

## Schlussbericht



### SET Level

Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren

*Beitrag des Zuwendungsempfängers:* **Volkswagen AG**  
Berliner Ring 2  
38440 Wolfsburg

*Laufzeit:* 01.03.2019 – 31.10.2022

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 19A19004R gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Version: 1.0  
Stand: 25.04.2023



## Inhaltsverzeichnis

<b>0 Optional: Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Kurze Darstellung .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Aufgabenstellung.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Planung und Ablauf .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Stand der Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Eingehende Darstellung.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Erzielte Ergebnisse .....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Teilprojekt 1: Use-Case Management und funktionsorientierte Anforderungsanalyse .....	12
2.1.2 Teilprojekt 2: Simulationsbasiertes und virtuelles Entwickeln / Testen.....	13
2.1.3 Teilprojekt 3: Modellspezifikation, -Entwicklung und –Validierung .....	17
2.1.4 Teilprojekt 4: Instanziierung von Werkzeugketten für Entwicklung und Testen...	19
2.1.5 Teilprojekt 5: Einbettung und kritische Reflexion .....	20
<b>2.2 Zahlenmäßiger Nachweis .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Nutzen und Verwertbarkeit.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Bekannt gewordener Fortschritt.....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 Veröffentlichungen .....</b>	<b>23</b>
2.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen .....	23
<b>3 Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>24</b>

## 0 Optional: Zusammenfassung

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

Volkswagen beteiligte sich im Projekt in den Teilprojekten 2, 3 und 5 (TP 2, TP 3 und TP 5). Da eine Beteiligung vom Umfang her nur begrenzt möglich war, wurde der Fokus der Beiträge zum Gesamtprojekt generell auf die praktische Verwertbarkeit der Projektergebnisse gelegt. Dabei wurden bereits im Laufe des Projektes in TP 2 und TP 3 Erkenntnisse und spezielle Anforderungen eingebracht, die die industrielle Weiterverwendung der Projektergebnisse ermöglichen sollen. In TP 2 und TP 3 bestand der Beitrag von Volkswagen in einer aktiven Mitgestaltung bei der Definition der Simulationsarchitektur und der Modellierung von Teilsystemen sowie notwendiger Prozesse, die für einen industriellen Einsatz der Simulationen notwendig sind. In Teilprojekt 5 (TP 5) wurden die erarbeiteten Ergebnisse in einem internen Proof of Concept (PoC) bewertet.

Nach der Einarbeitungsphase in das Projekt, deren Umsetzung durch die Auswirkungen der Corona-Krise erschwert wurde, konnten die konkreten Aufgaben in den einzelnen Teilprojekten und Arbeitspaketen auf Grundlage der Vorhabensbeschreibung genauer definiert werden:

### **Beitrag zum Teilprojekt 2 (TP 2)**

Volkswagen lieferte Beiträge für die Definition von Anforderungen an eine testgerechte Formulierung von Szenarien (Definition, Ableitung von Testfällen, Grundlage für Teststeuerung und Testbewertung), eine Definition von simulierten Teilsystemen und ihrer Abbildung auf die Simulationsarchitektur aus Sicht der industriellen Anwendung sowie die Anforderungen an die Referenzimplementierung der Simulationsumgebung. Zudem wurden Informationen bezüglich der Anforderungen an die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Simulationen, wie sie im Projekt entwickelt wurden (Model-in-the-Loop), bereitgestellt.

### **Beitrag und Ergebnisse zum Arbeitspaket 2.1 (AP 2.1)**

Der Schwerpunkt der Arbeit von Volkswagen lag in der praxisnahen Definition von Simulationsprinzipien. Hierauf aufbauend erfolgte eine Mitarbeit an konzeptuell dafür notwendigen Formalisierungen zur Erzielung einer aufeinander abgestimmten Simulationsmethodik. Die Umsetzung der Simulationsprinzipien (Simulationsdurchführung) wurde in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern technisch ausgestaltet und anhand der Spezifikation einer Integrationsarchitektur für Simulationen konkretisiert und dokumentiert.

### **Beitrag und Ergebnisse zum Arbeitspaket 2.2 (AP 2.2)**

Der Beitrag von Volkswagen lag in der Definition von Anforderungen an die Komponenten der Simulation und der Integrationsarchitektur aus Sicht der industrienahen Anwendung. Hierzu erfolgte eine Mitarbeit an der Zusammenführung der Informationen der verschiedenen Industriepartner in eine Anforderungsliste.

### **Beitrag und Ergebnisse zum Arbeitspaket 2.3 (AP 2.3)**

Volkswagen arbeitete an der Spezifikation einer Referenzimplementierung mit. Beschrieben wurde eine Ausführungsumgebung inklusive Modellkopplung und der notwendigen Simulationsinfrastruktur. Gegenüber der Integrationsarchitektur für den produktiven Einsatz soll die Referenzimplementierung Inspektionsschnittstellen unterstützen, die eine detaillierte Kontrolle des Ablaufs der Simulation gestatten. Weiterhin wurde an einer Spezifikation von notwendigen

Erweiterungen benötigter Standards (OpenSCENARIO, OSI, etc.) und deren Dokumentation mitgearbeitet.

### **Beitrag zu Aufgaben im Teilprojekt 3 (TP 3)**

Volkswagen brachte langjährige Erfahrung in der Simulation von Gesamtfahrzeugen und deren Teilsystemen ein und stellte durch die Definition von Anforderungen an die Simulations- und Modellerstellungsprozesse die Übertragung der Projektergebnisse in die industrielle Anwendung sicher.

### **Beitrag und Ergebnisse zum Arbeitspaket 3.1 (AP 3.1)**

Volkswagen definierte Anforderungen an die im Rahmen des Projektes zu erarbeitenden Simulationsmodelle aus Sicht der industriellen Praxis und den neuen Herausforderungen des hochautomatisierten Fahrens. Dazu beteiligte sich VW an der Erstellung von Richtlinien und Templates für die Simulationsmodellspezifikation sowie der Validierung und Qualifizierung von Simulationsmodellen.

### **Beitrag und Ergebnisse zum Arbeitspaket 3.2 (AP 3.2)**

Volkswagen erarbeitete mit den Kooperationspartnern Prozesse und Methoden zur Modellauswahl für Simulationen. Dazu wurden Simulationsziele abhängig von zu simulierenden Szenarien bewertet und anhand verschiedener Modelle untersucht. Daraus wurde eine entsprechende Methodik der Modellauswahl abgeleitet. Die Ergebnisse wurden abschließend in einem Dokument zusammengefasst.

### **Beitrag zum Arbeitspaket 3.3 (AP 3.3)**

Volkswagen stellte Meta-Informationen bezüglich Modellen aus der industriellen Praxis zur Verfügung. Dazu wurden für die im Rahmen des Projekts entwickelten Modelle realistische Parameter bereitgestellt und Anforderungen an das Datenmanagementsystem abgeleitet.

### **Beitrag zum Aufgaben im Teilprojekt 5 (TP 5)**

Mit Hilfe von Volkswagen konnten die Projektergebnisse unter industrienahen Gesichtspunkten reflektiert werden. Die Einbettung der Simulation in den industriellen Entwicklungsprozess wurde dabei berücksichtigt und somit die Allgemeingültigkeit des Ansatzes unterstrichen. Die wesentliche Beteiligung der Volkswagen TE besteht in der Bewertung der Anwendbarkeit des Gesamtprozesses in der industrienahen Praxis.

### **Beitrag zum Arbeitspaket 5.1 (AP 5.1)**

Volkswagen lieferte einen Beitrag für die Reflexion der erzielten Ergebnisse. Dabei stand die Einbettung der Projektergebnisse in die Industriepraxis im Vordergrund.

### **Beitrag und Ergebnisse zum Arbeitspaket 5.2 (AP 5.2)**

Auf Grundlage der Ergebnisse aus den anderen Teilprojekten erfolgen eine Vorbereitung und anschließend der Aufbau eines Demonstrators, welcher bei Volkswagen umgesetzt wurde. Basierend auf einer eigenen technischen Plattform wurden die im Projekt bereitgestellten Modelle in eine den Vorgaben entsprechende Simulationsarchitektur integriert. Dies diente zum Nachweis der Anwendbarkeit der entwickelten Simulationsarchitektur im Zusammenspiel mit den definierten Modellen und Schnittstellen. Fokus waren die Prüfung der Simulationsmodelle

hinsichtlich Genauigkeit und Integrierbarkeit, die Definition von Referenzszenarien sowie die Überprüfung der Validität der Simulationsergebnisse. Dabei erfolgten ein Abgleich mit den bereits bei Volkswagen umgesetzten Simulationsumgebungen und eine Bewertung der industriellen Anwendbarkeit der Projektergebnisse. Eine Darstellung der vorgenommenen Anpassungen, des Demonstrators und der Ergebnisse der Simulationen wurde dokumentiert und dient der Rückführung der Erkenntnisse ins Projekt.

