

VIVID / VIVALDI

Schlussbericht (Teil I)
Kurzbericht



Fälligkeitsdatum: 20.12.2024
Erstellungsdatum: 18.12.2024

Berichtszeitraum: 01.10.2020 – 31.12.2023
Förderkennzeichen: 16ME0169
Zuwendungsempfänger: IPG Automotive GmbH

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inhaltsverzeichnis

1	Stand der Technik und Aufgabenstellung	3
2	Ablauf des Vorhabens	3
3	Erzielte Ergebnisse	6

1 Stand der Technik und Aufgabenstellung

Ziel des Projekts VIVID (Webpräsenz ¹) war die Forschung und Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Absicherung von Sensorsystemen für den Einsatz in automatisierten und vernetzten Fahrzeugen der Zukunft. Hierbei stand die Evaluation der funktionalen Sicherheit der Sensorsysteme mit der Fragestellung „how safe is safe enough“ im Vordergrund. In diesem Zusammenhang wurde mit VIVID das kooperative Forschungsvorhaben zwischen Deutschland und Japan bezeichnet, das sich aus dem deutschen Partnerprojekt VIVALDI und dem japanischen Partnerprojekt DIVP ² zusammensetzte.

VIVID/VIVALDI baute auf den Erkenntnissen und Ergebnissen vorheriger öffentlich geförderter Projekte wie beispielweise PEGASUS ³ auf, woraus die Methoden wie das 6-Ebenen-Modell zur Beschreibung von Szenarien direkt aufgegriffen wurden. Die in PEGASUS erarbeitete Gesamtmethodik diente als Basis und sollte in VIVID/VIVALDI durch Methoden zur Verifizierung und Validierung von Umgebungs- und Sensormodellen im Bereich der hochautomatisierten Fahrfunktionen erweitert werden.

IPG Automotive konzentrierte sich im Projekt auf die Auswahl, Parametrierung, Implementierung und Analyse einfacher und komplexer Szenarien nach einer durch die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern definierten Methodik. Außerdem wurden die Partner bei der Auslegung von Schnittstellen zwischen CarMaker und weiteren Simulationsumgebungen sowie -modellen unterstützt.

Die Arbeit und technische Abstimmung von Schnittstellen mit den Projektpartnern beinhaltete auch die entwicklungsbegleitende Anwendung von ASAM OpenX Standards, wie z.B. das Open Simulation Interface (OSI) ⁴ sowie die Umsetzung von partnerspezifischen Anpassungen. Für die Implementierung von komplexen Szenarien wurden diese zunächst modular zerlegt, um Teilmanöver zu identifizieren, sodass in einem späteren Schritt mehrere Variationen eines gemessenen Szenarios automatisiert generiert werden konnten.

2 Ablauf des Vorhabens

In diesem Abschnitt werden die Aktivitäten von IPG Automotive im Rahmen der Arbeitspakete (Work Packages – WP) des Vorhabens kurz beschrieben. Für eine detaillierte Darstellung der entsprechenden Arbeitspakete wird an dieser Stelle auf den ausführlichen Schlussbericht (Teil II) sowie das VIVID White Paper ⁵ verwiesen.

¹ <https://www.safecad-vivid.net>

² <https://divp.net>

³ <https://pegasus-family.de>

⁴ <https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation>

⁵ https://www.safecad-vivid.net/app/uploads/2024/01/2024-0111_VIVID-white-paper.pdf

Zunächst hatte IPG Automotive im WP2100 bei der Auswahl der einfachen Szenarien unterstützt und die gemeinsame Herangehensweise mitgetragen, sich an relevanten NCAP⁶ Szenarien zu orientieren (HP Euro NCAP). Ausgewählte Szenarien wurden in der hauseigenen Simulationsumgebung CarMaker implementiert und dem Konsortium zur Verfügung gestellt:

- Car-to-Car Front turn-across path (CCFtap)
- Car-to-Bicyclist Nearside Adult Obstructed (CBNAO-50)
- Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult (CPLA-25, CPLA-50)
- Car-to-Pedestrian Nearside Child (CPNC-50)
- Car-to-Pedestrian Turning Adult (CPTA)

Das darauffolgende WP3100 wurde von der IPG Automotive geleitet. In regelmäßigen Status-Meetings, Workshops sowie Umfragen unter Mitbeteiligung aller VIVALDI Projektpartner wurden zunächst relevante Sensoreffekte zusammengetragen und bewertet sowie nach Sensortyp in parametrierbare und nicht-parametrierbare Effekte kategorisiert. Die daraus entstandene Übersicht diente als Basis für die Auswahl der funktionalen Szenarien. Anschließend wurden damit die logischen Szenarien spezifiziert, bei denen die einzelnen Elemente der Szenarien entsprechend dem 6-Ebenen-Modell von PEGASUS wesentlich detaillierter definiert wurden (siehe Abbildung 2-1).

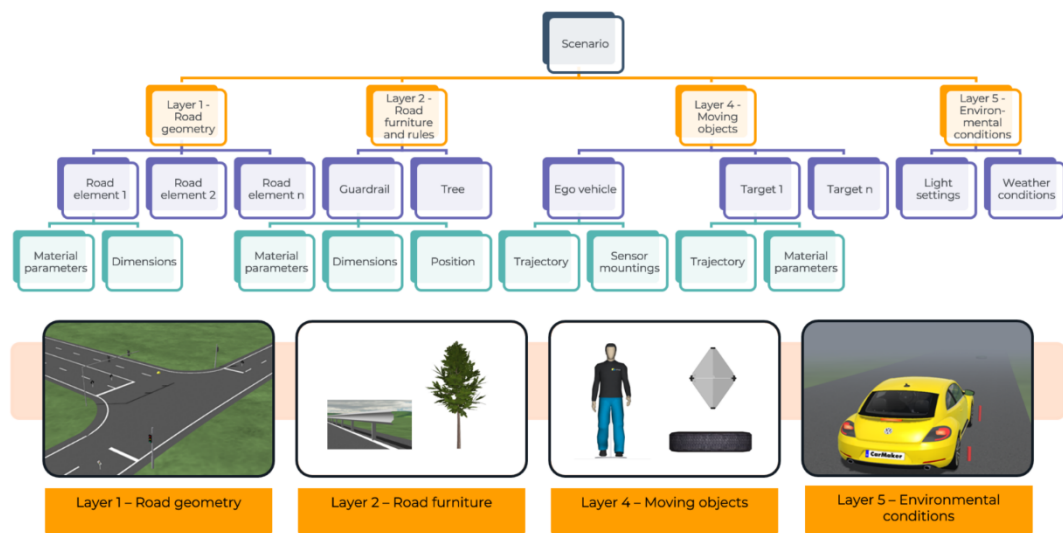


Abbildung 2-1: Struktur der Szenario-Definition

Im letzten Schritt wurden daraus die konkreten Szenarien entwickelt. Unter Einsatz der Methodik der modularen Dekomposition wurden die Szenarien durch Parameter und logische Abfolgen beschrieben, um eine direkte Umsetzung dieser Szenarien in einem Simulationstool zu ermöglichen.

⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP

Neben diesem auf Expertenwissen basierenden Auswahlprozess hat IPG Automotive im Rahmen von VIVALDI entsprechend der Vorhabenbeschreibung auch das Tool ScenarioRRR (Record, Replay, Rearrange) zur automatisierten Generierung von Szenarien anhand von Messdaten weiterentwickelt. Damit konnten Szenarien in CarMaker aus Realmessungen der Hochschule Kempten automatisiert erzeugt werden.

Darüber hinaus sind besonders die Aktivitäten für die ausgewählten Tunnel- und Brückenszenarien hervorzuheben. Es wurden vier Tunnelszenarien und zwei Brückenszenarien aus 3D Modellen und gemessenen Kartendaten, die vom durch das Konsortium beauftragten Unterauftragnehmer 3D Mapping geliefert wurden, in CarMaker integriert (siehe Abbildung 2-2 für Beispiele).



Citytunnel Darmstadt



Brücke „Ponte 25 de Abril“ in Lissabon

Abbildung 2-2: Szenen aus Tunnel- und Brückenszenarien in CarMaker

Im Rahmen des WP4100 hat IPG Automotive sich bei der Weiterentwicklung von Hardware- und Software-Schnittstellen sowie bei der Sensormodellierung beteiligt. Es wurde eine Schnittstelle von CarMaker zu ASAM OSI weiterentwickelt und an die Anforderungen der Projektpartner angepasst. Im Rahmen dieser Aktivitäten leistete IPG Automotive Unterstützung bei der Sensormodellierung und baute eine Toolchain über die CarMaker OSI Erweiterung zur Functional Mock-up Unit (FMU) eines Lidarmodells der Hochschule Kempten auf.

Darüber hinaus wurde eine IPG Automotive eigene Schnittstelle der Graphics Processing Unit (GPU) Sensoren eingesetzt, um eine weitere Toolchain für den Einsatz eines nach Bilckfeld „Cube 1“ Lidarsensor parametrisierten Sensormodells zusammen mit der Hochschule Kempten zu realisieren.

Im Ergebnis wurden somit zwei Toolchains mit CarMaker erarbeitet, mit denen die einfachen und kritischen Szenarien simuliert werden konnten. Hiermit wurde die Möglichkeit der Verifizierung und Validierung hochautomatisierter Fahrfunktionen auf Ebene der Sensorausgaben eines Lidars geschaffen.

Innerhalb der Zusammenarbeit mit der Hochschule Kempten wurde außerdem der bei Lidarsensoren auftretende Fast-Motion-Scan Effekt simulativ nachmodelliert. Dafür wurde seitens IPG Automotive eine Anpassung des eigenen Lidarmodells vorgenommen, um einzelne Lidarstrahlen nacheinander statt vereinfacht als ein Scan Pattern aussenden zu können.

