojekt 1: Use-Case Management und funktionsorientierte Anforderungsanalyse

IPG Automotive hatte gemäß der Vorhabensbeschreibung keine aktiven Anteile in TP1. Die an dieser Stelle von den beteiligten Partnern erarbeiteten Use Cases und Anforderungen bildeten die Grundlage für die abgeleiteten Arbeiten in den weiteren Arbeitspaketen.

2.1.2 Teilprojekt 2: Simulationsbasiertes und virtuelles Entwickeln / Testen

2.1.2.1 AP 2.1 Aufbau einer einheitlichen Integrationsarchitektur

Beiträge zur Beschreibung der Simulationsarchitektur bestanden überwiegend aus der Diskussion der Modellschnittstellen, hauptsächlich in Bezug auf OSI (Open Simulation Interface). IPG Automotive konzentrierte sich dabei auf die Erweiterung der im PEGASUS bereits definierten Schnittstellen, um die geänderten Randbedingungen durch die Veränderung der Umgebung und des Automatisierungsgrades zu berücksichtigen. Es wurden Möglichkeiten zur Weiterentwicklung dieser Schnittstellenbeschreibung auf Basis des in PEGASUS erzeugten Standes aufgezeigt und durch die Teilnahme am OSI Change Control Board intensiviert. Diese Arbeitsgruppe beurteilte die in SET Level erarbeiteten Vorschläge zur Weiterentwicklung von OSI und leistete Vorbereitungen zur Weitergabe in Richtung des Standardisierungsgremiums bei ASAM. Inhaltlich wurde nicht mehr nur auf Sensormodelle fokussiert, sondern auch die Integration von Fahrdynamik-, Verhaltens- und Fahrfunktionsmodellen sowie die Weitergabe von Befehlen aus der Szenarienbeschreibung vom Simulationskern an einzelne Teilmodelle wurde betrachtet und umgesetzt (siehe Abbildung 8). Die letztgenannte Art von Nachricht wurde von Grund auf neu für OSI konzipiert.

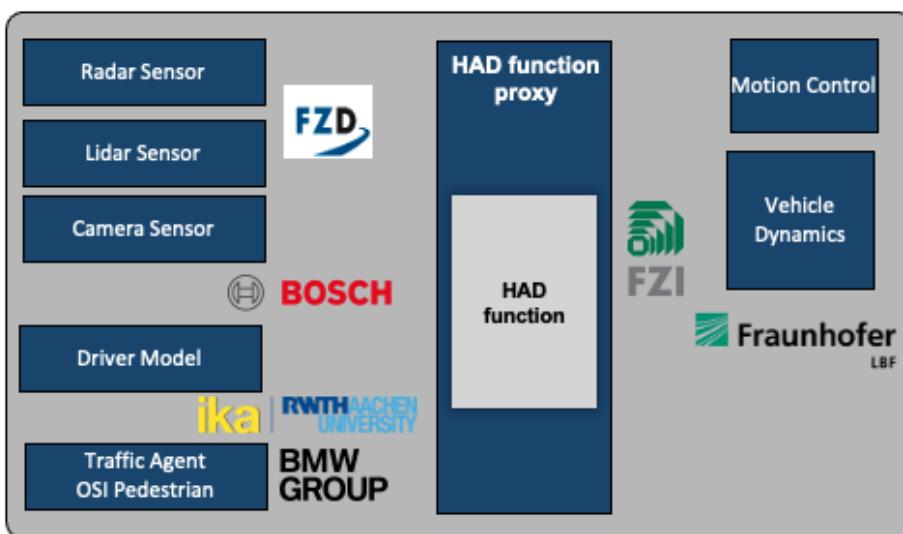


Abbildung 8: Verfügbare Open Source-Modelle im Projekt SET Level

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Arbeiten bestand in der Weiterentwicklung des prototypischen Imports von Simulationsszenarien im OpenSCENARIO-Format, der in PEGASUS implementiert wurde. Der automatisierte Konverter wurde auf neuere CarMaker-Versionen aktualisiert und konnte damit neue Funktionalitäten nutzen, die die Abdeckung von OpenSCENARIO erhöhen konnten. Speziell im Fokus stand die standardkonforme Abbildung des in Simulation Use Case 2 genutzten Szenarios. Durch den großen Umfang von OpenSCENARIO und laufende Entwicklungstätigkeiten am CarMaker-Simulationskern außerhalb des SET Level Projekts ist der Implementierungsgrad des Imports weiterhin als prototypisch zu betrachten. Eine weitgehende Abdeckung von OpenSCENARIO mit CarMaker wird im Laufe des Jahres 2023 erwartet. Den Erfahrungen aus SET Level entsprechende Funktionserweiterungen sind eingeplant und werden in einem agilen Entwicklungsprozess in den Importer übernommen. Interessierte Anwendergruppen erhalten den prototypischen Importer als standardisierungsrelevante Funktion auf Anfrage kostenfrei zur Verfügung gestellt.

In AP 1.2 wurden zum von DLR durchgeführten Aufbau eines Kreuzungsmodells für Simulation Use Case 1, der nicht mit IPG CarMaker behandelt wurde, Tests zum Import in CarMaker durchgeführt sowie Rückmeldung zur Konformität der Straßenbeschreibung gemäß ASAM OpenDRIVE geleistet (siehe Abbildung 9). Es wurden gemeinsam mit weiteren Projektpartnern Vorschläge zur Verbesserung der Beschreibung im Hinblick auf einheitliche Interpretation und Eignung für die Nutzung in mehreren Simulatoren erarbeitet.

