ATLAS-L4

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

01.12.2025

Partnerspezifischer Schlussbericht

Autoren: Matthias Büker, Tino Teige, Udo Brockmeyer

Laufzeit: 01.01.2022 – 30.06.2025

Zuwendungsempfänger:
BTC Embedded Systems AG

Förderkennzeichen: 19A21048B

BTC embedded systems

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzdarstellung 4
1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung 4
1.2 Voraussetzungen 5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 5
1.4 Stand der Wissenschaft und Technik zu Projektbeginn 7
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 8
1.5.1 Zusammenarbeit mit den Partnern 8
1.5.2 Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Hochschulen 8
1.5.3 Sonstige Zusammenarbeit 8
2 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse 9
2.1 Erzielte wissenschaftlich-technische Ergebnisse 9
2.1.1 Test- und Validierungsmethoden (AP4) 9
2.1.1.1 Erstellung eines Testkonzepts für die Gesamtfahrzeugverifikation und die Sicherheitsvalidierung (AP 4.1) 9
2.1.1.2 Umsetzung des Testkonzepts zur Erstellung des Testfallkatalogs zur Gesamtfahrzeugverifikation des Level-4-Prototyps (AP4.2) und zur Sicherheitsvalidierung (AP4.3) 10
2.1.1.3 Einsatz simulativer Testmethoden (AP4.4) 12
2.1.1.4 Exemplarische Validierung der Simulation auf dem Prüfgelände (AP4.5) 17
2.1.1.5 Durchführung der relevanten Testfälle als Basis für die Freigabe des Level-4-Prototyps für Demonstrationen innerhalb des Projekts (AP4.6) 19
2.2 Wichtige Positionen des zahlungsmäßigen Nachweises 20
2.3 Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 20
2.4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 20
2.5 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 21
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen 21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einscherer von links 11
Abbildung 2: Ausscherer nach links 11
Abbildung 3: Folgefahrt eines vorausfahrenden Fahrzeugs mit konstanter Geschwindigkeit 11
Abbildung 4: Ausscherer, Logisches Szenario, Erste Phase: Folgefahrt für 10s 12
Abbildung 5: Ausscherer, Logisches Szenario, Zweite Phase: Ausschervorgang 12
Abbildung 6: Ausscherer, Logisches Szenario, Dritte Phase: Ausklang 12
Abbildung 7: Editierung der Straßeneigenschaften eines Szenarios im ATLAS-L4 ODD Kontext 14
Abbildung 8: Ergebnisdarstellung eines szenario-basierten Tests 14
Abbildung 9: Anbindung der ExperimentApp in SIMPHERA zur detaillierten Analyse der Simulationsläufe 15
Abbildung 10: Visualisierung der Weakness Detection 16
Abbildung 11: Visualisierung der Verfeinerung des internen Modells des statistischen Verfahrens 16
Abbildung 12: Visualisierung des Verfahrens zum statistischen Nachweis der Abwesenheit von Schwachstellen 17
Abbildung 13: Darstellung des RMSE für Distanz zwischen vorderer Stoßstange des Egos und hinterer Stoßstange des Fellows. Auf der X-Achse sind die verschiedenen Szenarien und ihre Variationen abgebildet. 19
Abbildung 14: Darstellung des RMSE für die Geschwindigkeit des Egos. Auf der X-Achse sind die verschiedenen Szenarien und ihre Variationen abgebildet. 19

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

ATLAS-L4 verfolgt das Ziel, den Gütertransport zwischen Logistikzentren im SAE-Level-4-Betrieb auf Autobahnen (Hub-to-Hub) realitätsnah zu demonstrieren und dabei zentrale Bausteine für einen späteren Betrieb vorzubereiten. Das Projekt ist dafür zweigleisig aufgebaut: (i) die fahrzeugseitige Entwicklung (Software-Plattform L4, redundante Hardware, Perzeption und Funktionsentwicklung) und (ii) gesetzlich getriebene Querschnittsthemen wie Sicherheitsargumentation, Sicherheitsfreigabe, Security, szenarienbasiertes Testen und das Control Center für die technische Aufsicht. Diese Struktur spiegelt sich in den Arbeitspaketen wider (AP5–AP8: Fahrzeug; AP1–AP4: Querschnitt; AP9: Control Center).

Konkret werden Anforderungen, Aufbau und Inbetriebnahme des Control Centers erarbeitet, bis hin zur Kopplung mit dem Automatisierungssystem, um Autobahn-Use-Cases durchgehend zu bedienen (inkl. Latenz- und Verfügbarkeitszielen). Parallel entwickelt das Konsortium ein Sicherheitsargument sowie einen Freigabeprozess für Demonstrationen im öffentlichen Verkehr und skizziert konzeptionell den Weg zu einer späteren Serienfreigabe für echte L4-Fahrzeuge. Der Freigabeprozess verzahnt Ergebnisse aus mehreren APs und wird fortlaufend mit den technischen Arbeiten synchronisiert.

Ein Kernansatz ist die szenarienbasierte Verifikation und Validierung: Ausgehend von Anforderungen und Sollverhalten werden Testfallkataloge erstellt, simulative Methoden verankert und exemplarisch durch Realfahrten auf Teststrecken gespiegelt, um die Übertragbarkeit von Simulation auf Realität zu untermauern. Übergeordnet adressiert ATLAS-L4 zudem den sicheren Mischverkehr mit manuell geführten Fahrzeugen sowie den Kompetenz- und Technologietransfer zwischen Industrie, Forschung und Infrastrukturbetreibern.

Die BTC verantwortet im Arbeitspaket AP 4 „Test- und Validierungsmethoden“ die methodische Klammer für die szenarienbasierte Verifikation und Sicherheitsvalidierung des Level-4-Systems und koordiniert die Abstimmung zwischen den Teil-APs sowie mit Steuerkreis/PMT. Dazu zählen regelmäßige Synchronisationen im AP-Verbund und die Schnittstelle zu den übergreifenden Gremien.

In AP 4.1 wirkt die BTC an der Ausarbeitung eines Test- und Validierungskonzepts für Gesamtfahrzeugverifikation und Sicherheitsvalidierung mit, einschließlich der Einbettung maßgeblicher Normen und Regularien (u. a. ISO 26262, ISO 21448/SOTIF) und der Ableitung eines strukturierten Vorgehens für Testziele, Metriken und Nachweise. Zudem arbeitet die BTC an der Definition der Artefakt-Schnittstellen zu AP 1/3 mit, sodass Anforderungen, ODD und Sicherheitskonzept konsistent in die testseitigen Nachweise überführt werden.

Die Brücke von Anforderungen zu konkreten Prüfinhalten bildet AP 4.2/4.3: Hier unterstützt BTC die Identifikation und Spezifikation logischer Szenarien als Basis für Testfälle, inklusive Festlegung von Test- und Variationsparametern sowie Bewertungsmetriken. Ein Kernauftrag ist die Formalisierung dieser Szenarien im grafischen Szenario-Editor und die Ableitung konkreter Testfälle aus den logischen Beschreibungen; flankierend sammelt BTC Anforderungen an die eigene Szenariensprache, um Simulation und Variation tragfähig zu machen.

Auf dieser Grundlage entwickelt die BTC in AP 4.4 „Einsatz simulativer Testmethoden“ die Sprachmittel und Kerntechniken weiter und stellt eine durchgängige Toolkette bereit: vom logischen Szenario über automatische Variation bis zur Ausführung in einer realitätsnahen Simulationsumgebung. Dazu gehören die Erweiterung des Editors (Erstellung/Debugging), die Weiterentwicklung der Scenario-Engine (Solver/Controller/Observer), die Anbindung an Simulatoren sowie die Implementierung von Kritikalitätsmetriken und Optimierungs-/Suchverfahren zur gezielten Erhöhung der Szenariokritikalität (Weakness-Suche). Die BTC wirkt außerdem an der Konfiguration der virtuellen Simulationsumgebung und an der Integration des Level-4-Planers mit, sodass simulative Tests reproduzierbar und nachweissicher durchgeführt werden können.

Die Übertragbarkeit zwischen Simulation und Realität adressiert AP 4.5: die BTC arbeitet an der Auswahl repräsentativer Szenarien für Realfahrten auf dem Prüfgelände und an einer Argumentation der Repräsentativität (z. B. über Ähnlichkeitsbetrachtungen). Zudem gehört die Definition von Vergleichsmetriken zwischen Simulation und Realfahrt sowie die automatisierte Bewertung von Übereinstimmung und Abweichungen zur Aufgabe – als Basis für zielgerichtete Wiederholungen und methodische Validierungsschritte.

In AP 4.6 unterstützt die BTC bei der Durchführung relevanter Testfälle als Basis für die Freigabe des Level-4-Prototyps für Demonstrationen innerhalb des Projekts.