Bei den themenspezifischen Arbeitsgruppen (Joint Topical Task Team – JT/JTTT) der deutsch-japanischen VIVID Kooperation im WP4220 hatte IPG Automotive die Leitung auf der deutschen Seite beim JTTT5 übernommen, wo zunächst die Methoden zur Szenarienerstellung zwischen VIVALDI und dem japanischen Partnerprojekt DIVP verglichen und diskutiert wurden.

Nach der Halbzeit des VIVID/VIVALDI Projekts Mitte 2022 wurde die Struktur der Arbeitsgruppen geändert, sodass IPG Automotive zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie die Leitung des JT2 „Scenario and Environmental Structures“ übernommen hat. Im Rahmen dieser Arbeitsgruppe wurde mit den japanischen Partnern ein gemeinsames Szenario ausgewählt sowie Export und Import dieses Szenarios über die ASAM Standards OpenDRIVE und OpenSCENARIO untersucht. Dabei wurde das Ziel verfolgt, den Prozess des Szenario-Austauschs zwischen zwei vollständig unterschiedlichen Simulationstools zu bewerten, um eventuelle Schwachstellen der genannten ASAM Standards zu identifizieren.

3 Erzielte Ergebnisse

In zeitlicher Reihenfolge ist eines der zentralen Ergebnisse von IPG Automotive eine Testautomatisierung für die einfachen Szenarien im Projekt. Anschließend hat IPG Automotive die komplexen Szenarien, inklusive der integrierten realen Tunnel- und Brückenumgebungen, implementiert und für andere Simulationsumgebungen verfügbar gemacht. Beispielhaft konnte eine automatisierte Szenariengenerierung aus Messungen für die weitere Nutzung in CarMaker erfolgreich getestet werden. Mit der modularen Dekomposition wurde eine Methodik zur systematischen Auswahl und Parametrierung von Szenarien für bestimmte Sensoreffekte erarbeitet.

In enger Zusammenarbeit mit der Hochschule Kempten wurden die Schnittstellen zwischen Umgebungsmodell und Sensormodell weiterentwickelt, womit valide Ergebnisse erzielt werden konnten. Unter Nutzung von OSI wurden Toolchains für die Lidar- und Radarsimulationen aufgebaut. Als vertiefende Untersuchung konnte der Fast-Motion-Scan Effekt eines Lidars nachsimuliert werden.

Die erzielten Ergebnisse wurden im Rahmen der Abschlussveranstaltung des VIVID/VIVALDI Projekts beim Post SIP-adus Symposium der Mobility Innovation Week ⁷ im November 2023 in Japan der Öffentlichkeit vorgestellt.

⁷ <https://mobilityinnovationalliance.org/mobiweekjapan2023/en>

VIVID / VIVALDI

Schlussbericht (Teil II)
Ausführlicher Schlussbericht



Fälligkeitsdatum: 20.12.2024
Erstellungsdatum: 18.12.2024

Berichtszeitraum: 01.10.2020 – 31.12.2023
Förderkennzeichen: 16ME0169
Zuwendungsempfänger: IPG Automotive GmbH

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung und Ausgangslage	3
2	Wissenschaftlich-technische Projektergebnisse	5
2.1	WP1000: Koordination und Management	5
2.2	WP2000: Einfache Szenarien	5
2.3	WP3000: Komplexe Szenarien	7
2.3.1	WP3100: Prozess der Entwicklung komplexer Szenarien	7
2.4	WP4000: Projektübergreifende Kooperation	14
2.4.1	WP4100: VIVALDI Arbeitspakete	14
2.4.2	WP4200: VIVID Zusammenarbeit	18
2.5	WP5000: Akquise und Verbreitung des relevanten Wissens	20
3	Zahlenmäßiger Nachweis	20
4	Verwertbarkeit der Ergebnisse	20
5	Ergebnisse von dritter Stelle	20
6	Veröffentlichungen	21
	Literaturverzeichnis	22

1 Aufgabenstellung und Ausgangslage

Ziel des Projekts VIVID (Webpräsenz ¹) war die Forschung und Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Absicherung von Sensorsystemen für den Einsatz in automatisierten und vernetzten Fahrzeugen der Zukunft. Hierbei stand die Evaluation der funktionalen Sicherheit der Sensorsysteme mit der Fragestellung „how safe is safe enough“ im Vordergrund. In diesem Zusammenhang wurde mit VIVID das kooperative Forschungsvorhaben zwischen Deutschland und Japan bezeichnet, das sich aus dem deutschen Partnerprojekt VIVALDI und dem japanischen Partnerprojekt DIVP ² zusammensetzte.

VIVID/VIVALDI baute auf den Erkenntnissen und Ergebnissen vorheriger öffentlich geförderter Projekte wie beispielweise PEGASUS ³ auf, woraus die Methoden wie das 6-Ebenen-Modell zur Beschreibung von Szenarien direkt aufgegriffen wurden. Die in PEGASUS erarbeitete Gesamtmethodik diente als Basis und sollte in VIVID/VIVALDI durch Methoden zur Verifizierung und Validierung von Umgebungs- und Sensormodellen im Bereich der hochautomatisierten Fahrfunktionen erweitert werden.

IPG Automotive konzentrierte sich im Projekt auf die Auswahl, Parametrierung, Implementierung und Analyse einfacher und komplexer Szenarien nach einer durch die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern definierten Methodik. Außerdem wurden die Partner bei der Auslegung von Schnittstellen zwischen CarMaker und weiteren Simulationsumgebungen sowie -modellen unterstützt.

Die Arbeit und technische Abstimmung von Schnittstellen mit den Projektpartnern beinhaltete auch die entwicklungsbegleitende Anwendung von ASAM OpenX Standards, wie z.B. das Open Simulation Interface (OSI) ⁴ sowie die Umsetzung von partnerspezifischen Anpassungen. Für die Implementierung von komplexen Szenarien wurden diese zunächst modular zerlegt, um Teilmanöver zu identifizieren, sodass in einem späteren Schritt mehrere Variationen eines gemessenen Szenarios automatisiert generiert werden konnten.

¹ <https://www.safecad-vivid.net>

² <https://divp.net>

³ <https://pegasus-family.de>

⁴ <https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation>

Wie in Abbildung 1-1 gezeigt, ist die Virtual Test Driving Plattform der Kern des virtuellen Fahrversuches. Hier wird eine statische Umgebung (Straße, Verkehrsschilder, Infrastruktur und Vegetation) als Basis für die virtuelle Welt generiert und genutzt.

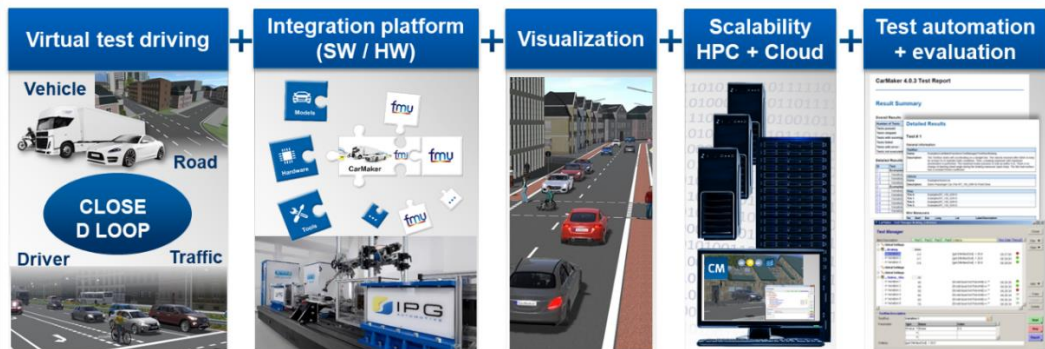


Abbildung 1-1: Aufbau der Simulationsplattform CarMaker

In dieser Welt bewegen sich entsprechend des Testfalls gesteuerte Verkehrsteilnehmer (Pkw, Lkw, Fußgänger, Fahrradfahrer, Tiere, etc.) und können untereinander und mit dem Testfahrzeug interagieren. Das zu testende Fahrzeug (Ego-Fahrzeug) ist im virtuellen Fahrversuch mit einem deutlich größeren Detailgrad als andere dynamische Objekte modelliert und kann vom Anwender frei parametrisiert werden. Unter anderem sind komplexe Sensormodelle, Antriebsstrang- und Fahrwerkskomponenten sowie einfache Steuergerätemodelle verfügbar. Der Anwender ist dabei auch in der Lage, einzelne Modelle des Ego-Fahrzeuges 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 Fahrzeugentwicklungsprozesses möglichst nahe zu kommen.

Weitere wichtige Werkzeuge im Rahmen der Projektaktivitäten waren sowohl die 3D-Visualisierung IPGMovie zur Darstellung der Verkehrssituation und simulationsinterner Modellinformationen als auch die Testautomatisierung Test Manager zur allgemeinen Parametervariation. Die Integration eigener Modelle oder Algorithmen kann unter anderem über eine offene Programmierschnittstelle und verschiedene Erweiterungen realisiert werden. So wurde zur Anbindung von OSI konformen Sensoren die hauseigene CarMaker OSI Extension verwendet und um projektspezifische Anforderungen erweitert.