## 1 Kurze Darstellung

### 1.1 Aufgabenstellung

Da eine Beteiligung vom Umfang her nur begrenzt möglich war, konnte Volkswagen keine administrativen Aufgaben im Gesamtprojekt oder in den Teilprojekten übernehmen. Deshalb konzentrierte sich die Beteiligung von Volkswagen auf aktive Mitarbeit in ausgewählten Arbeitspaketen. Dabei lag der Fokus der Beteiligung auf die Erarbeitung von Ergebnissen mit praktischer Verwertbarkeit. Dies sollte durch den Abgleich von Methoden und Prozessen, die bei Volkswagen bereits verwendet werden, erfolgen. Ziel der Beteiligung von Volkswagen war es in speziellen Arbeitspaketen einen Beitrag zu den Projektergebnisse zu leisten, im Projekt definierte Prozesse auf Praxistauglichkeit zu bewerten und Anforderungen an existierende oder noch benötigte Standards zu definieren.

Die Aufgaben von Volkswagen im Gesamtprojekt gliederten sich in vier Themenblöcken:

- A) Beteiligung durch aktive Mitgestaltung bei der Definition und Validierung der Simulationsarchitektur und spezieller Teilsysteme in Teilprojekt 2 (TP 2).
- B) Beteiligung bei der Definition und Erweiterung benötigter Simulationsprozesse und die Bewertung von Möglichkeiten diese in einem industriellen Umfeld zu implementieren (TP3).
- C) Aufbau eines realitätsnahen Proof of Concept (PoC) intern bei Volkswagen auf Basis der Ergebnisse des Projektes (TP 5).
- D) Mitarbeit bei der Analyse benötigter Standards. (TP 2 und weitere APs).

Im Themenblock A bestand die Aufgabe in der Beteiligung an Arbeitspaketen, die sich mit der Definition einer geeigneten Simulationsarchitektur und der Spezifikation der Teilsysteme beschäftigten. Ziel war es die Erfahrungen von Volkswagen in die Projektergebnisse zu übertragen und die im Projekt definierte Simulationsarchitektur mit der Architekturen bei Volkswagen abzugleichen. Ein Schwerpunkt bei der Mitarbeit in den Arbeitspaketen, die sich mit der Definition von Teilsystemen beschäftigten lag auf der Simulation der Umwelt und der Spezifikation von Szenarien. Insbesondere bestand hierbei auch die Definition von Anforderungen an geeignete Standards für Simulationselemente.

Im Themenblock B bestand die Aufgabe bei der Definition von Prozessen für den Simulationsaufbau und der Simulationsdurchführung mitzuarbeiten. Insbesondere sollte bei der Definition des *Credible Simulation Process Framework* (CSP) mitgewirkt werden. Hier lag der Fokus auf der Evaluation der Ergebnisse der Arbeitspakete in TP 3. Dies sollte durch Abgleich der Prozesse mit Prozessen bei Volkswagen und durch Befragungen in speziellen Organisationseinheiten bei Volkswagen erfolgen. Damit sollte das Ziel erreicht werden, die Ergebnisse des Projektes schon in der Projektphase auf den Einsatz in der industriellen Praxis auszurichten zu können.

Im Themenblock C bestand die Aufgabe im Aufbau eines Demonstrators (Proof of Concept, PoC) zum Nachweis der Anwendbarkeit der Integrationsarchitektur für die Simulation. Fokus sollte die Prüfung der Simulationsmodelle hinsichtlich Genauigkeit und Anwendbarkeit, die Definition von Referenzszenarien und Überprüfung der Validität der Simulationsergebnisse sein. Die Ergebnisse der Simulationen sollten so dokumentiert werden, dass sie ins Projekt zurückgeführt werden konnten.

Im Themenblock D bestand die Aufgabe in allen Arbeitspaketen in denen Volkswagen beteiligt war benötigte Anforderungen an existierende oder noch benötigte Standards zu identifizieren. Dabei war das Ziel diese neuen Anforderungen so zu definieren und zu dokumentieren, dass die Anforderungen nach Projektende in geeigneten Standardisierungsgremien umgesetzt werden können.