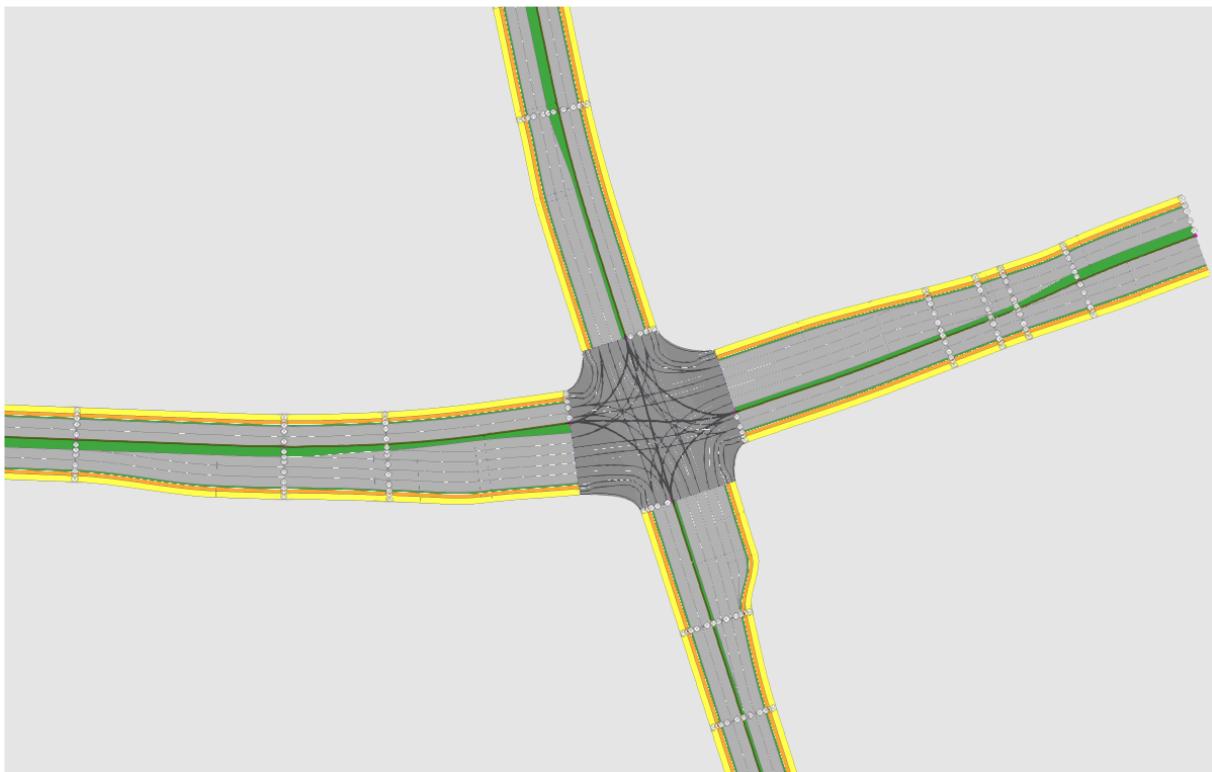


Abbildung 9: Komplexes Kreuzungsmodell für SUC 1 im CarMaker Scenario Editor

Aufgrund der Wichtigkeit der standardisierungsrelevanten Projektinhalte engagiert sich IPG Automotive derzeitig und auch zukünftig im Rahmen von ASAM an der kontinuierlichen Weiterentwicklung der ASAM OpenX-Formate.

In UAP 2.1.11 "Methoden zur Quantifizierung von Fehlern sind benannt" wurde geführt durch IPG Automotive eine Verknüpfung der in anderen Arbeitspaketen geleisteten Arbeiten mit Bezug auf Fehlerquellen bei der Modellierung von technischen Systemen vorgenommen. Das Ziel war eine leichte Zugänglichkeit der Ergebnisse und eine Art roter Faden für die Konzipierung, Implementierung und Validierung von Modellen. Die Modellierung eines technischen Systems führt immer zu einer Abstraktion der Realität. Daher sind Abweichungen des Modellverhaltens vom Verhalten der realen Welt unvermeidlich. Der Anwendungsfall eines Modells legt fest, in

welchen Betriebsbereichen und in welchem Umfang Abweichungen zulässig sind, wobei auch Rechenaufwand sowie Komplexität der Modellierung und Parametrierung mit zu berücksichtigen sind. Das Ziel des Modellierungsprozesses sollte immer ein ausreichend genaues Modellverhalten gemäß den Anforderungen für den jeweiligen Anwendungsfall sein. Folglich wird eine Methode zur Quantifizierung von Modellierungsfehlern und zur Beurteilung der resultierenden Modellqualität auch unter Berücksichtigung von Fehlerfortpflanzung über mehrere Modelle innerhalb eines komplexen Gesamtsystems benötigt. Das erarbeitete Dokument dient als Überblick über die in verschiedenen Arbeitspaketen geleisteten Tätigkeiten mit Bezug auf Modellerstellung und -validierung. Nicht im Fokus stand eine exemplarische Durchführung einer quantitativen Fehlerabschätzung für die Modelle, die innerhalb des Projektes erarbeitet wurden.

2.1.2.2 AP 2.2: Entwicklung von Mechanismen für die Kopplung von verschiedenen Simulationsmodellen

In diesem Arbeitspaket wurden Tätigkeiten des Projektpartners FZI zum Thema Szenario-Exploration unterstützt. Dazu wurde eine vollständige Integration mit Dokumentation des Simulation Use Case 2 bereitgestellt und Möglichkeiten zur externen Steuerung einer automatisierten Auswahl von Szenarien im CarMaker aufgezeigt. Unter Initiative des Projektpartners FZI wurde ein gemeinsames Paper zu diesen Arbeiten veröffentlicht (siehe

Tabelle 1).

Die von IPG Automotive in der Vorhabensbeschreibung angekündigten Arbeiten zu Methoden zur Abschätzung von Fehlerarten wurden unter anderem in UAP 2.1.11 behandelt (siehe Abschnitt 2.1.2.1).

2.1.2.3 AP 2.3: Definition von Anforderungen an die Ausführungsumgebungen

In diesem Arbeitspaket diente IPG Automotive hauptsächlich durch eine Review-Funktion. Die von den Simulationsanwendern unter den Projektpartnern unabhängig erarbeiteten Anforderungen wurden von den Simulationsanbietern geprüft und basierend auf der existierenden Praxiserfahrung auf die Anwendbarkeit und Plausibilität beurteilt. Durch die im Projekt erarbeitete Simulationsarchitektur war es abweichend von der Vorhabensbeschreibung nicht nötig, komplexe vernetzte Architekturen zu behandeln. Der Fokus lag im Projekt auf Model- und Software-in-the-Loop Anwendungen, in denen im Gegensatz zu Hardware-in-the-Loop Anwendungen keine Echtzeitanforderung existiert. Zwar ist eine hohe Simulationsleistung wünschenswert, jedoch kann diese auch durch Skalierung über mehrere Ausführungsplattformen im Gegensatz zur Erhöhung der Geschwindigkeit einer einzelnen Plattform erreicht werden. Die erreichbare Leistung bei gegebener Hardware ist für große Testkataloge (wie für die Absicherung des automatisierten Fahrens erwartet) ähnlich und wird hauptsächlich von den Anforderungen an den Detailgrad der einzelnen Modelle getrieben.

2.1.3 Teilprojekt 3: Modellspezifikation, -Entwicklung und –Validierung

2.1.3.1 AP 3.1 Modellspezifikation und -aufbau

In AP3.1 erfolgte die Mitarbeit bei der Erarbeitung von Prozessen und Beschreibungen, wie Modelle und Teilmodelle aufgebaut werden, damit sie für einen einheitlichen Austausch zwischen beteiligten Parteien genutzt werden können. Bei dieser Beschreibung handelt es sich um eine detaillierte Definition der Schnittstellen einerseits, aber auch um die Definition der Beschreibung der Inhalte der Modelle. In diesem Zuge wurden Beiträge zum Credible Simulation Process Framework geleistet. Bestandteile davon sind der Simulation-based Decision Process, der Credible Simulation Process, der Credible Modelling Process sowie die Ausarbeitung eines Kooperationsprozesses zwischen Partnern. Im Detail finden sich Beschreibungen dieses Frameworks im Schlussbericht des Gesamtprojekts.