2 Wissenschaftlich-technische Projektergebnisse

2.1 WP1000: Koordination und Management

Im Rahmen des WP1000 (Work Package – WP) hat IPG Automotive an der Koordination und dem Management des Projekts mitgewirkt. Hierzu gehörten insbesondere folgende Aktivitäten:

- Synchronisierung der Projektmeetings
- Daten- und Informationsaustausch
- Bereitstellung der Test- und Simulationsumgebung
- Strategische Mitgestaltung der Forschungsthemen
- Management der Projektergebnisse

Um die Projektpartner bei ihren simulativen Tätigkeiten zu unterstützen, stellte IPG Automotive die hauseigene virtuelle Fahrzeugentwicklungsplattform CarMaker zur Verfügung, verwaltete die dazugehörigen Lizenzen und leistete Support zu projektspezifischen Anfragen.

Das Projekt wurde durch die Webpräsenz ⁵, mehrere Veranstaltungen und Veröffentlichungen, unter anderem auch das White Paper ⁶, in dem die wesentlichen Ergebnisse dokumentiert wurden (siehe Kapitel 6 „Veröffentlichungen“), geprägt.

2.2 WP2000: Einfache Szenarien

In diesem Abschnitt werden die Arbeiten seitens IPG Automotive an einem VIVALDI spezifischen Katalog mit einfachen Szenarien sowie an dem Import von ASAM OpenX Standards für die anschließende Simulation mit CarMaker im Rahmen von WP2100 erläutert. Durch das Konsortium wurden fünf Szenarien aus dem Euro NCAP ⁷ Testkatalog ausgewählt, woraufhin IPG Automotive eine modifizierte Version des eigenen Euro NCAP Test Ware Pakets bereitgestellt hat. Dieser Katalog enthält folgende ausgewählte Szenarien:

- Car-to-Car Front turn-across path (CCFtap)
- Car-to-Bicyclist Nearside Adult Obstructed (CBNAO-50)
- Car-to-Pedestrian Longitudinal Adult (CPLA-25, CPLA-50)
- Car-to-Pedestrian Nearside Child (CPNC-50)
- Car-to-Pedestrian Turning Adult (CPTA)

⁵ <https://www.safecad-vivid.net>

⁶ https://www.safecad-vivid.net/app/uploads/2024/01/20240111_VIVID-white-paper.pdf

⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP

Zum Paket gehört außerdem eine automatisierte Auswertung der Ergebnisse, die entsprechend den Protokollen von Euro NCAP 2020 durchgeführt wird. Abbildung 2-1 zeigt die graphische Oberfläche des Test Configurators in CarMaker, in dem eine gewünschte Auswahl der einfachen Szenarien getroffen werden kann, um diese dann inklusive der Auswertung zu simulieren.

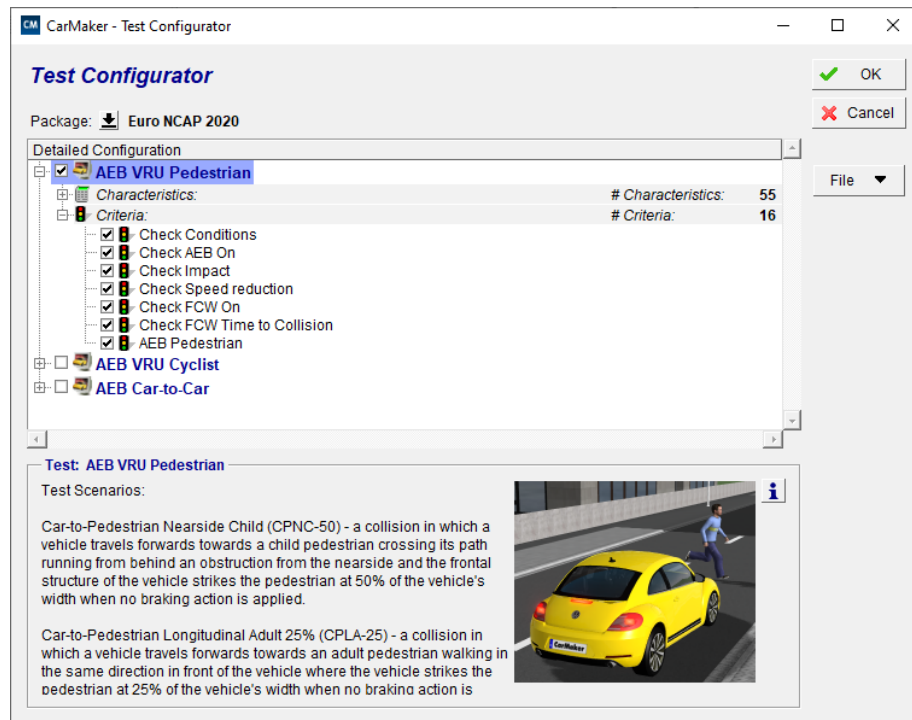


Abbildung 2-1: Test Configurator in CarMaker mit modifiziertem Euro NCAP 2020 Paket

Das Test Ware Paket ist flexibel für die Nutzung in verschiedenen Testumgebungen wie Model-in-the-Loop (MIL), Software-in-the-Loop (SIL) oder Hardware-in-the-Loop (HIL) geeignet. Bei Bedarf kann das Testfahrzeug sowie die davon abhängigen Abläufe der Szenarien (z.B. Abhängigkeit des Aufprallpunkts von der Breite des Testfahrzeugs) automatisch adaptiert werden.

Da im Projekt offene Standards zwecks Kompatibilität von Szenarien sowie Umgebungs- und Sensormodellen zu verschiedenen Tools angewendet wurden, hat IPG Automotive anhand des CPLA Szenarios den Import von ASAM OpenDRIVE und OpenSCENARIO basierend auf partnerspezifischen Exporten untersucht.

Im Falle von OpenDRIVE konnte ein korrekter Import von Dateien, die zuvor in anderen Tools (AVL Scenario Designer und Hexagon VTD) erstellt wurden, durchgeführt werden.

Im Falle von OpenSCENARIO wurden bei den Untersuchungen zum Import einige Einschränkungen festgestellt. Unter anderem bot der Standard Parameter zur Beschreibung der Manöver an, die vom CarMaker noch nicht unterstützt wurden. Außerdem wurden bei der Erstellung der OpenSCENARIO Dateien durch andere Tools Schwächen in bestimmten Parametern entdeckt und im Konsortium erörtert.

Durch diese Erkenntnisse konnten neue Anforderungen für die Weiterentwicklung des eigenen OpenSCENARIO Konverters gewonnen werden.

2.3 WP3000: Komplexe Szenarien

Dieser Abschnitt behandelt Arbeitsschritte, die im Vorhaben VIVALDI zur Umsetzung kritischer Szenarien durchgeführt wurden. Neben der projektspezifischen Definition der Kritikalität sowie des zu testenden Systems, wird der Entwicklungsprozess von funktionalen, logischen sowie konkreten Szenarien im WP3100 beschrieben. Anschließend wird die Parametrierung und Implementierung der kritischen Szenarien dargestellt.

Definition von Kritikalität

IPG Automotive leitete Workshops, in denen mit den Projektpartnern die Kritikalität im Sinne von kritischen Szenarien der realen Welt diskutiert wurde.

VIVALDI definierte kritische Szenarien auf der Ebene der Wahrnehmung sowie der Sensorfusion als kritisch und konzentrierte sich nicht auf die Fahrfunktionen.

System Under Test

Da die Fahrfunktionen nicht im Mittelpunkt standen und die Kritikalität auf der Ebene der Sensorwahrnehmung betrachtet wurde, beinhaltete das zu testende System (System Under Test – SUT) den Sensor selbst, ohne Algorithmen zur Objekterkennung, -klassifizierung oder -verfolgung. Auch das Fahrzeug war nicht Teil des SUT, sondern Teil der Operational Design Domain (ODD) in VIVALDI.

2.3.1 WP3100: Prozess der Entwicklung komplexer Szenarien

Im Rahmen von WP3100 befasste sich IPG Automotive strukturiert mit der Entwicklung von funktionalen Szenarien im WP3110, logischen Szenarien im WP3120 sowie konkreten Szenarien im WP3130.

Entwicklung der funktionalen Szenarien

Das Arbeitspaket „Entwicklung der funktionalen Szenarien“ (WP3110) war eine Gemeinschaftsarbeit aller Projektpartner und wurde durch IPG Automotive organisiert, moderiert und mitdiskutiert. Dabei wurde ein Prozess mit folgenden Schritten etabliert:

- Sammlung der Sensoreffekte
- Rangfolge und Kategorisierung
- Auswahl der Szenarien

Die Sammlung von Sensoreffekten für Lidar-, Radar- oder Kamerahardware erfolgte unter Rückgriff auf das Expertenwissen der Projektpartner in Form von mehreren Umfragen, wobei der Schwerpunkt auf der Priorität des Effekts sowie der Durchführbarkeit der Validierung auf dem Testgelände und auf realen Straßen lag.

Die Effekte wurden in Kategorien nach Sensortypen eingeteilt sowie anschließend nach Kriterien wie Eintrittswahrscheinlichkeit und Kritikalität für den Ausfall der Sensorwahrnehmung geordnet.