1.2 Voraussetzungen

BTC ist mit einer bereits über mehrere Jahre aufgebauten Fach- und Methodenkompetenz im szenarienbasierten Testen autonomer/teilautonomer Fahrfunktionen in das Vorhaben gestartet. Zum Projektbeginn stand eine prototypische Toolkette bereit, die als Ausgangsbasis in ATLAS-L4 diente: ein grafischer Szenario-Editor samt formaler Szenariensprache, Mechanismen zur Szenarien-Variation, Simulationskern-Techniken für die lauffähige Ausführung in virtuellen Umgebungen sowie Optimierungsverfahren zur Kritikalitätssteigerung während der Simulation und Metriken zur Bestimmung einer simulativen Szenarienabdeckung. Diese Bausteine waren vor dem Projekt bereits konzipiert bzw. prototypisch umgesetzt und wurden in Industrie- und Forschungskreisen diskutiert; ATLAS-L4 sollte diese Kette in einem realistischen, industriellen Rahmen für die Gesamtfahrzeugverifikation und Sicherheitsvalidierung eines Level-4/5-Systems zusammenführen.

Neben den Werkzeug-Prototypen brachte BTC eine klare inhaltliche Agenda mit: die wissenschaftlich saubere Ableitung und Begründung von Szenarienkatalogen als Basis für Testendekriterien, die Ausarbeitung und Anwendung von Variationsstrategien, Abdeckungs- und Kritikalitätsmetriken sowie Überlegungen zur Abschätzung des Restrisikos — jeweils mit dem Ziel, das szenarienbasierte Testen belastbar im Freigabekontext zu verankern. In diesem Rahmen war von Beginn an die enge Zusammenarbeit mit TU Braunschweig (Szenariensprache, Variation, Metriken), mit MAN (nutzfahrzeugspezifische Konfiguration und Integration in SIL/HIL/Fahrzeug) und TÜV SÜD (Validierung der Simulation auf dem Prüfgelände) angelegt, sodass BTC sein Methoden- und Tool-Know-how in eine anwendungsnahe, OEM- und Prüfstellen-kompatible Ausgestaltung einbringen konnte.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

AP 4 – Leitung, Koordination und Schnittstellen

BTC plante und verantwortete die Gesamtkoordination des AP 4 über den gesamten Projektverlauf. Kernelemente der Ablaufplanung waren zweiwöchentliche Status-/Sync-Runden mit allen AP-Partnern sowie die Rolle als Schnittstelle zum Steuerkreis/PMT. So wurde die Abstimmung der Unter-APs (4.1–4.6) und deren Einbettung in die Gesamtarchitektur kontinuierlich gesichert.

AP 4.1 – Test- und Validierungskonzept

Zu Projektbeginn wurde das Test- und Validierungskonzept entlang einschlägiger Normen strukturiert (u. a. ISO/IEC/IEEE 29119 als Dokumentenrahmen; Einbindung von ISO 26262/21448 sowie weiterer Regularien). Der geplante Ablauf sah frühe Konzeptkapitel, gemeinsame Reviews und die fortlaufende Konsolidierung mit AP 1/3 vor.

Im Verlauf 2023 wurde in Abstimmung mit der Gesamtprojektleitung der Fokus des Konzepts von der Prüfstrategie für den L2-Demoprototyp auf die Sicherheitsvalidierung eines „reinen“ L4-Fahrzeugs (virtuell, „L4 Ghost Truck“) verlagert. Prozessual bedeutete das: präzisere Festlegung des Testobjekts (Trajektorienplaner), Ableitung einer Simulations- und Testarchitektur und Klärung der Rahmenannahmen (z. B. ideale Sensorik, da Perzeption nicht Gegenstand der Tests) – jeweils als Bausteine des Konzeptdokuments.

AP 4.2/3 – Umsetzung des Testkonzepts zur Erstellung des Testfallkatalogs zur Gesamtfahrzeugverifikation des Level-4-Prototyps (AP4.2) und zur Sicherheitsvalidierung (AP4.3)

Planerisch schloss AP 4.2/3 an 4.1 an: aus Anforderungen/ODD-Annahmen sollten logische Szenarien identifiziert, spezifiziert und über definierte Variations- und Bewertungsparameter zu einem priorisierten Katalog ausgebaut werden. Früh wurde ein Referenz-Use-Case gesetzt (Einscher-Szenario), um das Ende-zu-Ende-Vorgehen exemplarisch durchzuführen (Spezifikation → Editor-Formalismus → Variationsparameter/Metriken).

Der Ablauf sah zyklische Schleifen aus Modellierung im Szenario-Editor, Ableitung von Test-/Variationsparametern (u. a. TTC-bezogene Metriken) und Rückkopplung in die Sprache/Editor-Anforderungen vor. So konnten Lücken im Sprachumfang schrittweise adressiert und die Konsistenz mit 4.4 (Simulation) und 4.5 (Prüfgelände) gesichert werden.

AP 4.4 – Einsatz simulativer Testmethoden

Für AP 4.4 plante BTC eine durchgängige Toolkette vom logischen Szenario über Variation bis zur Simulation/Auswertung. Zu Beginn wurde das Cloud-basierte BTC-Tooling den AP-Partnern bereitgestellt (Editor, Szenarienmanagement, Variation) und ein Durchstich in einer vereinfachten BTC-Simulationsumgebung vorgesehen, um unabhängig von späteren Integrationspfaden demonstrierbar zu bleiben. Parallel wurde die Integration in dSPACE SIMPHERA als Zielpfad vorbereitet.

Ab 2023 wurde der Ablauf um zwei Linien ergänzt: (1) Weakness Detection (Optimierungs-/Suchverfahren) und (2) ein Verfahren zur statistischen Restrisiko-Abschätzung, falls keine Schwachstelle gefunden wird. Organisatorisch war dafür ein iteratives Vorgehen mit Live-Analysen/Reporting und schrittweiser Performance-Verbesserung eingeplant.

Mit der Verfügbarkeit des ATLAS-L4-Planers (AP 8) wurde ein Übergang von der vereinfachten BTC-Umgebung zu einer realistischeren Umgebung in SIMPHERA vorgesehen: Auswahl geeigneter ModelDesk-Straßen, Anschluss von ODD-Signalen, headless-Runs, Ergebnisaggregation und visuelle Analyse waren Teil des Ablaufplans.

AP 4.5 – Exemplarische Validierung der Simulation auf dem Prüfgelände

AP 4.5 wurde als Validierungs-Brücke geplant: Auswahl repräsentativer Szenarien (Startpunkt: Einscher-Szenario), Definition von Vergleichs-/Ähnlichkeitsmetriken zwischen Simulationsläufen und Realfahrten, sowie die schrittweise Anforderungs- und Logistikplanung für Teststrecken/Fahrzeuge/Messtechnik in enger Abstimmung mit TÜV SÜD. In der Planung waren Streckenalternativen (u. a. ADAC Penzing vs. A70 Thurnau-Ost) mit Vor-/Nachteilen (Fahrbahnlänge, Infrastruktur, Realitätsnähe) zu bewerten und der geeignete Zeitraum zu bestimmen.

AP 4.6 – Durchführung der relevanten Testfälle als Basis für die Freigabe des Level-4-Prototyps für Demonstrationen innerhalb des Projekts

Die Aktivitäten zur Erteilung einer Freigabe des Level-4-Prototyps (im Level-2-Betrieb mit einem Sicherheitsfahrer im Lkw) gemäß der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebs-Verordnung (AFGBV) durch die zuständigen Behörden sowie den technischen Dienst für ein Sensorfahrzeug wurden mitdiskutiert und unterstützt.

Abhängigkeiten, Änderungen und Zeitliche Steuerung

Über den gesamten Verlauf waren Abhängigkeiten zu System/ODD-Spezifika sowie zur Verfügbarkeit des Planers aus AP 8 zu berücksichtigen. Exogene Verzögerungen (u. a. Lieferketten, Ressourcen) führten dazu, dass AP 4.1/4.3/4.4/4.5 priorisiert und AP 4.2/4.6 nachgeordnet wurden; dies wurde projekttaktisch genutzt, um zunächst das L4-Konzept methodisch zu schärfen (Konzept → Katalog → Simulation) und Integration/Prüfgelände sukzessive nachzuführen.

Zur Terminsteuerung gehörten regelmäßige Abgleiche „Stand vs. Planung“ sowie — als Risikomaßnahme gegen Projektverzögerungen — die beantragte Projektverlängerung um sechs Monate, um die Arbeitsschwerpunkte in AP 4.1/4.3/4.4/4.5 abgesichert abschließen zu können.

Die Planung spannte einen klaren End-to-End-Ablauf von Konzept (4.1) über Katalog (4.3) und simulatives Testen (4.4) bis zur Validierung der Simulation (4.5), welcher konsequent verfolgt und umgesetzt wurde.

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik zu Projektbeginn

Es wurde zu Projektbeginn an den international etablierten Normen- und Regulierungsrahmen für sicherheitsrelevante Fahrfunktionen angeknüpft. Methodisch wurden das Test- und Validierungskonzept entlang ISO/IEC/IEEE 29119 (Software Testing) strukturiert und für den Kontext eines L4-Gesamtsystems adaptiert; als sicherheitsrelevante Leitplanken dienten ISO 26262 (Funktionale Sicherheit) und ISO 21448 (SOTIF), deren Nachweisverpflichtungen und Testziele in die Planung einflossen. Bereits im ersten Projektjahr ist dokumentiert, dass diese Normen als Ausgangspunkt und Referenzrahmen des Testkonzepts herangezogen wurden.