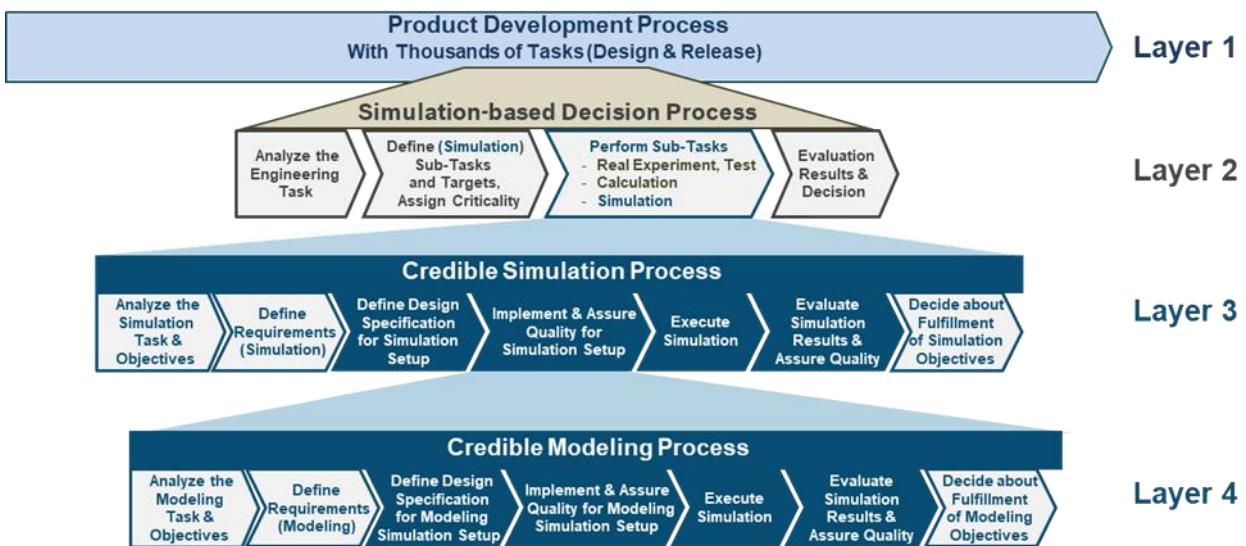


Abbildung 10: Grundstruktur des Credible Simulation Process Frameworks

Eine Hauptaussage dieses Frameworks ist, dass immer dem Anwendungsfall und dessen Anforderungen entsprechende Modelle entwickelt werden und zum Einsatz kommen. IPG Automotive trägt diesem Ansatz in der CarMaker-Produktfamilie mit dem „Purpose-Driven Fidelity“-Ansatz Rechnung. So können Detaillierungsgrad, Simulationsleistung und Modellparametrierungs- und Modellvalidierungsaufwand optimiert werden.

Zentraler Beitrag von IPG Automotive zu diesem Framework war die Diskussion von Anforderungen an Modellschnittstellen und –inhalten, die Weiterentwicklung des Open Simulation Interface (OSI) sowie die Anpassung und Weiterentwicklung der aus PEGASUS existierenden OSI-Erweiterung für die Simulations- und Integrationsplattform CarMaker. In diesem Zuge wurde die OSI-Erweiterung auf die jeweils aktuelle Version der Simulationsumgebung CarMaker angepasst, deren interne Struktur weiterentwickelt und verbessert. Die im Projekt erarbeitete Umstrukturierung der Modellschnittstellen von Radar, Lidar und Kamera wurde in der Implementierung umgesetzt.

2.1.3.2 AP 3.2 Modellauswahl und Integration

In AP3.2 unterstützte IPG Automotive bei der Entwicklung und Erprobung eines Vorgehens zur Modellauswahl und -anwendung, sowie der Definition der dafür benötigten Metadatenformate der Modelle. Als Hauptergebnisse aus diesem Arbeitspaket haben sich das Simulation Task Metadata Format (STMD) und das Simulation Resource Metadata Format (SRMD) ergeben.

Das Simulation Resource Metadata Format beschreibt dabei in einem maschinenlesbaren XML-Format nach SSP-Traceability Ansatz abstrahierte Informationen über das Modell. Ziel dabei ist die Identifizierbarkeit von Modellen in einem automatisierten Modellauswahlprozess, die Erleichterung der Auswahl geeigneter Simulationsmodelle und Nachvollziehbarkeit verwendetener Modelle in einer abgeschlossenen Simulationsaufgabe.

SRMD ist dabei eine Teilmenge des STMD-Formates. STMD ist Teil der SSP Traceability Specification und öffentlich verfügbar. Es wird für die Beschreibung von Simulationsaufgaben und Modellierungsaufträge verwendet.

Im Gesamtbericht finden sich weitere Informationen zur genauen Ausgestaltung der Formate.

2.1.3.3 AP 3.3 Datenmanagement

In AP3.3 wurden zusätzlich zur Beschreibung von Modellen mittels SRMD auch Simulationsszenarien und –karten betrachtet. Mittels SRMD können so abstrahierte Informationen über das Szenario wie z. B. Anzahl von Verkehrsteilnehmern, Straßenklassifikation oder enthaltene Fahrmanöver abgelegt werden. In einer Szenariendatenbank wird so die effiziente Suche nach relevanten Szenarien ermöglicht, ohne die Szenarien im Detail analysieren zu müssen.

Des Weiteren lag der Fokus von IPG Automotive in diesem Arbeitspaket in der Analyse der Anwendbarkeit von SSP zur Beschreibung der Ausprägung einer komplexen Simulationsumgebung bei der Verknüpfung von Modellen aus verschiedenen Quellen, so wie es in SET Level gegeben war, sowie die Prüfung der Übertragbarkeit auf existierende proprietäre Vorgehensweisen in der CarMaker-Integrationsumgebung.

2.1.4 Teilprojekt 4: Instanziierung von Werkzeugketten für Entwicklung und Testen

2.1.4.1 AP 4.1: Ableitung der Schnittstellenanforderungen

In AP4.1 wurden die Anforderungen der anderen Arbeitspakete für die Simulation Use Cases konsolidiert und auf Praxistauglichkeit geprüft. Da nicht nur formale Aspekte (welche Signale und Informationen in einer Schnittstelle zwischen verschiedenen Modulen bereitgestellt werden müssen), sondern auch semantische Aspekte (wie die Informationen zu interpretieren sind) eine ausschlaggebende Rolle spielen, wurde ein Schnittstellenänderungsprozess etabliert, der über das SET Level Tooling in Gitlab und Git verfolgt wurde. IPG Automotive beteiligte sich an dieser Stelle im OSI Change Control Board (CCB), das Änderungsvorschläge diskutierte, auf Anwendbarkeit in der Praxis beurteilte, priorisierte und in die SET Level-spezifischen Änderungen an OSI integrierte.