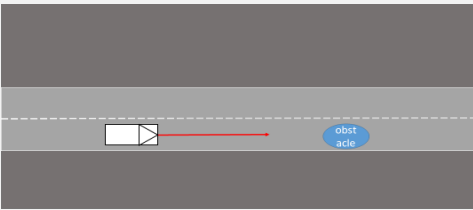
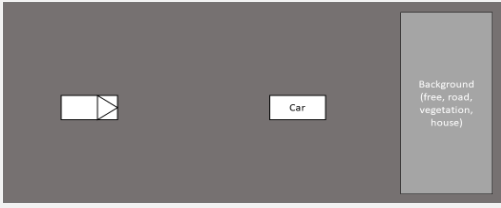
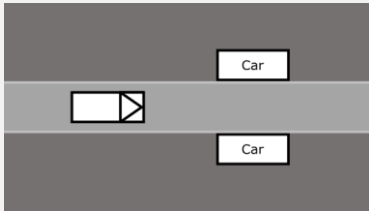
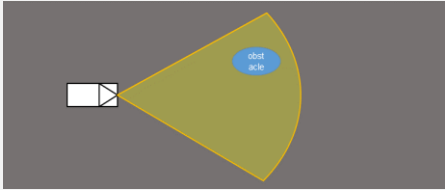
Name	Obstacle on lane		
Function / Sensor effects	Low RCS, High radar transmittance, Low lidar reflectivity / high absorbance, Small object		
Road type	Straight	Target object	Obstacle
Maneuver	Follow lane	Target movement	Static
Description	Ego vehicle encounters static obstacle in ego lane		
			
Name	Varying appearance of traffic participants		
Function / Sensor effects	Target with low reflectivity, Low contrast, Variation in size, Appearance		
Road type	Any	Target object	Car, Pedestrian, ...
Maneuver	Stand still	Target movement	Static
Description	Different traffic participants in front of different backgrounds		
			
Name	Two Parallel Cars next to Lane		
Function / Sensor effects	Resolving issues		
Road type	Any	Target object	Car
Maneuver	Follow lane	Target movement	Static
Description	Two parallel cars with the same distance to the sensor, with a lane in between		
			
Name	Obstacle in Field of View		
Function / Sensor effects	Target with low reflectivity, Low contrast, Variation in size, Appearance, weather effects		
Road type	Any	Target object	Obstacle
Maneuver	Stand Still	Target movement	Static
Description	Different static obstacles in sensor's FOV (under different environmental /weather conditions)		
			
Name	Tunnel scenario		
Function / Sensor effects	Multipath reflection, Critical infrastructure, Light changes		
Road type	Tunnel	Target object	-
Maneuver	Follow lane	Target movement	-
Description	Ego vehicle entering and exiting a tunnel		
Name	Bridge scenario		
Function / Sensor effects	Multipath reflection, Critical infrastructure		
Road type	Bridge	Target object	-
Maneuver	Follow lane	Target movement	-
Description	Ego vehicle driving over a bridge		

Abbildung 2-2: Übersicht der kritischen Szenarien

In diesem Arbeitspaket war IPG Automotive federführend bei der Sammlung sowie Bewertung der Sensoreffekte und erarbeitete in enger Zusammenarbeit mit den VIVALDI Partnern eine Liste von relevanten Sensoreffekten. Der weitere Prozess der Szenarienauswahl wurde zusammen mit der Technischen Universität Darmstadt und der Firma AVL vertieft.

IPG Automotive moderierte dabei die Meetings und trug aus Sicht eines Simulationssoftware-Anbieters aktiv zu den Diskussionen bei. Als Folge wurde die mögliche Anzahl der funktionalen Szenarien hinsichtlich des tatsächlich praktischen Aufwandes eingeschränkt. Bei der endgültigen Auswahl wurden Faktoren wie Diversität und Kombination von Sensoreffekten sowie ihre Reproduzierbarkeit bei der Parametrierung berücksichtigt.

Schließlich wurden mehrere kritische Szenarien der realen Welt ausgewählt, die in Abbildung 2-2 aufgeführt sind.

Entwicklung der logischen Szenarien

Im Rahmen des Arbeitspaketes „Entwicklung der logischen Szenarien“ (WP3120) wurde das Ziel verfolgt, detailliertere Beschreibungen der kritischen realen Szenarien zu erhalten, um diese für die Implementierung in Softwaretools und für die virtuelle Validierung der Sensoren nutzbar zu machen. Die damit verbundene Methode ist ebenfalls ein Ergebnis dieses Arbeitspakets und kann als „Leitfaden für modulare Dekomposition“ betrachtet werden. Die einzelnen Schritte dieser Methode werden im Folgenden erläutert.

Im ersten Schritt wurde der Parameterraum der Szenarien für eine bessere Handhabung gegliedert. Dazu wurde das 6-Ebenen-Modell aus der PEGASUS⁸ Projektfamilie verwendet, um die Elemente der Szenarien in verschiedene Ebenen zu unterteilen. Darüber hinaus wurde jedes Element entweder als Basiselement, das immer benötigt wird, oder als optionales Element, das nur in einigen Fällen eine Rolle für die Erzielung eines bestimmten Sensoreffekts spielt, kategorisiert.

Im zweiten Schritt wurden für jedes Szenarioelement die dazugehörigen physikalischen Parameter durch Expertenwissen der Projektpartner oder alternativ mit Hilfe von Methoden wie Perception Sensor Collaborative Effect and Cause Tree (PerCOLLECT) [1] ermittelt. Für jeden physikalischen Parameter wurde eine Analyse seiner Relevanz für das SUT vorgenommen, was zu einer reduzierten Liste von physikalischen Parametern geführt hat. In einer weiteren Reduktionsiteration wurden die physikalischen Parameter auf ihre Relevanz für die gewünschten Sensoreffekte untersucht, wobei die verbleibenden physikalischen Parameter als Szenarioparameter bezeichnet wurden. Die damit entstandene Struktur-Definition ist exemplarisch in Abbildung 2-3 gezeigt.

⁸ <https://pegasus-family.de>

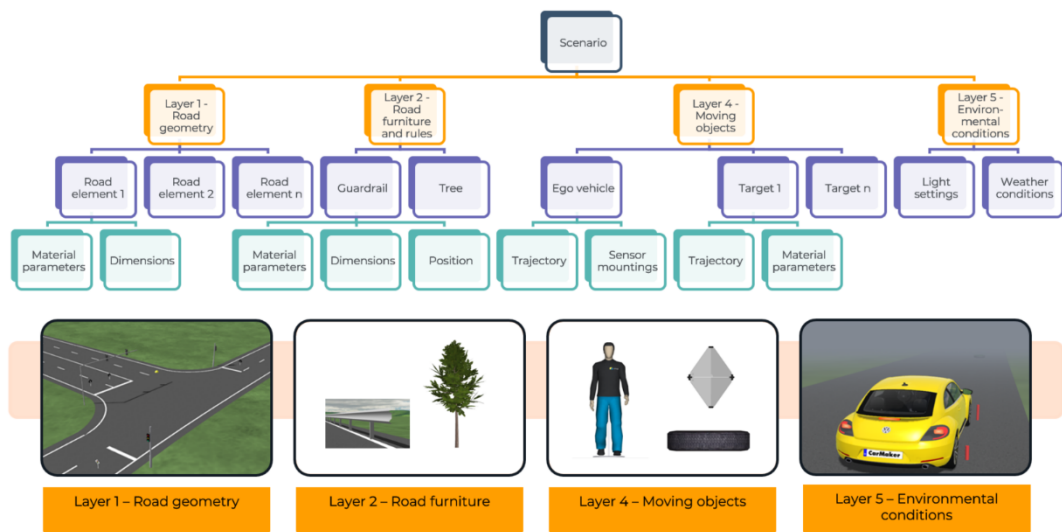


Abbildung 2-3: Struktur der Szenario-Definition mit Szenarioebenen (orange), Szenarioelementen (violett) und Szenarioparametern (türkis)

Im letzten Schritt (bezeichnet als Rekombination) der logischen Szenarioentwicklung wurden die verbleibenden Szenarioparameter mit den verfügbaren Simulationsparametern der Softwaretools wie beispielsweise CarMaker verglichen. In der Regel stützen sich Simulationstools auf empirische Parameter, deren Auswirkungen nicht perfekt mit den physikalischen Szenarioparametern übereinstimmen. Daher ist dieser Schritt spezifisch für die verwendeten Softwaretools und muss wiederholt werden, wenn die simulative Werkzeugkette geändert wird. Im Projekt wurde bei diesem Schritt das Ziel verfolgt, ein Mapping zwischen den physikalischen Parametern und den in Softwaretools verfügbaren Parametern für die Darstellung des Umweltmodells zu erstellen. Die erwartete und tatsächliche Qualität der Implementierung wurde dokumentiert, inklusive der Informationen über die Notwendigkeit der Kalibrierung von empirischen Parametern.

Entwicklung der konkreten Szenarien

Im darauffolgenden Arbeitspaket „Entwicklung der konkreten Szenarien“ (WP3130) wurde die Parametrierung und Implementierung der kritischen realen Szenarien in der Simulationsoftware CarMaker, unter anderem durch die Anwendung von offenen Standards wie ASAM OSI sowie OpenDRIVE und OpenSCENARIO für den weiteren Austausch in anderen Arbeitspaketen durchgeführt.

Zwecks Parametrierung der Szenarien mussten plausible Parameterwerte für die gesammelte Liste der Simulationsparameter aus WP3120 gefunden werden. Dazu brachten alle Projektpartner ihr Expertenwissen aus verschiedenen Perspektiven wie Lidar-, Radar- oder Kamerahardware sowie Simulationsmodelle unter Berücksichtigung von Wetterbedingungen wie Regen und Nebel in die gemeinsamen Abstimmungen ein.

Es wurde beschlossen, für jeden Parameter jeweils einen Basiswert und einen kritischen Wert zu definieren, wobei Basiswerte durch eine Mischung verschiedener Überlegungen festgelegt wurden:

- Praktische Überlegungen
 - Verfügbarkeit für Messungen
 - Messgenauigkeit
 - Genauigkeit der Simulationsergebnisse
- Wahrscheinlichkeit des Auftretens

Die kritischen Werte wurden in Übereinstimmung mit der VIVALDI Definition der Kritikalität gewählt. Somit spiegeln diese Werte wieder, wo nach Expertenwissen ein Systemausfall zu erwarten ist. Alle Basis- und kritischen Werte im Projekt wurden, sofern vorhanden, mit Quellen aus Literatur, Messung oder Kalibrierung belegt.