Zur Szenario- und Testfallmethodik wurde an den Stand der Technik des szenarienbasierten Testens angeknüpft: Definition logischer Szenarien, Ableitung Variations- und Bewertungsparameter (u. a. TTC-basierte Metriken) und formale Modellierung im grafischen Szenario-Editor als Basis für reproduzierbare Simulationen.

Zudem wurden (a) ein prototypischer Editor samt Szenarien-Formalismus und Szenarien-Variation genutzt sowie (b) eine BTC-interne Simulationsumgebung für Durchstiche und (c) die perspektivische Integration in dSPACE SIMPHERA als industrielle Zielumgebung vorbereitet. Diese Kette – Editor → Szenariomanagement → Variation → Simulation/Analyse – war zu Projektbeginn vorhanden bzw. wurde unmittelbar eingebracht.

Für die gezielte Schwachstellensuche (Weakness Detection) in logischen Szenarien knüpfte BTC an Optimierungs- und Suchverfahren aus dem Stand der Technik an (z. B. genetische Algorithmen, Partikel-Schwarm, systematische DIRECT-Ansätze) und verband diese mit Kritikalitätsmetriken und Weakness-Funktionen als Bewertungsmaßstab in der Simulation. Parallel wurde — dem Stand wissenschaftlicher Diskussion folgend — ein Verfahren zur statistischen Restrisiko-Abschätzung konzipiert, um auch Aussagen zur Abwesenheit von Schwachstellen zu ermöglichen.

Auf Regulierungs-/Standardebene wurde zusätzlich der damals entstehende ISO/FDIS 34502 (Test scenarios for automated driving systems) sowie die EU-Verordnung 2022/1426 berücksichtigt und auf Relevanz für das Testkonzept geprüft. Dies diente der Ableitung eines Vorgehens, das aktuelle Regularien systematisch in Testaktivitäten übersetzt.

Zusammengefasst stützte sich BTC zu Projektbeginn auf einen klar definierten Normen- und Regulierungsrahmen, auf szenarienbasierte Test-/Simulationsverfahren samt eigenen Werkzeug-Prototypen sowie auf optimierungsbasierte Such- und Bewertungsmethoden. Flankiert wurde dies durch die systematische Sichtung einschlägiger ISO/EU-Dokumente. Diese Grundlage bildete den technischen und wissenschaftlichen Startpunkt für die Ausgestaltung der BTC-Arbeiten in AP 4.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

1.5.1 Zusammenarbeit mit den Partnern

Mit den Partnern gab es eine rege Zusammenarbeit innerhalb des Projektes. Besonders hervorzuheben ist die Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig und MAN bezüglich des Testkonzepts und der Testfallkataloge, mit dem TüV Süd und MAN bezüglich der Erprobung auf der Teststrecke und mit MAN bezüglich der Integration des Level-4-Planers in die Simulationsumgebung.

1.5.2 Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Hochschulen

Es gab keine Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Hochschulen außerhalb des Projekts.

1.5.3 Sonstige Zusammenarbeit

Es gab keine sonstige Zusammenarbeit.

2 Eingehende Darstellung der erzielten Ergebnisse

2.1 Erzielte wissenschaftlich-technische Ergebnisse

2.1.1 Test- und Validierungsmethoden (AP4)

2.1.1.1 Erstellung eines Testkonzepts für die Gesamtfahrzeugverifikation und die Sicherheitsvalidierung (AP 4.1)

Das Testkonzept in AP 4.1 ist entlang eines klaren Normen- und Nachweisrahmens aufgebaut: Die Struktur der Testartefakte und -pläne folgt einem standardisierten Testkonzeptaufbau; sicherheitsrelevante Ziele und Nachweise orientieren sich an etablierten sowie neu entstandenen Automotive-Normen. Daraus werden unter anderem Testziele, Bewertungsmetriken und Anforderungen an die Testumgebung abgeleitet.

Inhaltlich verankert AP 4.1 eine szenarienbasierte Evidenzlinie: Aus Sicherheitszielen, Anforderungen und ODD-Annahmen werden logische Verkehrsszenarien abgeleitet, formal beschrieben und so parametrisiert, dass daraus reproduzierbare Tests entstehen. Diese Linie bildet die methodische Brücke zu den angrenzenden Arbeitspaketen, in denen auf Basis des Testkonzepts Testfallkataloge aufgebaut und in Simulation/Realumgebung angewendet werden. Bereits in der Vorhabensbeschreibung ist die enge Kopplung von AP 4.1 mit der Sicherheitsargumentation (AP 1) sowie den katalogbildenden und simulativen Strängen (AP 4.2/4.3/4.4) vorgesehen, einschließlich der Nutzung von HiL/SiL und Realtests als Umfeld für die Validierung.

Zentral ist die Klärung von Geltungsbereich und Testobjekt: Das Konzept adressiert zwei Testkonzepte der Sicherheitsvalidierung — eines für den L4-Prototypen im L2-Betrieb (mit Sicherheitsfahrer) und ein zweites für ein reines L4-Fahrzeug in späterer Serienperspektive; gegenüber der ursprünglichen Zielrichtung wurde der Schwerpunkt konsortial auf die Validierung eines „reinen“ L4-Fahrzeugs ohne Sicherheitsfahrer verlagert (virtuelle Zielinstanz). Damit fokussiert AP 4.1 stärker auf Fragestellungen eines Betriebs ohne menschliche Absicherung. Für beide Sichtweisen definiert das Testkonzept klare Testobjektgrenzen und eine Simulations-/Testarchitektur, in der die Planungsfunktion das Testobjekt darstellt und die Perzeption für die Bewertungsfrage abstrahiert wird.

Der Bewertungskern des Konzepts basiert auf Kritikalitätsmetriken und Weakness-Funktionen, mit denen systematisch nach sicherheitsrelevanten Konfigurationen in den Parameter- und Störgrößenräumen gesucht wird. Diese Mechanismen sind ausdrücklich als methodische Grundlage für die szenarienbasierte Sicherheitsvalidierung vorgesehen und schlagen die Brücke zur späteren Katalog- und Simulationsarbeit.

AP 4.1 definiert schließlich die erforderlichen Artefaktflüsse: Eingangsseitig werden Sicherheitsziele, funktionale/technische Anforderungen und eine ODD-Spezifikation so strukturiert, dass sie in Testplanung, Szenariobeschreibung und Bewertungslogik einfließen; ausgangsseitig werden entweder Sicherheitsverletzungen durch das System Under Test (SUT) identifiziert, die zurück in den Entwicklungsprozess fließen oder es wird (im Fall, dass keine Sicherheitsverletzungen gefunden werden) eine statistische Restwahrscheinlichkeit für (nicht-entdeckte) Sicherheitsverletzungen bestimmt. Zudem werden Validitätsbewertungen der Simulation im Vergleich zu realen Fahrten erzeugt.

Zusammengefasst etabliert AP 4.1 eine normativ fundierte, szenariogetriebene Test- und Bewertungsarchitektur mit klarer Systemabgrenzung, such-/schwachstellenorientierter Bewertungslogik und durchdeklinierten Artefaktflüssen. Durch die Schwerpunktsetzung auf die Sicherheitsvalidierung eines reinen L4-Fahrzeugs und die definierte Kopplung zu AP 1/4.2/4.3/4.4 schafft das Konzept die Grundlage, auf der sowohl eine Gesamtfahrzeugverifikation als auch eine Sicherheitsvalidierung methodisch konsistent, reproduzierbar und nachweisfähig umgesetzt werden können.

2.1.1.2 Umsetzung des Testkonzepts zur Erstellung des Testfallkatalogs zur Gesamtfahrzeugverifikation des Level-4-Prototyps (AP4.2) und zur Sicherheitsvalidierung (AP4.3)

Die Umsetzung des Testkonzepts in einen Testfallkatalog erfolgte als einheitlicher, szenarienbasierter Prozess. Ausgangspunkt bildeten festgelegte Testziele sowie Annahmen zum Sollverhalten und zur ODD. Daraus wurden logische Verkehrsszenarien abgeleitet, priorisiert und im grafischen Szenario-Editor formal beschrieben. Bereits in der frühen Phase wurden Test- und Variationsparameter (z. B. Relativgeschwindigkeiten, Abstände, Spurwechselbedingungen) und Bewertungsmetriken untersucht, wobei TTC-basierte Kennzahlen eine zentrale Rolle spielten. Ein referenziertes Mischverkehrsmanöver (Einscheren vor dem Ego-Truck) diente als durchgehender Referenz-Use-Case, an dem Formalisierung, Parametrisierung und Bewertung exemplarisch geschärft wurden. Dabei traten Erweiterungsbedarfe der Szenariensprache zutage (u. a. präzisere Abstandsspezifikationen zwischen Fahrzeugen), die als Anforderungen an die Sprache dokumentiert wurden.