## 1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben

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

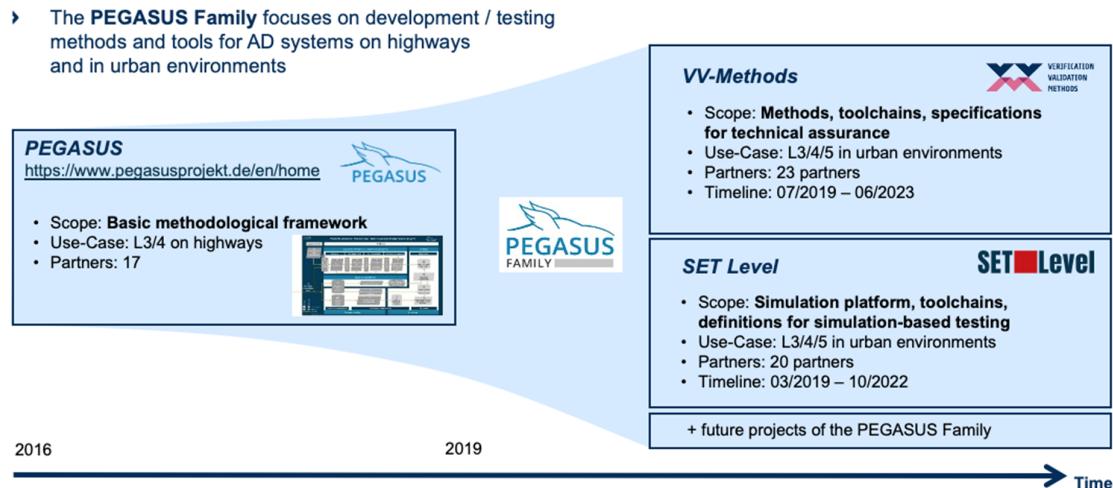


Abbildung 1: Projekte der PEGASUS-Familie

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

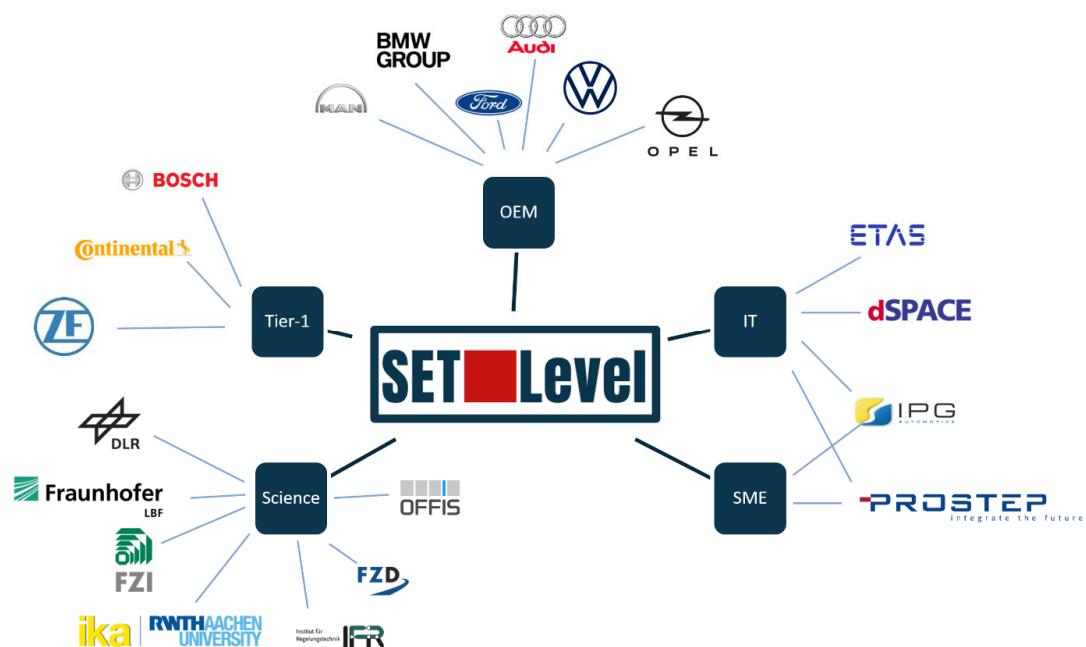


Abbildung 2: Zusammensetzung der Partner von SET Level

## 1.3 Planung und Ablauf

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

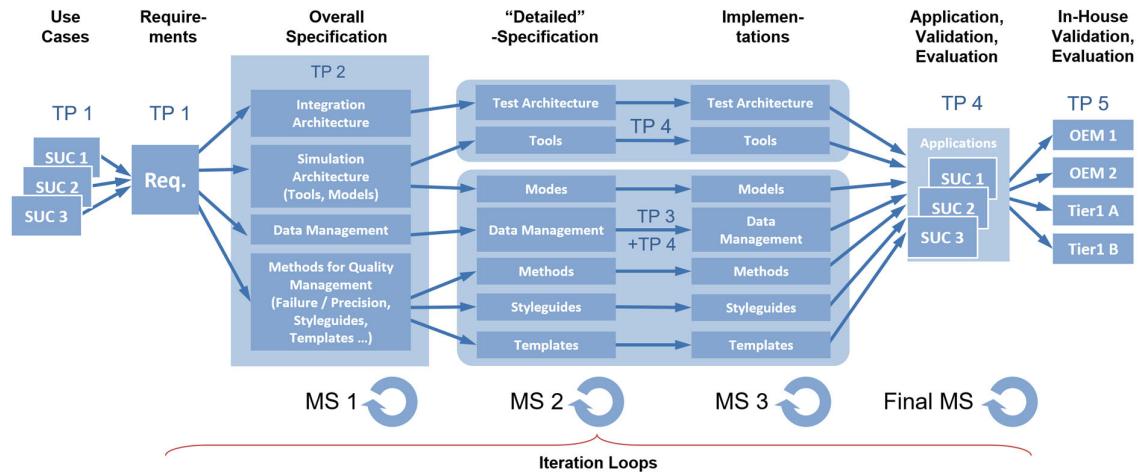


Abbildung 3: Schnelle Iterationen in Projektmeilensteinen

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

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

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

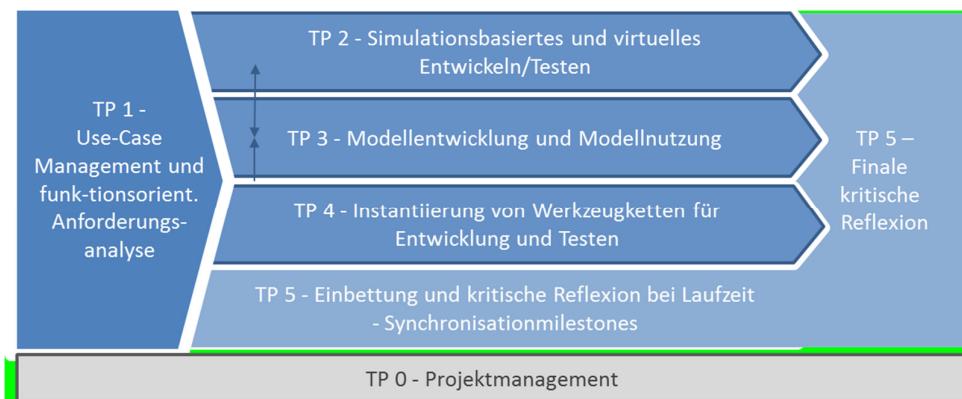


Abbildung 4: Aufbau der Teilprojekte von SET Level

## Zeitplan

In

Abbildung 5 ist eine Gesamtübersicht der Projektlaufzeit dargestellt. Die verschiedenen Farben sind qualitative Intensitätsangaben, grob eingeteilt in geringe, mittlere und hohe Kapazitätsbedarfe der jeweiligen Teilprojekte. Wie zu erkennen ist, hatte Teilprojekt 1 als Anforderungs- und Synchronisationsprojekt zu VVMethoden einen starken Fokus im ersten Jahr und benötigte im weiteren Verlauf immer weniger personelle Ressourcen, um die Kommunikation zu VVMethoden zu gewährleisten. Die Teilprojekte TP2 und TP3 hatten ihre Belastungsspitze beginnend mit Q3 über den größten Teil des zweiten Projektjahres. Teilprojekt TP4 hatte einen gleichmäßigen Kapazitätsbedarf über die Projektlaufzeit, während der von Teilprojekt TP5 über den Projektverlauf immer höher wurde und gegen Ende am höchsten war. In

Abbildung 5 sind auch drei Gesamtmeilensteine jeweils zum Ende eines Projektjahres verzeichnet, deren Hauptergebnisse als Prototyp, Vorversion, Endversion der Werkzeugketten verstanden werden können.



Abbildung 5: Zeitplanung mit Meilenstein- und Abschlussberichten

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

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

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

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

### 1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

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

(<https://www.prostep.org/en/projects/smart-systems-engineering/>) dafür eine gute Ausgangsbasis.

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

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

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

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

Für Volkswagen waren die Zahlreichen vorarbeiten, die in den verschiedenen Fachbereichen als Konzeptstudien, Vorentwicklungsprojekten oder Demonstratoren umgesetzt wurden eine wichtige Quelle von Informationen. Besonders wichtig waren dazu Methodenentwicklungsprojekte für die Simulation mit virtueller Umgebung und der Informationsaustausch mit Experten aus speziellen Fachbereichen sowie den Entwicklern der internen Integrationsplattform: Functional Engineering Platform (FEP).

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Projekt arbeitete Volkswagen mit Audi und MAN zusammen, was der Konzernstruktur der Volkswagen Group geschuldet war. Hierzu erfolgten regelmäßige Austausch- und Abstimmrunden. Durch die Abstimmung der unterschiedlichen Schwerpunkte in den Marken konnte hierdurch trotz beschränkter Eigenleistung eine Beteiligung in zahlreichen Arbeitspaketen sichergestellt werden. Darüber hinaus erfolgte eine Zusammenarbeit im TP 2 und TP 3 generell primär mit den Projektpartnern. Eine Unterstützung durch einen Dienstleister erfolgte in TP 2 beim Abgleich der Simulationsarchitektur des Projektes mit der bei Volkswagen intern genutzten Simulationsarchitektur. Die Unterstützung erfolgte durch eine Beauftragung des *Virtuellen Fahrzeuges Graz* (ViF).

Bedingt durch die begrenzten eigenen Mittel die Volkswagen zur Umsetzung des PoC zur Verfügung standen, erfolgte in TP 5 eine Beauftragung der IAV, von Vector und des ViF. Eine Unterteilung in drei Unterbeauftragungen sollte die unterschiedlichen Verantwortlichkeiten bei der Erstellung einer praxisnahen Simulationsumgebung nachbilden. Dabei übernahm das ViF

die Rolle des Simulationsverantwortlichen, Vector die Rolle des Modellerstellers und die IAV die Rolle des Verantwortlichen für die Simulationsdurchführung.

## **2 Eingehende Darstellung**

### **2.1 Erzielte Ergebnisse**

#### **2.1.1 Teilprojekt 1: Use-Case Management und funktionsorientierte Anforderungsanalyse**

Zu diesem Teilprojekt lieferte Volkswagen keinen Beitrag.

## 2.1.2 Teilprojekt 2: Simulationsbasiertes und virtuelles Entwickeln / Testen

Das TP 2 diente dazu, die bereits im Projekt PEGASUS entwickelten Methoden und Werkzeuge zum simulationsbasierten Testen entsprechend der im Projekt SET Level betrachteten Anforderungen für höhere Automatisierungslevel und in urbanen Umgebungen weiterzuentwickeln. Zudem mussten neuartige Methoden entwickelt werden, die eine Automatisierung im Bereich der Anforderungsermittlung in Entwicklungsprozessen umsetzen, verschiedene Aufgaben zur Zwischenprüfung von Entwicklungsaufgaben durch automatisierte Prozessabläufe unterstützen und im Zusammenhang mit der Testdurchführung in simulationsbasierten Umgebungen ebenfalls automatisierte Abläufe in Werkzeugen (IT-Tools) spezifizier- und verfügbar machen.

Das Teilprojekt 2 befasste sich konkret mit der Konzeptionierung und dem Aufbau simulationsbasierter Methoden für die Entwicklung und Erprobung (hier z.B. für die Durchführung von Fahrzeugerprobungsschritten in leicht (re-)konfigurierbaren Simulationen).

Beim Aufbau dieser Methoden wurde eine integrierte Nutzung von Prüfständen, Prüfgeländen und Erprobungsschritten im öffentlichen Raum berücksichtigt. Hieraus ergaben sich wichtige Anforderungen für die Wahl der Modellgranularität bzw. des Detailgrads der Modelle, die beim Aufbau einer Simulation berücksichtigt werden müssen.