Die projektinterne Szenariendatenbank, die ebenfalls über Gitlab zur Verfügung stand, wurde von IPG Automotive in der praktischen Nutzung getestet.

2.1.4.2 AP 4.2: Kritikalitätsanalyse

IPG Automotive hatte gemäß Vorhabensbeschreibung keine aktiven Anteile in AP 4.2.

2.1.4.3 AP 4.3 Level 4 und 5 Systeme

Der Beitrag von IPG Automotive in AP4.3 war der Aufbau eines modularen Demonstrators für die Teilsystemabsicherung einer automatisierten Fahrfunktion in Simulation Use Case 2 (SUC2). Eine entsprechende Darstellung der Umsetzung ist in Abbildung 11 gegeben. Die Grundstruktur gleicht dabei aufgrund der hohen Modularität der des auch in SUC3 verwendeten Aufbaus. Ein besonderes Augenmerk lag darauf, dass Tools und Modelle verschiedener Quellen koppelbar sind und eine gemeinsame, synchrone Ausführung gegeben ist. Diese wurde durch die Implementierung der in den vorangehenden Arbeitspaketen definierten Schnittstellen auf Basis von OSI sichergestellt. Für die Realisierung eines Demonstrators war es zudem notwendig, dass die weiteren definierten Standards wie OpenSCENARIO und OpenDRIVE unterstützt werden und die Ausführung auf verschiedenen Betriebssystemen gewährleistet ist. Das in SUC2 genutzte Demonstrationsszenario konnte dabei vorab automatisiert in die Toolkette geladen werden. Nach Abschluss einer Simulation wurde eine automatisierte Auswertung der simulierten Szenarien basierend aus den definierten KPIs oder Bewertungskriterien erfolgen, indem die Aufzeichnungen relevanter Simulationssignale in dem im Projekt abgestimmten Ergebnisdatenformat abgelegt wurden.

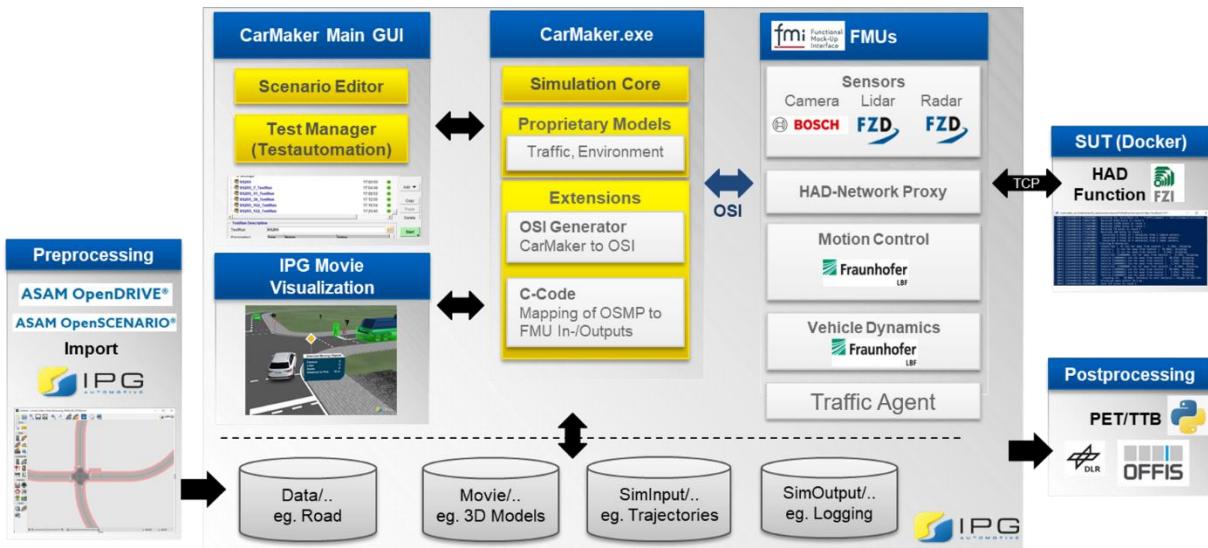


Abbildung 11: Grundstruktur der Implementierung von SUC2 und SUC3 in CarMaker

Ein wesentlicher Neuerungswert in SUC2 bestand in der Integration der Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Truck und Driver) als externe Modelle in OSMP FMUs, die von verschiedenen Projektpartnern entwickelt wurden. Notwendige Anpassungen und Annäherungen an den OSI Standard seitens der Modelle wurden angeregt und CarMaker-seitige Weiterentwicklungen geplant und implementiert. Dadurch konnten die Modelle ika-driver und MAN-Truck erfolgreich eingebunden werden.

Der Credible Simulation Process wurde im Rahmen der Implementierung des Simulation Use Case 2 angewendet und alle seitens der Simulationsumgebung benötigten Informationen bereitgestellt und dokumentiert.

Der aufgebaute Demonstrator stellte sicher, dass die definierten Integrationsarchitekturen aus TP 2 und die Modelle aus TP 3 zusammen genutzt werden können. Die iterative Weiterentwicklung und Bereitstellung für die beteiligten Projektpartner ermöglichte eine durchgehende Nutzung der Schnittstellen und den Test und die Weiterentwicklung der integrierten Modelle und erweiterten OSI-Funktionalitäten, beispielsweise zur Steuerung von virtuellen Verkehrsteilnehmern. Dafür stellte IPG Automotive den Projektpartnern vollständige CarMaker-Projektverzeichnisse, Dokumentation sowie Lizenzen zur Verfügung sowie unterstützte, soweit nötig, mit technischem Support.

2.1.4.4 AP 4.4 Komponentensimulation

Während in AP 4.3 die Teilsystemsimulation einer automatisierten Fahrfunktion betrachtet wurde, stand in AP 4.4 bzw. SUC3 die Komponentensimulation eines einzelnen Sensors im Fokus. Für IPG Automotive bedeutete dies, dass beim Aufbau des modularen Demonstrators auch eine Einbindung derartiger Modelle möglich ist und dass entsprechende Schnittstellen geschaffen und genutzt werden. Grundsätzliche Anforderungen sind ähnlich zu AP 4.3, jedoch ergeben sich Unterschiede durch die Nutzung von OSI:SensorView für detaillierte, geometrie-basierte Sensorsimulation anstelle von OSI:GroundTruth. Zur Erzeugung der Sensorrohdaten wurden Modelle der „Raw Signal Interface“-Klasse eingesetzt, die GPU-basierte Rendering- und Raytracing-Verfahren anwenden. Die Sensorrohdaten werden anschließend von der CPU in das abgestimmte OSI/OSMP-Protokoll umgewandelt und für die Objekterkennung in den Modellen der Projektpartner zur Verfügung gestellt. Ausgabegrößen des Sensormodells können aufgezeichnet und im Post-Processing bezüglich ihrer Detektionsperformanz bewertet werden.