Der Katalogisierungsprozess strukturierte jede Prüfsituation nach einem konsistenten Schema: (1) Szenariobeschreibung mit Akteuren, Infrastruktur und Dynamik; (2) Parameter- und Variationsräume einschließlich Nebenbedingungen; (3) Bewertungs-/Abbruchkriterien samt Akzeptanzschwellen; (4) Ausführungsrahmen (für die simulative Anwendung vorbereitet); (5) Rückverfolgbarkeit zu Anforderungen und Sicherheitszielen.

Die BTC hat in den regelmäßigen Abstimmungsrunden teilgenommen. Insbesondere wurden die Beispielszenarien in ihrer Beschreibung auf funktionaler, logischer und konkreter Ebene mit den Partnern diskutiert und finalisiert sowie eine einheitliche Beschreibungsform entwickelt. Neben der Ausdetaillierung der Parameterausprägungen lag der Fokus dabei insbesondere auf den Testende- und Bewertungskriterien der Szenarien. Hier hat BTC insbesondere Bewertungskriterien aus Standards und Regularien wie der EU Norm 2022/1426 oder der UN Regulation Nr 157 beigesteuert. Dies betrifft beispielsweise Bedingungen unter denen ein Unfall nicht mehr verhindert werden muss, weil selbst ein fähiger und aufmerksamer menschlicher Fahrer dies nicht mehr schaffen würde.

Zur Demonstration der Konzepte in Form eines virtuellen szenarienbasierten Tests haben wir die im Testfallkatalog dargelegten Szenarien mittels der BTC Szenarienbeschreibungssprache in einem graphischen Editor modelliert.

Es handelt sich dabei um die vier Szenarien:

- Einscherer von links (Abbildung 1)
- Ausscherer nach links (Abbildung 2)
- Folgefahrt eines vorausfahrenden Fahrzeugs mit konstanter Geschwindigkeit (Abbildung 3)

- Auffahren auf langsames/stehenden Fahrzeug (Stauende)

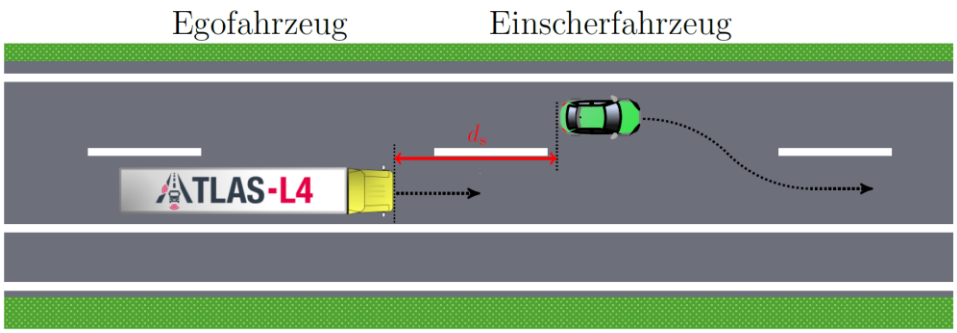

Abbildung 1: Einscherer von links

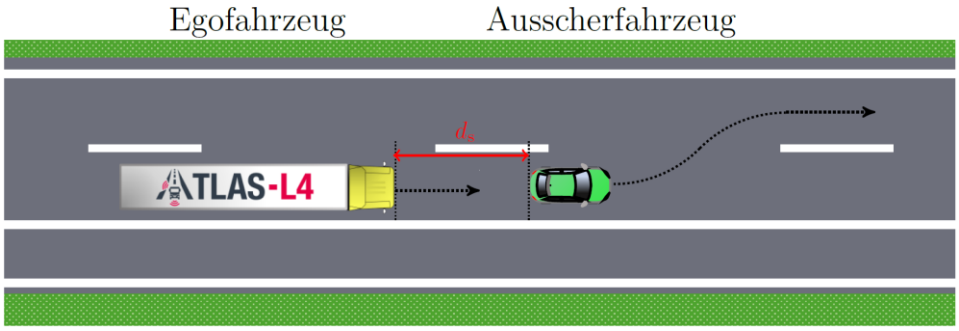

Abbildung 2: Ausscherer nach links

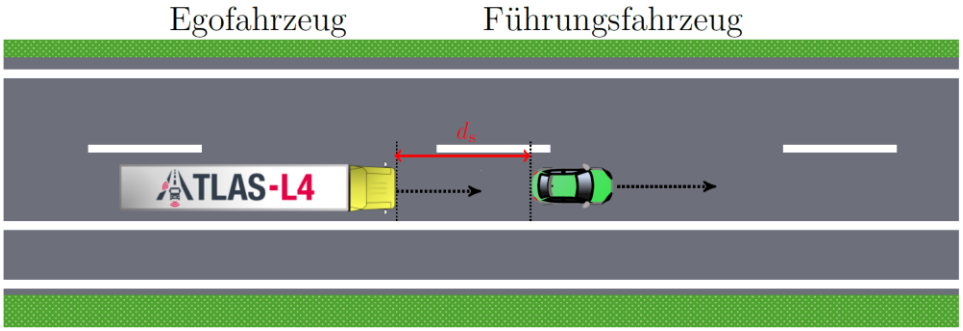

Abbildung 3: Folgefahrt eines vorausfahrenden Fahrzeugs mit konstanter Geschwindigkeit

Die Beschreibung dieser vier Szenarien erfolgt im Testfallkatalog in drei Abstraktionsstufen:

- als funktionales Szenario
- als logisches Szenario
- als konkretes Szenario

Dabei wurden auf der funktionalen Ebene die Szenarien eher qualitativ beschrieben. Auf der logischen Ebene wurden den identifizierten Parametern Wertebereiche zugeordnet, welche dann in

den konkreten Szenarien verfeinert wurden. Nachfolgend ist das logische Szenario eines Ausscherers nach links dargestellt, wie es im Editor modelliert wurde:

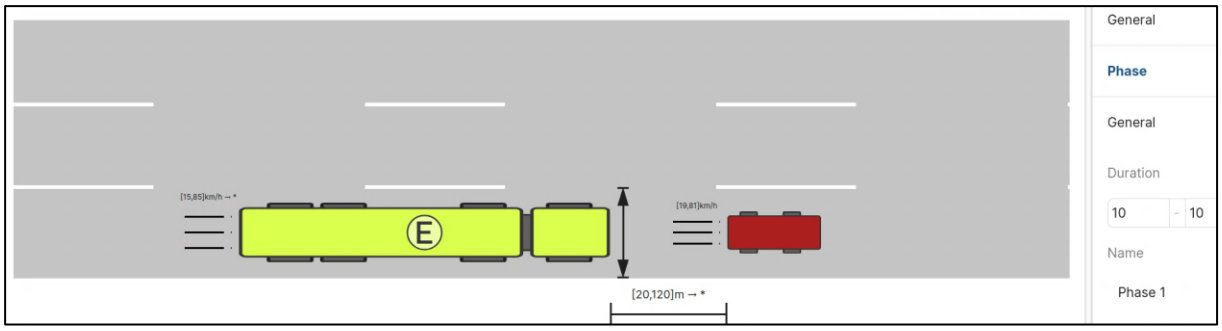

Abbildung 4: Ausscherer, Logisches Szenario, Erste Phase: Folgefahrt für 10s

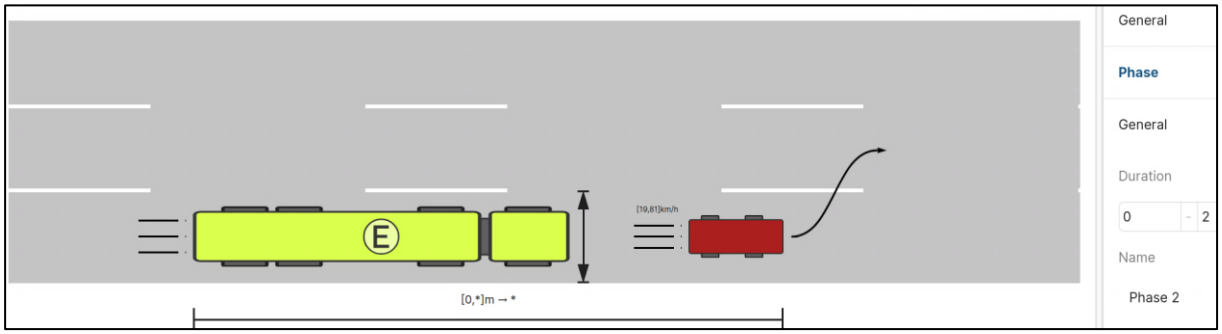

Abbildung 5: Ausscherer, Logisches Szenario, Zweite Phase: Ausschervorgang

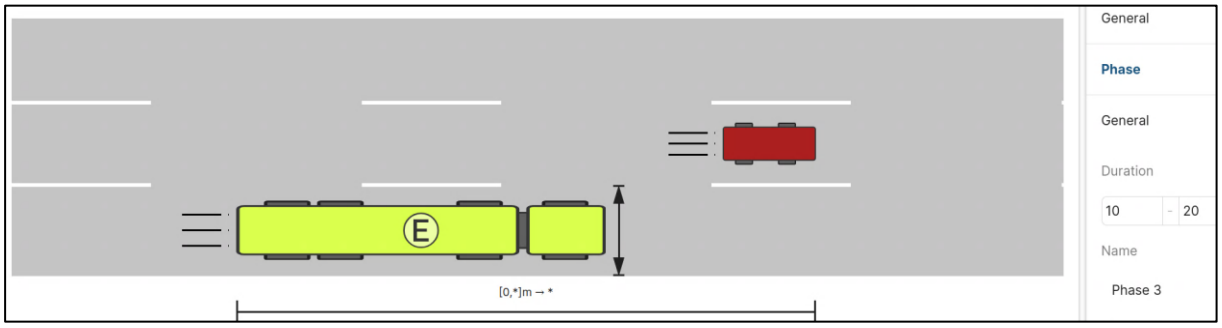

Abbildung 6: Ausscherer, Logisches Szenario, Dritte Phase: Ausklang

Die Parameter welche in Abbildung 4 zu sehen sind, sind diejenigen die im Sinne konkreter Szenarien weiter verfeinert wurden.