Für Volkswagen stand in diesem Teilprojekt neben dem Beitrag zur Definition einer geeigneten Gesamtarchitektur für Simulationen im Projekt der Abgleich mit den intern definierten Simulations-Architekturen im Fokus. Eine Bewertung der Simulationsarchitektur erfolgte dabei durch die Aspekte Modularität und Standardisierung der Modellgranularitäten von Einzelsystemen. Erkenntnisse aus dem Abgleich wurden dem Projekt zur Verfügung gestellt.

### 2.1.2.1 AP 2.1 Aufbau einer einheitlichen Integrationsarchitektur

In diesem Arbeitspaket lag der Fokus auf der Definition der Anforderungen, Konzepten und Werkzeugen zur Beschreibung von kopplungsrelevanten Modelleigenschaften und deren werkzeugbasierter Handhabung und Nutzung sowie relevanter Schnitte mit Fokus auf die Anwendungsfelder Entwicklung und Testen. Eine Anwendbarkeit auf die Simulation für das Entwickeln von Komponenten oder Systemen, auf die Sicherheitsbewertung und die Kritikalitätsanalyse musste möglich sein. Trotz der hohen Komplexität wurde darauf geachtet, dass die entstehende Lösung möglichst einfach und robust in der Handhabung bleibt.

Gegenstand der Betrachtung war das Gesamtsystem, also neben dem Ego-Fahrzeug mit all seinen Komponenten (Sensoren, Aktoren, Software, Fahrdynamik) auch die Umgebung des Fahrzeugs (Straßen, Infrastruktur, Verkehrsteilnehmer, Wettersituation etc.). Die zu entwickelnde Integrationsarchitektur musste es ermöglichen, dass innerhalb einer einheitlichen Signal- und Schnittstellenarchitektur dennoch Fahrzeugarchitekturen unterschiedlicher Ausprägung dargestellt werden können. Dies betraf sowohl die Möglichkeit zur Einbindung von unterschiedlichen Komponenten als auch die Nutzung von Komponentenmodellen mit unterschiedlichen Modellierungstiefen.

Volkswagen beteiligte sich am Aufbau einer einheitlichen Integrationsarchitektur und an der Definition aller an der Simulation beteiligten Module sowie den Informationsflüssen zwischen den einzelnen Teilen. Damit einhergehend wurden unterschiedliche Schnittstellen zu bestehenden Simulationsumgebungen definiert und Beschreibungen der Teilmodelle erstellt. Die Definition verwendeter Begriffe sowie gegebenenfalls unterschiedlicher Definitionen wurden untersucht und geklärt. Die erstellte Simulationsarchitektur bildete damit die Grundlage für alle anderen Teilprojekte.

Außerdem wurden als Teilbereich vom Gesamtsystem verschiedene Simulationsmethoden von Kommunikationsartefakten erarbeitet und dokumentiert. Daneben wurde eine Referenzarchitektur erarbeitet und somit eine funktionale Systemarchitektur aus austauschbaren Komponenten mit der entsprechenden Darstellung beschrieben.

Es wurden Spezifikationen zur Szenarien-Beschreibung und die damit verbundenen Implementierungen von Test- und Analyseaufgaben sowie die Formulierung zugrundeliegender Anforderungen untersucht. Dabei wurden die verwendeten Verkehrsszenarien und -räume dokumentiert und beschrieben sowie einfache Simulations-Szenarien umgesetzt. Daneben wurden die Beziehungen zwischen Szenarien-Beschreibung und Verhaltensmodellen untersucht, um einer standardisierten Einsetzbarkeit von verschiedenen Agentenmodellen näher zu kommen.

Volkswagen hat die Definition des Gesamtarchitekturbildes und der Schnittstellen durch Mitarbeit in den Arbeitsrunden aktiv mitgestaltet. Hierbei konnte mit Unterstützung des *Virtuellen Fahrzeugs Graz* (Vif) ein Abgleich mit intern bei Volkswagen definierten Simulationsarchitekturen erarbeitet werden. Durch Volkswagen konnten praxisnahe Anforderungen speziell für Sensormodelle und Modelle für die Umweltsimulation in die Definition der Gesamtarchitektur eingebracht werden. Dabei wurden insbesondere Aspekte zur Modularität von Simulationen und die Standardisierung der Modellgranularität von Sensor- und Umweltmodellen zur Diskussion gebracht.

Aufbauend auf der definierten Integrationsarchitektur wurde die inhaltliche Gestaltung des Simulations-Use-Case 2 (SUC 2) und Simulations-Use-Case 3 (SUC 3) für Meilenstein 3 unterstützt. Es konnten hierbei vor allem die speziellen Anforderungen, die sich aus einem industriellen Einsatz der Use-Cases ergeben und den daraus abgeleiteten speziellen technischen Anforderungen eingebracht werden.

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

Das zweite Arbeitspaket in TP 2 beschäftigte sich mit der Kopplung und den Schnittstellen von Modellen zur simulativen Absicherung von Level 4/5-Systemen. Generische Mechanismen und Ansätze zur Kopplung von Modellen innerhalb einer Simulation wurden erarbeitet. Dies galt für die Kopplung der unterschiedlichen einzelnen Modellteile für eine Simulation des Gesamtsystems (Boundary/Core-Modelle) unter Berücksichtigung der jeweiligen Simulationsstufe (bspw. MiL, SiL, HiL) sowie des Simulationsziels.

In diesem AP hat Volkswagen insbesondere im UAP 2.2.2 dazu beigetragen, dass generische Ansätze für Simulationsziele und Methoden identifiziert werden konnten. Dazu wurde definiert wie geeignete Modelle ausgewählt und gekoppelt werden können und welche Gütekriterien dabei beachtet werden müssen.

### **2.1.2.3 AP 2.3: Definition von Anforderungen an die Ausführungsumgebungen**

Das Arbeitspaket dient der Analyse der Anforderungen an Simulationen im industriellen Einsatz. Hierbei werden folgende Aspekte in Unterarbeitspaketen näher untersucht:

#### **UAP 2.3.1 Benötigte Standards**

In diesem Unterarbeitspaket (UAP) wurden auf Grundlage der Simulationsarchitektur gemeinsam mit den Projektpartnern aktuelle Standards analysiert und deren Weiterentwicklung diskutiert.

Von Volkswagen wurde zunächst untersucht, welche Standards für die im Projekt verwendeten Simulationstechniken existieren und welche Vor- und Nachteile diese aufweisen. Insbesondere wurden dazu die Standards OpenDrive, OpenScenario, Functional Mock Up Interface (FMI), Open Simulation Interface (OSI), System Structure & Parameterization (SSP), Distributed Co Simulation Protocol (DCP) und Robot Operating System (ROS) untersucht und bewertet. Im Fokus der Analyse stand die Bewertung der Anwendbarkeit der Standards für praxisrelevante Simulationen im industriellen Umfeld. Auf Grundlage der Bewertung wurden notwendige und sinnvolle Erweiterungen der bestehenden Standards abgeleitet.

Die Ergebnisse der Analyse wurden in einem Dokument zusammengefasst und dem Projekt für weitere Analysen zur Verfügung gestellt. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurden Anpassungen und Erweiterungen der bestehenden Standards diskutiert.

### **2.3.4 SIL-Spezifische Anforderungen**

### **2.3.5 HIL-Spezifische Anforderungen**

### **2.3.6 Spezifische Anforderungen an Standards, Solver und Performance für vernetzte Systeme.**

Die UAP 2.3.4 bis 2.3.6 wurden zusammengefasst bearbeitet.

Die für die Analysen benötigten Informationen, die für die Analysen notwendig waren, konnten durch eine Befragung mit einem Fragebogen in das Projekt eingebracht werden. Dieser Fragebogen wurde im Projekt definiert und durch verschiedene Anwendergruppen bei Volkswagen ausgefüllt. Volkswagen beteiligte an der Auswertung der Ergebnisse des Fragebogens.

Das Ziel der Befragung war es, die wichtigsten Anforderungen an Simulationsumgebungen im industriellen Einsatz zu beleuchten. Hierbei war es eine Herausforderung, eine möglichst breite Abdeckung unterschiedlicher Simulationsmethoden mit einzubeziehen. Das bedeutet, dass neben den rein virtuellen Simulationsmethoden (MiL, SiL) auch Methoden mit Hardwarebestandteilen (HiL) beachtet wurden.

Im Fokus der Befragung standen derzeit bereits etablierte Simulationsmethoden. Darüber hinaus wurden aber auch Methoden betrachtet, die das Potenzial besitzen, sich in den kommenden Jahren für den Test von Funktionen des hochautomatisierten Fahrens zu etablieren.