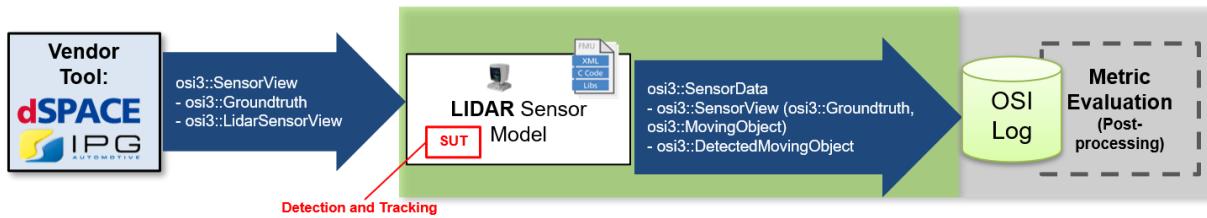


Abbildung 12: Darstellung der Lidar User Story in SUC3

Ein für diesen Prozess beispielhaftes Blockschaltbild des Demonstrators für die Lidar User Story ist in Abbildung 12 dargestellt. Gegenüber frühen Entwicklungsständen von OSI:Sensor-View für Lidar, wie in PEGASUS prototypisch definiert, wurde eine Umstrukturierung der OSI-Schnittstelle diskutiert und umgesetzt. Dadurch wurde es ermöglicht, die OSI Lidar Sensor View Schnittstelle auch für asymmetrische, nutzerspezifische Beam Patterns zu verwenden, wie sie beispielsweise in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt ist. Das ermöglicht eine effizientere Modellierung von Sensoren, die bisher OSI-basiert nur durch rechenintensive Überabtastung realisiert werden konnte. Durch eine direkte Zuordnung der aus dem Raytracing resultierenden Reflexionen zu den gesendeten Strahlen konnte die Menge der zu übertragenden Daten über die OSI Schnittstelle signifikant reduziert werden.

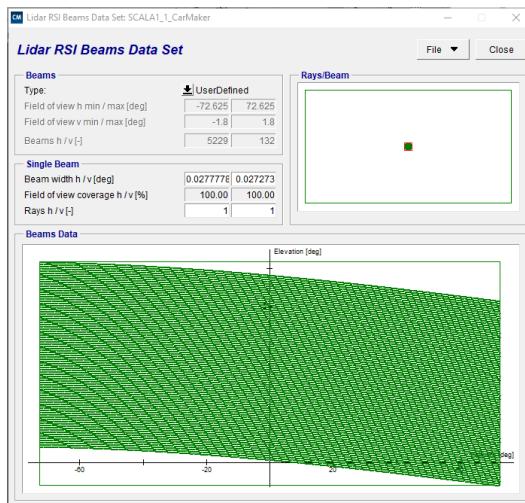


Abbildung 13: Definition eines unregelmäßigen Lidar Beam Patterns in CarMaker

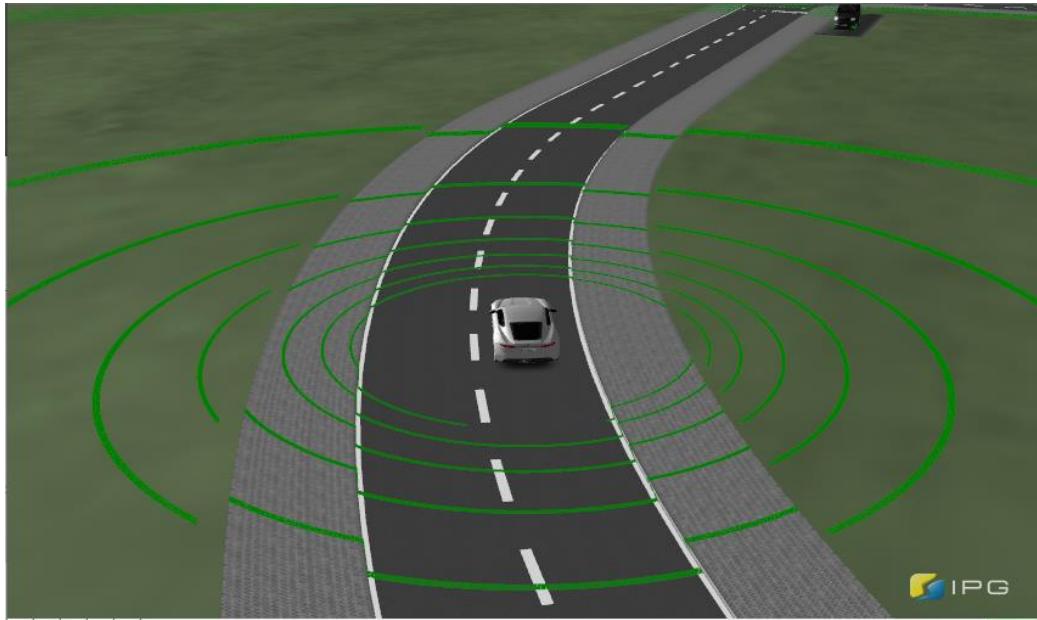


Abbildung 14: Generierung von synthetischen Lidardaten mittels Raytracing

Für die Kamera User Story (siehe Abbildung 15) wurde eine synchrone Übertragung der Groundtruth- und mehrerer CameraSensorView-Nachrichten in den Bildformaten RGB und Tiefebild ermöglicht. Durch diese Implementierung können die zur Abbildung von Effekten einer Stereokamera benötigten Größen über die CarMaker OSI-Erweiterung bereitgestellt werden. Beispiele für Daten, die über diese Schnittstelle übertragen wurden sind in Abbildung 16 dargestellt.