2.1.1.3 Einsatz simulativer Testmethoden (AP4.4)

Die simulativen Testmethoden wurden als durchgängige Toolkette aufgebaut, um aus logisch beschriebenen Verkehrsszenarien reproduzierbare, bewertbare Simulationen zu generieren und deren Ergebnisse zielgerichtet zu analysieren. Mit dem Szenarieneditor konnten Szenarien spezifiziert und systematisch abgeleitet werden. Um zeitnah einen Durchstich für den

szenarienbasierten Test zu erreichen, wurde zuerst ein vereinfachter BTC-interner AD-Planungsalgorithmus in einer vereinfachten BTC-internen Simulation integriert. Anschließend wurde der Planer aus AP8 als Testobjekt mit der BTC Scenario Engine Reactive Traffic Control (RTC) in einer SIMPHERA Cloud Umgebung (Simulationswerkzeug der Firma dSPACE) integriert. Um die entstandene Integration sowie die Fähigkeit des RTCs zu bewerten, den Umgebungsverkehr passend zum Verhalten des durch den Planer gesteuerten Ego-Fahrzeugs anzusteuern, wurde eine Test-Suite erstellt, die regelmäßig ausgeführt wird. Diese Testsuite enthält die Szenarien, die in AP4.3 identifiziert und mittels der Szenarienbeschreibungssprache und dem graphischen Editor von BTC modelliert wurden.

Um die korrekte Funktionsweise der Integration zu überprüfen, wurden die Werteverläufe der auf dieser Basis ausgeführten Simulationen verglichen gegenüber denjenigen, die von den Projektpartnern MAN und TüV-Süd aufgezeichnet wurden bei der Ausspielung der konkreten Szenarien auf einer Teststrecke nahe Penzing. Diese sind qualitativ ähnlich, womit die Integration als erfolgreich abgeschlossen betrachtet wird.

Weitere Arbeiten an der BTC Toolkette für das szenarienbasierte Testen sind nachfolgend dargelegt.

- Verbesserte Nutzererfahrung durch ODD-zentrische Workflows: Die Arbeitsweise im BTC Werkzeug wurde dahingehend angepasst, dass die Szenarioerstellung, die Generierung von Testszenarien sowie die Konfiguration und Durchführung von Tests immer im Kontext einer ODD erfolgt. Dazu kann der Anwender an zentraler Stelle im Tool die aktuell zu betrachtende ODD auswählen. Die Definition der entsprechenden ODD-Attribute beeinflusst dann die nachfolgenden Arbeitsschritte und stellt insbesondere sicher, dass nur zur ODD passende Artefakte (z.B. Szenarien) sichtbar und verwendbar sind.
- Spezifikation der Straßeneigenschaften im Szenarieneditor: Für die Spezifikation der zugrunde liegenden Straßeneigenschaften eines Szenarios wurde ein eigenständiger Editorbereich implementiert. Hier können z.B. die Anzahl der Fahrstreifen sowie deren Breiten konfiguriert werden. Darüber hinaus ist nun auch die Spezifikation einer ausgezeichneten Standspur ("shoulder lane") gemäß den ODD-Attributen möglich. Die hinterlegten Straßeneigenschaften werden bei der Konfiguration der Testausführung verwendet, um eine (oder mehrere) geeignete Straße(n) aus der Simulationsumgebung auszuwählen, die dann bei der Simulationsausführung verwendet wird.
- Integration von spezifischen Straßen zum szenariobasierten Testen: Es wurden spezifische Straßen in der Simulationsumgebung bereitgestellt, die im Rahmen der Konfiguration von szenario-basierten Tests durch den Benutzer ausgewählt werden können. Nach der Durchführung der Simulationen wurde eine Anbindung zur interaktiven und visuellen Analyse einzelner Simulationsläufe in der Oberfläche der Simulationsumgebung geschaffen.
- Automatisierte und modularisierte Bereitstellung des BTC Werkzeugs in AWS: Die Architektur der Toolkette wurde angepasst und modularisiert, so dass insbesondere eine von der Simulationsumgebung unabhängige Bereitstellung in einer eigenständigen AWS-Umgebung erfolgen kann. Eine entsprechende Deployment Pipeline wurde implementiert und mit einer automatisierten Qualitätssicherung ausgestattet, so dass regelmäßig eine

neue Version automatisiert bereitgestellt werden kann und gleichzeitig die Kompatibilität zu den angebundenen Werkzeugen (z.B. zu SIMPHERA) sichergestellt ist.

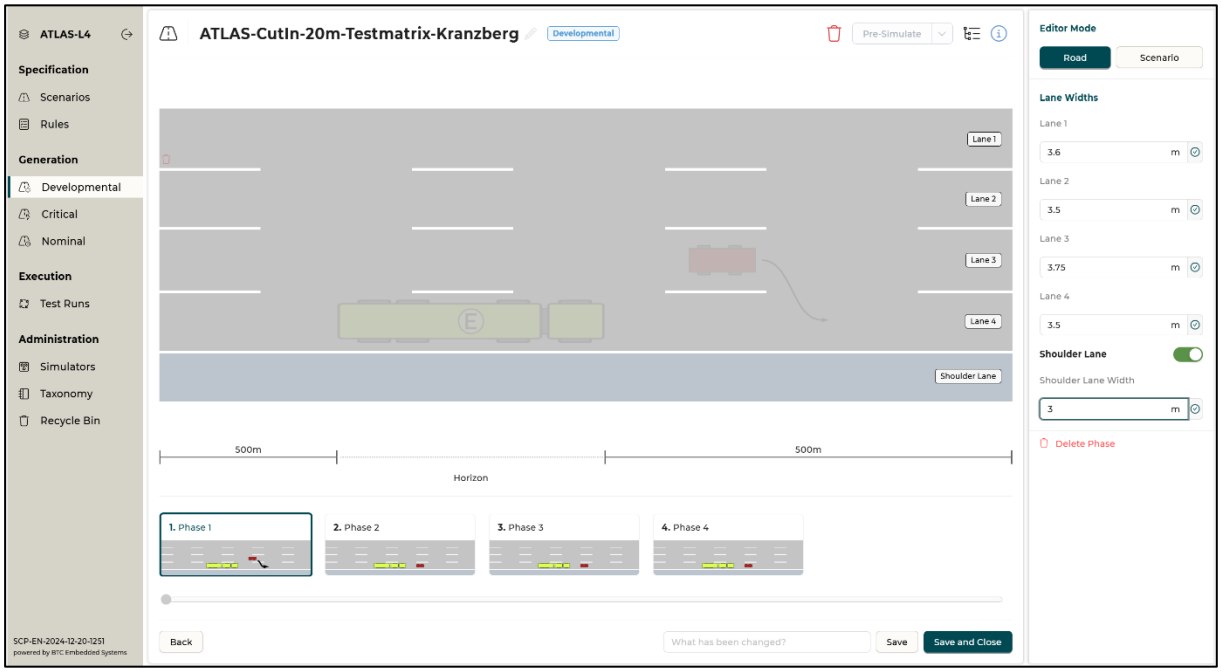

Abbildung 7: Editierung der Straßeneigenschaften eines Szenarios im ATLAS-L4 ODD Kontext