Neben den Basis- und kritischen Werten wurden für jeden Parameter zusätzlich folgende Informationen spezifiziert.

- Variabilität – ist es möglich, diesen Parameter unabhängig von allen anderen Parametern in der realen Welt zu variieren?
- Messaufwand – Abschätzung des Messaufwandes in drei Kategorien: hoch, niedrig, mittel.
- Wertebereich – in der realen Welt jemals vorkommender Wertebereich des Parameters.

Einige unbekannte Parameter konnten nicht im Voraus parametrisiert werden, sodass sie durch Kalibrierung in Experimenten bestimmt werden sollten. Daher wurde in diesem Arbeitspaket ein Leitfaden für Messkampagnen für die kritischen Szenarien erarbeitet. Darin wurden alle notwendigen Parameter aufgeführt, die für jedes kritische Szenario gemessen werden sollten, inklusive der Angaben zur Erfassung von Mittelwert, Standardabweichung, verwendetem Messgerät und sonstigen Bemerkungen.

Parallel zur Parametrierung implementierte IPG Automotive die kritischen Szenarien in CarMaker und machte diese für die Simulation mit Schnittstellen zu externen Sensormodellen über OSI verfügbar.

Bei der Implementierung der Szenarien sind besonders die Brücken- und Tunnelszenarien hervorzuheben. Es wurden zunächst durch die Unterbeauftragung der Firma 3D Mapping reale Tunnel- und Brückenumgebungen in Kartendaten und 3D Objekten eingemessen. Die ausgewählten realen Umgebungen im Projekt waren:

- Lohbergtunnel Darmstadt
- Citytunnel Darmstadt
- Rennsteigtunnel in Thüringen
- Behringentunnel bei Ilmenau, Thüringen
- Grünbrücke im Testfeld Niedersachsen
- Brücke „Ponte 25 de Abril“ in Lissabon, Portugal



Obstacle on lane



Varying appearance of traffic participants



Obstacle in field of view



Two parallel cars next to lane



Tunnel scenario (Citytunnel Darmstadt)



Bridge scenario (Brücke „Ponte 25 de Abril“ in Lissabon)

Abbildung 2-4: Szenen aus kritischen Szenarien in CarMaker

Karten, die bereits im IPG eigenen *ROAD5* Format geliefert wurden, konnten durch IPG Automotive direkt an die neueste CarMaker Version adaptiert und integriert werden. Die dazugehörigen 3D Objekte wurden initial im *fbx* Format generiert und wurden durch IPG Automotive in das von CarMaker unterstützte *obj* Format mit zusätzlichen Anpassungen für die funktionsfähige Simulation konvertiert.

In Abbildung 2-4 sind beispielhafte Szenen aus den umgesetzten kritischen Szenarien in CarMaker, inklusive der real vermessenen Citytunnel Darmstadt und Brücke „Ponte de 25 Abril“ in Lissabon, zu sehen.

Simulation der realen Szenarien

Neben der Simulation von gezielt ausgewählten Szenarien ist auch das schnelle Nachbilden und Nachsimulieren von gemessenen Szenarien aus realen Testfahrten ein wichtiges Verfahren für die Absicherung autonomer Fahrfunktionen. Es ermöglicht neben der reinen Wiedergabe der gemessenen Testfahrten auch Variationen der Testfälle mit unterschiedlichen Parametern (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Größe und Typ von Verkehrsteilnehmern) schnell und ohne erneuten Aufwand der Testvorbereitung virtuell in der Simulation abzufahren und zu analysieren.

In VIVALDI beschäftigte sich IPG Automotive daher mit der Umsetzung der automatisierten Szenariogenerierung aus Messungen. Durch die Zusammenarbeit mit der Hochschule Kempten wurde dafür das Tool ScenarioRRR (Record, Replay, Rearrange) von IPG Automotive weiterentwickelt und um eine Kompatibilität des Inputformats zu Objektlisten eines Radars erweitert. Somit wurden aus Messungen mit einem Continental „ARS540“ Radar Objektlisten ermittelt, die als Input für die Generierung der Trajektorie eines Fußgängers in dem von IPG Automotive zur Verfügung gestellten Euro NCAP Szenario CPLA (siehe WP2100) dienten. Außerdem wurde aus den Messdaten eines Differential Global Positioning System (DGPS) Sensors zwecks Re-Simulation die Trajektorie des Ego-Fahrzeugs rekonstruiert.

Im Einsatz funktioniert das ScenarioRRR Tool für CarMaker wie folgt. Es erstellt aus Trajektorien der Verkehrsobjekte jeweils die zu verwendenden Routen sowie die dazugehörigen Geschwindigkeitsprofile. Durch die Integration der Routen und der Geschwindigkeitsprofile in die Karten- und Manöverdefinitionen von CarMaker kann das Szenario anschließend nachsimuliert werden.

Im Projekt wurden bei der Erzeugung der Geschwindigkeitsprofile die Eingangsdaten aus dem DGPS durch eine Filterfunktion geglättet, wodurch ein gleichmäßiger Verlauf der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs in CarMaker simuliert werden konnte. Abbildung 2-5 zeigt einen exemplarischen Vergleich der gemessenen und simulierten Geschwindigkeitsprofile im Falle des CPLA Szenarios. Der Fokus lag hierbei auf der Simulation der Konstantfahrt. Abweichungen im Beschleunigungsverhalten sind auf die vereinfachte Parametrierung des Antriebsstrangs und des virtuellen Fahrers zurückzuführen.

Weitere Szenarien aus Messungen, die nach diesem Prinzip für die CarMaker Simulation verfügbar gemacht wurden, waren die Euro NCAP Szenarien CCFtap und CPNC (siehe WP2100).

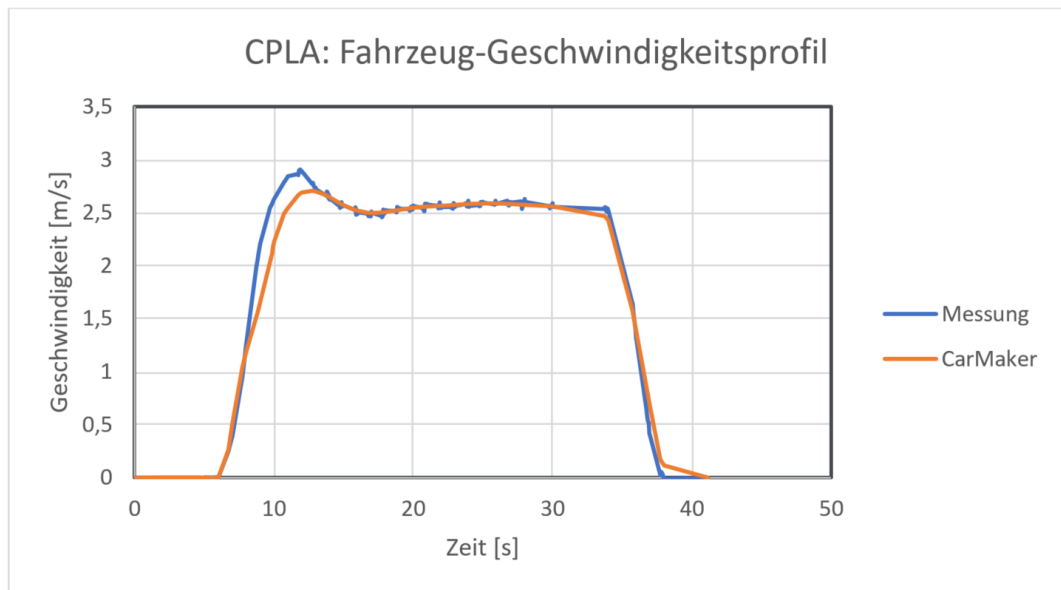


Abbildung 2-5: Exemplarischer Vergleich der gemessenen und simulierten Geschwindigkeitsprofile

2.4 WP4000: Projektübergreifende Kooperation

In diesem Abschnitt wird die partnerübergreifende Kooperation in VIVALDI Arbeitspaketen als WP4100 sowie die VIVID Zusammenarbeit mit den japanischen Partnern aus dem DIVP Projekt als WP4200 behandelt.

2.4.1 WP4100: VIVALDI Arbeitspakete

Dieses Arbeitspaket untergliedert sich weiter in Aktivitäten WP4110 hinsichtlich der Umsetzung von projektspezifischen Hardware- und Software-Schnittstellen sowie WP4120 zur damit verbundenen Sensormodellierung.

Szenarienimport mit dem OpenSCENARIO Konverter

Da im VIVALDI Projekt die Werkzeugunabhängigkeit und Austauschbarkeit der Szenarien im Konsortium sowie mit dem japanischen Partnerprojekt DIVP eine wichtige Rolle gespielt hat, wurden im Rahmen des WP4110 die Simulationsszenarien unter anderem in standardisierten Formaten wie OpenDRIVE und OpenSCENARIO (Version 1, XML Schema) verwendet. Aus diesem Grund hat IPG Automotive den OpenSCENARIO Konverter, wie bereits im WP2100 beschrieben, für die Umwandlung des OpenSCENARIO Formats in die CarMaker nativen Formate weiterentwickelt. Anhand der durch Partner AVL erstellten OpenSCENARIO Dateien konnte die Leistungsfähigkeit des Konverters seitens IPG Automotive evaluiert und durch gezielte Verbesserungen robuster gemacht werden.