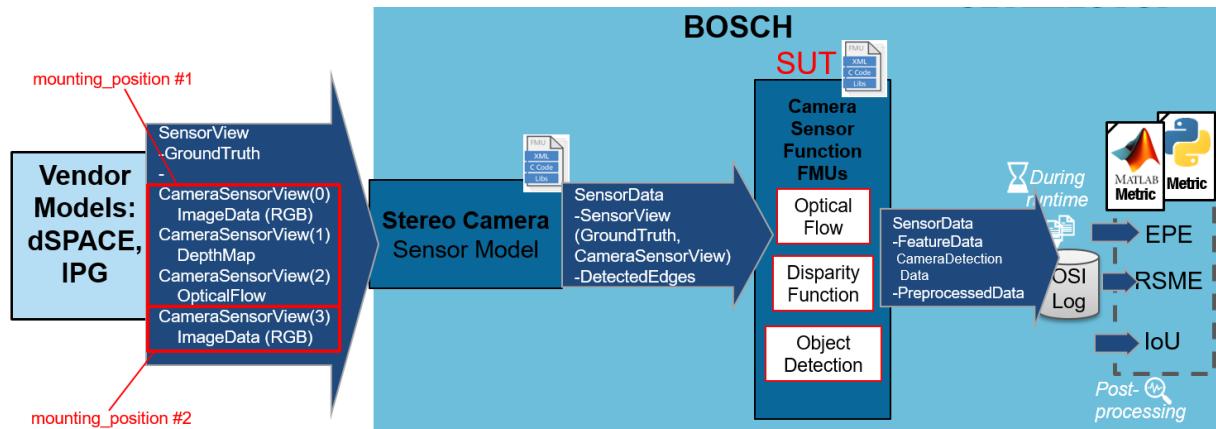


Abbildung 15: Darstellung der Kamera User Story in SUC3

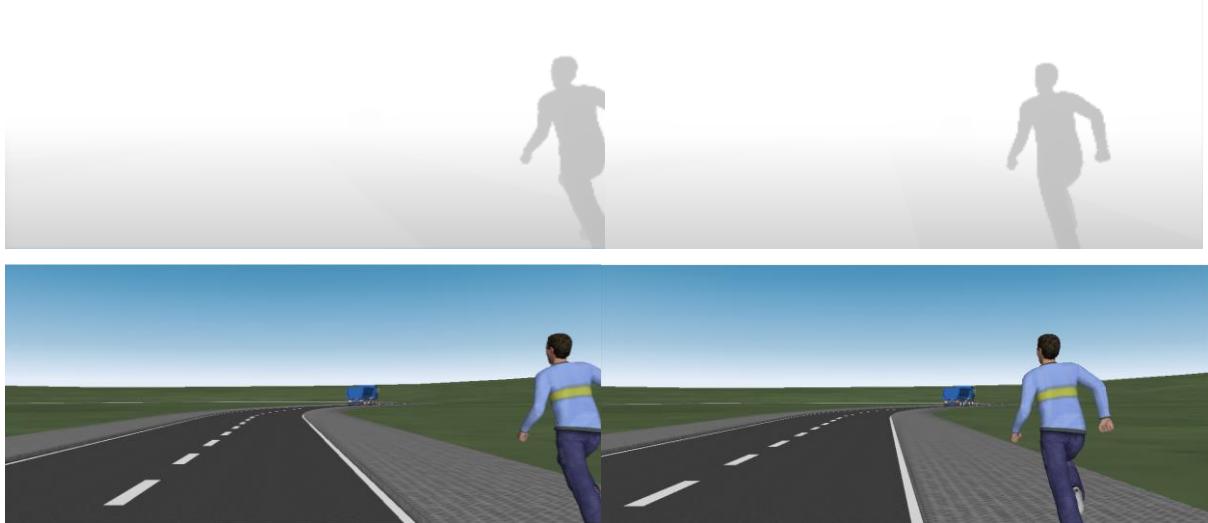


Abbildung 16: Beispielhafte Darstellung der übertragenen Tiefen- (oben) und RGB-Bilder

Im Hinblick auf die Integration eines Radarsensormodells wurden zwei separate Pfade verfolgt (siehe Abbildung 17). Einerseits wurde die Anbindung eines Radarmodells mit externem Raytracer diskutiert, was über OSI:GroundTruth sowie externe Modell- und Materialdatenbanken möglich ist. Empfohlen wird jedoch die Verwendung des CarMaker-eigenen Raytracers, damit bei Verwendung der weiteren im Projekt genutzten geometriebasierten Sensormodelle eine konsistente Umgebungsrepräsentation zur Verfügung steht. Für diesen Anwendungsfall wurde die entsprechende OSI:SensorView für Radar implementiert und die Anbindung an das im Projekt entstandene Radarmodell realisiert.

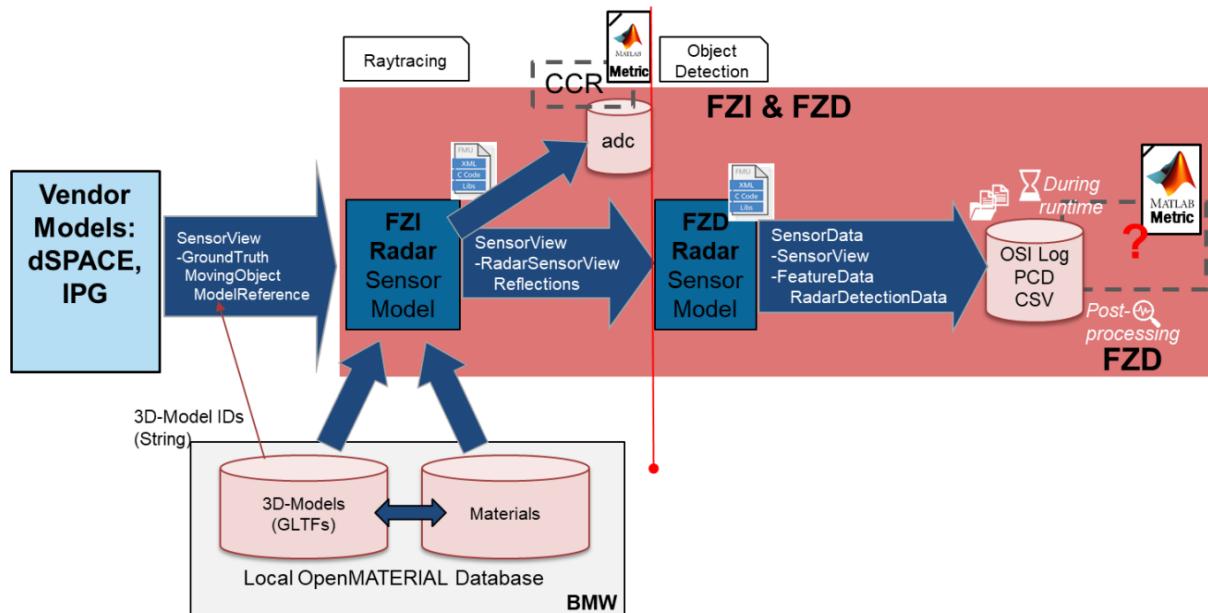


Abbildung 17: Darstellung der Radar User Story in SUC 3

Zudem wurde zu Diskussionen beigetragen, die über mögliche Auswerte- und Bewertungsgrößen des SUC 3 geführt wurden.