Wichtige Themengebiete sind die Durchgängigkeit und die Wiederverwendung, also die Be- trachtung wie gut und effizient die verschiedenen Simulations-/Test-Artefakte wie z.B. Umgebungsmodelle, Karten, Szenarien Beschreibungen, Test Spezifikationen oder auch Tools von zwischen verschiedenen Test Umgebung weitergegeben werden können. Beispielsweise sollen ein KFZ Fahrdynamik Modelle mit identischer „Verpackung“ und Schnittstelle im MiL-, SiL- und HiL-Test verwendet werden. Dieses Themengebiet (Durchgängigkeit und Wiederverwendung) konnte nicht durch die Auswertung der Fragebögen beantwortet werden. Wegen der Wichtigkeit des Themas wurde eine auf Erfahrungen basierende Bewertung erarbeitet.

In SET-Level werden Simulationen hauptsächlich als „model in the loop“ (MiL) aufgebaut. Der Fragebogen wurde deshalb vorrangig an Simulationsprojekte in der Industrie gegeben, welche SiL und HiL verwenden. Die dritte Ausprägung einer Simulation ist die der „vernetzten Systeme“, auch Mischsysteme genannt, besteht in der Regel aus einer Kombination von MiL, SiL und HiL. Diese Mischsysteme sind meist aus organisatorischen und / oder technischen und Gründen der Verfügbarkeit der Komponenten entstanden.

Es konnte ein geeignetes Konzept für die Ergebnisbewertung und die Zusammenfassung der Erkenntnisse gefunden werden. Die Ergebnisse des Fragebogens wurden daraufhin gemeinsam mit den Projektpartnern bewertet und die Erkenntnisse in einem gemeinsam erarbeitetem Ergebnisbericht festgehalten.

Als Ergebnis der Analysen konnten Handlungsempfehlungen für die Zielgruppe der SiL- / HiL- / MiL-Anwender erarbeitet werden. Aus den Fragebogenergebnissen konnten sechs interessante Schlüsse abgeleitet werden:

- 1) Eine große Bandbreite der Simulations-Ziele:
  - a. Sensor-Simulation
  - b. Verifikation der System-Architektur
  - c. Gesamtfreigabe
- 2) Verwendung einer Vielzahl von Standards
  - a. Der FMU Standard war stark vertreten

- b. Der OSI Standard war nicht stark vertreten
  - c. Der SSP Standard war nicht stark vertreten
- 3) Insbesondere aus der seltenen Verwendung von übergreifenden Standards wie SSP kann geschlossen werden, dass es noch einige Jahre dauern wird bis allgemeine Austauschbarkeit unter Simulations-Artefakten besteht.
- 4) Es gibt eine große Zahl verschiedener Tools, verschiedener Modelle, verschiedener Standards, sodass aktuell praktisch immer individuelle Lösungen aufgebaut werden. Dies unterstreicht die Bedeutung des SET Level Projekts: Weg von „home grown“-Lösungen und hin zu standardisierten Simulationsaufbauten. Die Antworten der Industrie haben uns gezeigt, dass Standardisierung aktuell das wichtigste Thema ist.
- 5) Da in vielen Simulationen Sensormodelle mit unterschiedlichen Schnittstellen verwendet wurden, wäre ein Standard API wünschenswert, welches die Anforderungen einer Kopplung von Sensoren an Funktionsmodelle erfüllen.
- 6) Insbesondere für eine gute Durchgängigkeit muss die Frage beantwortet werden wie Sensordaten im realen Fahrzeug ausgetauscht werden. Die Schnittstelle im Fahrzeug wird sehr wahrscheinlich nicht OSI sein.

Die Fragebogenergebnisse zeigen, dass das Feld der Simulation sehr viel größer ist als der in SET Level definierte Projektumfang. Es ist anzunehmen, dass bei einer deutlich größeren Anzahl an Fragebogen-Rückläufern viel mehr unterschiedliche Simulationsarten beschrieben worden wären.

### 2.1.3 Teilprojekt 3: Modellspezifikation, -Entwicklung und –Validierung

TP 3 liefert einen vollständig definierten Prozess zum Entwickeln von Simulationsmodellen im Kontext der projektweit genutzten Simulationssysteme. Der Entwicklungsprozess ist definiert durch die drei Elemente Spezifikation, Implementierung und Absicherung. Er beinhaltet Anleitungen und Templates sowie die Vorgabe von etablierten Standards. Der Prozess wurde verwendet, um prototypisch im Projekt benötigte Modelle zu entwickeln. Somit wurde durch die Entwicklung oder Anpassung der benötigten Modelle somit gleichzeitig der Entwicklungsprozess überprüft.

#### 2.1.3.1 AP 3.1 Modellspezifikation und -aufbau

Dieses AP entwickelte Methoden und Templates zur Spezifikation und zum Aufbau der für die Gesamtsimulation notwendigen Modelle. Dies beinhaltete die Erstellung der Modelle, sowie Methoden zur Absicherung der Modelle im Sinne dieser Spezifikation. Es zeigte sich im Projektverlauf, dass neben dem Modellierungsprozess auch ein entsprechender Simulationsprozess zur Verfügung stehen muss. Es wurde deshalb das *Credible Simulation Process Framework* mit dem *Simulation-based Decision Process*, *Credible Simulation Process*, *Credible Modeling Process* sowie der Detaillierung eines Kooperationsprozesses zwischen zwei Partnern entwickelt.

Im Rahmen dieses APs wurden dazu eine Reihe von abgestimmten Prozessen und Vorgehensweisen entwickelt. Diese basieren auf den Vorarbeiten des prostep ivip SmartSE Projektes. Besonderes Augenmerk wurde auf folgende Punkte gelegt:

- Nachverfolgbarkeit und Nachvollziehbarkeit
- Anpassungsfähigkeit an unternehmens- und domänenspezifische Anforderungen und Vorgehensweisen
- Kollaboration mit Partnern
- Modularität und Wiederverwendung

Die Grundstruktur des Credible Simulation Process Frameworks ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

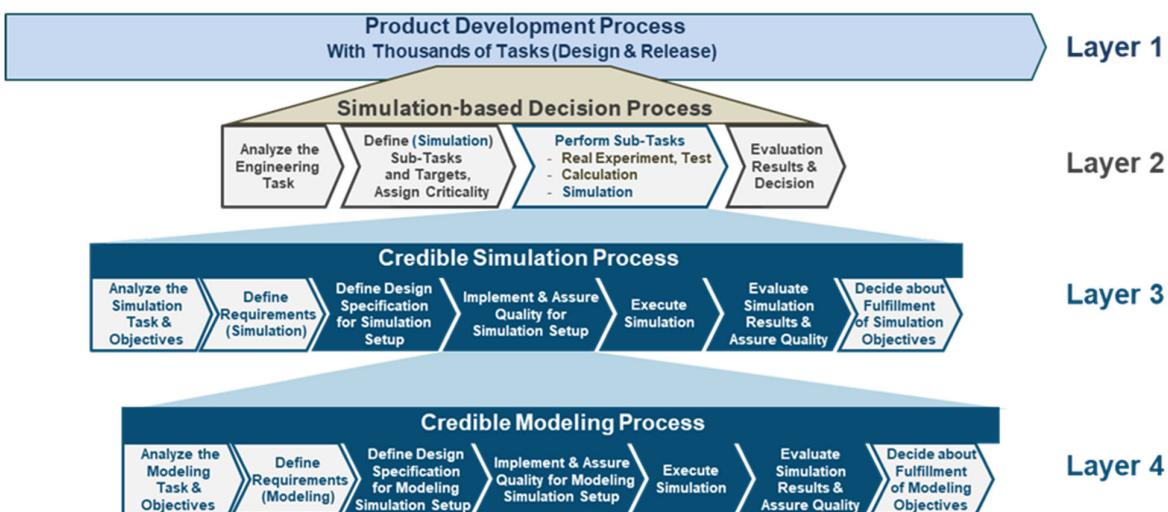


Abbildung 6: Das Credible Simulation Process Framework

In der Anwendung des Credible Simulation Process Frameworks werden die Layer durch Requests und Reports verbunden. An diesen Stellen im Prozess werden die konkreten Anforderungen an die Simulations- oder Modellieraufgaben spezifiziert und als Simulation Request an den Simulationsprozess übergeben. Nach Durchlauf eines Simulations- oder Modellierungsprozesses werden für die Nachverfolgbarkeit geeignete Reports erstellt (siehe Abbildung 7).