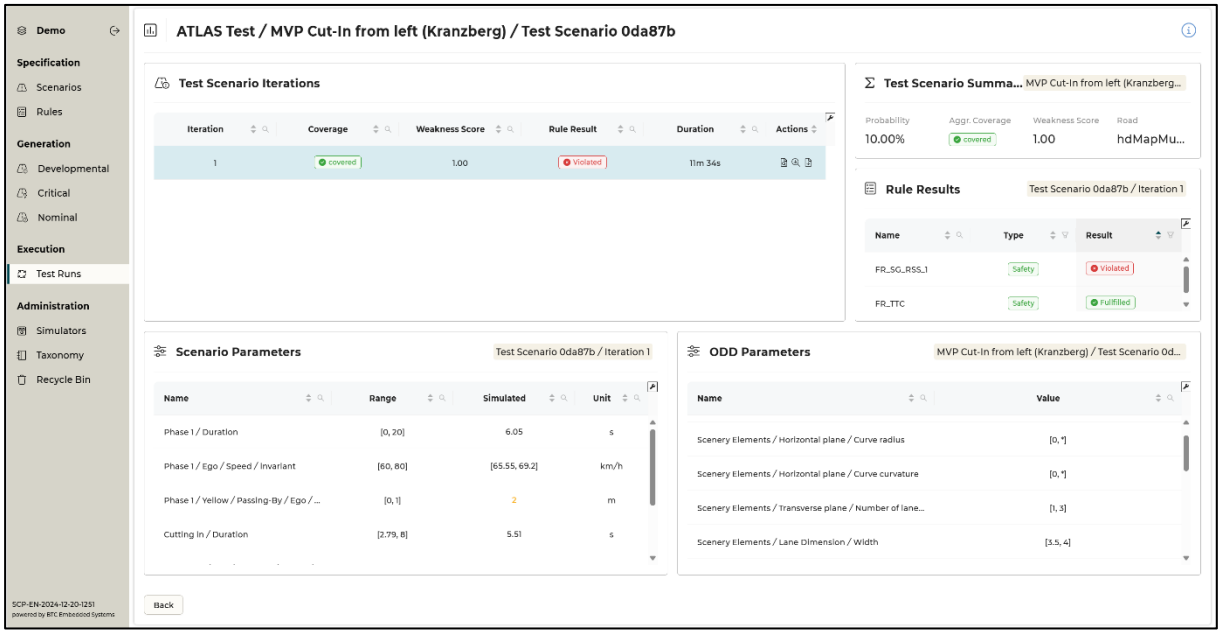

Abbildung 8: Ergebnisdarstellung eines szenario-basierten Tests

Abbildung 9: Anbindung der ExperimentApp in SIMPHERA zur detaillierten Analyse der Simulationsläufe

Im Projekt wurde an einem Verfahren namens „Weakness Detection“ gearbeitet, das gezielt nach Schwachstellen des Planers in logischen Szenarien mittels Optimierungsalgorithmen sucht. Es wurden verschiedene Optimierungsverfahren untersucht wie Genetische Algorithmen, Partikel-Schwarm-Algorithmen und systematische DIRECT-Ansätze. Optimierungsverfahren sind in der Regel effizient in der Suche nach Schwachstellen. Sollte es allerdings keine Schwachstelle geben, können übliche Optimierer keine Aussage dazu treffen. Für die Freigabe von autonomen Fahrzeugen ist es aber essenziell, eine -wenn auch statistische- Aussage über die Abwesenheit von Schwachstellen zu erhalten. Ein solches Verfahren zur Abschätzung dieses Restrisikos wurden im Projekt untersucht. Dabei waren folgende Punkte von besonderer Bedeutung:

- Implementation des Adaptive Importance Sampling zur Verbesserung der Proposalverteilung: Die Idee des Adaptive Importance Samplings besteht darin, die Verteilung, aus der Samples gezogen werden, schrittweise zu aktualisieren und an die Problemstruktur anzupassen. Dies reduziert das Risiko von Unterschätzungen und kann gleichzeitig die erforderliche Anzahl an Simulationen verringern. In diesem Zusammenhang wurde die Methode so erweitert, dass sie eine neue Modellklasse, sogenannte Gaussian Mixture Models (GMMs), als Proposalverteilungen unterstützt, um komplexe Verteilungen flexibler und präziser abbilden zu können.
- Recherche und Implementation von Methoden, die die Robustheit des Adaptive Importance Sampling verbessern: Dies umfasst zum einen Anpassungen, um die numerische Stabilität zu erhöhen, als auch die Implementation von visuellen Diagnosetools.

Um die Weakness Detection und das Verfahren zum statistischen Nachweis der Abwesenheit von Schwachstellen analysieren, debuggen und nachvollziehbar demonstrieren zu können, wurde an einer geeigneten Visualisierung gearbeitet. Diese Visualisierung beinhaltet 3 Teile: die Weakness Detection (Abbildung 10), die Verfeinerung des internen Modells des statistischen Verfahrens (Abbildung 11) sowie den Hauptalgorithmus des statistischen Verfahrens (Abbildung 12). Alle Teile der Visualisierung konzentrieren sich darauf, einen hochdimensionalen Raum darzustellen, um die Abdeckung sowie die interne Modellierung des Raumes, auf dem der statistische Ansatz beruht, zu veranschaulichen.

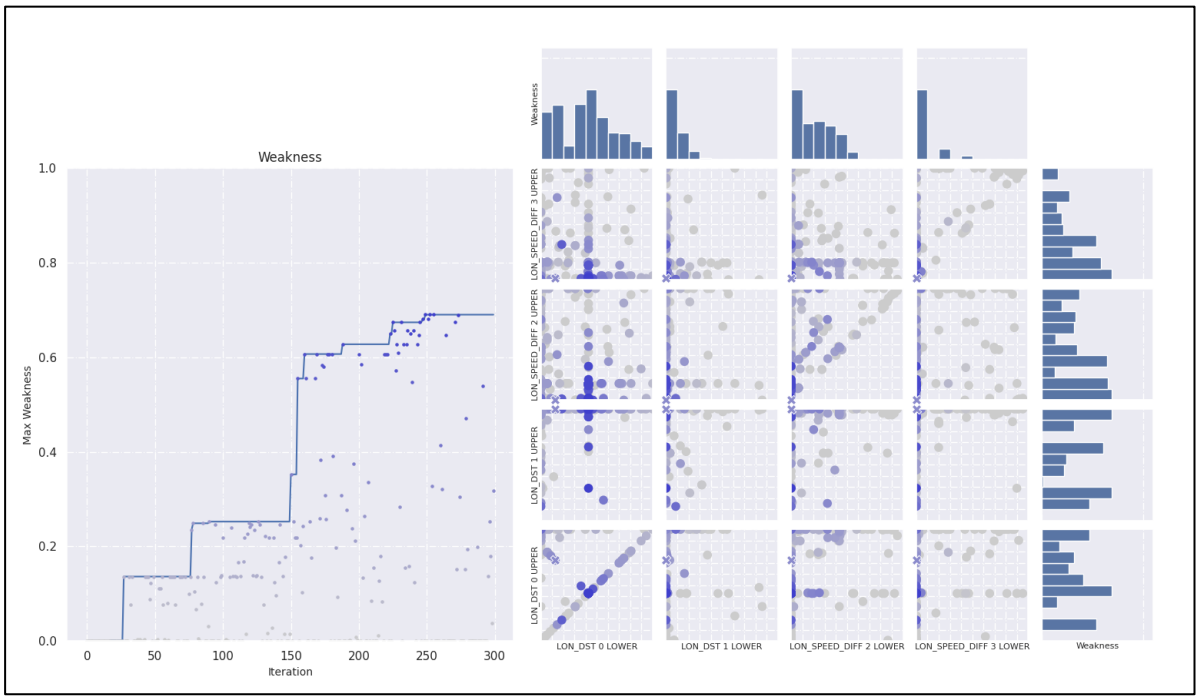

Abbildung 10: Visualisierung der Weakness Detection

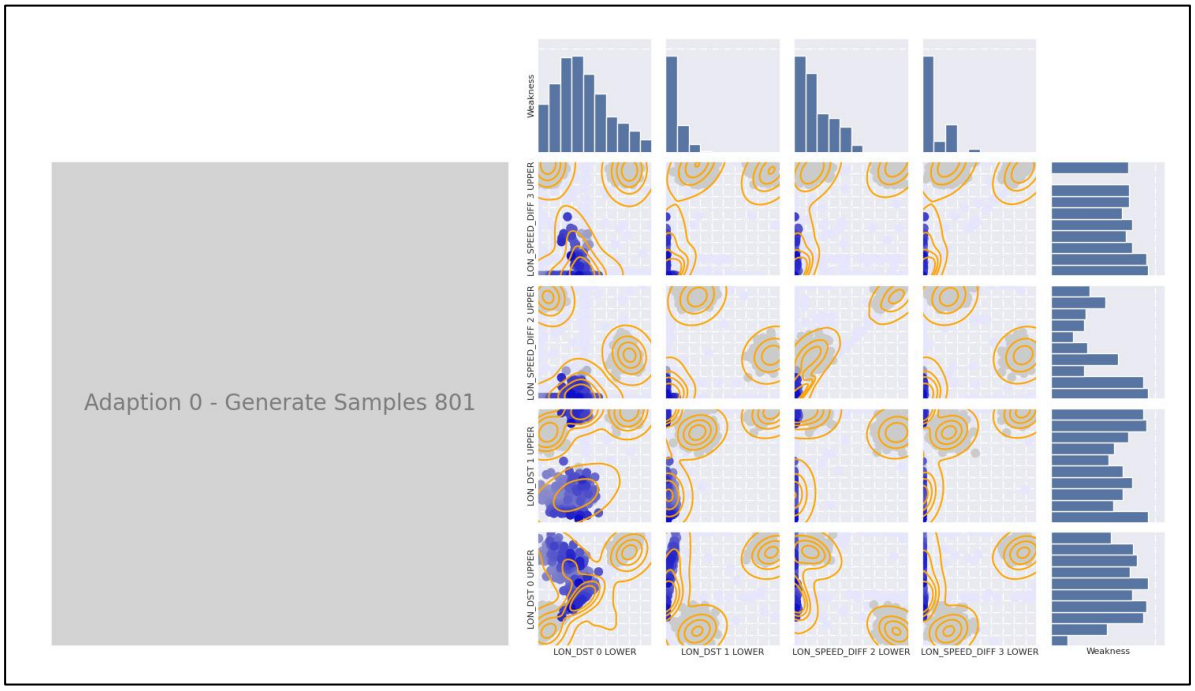

Abbildung 11: Visualisierung der Verfeinerung des internen Modells des statistischen Verfahrens