Der Credible Simulation Process wurde im Rahmen der Implementierung des Simulation Use Case 3 angewendet und alle seitens der Simulationsumgebung benötigten Informationen bereitgestellt und dokumentiert. Den Sensormodellentwicklern unter den Projektpartnern wurde ab dem ersten Projektmeilenstein eine lauffähige Umgebung in CarMaker zur Verfügung gestellt, um die Modelle zu testen und weiterzuentwickeln.

2.1.5 Teilprojekt 5: Einbettung und kritische Reflexion

IPG Automotive hatte gemäß der Vorhabensbeschreibung keine aktiven Anteile in TP5. IPG Automotive unterstützte die beteiligten Partner auf Anfrage mit Beurteilungen der erzielten Projektergebnisse.

2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der zahlenmäßige Nachweis ist dem Erfolgskontrollbericht zu entnehmen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Förderung ermöglichte eine umfassende, technisch tiefe Zusammenarbeit des Konsortiums, in dem alle relevanten Rollen von Akteuren im Sektor vertreten waren (OEM, Zulieferer, Technologieentwickler, Wissenschaft und Forschung). So konnten Fortschritte auf dem Feld der Simulation für den Test und die Absicherung automatisierter Straßenfahrzeuge erzielt werden, die eine breite Akzeptanz zu finden versprechen.

Insbesondere im Bereich der Standardisierung der Formate für Testbeschreibung, die simulationsinternen Schnittstellen und der darüber ausgetauschten Inhalte wurden in Abstimmung mit allen Beteiligten große Fortschritte erzielt. Auch die Nutzbarkeit der Setzungen für die praktische Anwendung konnte in gemeinsam umgesetzten Demonstrationen gezeigt werden. So hat der Ansatz, die akteurübergreifende Zusammenarbeit in einem Verbundprojekt zu fördern, wesentlich dazu beigetragen, im vorwettbewerblichen Bereich Übereinkünfte zu treffen, die zukünftig in wirtschaftliche Umsetzungen einfließen und fortschrittliche Technologien auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik für alle Akteure verfügbar machen.

Durch die Förderung des Projekts SET Level wurde die Qualität der erreichten Ergebnisse insbesondere im Bereich der standardisierten Datenformate und der eingesetzten Tools durch die Abstimmung und Zusammenarbeit im Gegenstandsbereich der beteiligten Firmen und Institutionen in erheblichem Maße gesteigert. Ebenso wurden durch die Zusammenarbeit im Projekt umfangreichere Projektergebnisse erzielt, da die Zuwendung eine umfassendere Betrachtung und erweiterte Evaluation der Ergebnisse ermöglicht hat.

Zwar ist nach dem PEGASUS-Projekt mit ASAM ein Standardisierungsgremium aktiviert worden, das die genutzten Formate und Schnittstellen verwaltet und weiterentwickelt. Dieses Gremium muss allerdings stets alle sinnvollen Anwendungen im Blick haben und kann selbst nicht einzelne Anwendungsfälle in der Tiefe beleuchten und v.a. die Anwendbarkeit in der Praxis nicht untersuchen. Die praktische Erprobung erfolgt in der Regel in produktiven Entwicklunguprojekten, in denen jedoch die effiziente Durchführung des Projekts im Fokus steht. Vor allem ist aufgrund von Vertraulichkeit keine öffentliche Diskussionsplattform möglich. Die Rückführung in Richtung Standardisierung kommt folglich häufig zu kurz. Entsprechend ist ein öffentliches Forschungsprojekt ideal für eine tiefgehende Beschäftigung mit Anwendungsfällen, Grundlagenarbeit für neue Methoden und Experimente mit einer breiten Nutzerbasis.

Für IPG Automotive liegen Anforderungen der Anwender oft weit auseinander, was die zielgerichtete Entwicklung einer zentralen Simulationsplattform erschwert. Öffentliche Forschungsprojekte bieten eine hervorragende Möglichkeit, eine gemeinsame Methodenbasis zu schaffen, Kundenanforderungen zu konsolidieren und Prototypen zu erarbeiten, um die Anforderungen zu validieren. Dies beschleunigt zukünftige Entwicklungsarbeiten und verbessert die Positionierung im globalen Markt.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit

Die Entwicklungen in SET Level sind eng mit Entwicklungszielen von IPG Automotive verknüpft, so dass Projektergebnisse kurzfristig in die Produkte und das Dienstleistungsportfolio aufgenommen werden können. Der entstandene Mehrwert wird zusätzliche Aufträge generieren und dabei unterstützen, Bestandskunden zu sichern und Neukunden zu akquirieren.

Die Mitarbeit bei der Schaffung von standardisierten Schnittstellen hat dazu beigetragen, schon während der Projektlaufzeit einen verbesserten Austausch in der deutschen und auch weltweiten Automobil- und Zuliefererindustrie zu ermöglichen. Dies hat effizientere Entwicklungsprozesse durch eine Stärkung der Fokussierung auf die Simulation im Produktentwicklungszyklus zur Folge. Für die IPG-Produkte in den Bereichen Simulationssoftware und mechatronische Hardware-in-the-Loop-Prüfstände wird dadurch schon kurzfristig eine höhere Nachfrage erwartet.

Die in PEGASUS prototypisch umgesetzte Import-Funktionalität von OpenSCENARIO wurde in SET Level weiter verbessert und gewonnene Erfahrungen wurden in die allgemeine Entwicklungsstrategie für CarMaker eingespeist. Dies führt mittelfristig zu verbesserter Funktionalität der Produktfamilie und stärkt dessen Position auf dem Markt. Kurzfristig wird die Import-Funktionalität interessierten Benutzern kostenfrei zur Erprobung zur Verfügung gestellt.

Die erfolgreiche prototypische Implementierung einer standardisierten Schnittstelle für Sensormodelle, Open Simulation Interface, erfolgte ebenfalls schon in PEGASUS. Diese wurde im Rahmen von SET Level auf geometriebasierte Sensormodelle, Fahrfunktionen, Fahrdynamikmodelle und andere Verkehrsteilnehmer erweitert. Durch die erhöhte Flexibilität und Offenheit konnte die Tauglichkeit von CarMaker als Integrationsplattform demonstriert werden. Durch Abstimmung mit dem Standardisierungsgremium ASAM werden diese Schnittstellen auch zunehmend in der Industrie Verwendung finden. Die prototypische Umsetzung im Rahmen des Forschungsprojektes beschleunigt hierbei die Anwendbarkeit und Produktisierung. Mit den neuen Schnittstellen wurden auch neue Möglichkeiten für den Modellaustausch zwischen Zulieferer und OEM geschaffen werden konnten, selbst wenn die Unternehmen unterschiedliche Simulationstools nutzen.