Sensoranbindung mit der CarMaker OSI Extension

Um eine übertragbare Interaktion zwischen Simulation und Sensormodellen der VIVALDI Partner zu ermöglichen, wurde CarMaker mit den dafür erforderlichen OSI⁹ Schnittstellen im Rahmen des WP4110 erweitert. Hierzu lieferte IPG Automotive ein Framework für die Integration von Functional Mock-up Units (FMU), um Radar und Lidar FMU Modelle in CarMaker zu integrieren sowie mittels OSI Nachrichten „RadarSensorView“ und „LidarSensorView“ bei der Simulation von kritischen Szenarien zu betreiben.

Im Zuge dieser Arbeiten unterstützte IPG Automotive die Hochschule Kempten bei der Verwendung von OSI zwecks Implementierung und anschließender Validierung eines Lidar-Sensormodells. Dafür wurden zunächst die benötigten CarMaker Bibliotheken mit OSI Schnittstellen bereitgestellt sowie das IPG Automotive eigene Raw Signal Interface (RSI) Lidarmodell entsprechend dem realen Blickfeld „Cube 1“ Lidar parametrisiert. Die OSI Nachrichten der „LidarSensorView“ Datenstruktur wurden somit aus dem Lidar RSI an einer definierten Stelle im Simulationsprozess (nach Raytracing und Laserstrahl-Diskretisierung) ausgelesen und an die FMU der Hochschule Kempten übergeben, wo die weitere Signalverarbeitung entsprechend dem Realsensor modelliert wurde.

Die damit resultierende Co-Simulation zwischen CarMaker und der angebotenen Lidar FMU über OSI ist in Abbildung 2-6 dargestellt.

Nach dem gleichen Prinzip wurde zusammen mit der Hochschule Kempten eine Toolkette mit CarMaker und OSI Nachrichtenstruktur „RadarSensorView“ zu einem Radar FMU Modell aufgebaut.

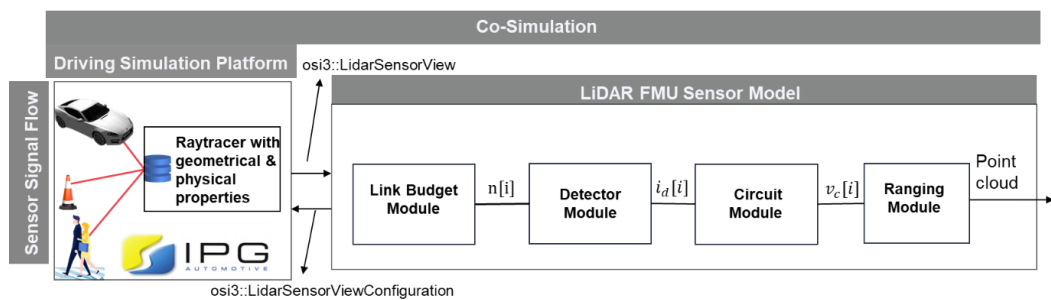


Abbildung 2-6: Co-Simulation zwischen CarMaker und Lidar FMU über OSI [2]

Sensorintegration mit dem GPU Coding Interface

Die Umsetzung der Co-Simulation von Umgebungs- und Sensormodellen über OSI hat den Vorteil der Generalisierung, aber auch den Nachteil einer eingeschränkten Flexibilität bei den zur Verfügung stehenden Signalen, die zwischen Umgebung und Sensor ausgetauscht werden können. Insbesondere wird in diesem Fall der Mehrwert der performanten Graphics Processing Unit (GPU) basierten Raytracing-Simulation nicht vollständig ausgenutzt, da die OSI Nachrichten auf Central Processing Unit (CPU) Ebene mit dem Protocol Buffer serialisiert werden müssen.

⁹ <https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation>

Um die Vorteile der Performance von GPU Sensormodellen besser auszunutzen, wurde ebenfalls im Rahmen des WP4110 eine Toolkette des CarMakers mit dem IPG Automotive eigenen GPU Coding Interface zu einem in C Code vorliegenden Lidarmodell der Hochschule Kempten umgesetzt, wodurch die Berechnungen auf der GPU Ebene stattfinden konnten. Dabei wurde von IPG Automotive jeweils ein demonstratives Beispiel an drei Schnittstellen zum GPU Sensor (Initialisierung, nutzerdefinierte Signalprozessierung und Clean-up) implementiert. Damit konnte die Hochschule Kempten ihre spezifische Lidar-Signalprozessierung in die Simulation integrieren.

Der gesamte Aufbau mit dem Raytracer des Lidar RSI und GPU Coding Interface von CarMaker sowie der spezifischen Signalprozessierung des Blickfeld „Cube 1“ Lidars ist in Abbildung 2-7 schematisch dargestellt.

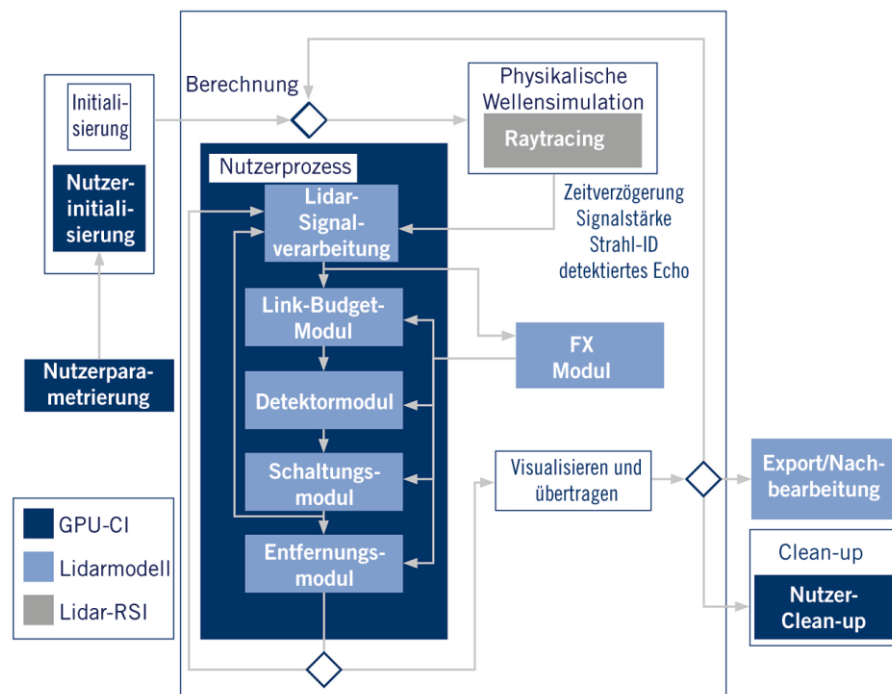


Abbildung 2-7: Aufbau des Lidar RSI mit GPU Coding Interface und nutzerspezifischer Signalprozessierung

Das Lidar-Sensormodell wurde anschließend anhand der Messungen auf dem Jtown Testgelände für automatisiertes Fahren des Japan Automobile Research Institute (JARI) validiert. Dabei wurde auf Ebene der Punktwolken ein Vergleich zwischen realen Messungen und der Simulation mit dem GPU Lidarmodell durchgeführt.

Wie in Abbildung 2-8 (links) zu sehen, wurde in dem herangezogenen Szenario ein Verkehrsobjekt 10 m vor dem Ego-Fahrzeug platziert. Damit zeigten die Simulation und die realen Messungen in Abbildung 2-8 (rechts) eine gute Übereinstimmung für die Anzahl sowie für die mittleren Intensitätswerte der vom Zielobjekt ermittelten Punkte.

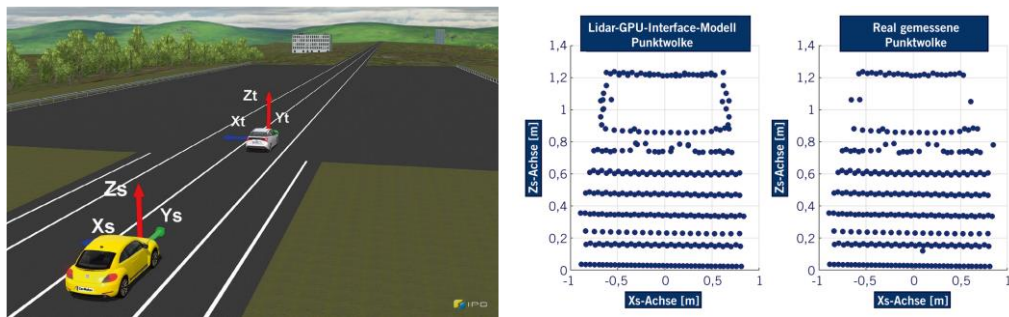


Abbildung 2-8: Vergleich der simulierten und gemessenen Lidar-Punktwolken

Fast-Motion-Scan Effekt

Neben den unterstützenden Tätigkeiten bei der Modellierung und Simulation von Sensoren der Partner unter CarMaker Einsatz hat IPG Automotive im Rahmen des WP4120 „Sensormodellierung“ eine Studie zum Fast-Motion-Scan Effekt mit dem eigenen Lidar RSI Modell durchgeführt.

Der Fast-Motion-Scan Effekt entsteht aufgrund der zeitlichen Ausdehnung des Scanvorgangs, was sich in einer relativen Bewegung zwischen dem Sensor und den gescannten Objekten sowie der damit verbundenen Unschärfe in den Messdaten äußert. Dieser Effekt umfasst das Verschieben, Dehnen, Drehen sowie Krümmen der Konturen von Zielobjekten und kann zu Abweichungen in den geschätzten Distanzen führen [3].