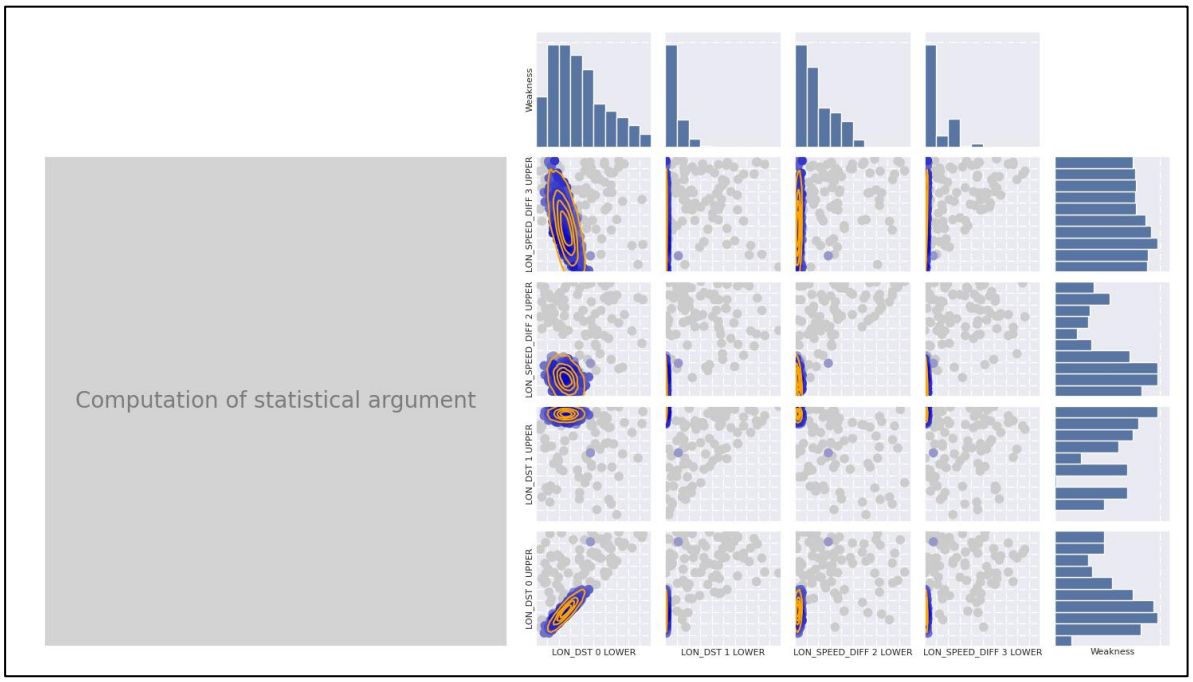

Abbildung 12: Visualisierung des Verfahrens zum statistischen Nachweis der Abwesenheit von Schwachstellen

2.1.1.4 Exemplarische Validierung der Simulation auf dem Prüfgelände (AP4.5)

Um die Testergebnisse aus der Simulation auf die Realität zu übertragen, ist es notwendig, zu überprüfen, ob die virtuelle Simulation die Realität hinreichend genau abbildet. In diesem Arbeitspaket haben wir ein Verfahren untersucht, das es ermöglicht, einen systematischen Vergleich von simulierten und realen Fahrten durchzuführen.

Zuerst wurden die Szenarien aus dem Testfallkatalog auf dem Prüfgelände vor allem durch die Projektpartner MAN und TüV Süd abgefahren. Diese physikalischen Fahrversuche wurden in mehreren Phasen durchgeführt. Im Mai 2023 fand zunächst eine Streckenvermessung in Thurnau statt. Im Juli 2024 folgten umfangreiche Prüfgeländetests in Penzing mit verschiedenen Fahrmanövern wie Einscheren, Ausscheren und Folgefahrt. Im Februar 2025 wurden ausgewählte Ergebnisse erneut validiert. Die im Rahmen der Tests erhobenen Messdaten wurden an die Projektpartner, insbesondere an die BTC, verteilt und im Post-Processing ausgewertet.

Um den Vergleich zwischen Realfahrt und Simulation durchzuführen, hat die BTC eine Simulationsumgebung basierend auf VEOS und SIMPHERA aufgesetzt. In dieser Umgebung wurde ein Verhaltensmodell des LKWs sowie der Level-4-Planer integriert, welcher auch bei den realen Testfahrten zum Einsatz kam. Genau wie in den realen Fahrversuchen steuerte der Level-4-Planer das Ego Fahrzeug während der Szenarien-Ausführung auch in der Simulation. Für die Ansteuerung des Fellow Fahrzeuges wurde eine Regelungskomponente in die Simulation integriert, welche das Fellow Fahrzeug kontrollierte. Darüber hinaus übte diese Komponente bis zum Start des Szenarios auch Kontrolle über das Ego aus. Konkret hatte diese Komponente zwei Aufgaben:

1. *Einregeln der Startbedingungen des jeweiligen Szenarios*: Für jedes Szenario wurde ermittelt wie die Distanz zwischen dem Ego und Fellow Fahrzeug zum Startzeitpunkt des Szenarios in dem realen Fahrversuch war. Diese Distanz wurde dann entsprechend auch in

der Simulation eingeregelt. Dabei wurden sowohl das Ego Fahrzeug wie auch das Fellow Fahrzeug gesteuert.

2. *Abfahren der im entsprechenden realen Fahrversuch aufgezeichneten Positionstrajektorie des Fellows*: Nachdem die Startbedingungen des Szenarios eingeregelt wurden, wurde der Level-4-Planer des Egos aktiviert, wodurch die Kontrolle an den Planer überging. Zum gleichen Zeitpunkt wurde begonnen die aufgezeichnete Positionstrajektorie des Fellows abzufahren. Da durch den ersten Schritt in der Simulation eventuell andere Positionskoordinaten durch das Ego und das Fellow erreicht wurden, mussten hierbei die aufgezeichneten absoluten Positionskoordinaten des Fellows mit einem Offset versehen werden.

Für jedes der Szenarien, für welche reale Fahrversuche durchgeführt wurden, wurde eine entsprechende Simulation durchgeführt. Dabei wurden zum Zweck des Vergleiches folgende Größen aufgezeichnet:

- Stoßstangendistanz zwischen Ego und Fellow: Die Distanz der vorderen Stoßstange des Egos zur hinteren Stoßstange des Fellows in Metern.
- Geschwindigkeit des Egos: Die Geschwindigkeit des vom Level-4-Planer gesteuerten Fahrzeuges in km/h.

Da das Verhalten des Fellow Fahrzeugs in der Simulation exakt dem Verhalten des Fellows in dem jeweiligen realen Fahrversuch entsprach (die aufgezeichnete Positionstrajektorie des Fellows wurde in der Simulation exakt abgefahren), beschränkt sich der Vergleich auf Zustandsgrößen des Ego-Fahrzeugs.

Als Vergleichsmetrik wurde die Root-Mean-Square-Error (RMSE) Metrik gewählt, die häufig zum Qualitätsvergleich der Voraussage von Messreihen verwendet wird. RMSE ist definiert als Wurzel des Mittelwerts der quadrierten Fehler und lässt sich durch folgende Formel ausdrücken:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n}(Sim_i - Real_i)^2}{n}}$$

$$Sim_i = Wert\ der\ simulierten\ Datenreihe\ zum\ Zeitpunkt\ mit\ Index\ i$$

$$Real_i = Wert\ der\ Datenreihe\ aus\ der\ Realfahrt\ zum\ Zeitpunkt\ mit\ Index\ i$$

$$n = Anzahl\ an\ zeitdiskreten\ Datenpunkten$$

Die RMSE Metrik hat folgende Eigenschaften:

- Die Quadrierung des Fehlers sorgt dafür, dass Fehler immer ein positives Vorzeichen haben und sich somit negative und positive Fehler zwischen Simulation und Realfahrt nicht ausgleichen können.
- Die Quadrierung des Fehlers hat den Effekt, dass stärkere Abweichungen auch stärker gewichtet in die gesamte Metrik eingehen.
- Durch die Bildung des Mittelwertes erhält man eine zentrale Tendenz des Fehlers.