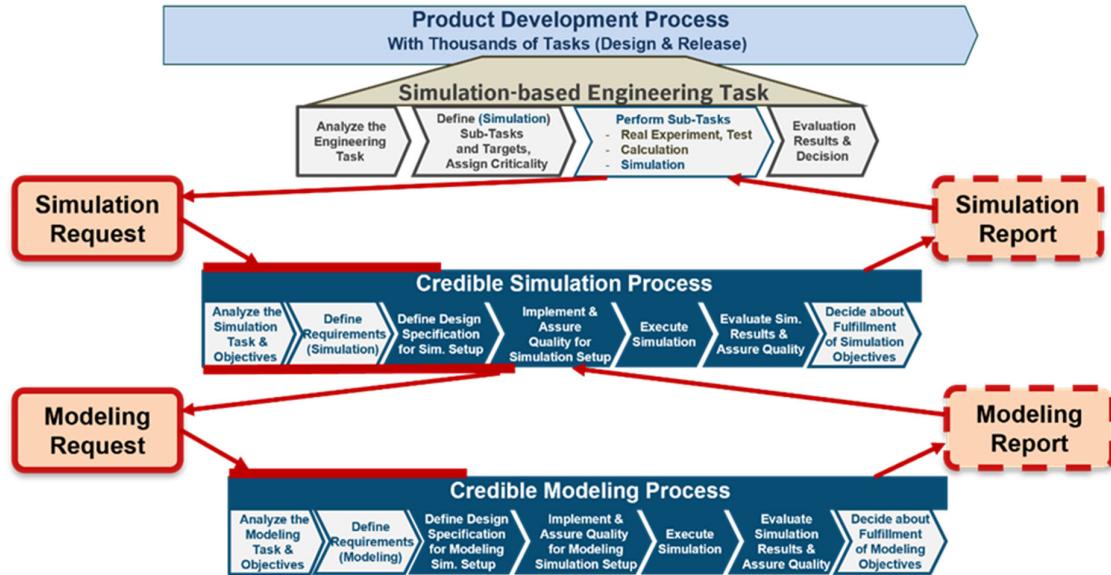


Abbildung 7: Verbindung der Prozesse über definierte Anforderungs-, Ergebnispakete

Bei der Umsetzung des Proof of Concept (PoC), wurden das Credible Simulation Process Framework als auch notwendige oder sinnvolle Requests und Reports verwendet und erprobt, siehe dazu Abschnitt TP5.

Für Volkswagen stand das Ziel, den im ProStep SSE definierten Prozess für vertrauenswürdige und nachverfolgbare Simulationen *Credible Simulation Process* (CSP) und den Prozess zum Entwickeln von vertrauenswürdiger Simulationsmodelle *Credible Modelling Process* (CMP) speziell für das automatisierte Fahren weiterzuentwickeln. Die beiden Prozesse decken die Spezifikation, die Implementierung und die Absicherung von Simulationen ab und sollen etablierte Standards für Prozesse wie ASPICE berücksichtigen und integrieren.

Zudem stand für Volkswagen der Abgleich des in diesem Teilprojekt weiterentwickelten CSP und CMP mit den intern vorhandenen Simulations-Prozessen im Fokus. Dabei wurde der CSP und der CMP bezüglich der Aspekte der Nachverfolgbarkeit und der Vertrauenswürdigkeit von Simulationen untersucht. Speziell werden die Prozesse in Hinblick auf das Thema Simulationen im Entwicklungsprozess mit mehreren Entwicklungspartnern untersucht und dem Projekt zur Verfügung gestellt.

Durch Fallbeispiele konnten viele Anforderungen an die definierten Prozesse, die durch die Anwendung in der Industrie entstehen, definiert und im CSP und CMP berücksichtigt werden. Volkswagen brachte Erkenntnisse in die Weiterentwicklung der Ergebnisdokumente ein.

### 2.1.3.2 AP 3.2 Modellauswahl und Integration

In diesem Arbeitspaket erfolgte aufbauend auf dem CMP die Entwicklung von Methoden und Templates zur Spezifikation und zum Aufbau der benötigten Simulationsmodelle. Dies beinhaltet sowohl die Erstellung der Modelle, sowie Methoden zur Absicherung der Modelle im Sinne dieser Spezifikation. Weiterhin bestand die Aufgabe in der Entwicklung und Erprobung einer

Methodik und Vorgehensweise zur Modellauswahl und zur Integration zu einem Gesamtmodell.

Volkswagen arbeitete an der Spezifikation von architektonischen und inhaltlichen Anforderungen an die benötigten Sensormodelle mit. Dabei standen die Modellierung von Effekten und Phänomenen, die in den unterschiedlichen Meilensteinen der Simulation Use Cases 2 und 3 (SUC 2 und SUC 3) enthalten sein müssen, sowie die daraus abgeleiteten Anforderungen an die Tools für die Umweltsimulation im Fokus.

Für Volkswagen stand in diesem AP die Weiterentwicklung des CSP durch Anwendung auf die Simulation Use Cases (SUCs) im Fokus. Die nach dem CMP entwickelten Modelle wurden im Gesamtprojekt als Module für die Simulation Use Cases (SUCs) eingesetzt. Auf dieser Grundlage und den gewonnenen Erfahrungen durch die praktische Anwendung im Projekt wurden notwendige und sinnvolle Anleitungen und Templates erarbeitet.

### **2.1.3.3 AP 3.3 Datenmanagement**

In diesem AP bestand die Aufgabe sicherzustellen, dass alle benötigten Informationen bezüglich der Modellauswahl und -integration für die Anwendbarkeit der oben beschriebenen Prozesse in Workflows zur Verfügung stehen. Für die Verwendung in Datenmanagementsystemen, wie sie oft in der Industrie im Einsatz sind, werden zur Suche nach Artefakten wie Modellen, Fahrstrecken, Szenarios speziell in heterogenen IT-Infrastrukturen und in Zusammenarbeit mit Partnern standardisierte Metadatenformate und Metadaten benötigt. Dies betrifft insbesondere die Metainformationen von Simulations-Modellen (z. B. Kurzbeschreibung, Einsatzbereiche, Eigenschaften, Nutzung, PDM, PLM Ansätze), welche Ablage, Versionierung und Auswahl bzw. Suche und Wiederauffindbarkeit ermöglichen.

Volkswagen hat bei der Auswahl, der Definition und der Erprobung dieser Metadaten mitgearbeitet, indem ein Abgleich mit intern verwendeten Metadatenformaten erfolgte. Für die Metadatenformate:

- SRMD für Modelle und Templates
- SRMD für Tools und Templates

konnten Informationen bereitgestellt werden, die zu einer Erweiterung oder Anpassung dieser Metadatenformate für die industrielle Anwendung dienen.

### **2.1.4 Teilprojekt 4: Instanziierung von Werkzeugketten für Entwicklung und Testen**

Zu diesem Teilprojekt lieferte Volkswagen keinen Beitrag.

## 2.1.5 Teilprojekt 5: Einbettung und kritische Reflexion

Das Teilprojekt „Einbettung und kritische Reflexion“ setzte auf den Resultaten der TP 1 bis TP 4 auf. Zum einen wurden die Resultate intern geprüft und bewertet, zum anderen unterstützte es die Industriepartner bei der exemplarischen Umsetzung in der Praxis und führte die daraus gewonnenen Erkenntnisse in das Projekt zurück. Damit hatte das TP 5 eine zentrale, projektübergreifende Klammerfunktion über die einzelnen Teilprojekte TP 1 bis TP 4 des Projektes SET Level.

Das Teilprojekt war in zwei Arbeitspakete gegliedert. Volkswagen lieferte in AP 5.2 eine praxisbezogene Bewertung der SUC 2 und 3 durch einen Volkswagen internen Proof of Concept (PoC).

### 2.1.5.1 AP 5.2: Informationsgewinn aus den Erkenntnissen der Industriepartner aus der firmenspezifischen Erprobung

Das Arbeitspaket 5.2 stellt die Schnittstelle zwischen den Entwicklungen des Projektes und der Anwendung in der Industrie dar. Es unterstützte die Industriepartner bei der Erprobung der Projektresultate. Im UAP 5.2.3 wurde ein firmenspezifischer Proof of Concept (PoC) umgesetzt.

Ziel war es, die Projektergebnisse unter möglichst praxisnahen Bedingungen zu erproben. Durch die Beauftragungen von drei Dienstleistern (der IAV, Vector, ViF) war es möglich die unterschiedlichen Verantwortlichkeiten im Prozess zum Aufbau einer Simulationsumgebung praxisnah nachzubilden. Oft werden diese Verantwortlichkeiten in der Praxis von unterschiedlichen Organisationseinheiten oder beauftragten Dienstleistern wahrgenommen. Im Projekt übernahm das ViF die Rolle des Simulationsverantwortlichen, Vector die Rolle des Modellherstellers und die IAV die Rolle des Verantwortlichen für die Simulationsdurchführung.