Zur simulativen Nachbildung des Fast-Motion-Scan Effekts entsprechend der Realität müssen einzelne Laserstrahlen nacheinander gesendet werden, um das dazugehörige Scan Pattern zeitversetzt aufzubauen. Das Lidar RSI Modell von CarMaker wurde an der offenen Programmierschnittstelle dahingehend adaptiert, dass das gesamte Scan Pattern nicht zu einem festen Zeitpunkt erzeugt wird. Statt eines gesamten Scan Pattern wurde ein Parameterset mit nur einem Strahl verwendet und dieses iterativ mit unterschiedlichen Azimut- sowie Höhwinkeln in der Frequenz des realen Sensors ausgesendet.

2.4.2 WP4200: VIVID Zusammenarbeit

In diesem Abschnitt werden die gemeinsamen Tätigkeiten von IPG Automotive mit den japanischen Partnern aus dem DIVP¹⁰ Projekt im Rahmen der VIVID Zusammenarbeit beschrieben. Die Kooperation fand innerhalb einer Arbeitsgruppe (Joint Topical Task Team – JT/JTTT, siehe Abbildung 2-9) als JTTT5 und nach einer Umstrukturierung als JT2 statt. IPG Automotive hat hier die Rolle der Moderation und der technischen Expertise beim Thema „Scenario and Environmental Structures“ vertreten.

Nachfolgend werden die Teilaktivitäten dieses Arbeitspakets chronologisch erläutert.



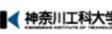








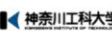



VIVID joint topical task teams		 DIVP®	Hideo Inoue	 VIVALDI	Matthias Hein
1	Sensor simulation tool chain Comparisons and interfaces		Shoji Ito		David Nickel
2	Scenario and environmental structures Models, geometries, materials		Sosuke Kimura		Viktor Lizenberg Mario Pauli
3	Sensor & propagation models Reference data, simulation, data formats				
3.1	Camera 		Toshinobu Sugiyama		Stefan-Alexander Schneider
3.2	Lidar 		Yoshihisa Amano		Thomas Zeh
3.3	Radar 				
4	Test & simulation framework Sensor model validation, testing & metrics		Kazuhiko Hanaya		Ken Mori

Abbildung 2-9: Überblick über die gemeinsamen thematischen Arbeitsgruppen von VIVID und ihre federführenden Einrichtungen

Abgleich der Szenarienauswahl

In einem ersten Schritt wurde die Auswahl an relevanten einfachen und kritischen Szenarien zwischen VIVALDI und DIVP abgeglichen. Dadurch wurde eine grundsätzliche Übereinkunft darüber erlangt, welche Umgebungsbedingungen und Effekte als kritisch für Radar-, Lidar- und Kamerasensoren zu betrachten sind.

Diskussion zur Methodik

Ein weiterer Arbeitspunkt war der Vergleich der Methodiken zur Auswahl und Implementierung der Szenarien. IPG Automotive stellte hier die im WP3120 angewandte modulare Dekomposition vor, während DIVP ihr „Framework of Scenario Selection“ präsentierte, das eine Datenbank aus verschiedenen Phänomenen zur Kombination von individuellen Szenarien beinhaltet.

¹⁰ <https://divp.net>

Untersuchung der Austauschbarkeit von Szenarien

Die Abstimmungen innerhalb der Arbeitsgruppe JTTT5 bzw. JT2 haben ergeben, dass die DIVP Partner für die Teilgebiete Umgebungsmodell, Sensormodell und Fahrzeugdynamik jeweils andere, teilweise selbstentwickelte Tools verwenden. Der grundsätzliche Aufbau der Modelle konnte jedoch sowohl bei dem Umgebungsmodell als auch bei den darin enthaltenen 3D Objekten als ähnlich zu CarMaker festgestellt werden. In beiden Tools werden Oberflächen mit bestimmten Material IDs versehen, die in einer zentralen Bibliothek durch relevante physikalische Parameter beschrieben werden.

Eine weitere wichtige Gemeinsamkeit der beiden Tools zeigte sich im Ablauf der Simulation durch die Definition von Manövern. Hieraus entstand die Idee, ein Szenario in beiden Tools zu simulieren, um dabei möglichst ähnliche Ergebnisse zu erzielen. Dies sollte durch Export bzw. Import der Szenarien im Format der ASAM OpenX Standards erfolgen. Für die Manöverbeschreibung aller relevanten Objekte wurde das OpenSCENARIO Format genutzt, während das Straßennetzwerk und die Definition der Umgebung im OpenDRIVE Format definiert wurde.

Die Simulationsergebnisse der einzelnen Tools wurden durch Vergleich der Trajektorien bewertet. Als exemplarisches Szenario wurde hier das im WP3130 umgesetzte Szenario „Two parallel cars next to lane“ genutzt. Abbildung 2-10 visualisiert die simulierten Trajektorien für Export aus DIVP und Import in VIVALDI CarMaker (links) sowie Export aus VIVALDI CarMaker und Import in DIVP (rechts).

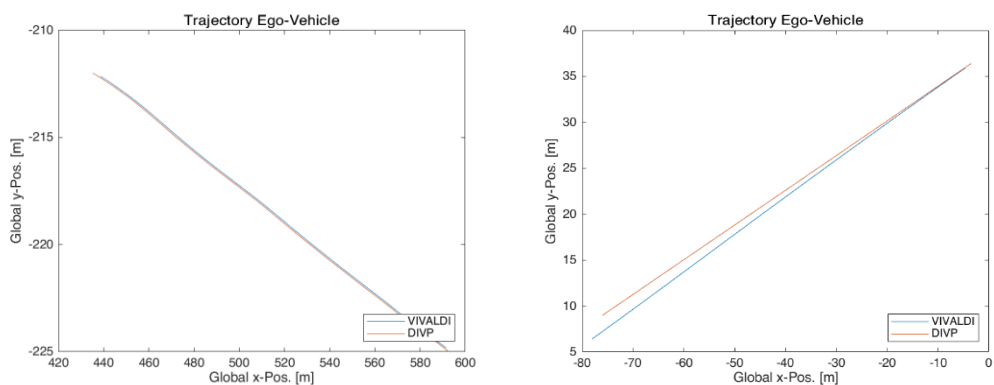


Abbildung 2-10: Vergleich der simulierten Trajektorien zwischen VIVALDI und DIVP

Wie man aus diesen Diagrammen entnehmen kann, stimmen die Trajektorien nach Export aus DIVP und Import in VIVALDI CarMaker sehr gut überein, wobei nach Export aus VIVALDI CarMaker und Import in DIVP sich etwas größere Abweichungen ergeben haben. Diese konnten bis zum Projektende nicht vollständig aufgeklärt werden, sind aber mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die verwendeten Algorithmen und Implementierungen der Koordinatentransformation der virtuellen Karte zurückzuführen.

Mit diesem Versuch konnte das prinzipielle Vorgehen bei dem Szenarioaustausch über OpenSCENARIO und OpenDRIVE zwischen verschiedenen Simulationswerkzeugen demonstriert werden.

Außerdem konnten im Rahmen der deutsch-japanischen Kooperation erste Spezifikationen für den Standardentwurf namens OpenMATERIAL erarbeitet werden. Das Ziel von OpenMATERIAL besteht in einer einheitlichen und werkzeugübergreifenden Beschreibung der Materialeigenschaften von virtuellen Objekten zur Anwendung in den Sensorsimulationen.

2.5 WP5000: Akquise und Verbreitung des relevanten Wissens

Im Rahmen des WP5000 hatte sich die IPG Automotive an verschiedenen Workshops, internationalen Veranstaltungen und Veröffentlichungen beteiligt. Eine detaillierte Übersicht ist im Kapitel 6 „Veröffentlichungen“ zu finden.

3 Zahlenmäßiger Nachweis

Die bewilligten Mittel wurden hauptsächlich für Personal aufgewendet, welches das Forschungsvorhaben durchgeführt hat. Details können dem Verwendungsnachweis entnommen werden.

4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Projektergebnisse stehen als neue Produkteigenschaften automatisch dem weit verzweigten universitären Partnernetzwerk von IPG Automotive zur Verfügung und finden dort ihren Anschluss als Basis in der Forschungslandschaft sowie können als Grundlage für weitere Forschungsk Kooperationen dienen. Die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ist dadurch gegeben, dass IPG Automotive die Ergebnisse direkt in die eigenen Produkte einfließen lässt bzw. bereits auch schon eingeflossen sind und einem breiten Kundenstamm zur Verfügung stellt. Die methodischen Projektergebnisse hinsichtlich Teststrategien und -verfahren können unmittelbar in zukünftigen Engineering-Kundenprojekten nutzbringend verwerten werden.

5 Ergebnisse von dritter Stelle

Im Aufgabenbereich der IPG Automotive für das VIVID/VIVALDI Projekt sind keine vergleichbaren Fortschritte anderer Stellen bekannt geworden.

6 Veröffentlichungen

Aus verschiedenen Themen der in Kapitel 2 „Wissenschaftlich-technische Projektergebnisse“ beschriebenen Arbeitspakete sind zusammen mit den Partnern wissenschaftliche Veröffentlichungen mit Beiträgen von IPG Automotive entstanden. Nachfolgend sind diese geordnet nach Themen aufgeführt.

VIVALDI – CarMaker OSI – Radar FMU Simulation (siehe WP4110)

- A. Haider, A. Eryildirim, M. Thumann, T. Zeh and S.-A. Schneider, „Influence of RF Group Delay on the Performance of FMCW Automotive Radar Sensor“, in *IEEE 21st Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)*, pp. 1-6, Sand Key, USA, 2021, doi: [10.1109/WAMICON47156.2021.9443606](https://doi.org/10.1109/WAMICON47156.2021.9443606).