- Durch das Ziehen der Wurzel ist die Einheit der Metrik dieselbe wie die der eingehenden Datenreihen, also in diesem Fall Meter oder km/h, was eine einfachere Interpretation der Metrik erlaubt, als es beispielsweise bei einheitslosen Metriken der Fall wäre.

Die entsprechenden Ergebnisse der Vergleiche zwischen Realfahrt und Simulation mittels RMSE für die verschiedenen Szenarien sind in Abbildung 13 und Abbildung 14 dargestellt.

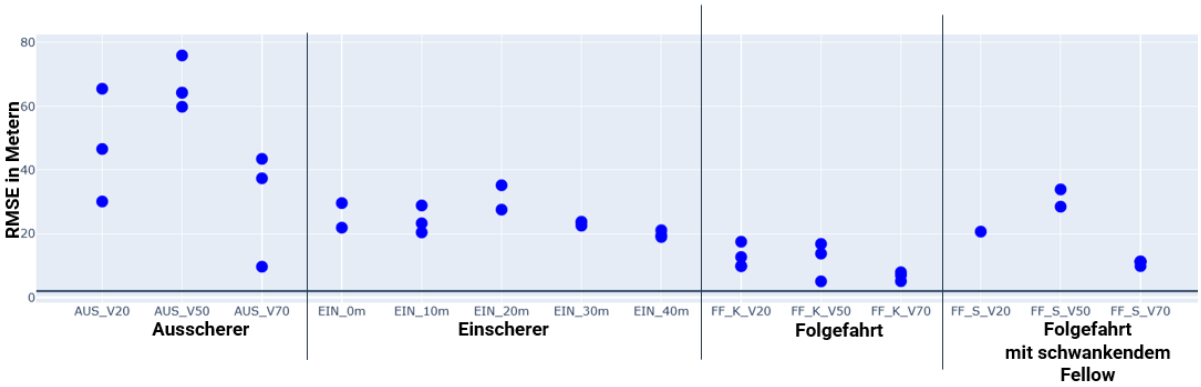

Abbildung 13: Darstellung des RMSE für Distanz zwischen vorderer Stoßstange des Egos und hinterer Stoßstange des Fellows. Auf der X-Achse sind die verschiedenen Szenarien und ihre Variationen abgebildet.

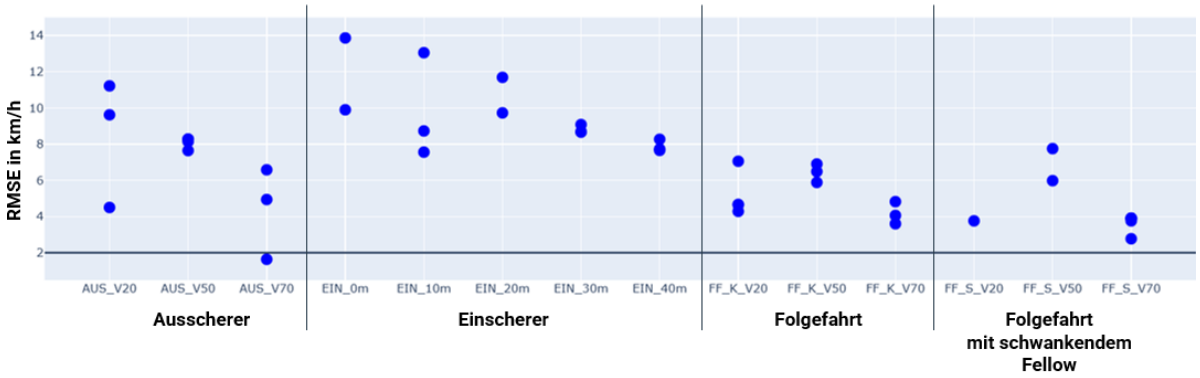

Abbildung 14: Darstellung des RMSE für die Geschwindigkeit des Egos. Auf der X-Achse sind die verschiedenen Szenarien und ihre Variationen abgebildet.

Die untersuchte Methodik erlaubt den automatisierten Vergleich zwischen Realfahrten und Simulationen, um die Validität der Simulation für den virtualisierten Test zu überprüfen. In den konkreten Experimenten konnten wahrscheinlich relevante Abweichungen identifiziert werden. Es deutet darauf hin, dass diese Abweichungen in der Parametrisierung der Simulation und des Level-4-Planers begründet sind. Für den praktischen Einsatz sollten derartige Abweichungen auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

2.1.1.5 Durchführung der relevanten Testfälle als Basis für die Freigabe des Level-4-Prototyps für Demonstrationen innerhalb des Projekts (AP4.6)

Die Aktivitäten zur Erteilung einer Freigabe des Level-4-Prototyps (im Level-2-Betrieb mit einem Sicherheitsfahrer im Lkw) gemäß der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs- und Betriebs-

Verordnung (AFGBV) durch die zuständigen Behörden sowie den technischen Dienst für ein Sensorfahrzeug wurden mitdiskutiert und unterstützt.

2.2 Wichtige Positionen des zahlungsmäßigen Nachweises

Das Budget und die Aufwände der BTC liegen im geplanten Bereich und es gibt keine nennenswerten Abweichungen.

2.3 Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die BTC hat eine prototypische Werkzeugkette zum szenarienbasierten Test mit in das Projekt eingebracht. Vor dem Projekt wurde das BTC Werkzeug noch nicht durchgängig in der Sicherheitsvalidierung eingesetzt. Erst durch das geförderte Projekt ATLAS-L4 konnte der szenarienbasierte Test in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern in den Gesamtkontext eingebettet werden, d.h. vom Test- und Validierungskonzept über die Testfallkataloge und Szenarienspezifikation in die simulativen Testmethoden inklusive dem entwickelten Level-4-Planer bis hin zur Validierung der Simulation auf dem Prüfgelände. Dadurch konnten zahlreiche wertvolle Erkenntnisse gesammelt werden, um die BTC Toolkette zukünftig an die echten industriellen Rahmenbedingungen anpassen zu können, beispielsweise bezüglich der Ausdruckstärke der grafischen Szenariensprache, Charakteristiken der Kritikalitätsmetriken für die Weakness Detection, Erkenntnisse bezüglich des Verfahrens zur Abschätzung des Restrisikos von Schwachstellen sowie erste wertvolle Erfahrungen im Vergleich zwischen Simulation und Realfahrten.

Diese verschiedenen Aspekte des Projektkonsortiums in der Verifikation und Validierung von Level-4-Fahrzeugen, also die Konzeption des Sicherheitsnachweises, die Entwicklung eines echten Planers, das simulative Testen des Planers in einer realitätsnahen Simulationsumgebung in Einklang mit dem Testkonzept sowie die echte Erprobung auf dem Prüfgelände zur Validierung der Simulation, waren eine notwendige Voraussetzung für die erfolgreiche Bearbeitung der Projektziele. Vor allem die Aktivitäten auf der Teststrecke in Penzing mit realen Fahrzeugen und die Bereitstellung der Fahrdaten aus den Fahrversuchen, die ein entscheidender Input für die Vergleichsanalyse zwischen Simulation und Realfahrt waren, wären ohne das Förderprojekt ATLAS-L4 für die BTC nur schwer bis gar nicht darstellbar gewesen.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die BTC Toolkette zum szenarienbasierten Testen des L4-Planers wurde prototypisch und beispielhaft in einer virtuellen Simulationsumgebung in einem realistischen industriellen Rahmen durchgängig eingesetzt. Diese Durchgängigkeit von der Szenarienspezifikation, über die Szenarensimulation bis hin zur gezielten Suche nach Schwachstellen im Planer trägt erheblich zum Erkenntnisgewinn hinsichtlich der praktischen Relevanz und der wirtschaftlichen Machbarkeit der BTC Werkzeuge aus Sicht eines Nutzfahrzeugherstellers bei. Diese simulative Testmethode scheint daher in Zukunft ein vielversprechender Ansatz für die Sicherheitsvalidierung von autonomen LKWs zu sein. Die Toolkette kann in verschiedenen Kontexten wiederverwertet werden. Die ODD „Autobahn“ kann beispielsweise erweitert werden, z.B. für den Stadtverkehr, was sich v.a. in der Spezifikation der Szenarien widerspiegeln würde. Es könnten andere Fahrzeugtypen wie z.B. PKWs in die Werkzeugkette integriert und getestet werden. Zudem lässt sich die Simulationsumgebung durch eine andere austauschen.

Die BTC strebt an, die Projektergebnisse in die Produktentwicklung der BTC Werkzeuge zu überführen. Ebenso ist es beabsichtigt, die Erkenntnisse bezüglich der Gesamtfahrzeugverifikation und Sicherheitsvalidierung für die Freigabe von hochautomatisierten Fahrzeugsystemen in der eigenen Vorentwicklung zu berücksichtigen.

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine Fortschritte bekannt, die unmittelbaren Bezug zu den Aktivitäten des Vorhabens aufzeigen.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Es keine Veröffentlichungen erfolgt oder geplant.