Im ersten Schritt wurden die SUC 2 und SUC 3 auf der IT-Infrastruktur bei Volkswagen und ausgewählten Dienstleistern von Volkswagen implementiert und simuliert. Ziel war es zu analysieren, ob die im Projekt entwickelten SUC 2 und SUC 3 auf der Infrastruktur von Volkswagen ausführbar waren. Dazu wurden die im Projekt implementierten Simulationselemente in der unveränderten Gesamtarchitektur übernommen und mit der Infrastruktur eines Dienstleisters sowie mit der Infrastruktur von Volkswagen in Betrieb genommen.

Um die Modularität der Teilkomponenten der SUC 2 und SUC 3 zu untersuchen und deren Verwendbarkeit zu analysieren, wurden in einem zweiten Schritt der Aufbau einer Gesamtsimulation mit Hilfe der intern bei Volkswagen verwendeten Simulationsplattform *Functional Engineering Platform* (FEP) erprobt. Hierzu waren Anpassungen zum einen an den im Projekt entwickelten Modellen und zum anderen an den Simulationswerkzeugen (Tools) der Plattform vorzunehmen. Diese wurden im Projektzeitraum konzeptioniert und umgesetzt. Damit konnte die Integration der Gesamtsimulation erfolgen.

Zudem wurde der CMP / CSP unter praxisnahen Bedingungen erprobt. Dazu wurde die Übernahme der Modelle/Teilkomponenten, die Anpassungen dieser Komponenten, der Aufbau der Gesamtsimulation, die Durchführung der Simulationen und die Dokumentation der Ergebnisse nach den Vorgaben des CMP / CSP durchgeführt. Hierfür wurde das im Projekt entwickelten Tool Tracy für die Nachverfolgbarkeit von Simulationen erprobt. Die gewonnenen Erkenntnisse zum CMP / CSP und zu Tracy wurden in einem Ergebnisdokument zusammengefasst und dem Projekt übergeben.

Zusammengefasst erfolgte die firmenspezifische Erprobung der Projektergebnisse bei Volkswagen durch den Aufbau eines Proof of Concepts mit den folgenden drei Zielen:

Ziel 1: Die Verifikation von Simulation Use Case 2 (SUC 2; Gesamtfahrzeug) und Simulation Use Case 3 (SUC 3; Komponententests, Sensorik) aus dem Projekt.

Ziel 2: Nachbau und Bewertung des SUC 2 (Gesamtfahrzeug) mit einer bei Volkswagen entwickelten Simulations-Plattform (FEP) als Middleware und Virtual Test Drive (VTD) als Tool für die Umgebungssimulation.

Ziel 3: Die Erprobung des *Credible Simulation Process* (CSP) und testweisen Dokumentation mit der Software TRACY von Prostep.

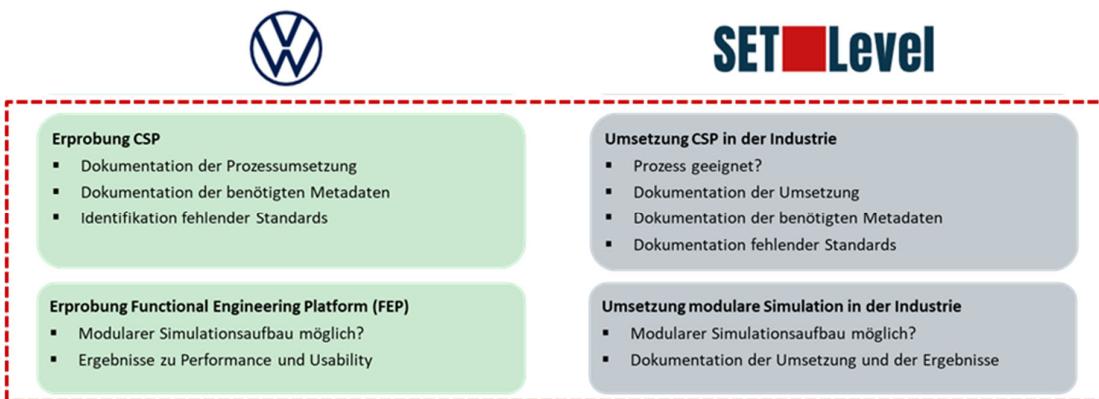


Abbildung 8: Gegenüberstellung der Aktivitäten bei Volkswagen und im Projekt Set Level

### Ergebnis zu Ziel 1:

Sowohl der Nachbau der dSPACE als auch der IPG-Simulationsumgebung konnte erfolgreich in Betrieb genommen werden. Die Ergebnisse wurden anhand der visuellen Ausgabe von MotionDesk bzw. IPG-Movie bewertet und als plausibel eingeschätzt. Hierbei wird darauf hingewiesen, dass die Bewertung im Wesentlichen auf einer visuellen Bewertung beruhte.

Die Ausführungszeit wurde bei beiden Umgebungen anhand der Ausgabe des Echtzeitfaktors des Tools bestimmt. Hierbei lag die Ausführungszeit bei IPG bei der dreifachen Simulationszeit und dSPACE bei der doppelten Simulationszeit. Für dSPACE wurde das VEOS Build verwendet.

Für die Umsetzung der beiden Versionen des SUC 2 waren viele toolspezifische Anpassungen an den Modellen oder den toolspezifischen Schnittstellen notwendig. Mit diesen Modellen war somit ein einfacher Austausch der Teilmodelle nicht möglich und der Aufbau der GesamtSimulation erforderte mehr Aufwand als ursprünglich erwartet. Aus diesem Grund konnte der SUC 3 nicht bearbeitet werden.

### Ergebnis zu Ziel 2:

Bei der Analyse mit FEP ist aufgefallen, dass FEP-Elemente nicht gesamtheitlich agieren. Sie werden in einer vorgegebenen Reihenfolge zyklisch über einen neuen Simulationszeitschritt informiert. Sie werden jedoch nicht zwingend nacheinander ausgeführt und es ist auch nicht sichergestellt, dass zur Berechnung des aktuellen Simulationsschritts jeder FMU aktuelle Eingangsdaten vorliegen.

Daher ist bei der Umsetzung mit FEP und VTD im Allgemeinen nicht sichergestellt, dass die Datenverarbeitung innerhalb eines Simulationsschritts vollständig durchgeführt wird. Der Unterschied wird in der Abbildung 9 noch einmal grafisch darstellt. Insbesondere verdeutlicht die Grafik, dass in der FEP-Umsetzung die Berechnung eines Simulationszeitschritts nicht

gesamtheitlich erfolgt und eine Rückkopplung der errechneten Daten erst nach mehreren Zeitschritten erfolgen kann.

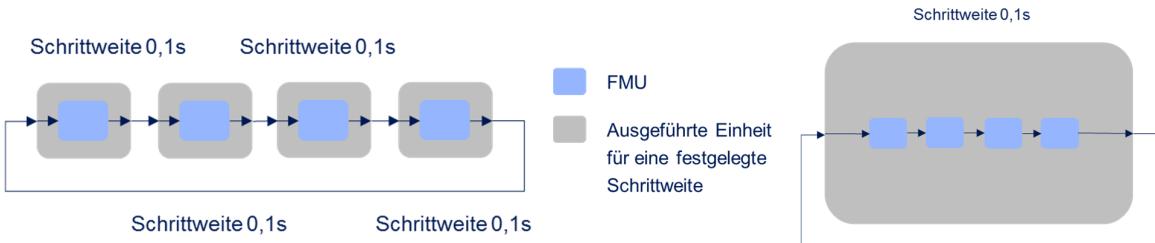


Abbildung 9: PoC in der FEP-Umsetzung (links) und dSPACE Umsetzung (rechts)

Die wesentliche Erkenntnis aus der Evaluierung ist daher, dass eine Integration des SUC 2 mit FEP in der Version 2.7.1 realisierbar war, jedoch in der verwendeten Version die Bewertung des SUC 2 hinsichtlich des Simulationsverhaltens wie auch z.B. das Regelverhalten der HAD nicht ermöglichte. Insbesondere konnte das Simulationsverhalten, welches die Umsetzung von dSPACE und IPG berechneten, mit der Umsetzung in FEP und VTD nicht realisiert werden, wodurch ein quantitativer Vergleich der Ergebnisse nicht möglich ist.