VIVALDI – CarMaker OSI – Lidar FMU Simulation (siehe WP4110)

- A. Haider, M. Pigniczki, M.H. Köhler, M. Fink, M. Schardt, Y. Cichy, T. Zeh, L. Haas, T. Poguntke, M. Jakobi and A.W. Koch, „Development of High-Fidelity Automotive LiDAR Sensor Model with Standardized Interfaces“, in *Sensors*, vol. 22, no. 19: 7557, 2022, doi: [10.3390/S22197556](https://doi.org/10.3390/S22197556).
- A. Haider, Y. Cho, M. Pigniczki, M.H. Köhler, L. Haas, L. Kastner, M. Fink, M. Schardt, Y. Cichy, S. Koyama, S. Koyama, T. Zeh, T. Poguntke, H. Inoue, M. Jakobi and A.W. Koch, „Performance Evaluation of MEMS-Based Automotive LiDAR Sensor and Its Simulation Model as per ASTM E3125-17 Standard“, in *Sensors*, vol. 23, no. 6: 3113, doi: [10.3390/S23063113](https://doi.org/10.3390/S23063113).

VIVALDI – CarMaker GPU Coding Interface – Lidar Simulation (siehe WP4110)

- N. Ahn, Y. Cichy, T. Zeh and A. Haider, „GPU-basierte Lidarsimulation auf Grundlage offener Schnittstellen“, in *ATZelektronik*, vol. 18, pp. 42–47, 2023, doi: [10.1007/S35658-023-1459-3](https://doi.org/10.1007/S35658-023-1459-3).
- Englische Übersetzung:
N. Ahn, Y. Cichy, T. Zeh and A. Haider, „GPU-based Lidar Simulation Realized with Open Interfaces“, in *ATZelectronics worldwide*, vol. 18, pp. 42–45, 2023, doi: [10.1007/S38314-023-1462-8](https://doi.org/10.1007/S38314-023-1462-8).

VIVID – White Paper ¹¹

Die finalen Ergebnisse des Projekts wurden im VIVID White Paper festgehalten.

- P. Aust, Y. Amano, A. Araki, S. Buddappagari, L. Elster, L. Haas, A. Haider, N. Hiruma, H. Iqbal, T. Kaneshiro, A. Khakimov, M. Köhler, V. Lizenberg, M. Mizukoshi, W. Nakamura, M. Nerio, D. Nickel, M. Pauli, M. Schardt, S.-A. Schneider, T. Sugiyama and T. Zeh et al., „VIVID - German Japan Joint Virtual Validation Methodology for Intelligent Driving Systems“, 2024.

¹¹ https://www.safecad-vivid.net/app/uploads/2024/01/20240111_VIVID-white-paper.pdf

Darüber hinaus wurden folgende Präsentationen bei verschiedenen fachlichen Veranstaltungen gehalten oder mit inhaltlichen Beiträgen unterstützt.

- „Ray Tracing and Radar Channel Simulation“, in *European Microwave Week (EuMW)*, London, UK, 2022.
- „Keynote 6: Environmental Modeling – A foundation for sensor simulation“, in *safeCAD-DJ Symposium*, Berlin, Germany, 2022.
- „Development of Ray-Tracing-Based Automotive LiDAR Sensor Model with Standardized Interfaces“, in *Apply & Innovate*, Karlsruhe, Germany, 2022.
- „Breakout Session – JT2 Scenario Structuring“, in *SIP-adus Workshop*, Kyoto, Japan, 2022.
- „Breakout Session – JT2 (Scenario, Material)“, in *Post SIP-adus Symposium, Mobility Innovation Week*¹², Tokyo/Tsukuba, Japan, 2023.

Literaturverzeichnis

- [1] C. Linnhoff, P. Rosenberger, S. Schmidt, L. Elster, R. Stark and H. Winner, „Towards Serious Perception Sensor Simulation for Safety Validation of Automated Driving - A Collaborative Method to Specify Sensor Models“, in *IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, pp. 2688-2695, Indianapolis, USA, 2021.
- [2] A. Haider, W. Rosenfeld and T. Zeh, „Virtual Testing of Automotive LiDAR“, in *European Microwave Week (EuMW)*, London, UK, 2022.
- [3] L. Gröll and A. Kapp, „Effect of Fast Motion on Range Images Acquired by Lidar Scanners for Automotive Applications“, in *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 55, no. 6, pp. 2945-2953, 2007.

¹² <https://mobilityinnovationalliance.org/mobiweekjapan2023/en>

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel VIVID/VIVALDI – virtuelle Validierungswerkzeugkette für automatisiertes und vernetztes Fahren Sachbericht zum Teilvorhaben "Szenariengenerierung in der virtuellen Fahrzeugentwicklungsplattform CarMaker" Schlussbericht der IPG Automotive GmbH	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Lizenberg, Viktor Specka, Fabian	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2023
	6. Veröffentlichungsdatum Dezember 2024
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) IPG Automotive GmbH Fautenbruchstraße 46 76137 Karlsruhe Deutschland	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 16ME0169
	11. Seitenzahl 22
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn Deutschland	13. Literaturangaben 3
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 11
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek (TIB) Welfengarten 1 B in 30167 Hannover Dezember 2024	
18. Kurzfassung Die Aufgabe des Projekts VIVID/VIVALDI war die Forschung und Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Absicherung von Sensorsystemen für den Einsatz in automatisierten und vernetzten Fahrzeugen der Zukunft. Hierbei stand die Evaluation der funktionalen Sicherheit von Sensorsystemen mit der Fragestellung "wie sicher ist sicher genug" im Vordergrund. VIVID/VIVALDI baute auf den Erkenntnissen und Ergebnissen vorheriger öffentlich geförderter Projekte auf, woraus die Methoden wie beispielsweise das 6-Ebenen-Modell zur Beschreibung von Szenarien aufgegriffen wurden. Diese Methoden dienten als Grundlage und wurden in VIVID/VIVALDI durch Verfahren zur Verifizierung und Validierung von Umgebungs- und Sensormodellen im Bereich der hochautomatisierten Fahrfunktionen erweitert. Zusätzlich beinhaltete das deutsche Projekt VIVID/VIVALDI eine umfassende Kooperation mit dem japanischen Partnerprojekt DIVP, mit dem Ziel den akademischen Austausch sowie die Findung von übergreifenden und wiederverwendbaren Lösungen zur Absicherung von Sensorsystemen zu fördern. IPG Automotive konzentrierte sich im Projekt auf die Auswahl, Parametrierung, Implementierung und Analyse einfacher und komplexer Szenarien nach einer durch die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern definierten simulationsbasierten Methodik. Außerdem wurden die Partner bei der Auslegung von Schnittstellen zwischen dem Softwareprodukt CarMaker und weiteren Simulationsumgebungen sowie -modellen unterstützt. Die Arbeit und technische Abstimmung von Schnittstellen mit den Partnern beinhaltete auch die entwicklungsbegleitende Anwendung von ASAM OpenX Standards wie beispielsweise das Open Simulation Interface (OSI) sowie die Umsetzung von dazugehörigen partnerspezifischen Anpassungen.	
19. Schlagwörter Absicherung, Automatisierung, autonomes Fahren, CarMaker, Co-Simulation, Fast-Motion-Scan Effekt, Kamera, Kritikalität, Lidar, Modell, modulare Dekomposition, OpenDRIVE, OpenMATERIAL, OpenSCENARIO, Open Simulation Interface (OSI), Radar, Rearrange, Record, Replay, Re-Simulation, Sensor, Simulation, Szenario, Validierung, Verifizierung, Vernetzung, 6-Ebenen-Modell	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title VIVID/VIVALDI – virtual validation tool chain for automated and connected driving Technical report on the sub-project "scenario generation in the virtual vehicle development platform CarMaker" Final report of IPG Automotive GmbH	
4. author(s) (family name, first name(s)) Lizenberg, Viktor Specka, Fabian	5. end of project 31.12.2023
	6. publication date December 2024
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) IPG Automotive GmbH Fautenbruchstraße 46 76137 Karlsruhe Deutschland	9. originator's report no.
	10. reference no. 16ME0169
	11. no. of pages 22
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn Deutschland	13. no. of references 3
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 11
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Technische Informationsbibliothek (TIB) Welfengarten 1 B in 30167 Hannover December 2024	
18. abstract The task of project VIVID/VIVALDI was the research and development of methods and tools for the safeguarding of sensor systems for the use in automated and connected vehicles of the future. Hereby, the evaluation of the functional safety of sensor systems with the question "how safe is safe enough" was the main focus. VIVID/VIVALDI built on the findings and results of previous publicly funded projects, from which methods such as the 6-level-model for describing scenarios were derived. These methods served as a foundation and were expanded in VIVID/VIVALDI through procedures for the verification and validation of environmental and sensor models in the area of highly automated driving functions. Additionally, the German project VIVID/VIVALDI included a comprehensive cooperation with the Japanese partner project DIVP, aimed at promoting academic exchange as well as the development of overarching and reusable solutions for the safeguarding of sensor systems. IPG Automotive focused in the project on the selection, parameterization, implementation and analysis of simple and complex scenarios, according to a simulation-based methodology defined through collaboration with project partners. Furthermore, the partners were supported in the interface design between the software product CarMaker and other simulation environments and models. The work and technical coordination of interfaces with the partners also included the development-related application of ASAM OpenX standards, such as the Open Simulation Interface (OSI), as well as the implementation of respective partner-specific adaptations.	
19. keywords Automation, autonomous driving, camera, CarMaker, connectivity, co-simulation, criticality, fast-motion-scan effect, lidar, model, modular decomposition, OpenDRIVE, OpenMATERIAL, OpenSCENARIO, Open Simulation Interface (OSI), radar, rearrange, record, replay, re-simulation, safeguarding, sensor, scenario, simulation, validation, verification, 6-layer-model	
20. publisher	21. price