Die zentralen Projektergebnisse stehen nach Produktisierung automatisch auch dem weit verzweigten universitären Partnernetzwerk von IPG Automotive zur Verfügung und finden dort ihren Anschluss als Basis in der Forschungslandschaft und können als Grundlage für weitere Forschungskooperationen, Promotionen und Abschlussarbeiten dienen.

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt

Während des SET Level-Projektes sind keine Fortschritte anderer Vorhaben auf dem Gebiet von SET Level bekannt geworden, die einen signifikanten Einfluss auf SET Level hatten.

2.6 Veröffentlichungen

2.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen

Im Zuge der Ergebnisverbreitung erfolgte die Präsentation von SET Level-Inhalten wie in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Erfolgte Veröffentlichungen mit Beteiligung von IPG Automotive in SET Level

Nr.	Datum	Veranstaltung / Veröffentlichung	Ort	Autoren
1.	29.04.2021	SET Level Halbzeitveranstaltung	virtuell	Sonja Marahrens (IPG Automotive), Marina Liebich (IPG Automotive), Martin Herrmann (IPG Automotive)
2.	17.05.2022	8th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems	virtuell	Barbara Schütt (FZI), Marc Heinrich (FZI), Sonja Marahrens (IPG Automotive), J. Marius Zöllner (FZI), Eric Sax (FZI)
3.	11.10.2022 - 12.10.2022	SET Level Abschlussveranstaltung	virtuell	Sonja Marahrens (IPG Automotive), Hui Zhao (IPG Automotive) Marina Liebich (IPG Automotive), Martin Herrmann (IPG Automotive)

2.6.2 Geplante Veröffentlichungen

Es sind keine weiteren Veröffentlichungen zum Projekt SET Level geplant.

3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projekte der PEGASUS-Familie.....	4
Abbildung 2: Zusammensetzung der Partner von SET Level.....	5
Abbildung 3: Schnelle Iterationen in Projektmeilensteinen.....	5
Abbildung 4: Aufbau der Teilprojekte von SET Level.....	6
Abbildung 5: Zeitplanung mit Meilenstein- und Abschlussberichten.....	7
Abbildung 6: Übersicht über CarMaker Simulationsplattform.....	8
Abbildung 7: Sensormodellklassen in CarMaker	10
Abbildung 8: Verfügbare Open Source-Modelle im Projekt SET Level.....	11
Abbildung 9: Komplexes Kreuzungsmodell für SUC 1 im CarMaker Scenario Editor.....	12
Abbildung 10: Grundstruktur des Credible Simulation Process Frameworks	14
Abbildung 11: Grundstruktur der Implementierung von SUC2 und SUC3 in CarMaker.....	17
Abbildung 12: Darstellung der Lidar User Story in SUC3.....	18
Abbildung 13: Definition eines unregelmäßigen Lidar Beam Patterns in CarMaker	18
Abbildung 14: Generierung von synthetischen Lidardaten mittels Raytracing.....	19
Abbildung 15: Darstellung der Kamera User Story in SUC3	19
Abbildung 16: Beispielhafte Darstellung der übertragenen Tiefen- (oben) und RGB-Bilder ...	20
Abbildung 17: Darstellung der Radar User Story in SUC 3	20

4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erfolgte Veröffentlichungen mit Beteiligung von IPG Automotive in SET Level24

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel SET Level Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Herrmann, Martin	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2022
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) IPG Automotive GmbH Bannwaldallee 60 76185 Karlsruhe Germany	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19A19004L
	11. Seitenzahl 26
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 0
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln, 04.05.2020	
18. Kurzfassung SET Level wurde für den Einsatz von Simulation beim Entwickeln und Testen hoch automatisierter Fahrfunktionen in urbanen Umgebungen konzipiert. Dabei wurden wesentliche Partner aus der deutschen Automobilindustrie, Zulieferer, IT-Vendoren und renommierten Forschungseinrichtungen zusammengeführt, um Kompetenzen, Methoden und Technologien gemeinsam aufzubauen. Als Erfolgsmerkmal und -nachweis wurden so genannte Simulation Use Cases (SUCs) konzipiert. Um einen Erfolgsnachweis und eine Basis für die Reflektion der gewählten Ansätze zu schaffen, wurden zu definierten Meilensteinen Demonstratoren implementiert und evaluiert. Neben Beiträgen zu Anforderungen und prozessrelevanten Themen setzte IPG Automotive diese Demonstratoren für SUC2 (Teilsystemabsicherung) und SUC3 (Komponentensimulation) auf Basis der Simulations- und Integrationsplattform CarMaker um. Dabei wurden Standardformate und -schnittstellen wie OpenSCENARIO, OpenDRIVE und Open Simulation Interface verwendet. Damit wurde eine modulare, offene Simulationsarchitektur konzipiert und implementiert, die die Zusammenarbeit in der Automobilindustrie bei der Absicherung des automatisierten Fahrens ermöglicht und fördert.	
19. Schlagwörter SET Level, Automatisiertes Fahren, Simulation, OpenDRIVE, OpenSCENARIO, Open Simulation Interface, CarMaker	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report	
3. title		
SET Level		
Simulation-based Engineering and Testing of Automated Driving Functions		
4. author(s) (family name, first name(s)) Herrmann, Martin		5. end of project 31.10.2022
		6. publication date
		7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) IPG Automotive GmbH Bannwaldallee 60 76185 Karlsruhe Germany		9. originator's report no.
		10. reference no. 19A19004L
		11. no. of pages 26
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn		13. no. of references 0
		14. no. of tables 1
		15. no. of figures 17
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date) TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln, 04.05.2020		
18. abstract		
<p>SET Level was designed for the use of simulation in developing and testing highly automated driving functions in urban environments. Key partners from the German automotive industry, suppliers, IT vendors and renowned research institutions were brought together to jointly build competencies, methods and technologies.</p> <p>So-called Simulation Use Cases (SUCs) were designed as a success feature and proof of concept. To provide proof of success and a basis for reflection of the chosen approaches, demonstrators were implemented and evaluated at defined milestones. In addition to contributions to requirements and process-relevant topics, IPG Automotive implemented these demonstrators for SUC2 (subsystem validation) and SUC3 (component simulation) based on the CarMaker simulation and integration platform. Standard formats and interfaces such as OpenSCENARIO, OpenDRIVE and Open Simulation Interface were used. The result was the design and implementation of a modular, open simulation architecture that enables and promotes collaboration in the automotive industry to safeguard automated driving.</p>		
19. keywords SET Level, Automated Driving, Simulation, OpenDRIVE, OpenSCENARIO, Open Simulation Interface, CarMaker		
20. publisher	21. price	