### Ergebnis zu Ziel 3:

Eine Herausforderung bei der Umsetzung der Simulationen war besonders die zunächst unstrukturierte Vorgehensweise bei der Erstellung und Lieferung der einzelnen Komponenten. Die Notwendigkeit einer unterstützenden Prozessvorgabe wurde offensichtlich. Darüber hinaus stellte auch die große Anzahl unterschiedlicher Stakeholder, Systeme, Lieferanten und Schnittstellen eine Herausforderung dar. Die Integrationsfähigkeit der Modelle in die verwendeten Systeme, sowie deren Quantifizierbarkeit und Genauigkeit sollte von Beginn an definiert sein.

Als Ergebnis für das Ziel 3 kann festgehalten werden, dass die Modularisierung die Zusammenarbeit von Entwicklungspartnern mit unterschiedlichen Teilaufgaben bei der Modellerstellung und der Integration der Modelle ermöglicht. Ein weiterer wichtiger Punkt war die Verwendung abgestimmter Prozesse, wie dem *Credible Simulation Process* (CSP) und dem *Credible Modelling Process* (CMP). So können notwendige Abstimmungen und Anpassungen an den Teilmodellen reduziert werden und der Prozessdurchlauf verkürzt werden.

Zur Erprobung des CSP lag im Projekt die Software TRACY von Prostep in einer Erstversion vor. Die Verwendung von TRACY als unterstützendes Projektmanagement Tool mit bereits hinterlegtem CSP konnte in diesem Umfeld zur Anwendung gebracht werden und dabei helfen die Nachverfolgbarkeit der Simulationsumsetzungen zu dokumentieren. Die Nutzbarkeit des Tools für die Nachverfolgbarkeit von Simulationsaufbauten konnte somit gezeigt werden.

## 2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der zahlenmäßige Nachweis ist dem Erfolgskontrollbericht zu entnehmen.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Förderung ermöglichte es auch der Volkswagen Forschung in dem Projekt mitzuwirken. Zudem konnte durch die Förderung eine Unterstützung durch Dienstleister für den Fachbereich der Methodenentwicklung in der Technischen Entwicklung von Volkswagen bereitgestellt werden. Da die Eigenleistung dieses Fachbereiches generell nicht gefördert werden konnte, stand nur eine begrenzte Menge Eigenleistung zur Verfügung. Durch die Unterstützung war es möglich, die begrenzte Eigenleistung sehr effizient einzusetzen. Durch die gleichzeitige Beteiligung

von weiteren Konzernmarken und regelmäßigen Abstimmungen war ein effizienter Einsatz der internen Kapazitäten möglich.

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

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

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

## **2.4 Nutzen und Verwertbarkeit**

Volkswagen wird die hausinterne Einführung der Projektergebnisse aktiv unterstützen. Das umfasst die Vorbereitung der Instanziierung und die anschließende Adaption der exemplarischen Toolkette sowie den Aufbau eines PoC als Demonstrator.

Volkswagen wird bei der hausinternen Einführung von Methoden und Vorgehensweisen zur Modellauswahl und Modellanwendung die Projektergebnisse aus der praxisnahen Anwendung bewerten und wesentliche Erkenntnisse adaptieren.

Darüber hinaus erfolgte eine Ergebnisverbreitung innerhalb der Volkswagen Group. Das führte zu Diskussionen und ersten Angleichungen der Simulationsarchitekturen im Konzern.

Erkenntnisse bezüglich der Anforderungen an bestehenden und neuen Standards wurden aufgegriffen. Diese bilden die Grundlage für zukünftige Standardisierungen, die durch die Beteiligungen von Volkswagen in unterschiedlichen Standardisierungsgremien weiter verfolgt werden.

## **2.5 Bekannt gewordener Fortschritt**

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

## **2.6 Veröffentlichungen**

### **2.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen**

Durch Volkswagen erfolgte keine Veröffentlichung.

### **3 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Modell zur menschlichen Leistungsfähigkeit .....	7
Abbildung 2: Sicherheit- und Kontrollierbarkeitskonzepte .....	7
Abbildung 3: V-ISO Model (ISO 26262, 2011) .....	8
Abbildung 4: Vergleich Testen von FAS zu Testen von HAF .....	8
Abbildung 5: Zeitplan mit Meilensteinen und Abschlussberichten.....	9
Abbildung 6: Das Credible Simulation Framework .....	16
Abbildung 7: Verbindung der Prozesse über definierte Anforderungs-, Ergebnispakete .....	17
Abbildung 8: Gegenüberstellung der Aktivitäten bei Volkswagen und im Projekt Set Level ...	20
Abbildung 9: PoC in der FEP-Umsetzung (links) und dSPACE Umsetzung (recht).....	21

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel		
<b>SetLevel – Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren</b>		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Dr. Soppa, Andreas Ebert, Andreas Schmidt-Kopilas, Simon		5. Abschlussdatum des Vorhabens 10/2022
		6. Veröffentlichungsdatum 10/2023
		7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Volkswagen AG Berliner Ring 2 38440 Wolfsburg		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen 19A19004R
		11. Seitenzahl 23
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 11019 Berlin		13. Literaturangaben 0
		14. Tabellen 0
		15. Abbildungen 9
16. Zusätzliche Angaben		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)		
18. Kurzfassung Im Rahmen des Förderprojektes SetLevel konnte die Volkswagen AG dazu beitragen Methoden zur virtuellen Absicherung durch Simulation für Funktionen des automatisierten Fahrens zu entwickeln und deren Eignung hinsichtlich einer stringenten Sicherheitsargumentation zu untersuchen. Dabei wurde der Fokus der Beiträge zum Gesamtprojekt auf die praktische Verwertbarkeit der Projektergebnisse gelegt. Dazu wurden bereits im Laufe des Projektes Erkenntnisse und spezielle Anforderungen eingebracht, die die industrielle Weiterverwendung der Projektergebnisse ermöglichen. Der Beitrag von Volkswagen in einer aktiven Mitgestaltung bei der Definition der Simulationsarchitektur und der Modellierung von Teilsystemen sowie notwendiger Prozesse, die für einen industriellen Einsatz der Simulationen notwendig sind. Die erarbeiteten Ergebnisse wurden in einem internen Proof of Concept (PoC) bewertet. Die Ergebnisse liefern eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung des simulationsbasierten Entwickeln und Testen. Das Forschungsprojekt hat somit eine Basis für die zukünftige innovative Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Unternehmen und den Forschungsinstituten im Hinblick auf die Herstellung von marktfähigen, in Serienfertigung hergestellten Simulationswerkzeugen gelegt. Die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit der Projekt Ergebnisse wird im Hinblick auf die erreichte Steigerung der Qualität im Produktionsentstehungsprozess positiv bewertet. In einer möglichen zukünftigen Serienfertigung kann sie sich als wichtiger Wettbewerbsvorteil erweisen und Entwicklungskosten senken, die an die Kunden weitergegeben werden können.		
19. Schlagwörter Virtuelle Absicherung, automatisiertes Fahren, Simulation, Level 4, Level 5		
20. Verlag Technische Informationsbibliothek (TIB), Hannover	21. Preis --,--	

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN geplant	2. type of document (e.g. report, publication) Final report	
3. title  <b>SetLevel – Simulationsbasiertes Entwickeln und Testen von automatisiertem Fahren</b>		
4. author(s) (family name, first name(s))  Dr. Soppa, Andreas Ebert, Andreas Schmidt-Kopilas, Simon		5. end of project 10/2022
		6. publication date 10/23
		7. form of publication Final report
8. performing organization(s) (name, address)  Volkswagen AG Berliner Ring 2 38440 Wolfsburg		9. originator's report no.
		10. reference no. 19A19004R
		11. no. of pages 23
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		13. no. of references 0
		14. no. of tables 0
		15. no. of figures 9
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract  As part of the funded project SetLevel, Volkswagen AG was able to contribute to the development of methods for virtual validation through simulation for automated driving functions and to investigate their suitability with regard to stringent safety argumentation. The focus of the contributions to the overall project was on the practical usability of the project results. To this end, findings and special requirements were already introduced in the course of the project, which enabled the industrial reuse of the project results. Volkswagen contributes to the definition of the simulation architecture and the modelling of subsystems as well as to the necessary processes for the industrial use of the simulations. The essential project results were evaluated in an internal Proof of Concept (PoC). The results provide an important basis for the further development of simulation-based development and testing. The research project has thus laid a foundation for future innovative cooperation between the participating companies and the research institutes with regard to the production of marketable, series-produced simulation tools. The economic compatibility of the project results is positively evaluated with regard to the achieved increase in quality in the production development process. In a possible future series production, it can be an important competitive advantage to reduce development costs that can be passed on to customers.		
19. keywords Virtual validation, simulation, automated driving, Level 4, Level 5		
20. publisher Technische Informationsbibliothek (TIB), Hannover	21. price --,--	