

## Schlussbericht



### PEGASUS

**Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen**

*Beitrag des Zuwendungsempfängers:* **Continental Teves GmbH & Co. oHG  
Guerickestr.7  
60488 Frankfurt am Main**

*Laufzeit:* 01.01.2016 – 30.06.2019

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 19A15012H gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Version: 1.0  
Stand: 08.12.2019

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung / Summary .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Übersicht .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>6</b>
1.1.1	Einzelziele des Verbundprojekts PEGASUS .....	7
1.1.2	Zielsetzung von Continental Teves AG & Co. oHG in PEGASUS.....	8
<b>1.2</b>	<b>Voraussetzungen für das Vorhaben .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>Planung und Ablauf.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5</b>	<b>Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Eingehende Darstellung .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>TP1 Szenarienanalyse und Qualitätsmaße .....</b>	<b>17</b>
2.1.1	Zielsetzung und Struktur .....	17
2.1.2	Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves.....	18
2.1.3	Erreichte Ergebnisse.....	18
2.1.3.1	Grundsätzliche Systemauslegung.....	18
2.1.3.2	Systembeschreibung .....	19
<b>2.2</b>	<b>TP2 Umsetzungsprozesse .....</b>	<b>25</b>
2.2.1	Zielsetzung und Struktur .....	25
2.2.2	Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves.....	25
2.2.3	Erreichte Ergebnisse.....	26
2.2.3.1	UAP 2.1.1. Analyse bestehende Prozesse bei der Entwicklung konventioneller Fahrzeuge und solchen mit teilautomatisierten Systemen.....	26
2.2.3.2	UAP 2.3.1. Bewertung Limitationen eines Szenario basierten Ansatzes.....	32
<b>2.3</b>	<b>TP3 Testen .....</b>	<b>32</b>
2.3.1	Zielsetzung und Struktur .....	32
2.3.2	Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves.....	33
2.3.3	Erreichte Ergebnisse.....	34
2.3.3.1	Beschreibung der Methode zur Bewertung einer hochautomatisierten Fahrfunktion auf hohem Abstraktionslevel .....	34
2.3.3.2	Beschreibung der Simulationstoolkette zur Bewertung einer hochautomatisierten Fahrfunktion .....	34
2.3.3.3	Messdatenkonverter zur Einspielung von 360° Umfeld Daten in die PEGASUS-Datenbank .....	43
<b>2.4</b>	<b>TP4 Ergebnisreflektion und Einbettung.....</b>	<b>45</b>
2.4.1	Zielsetzung und Struktur .....	45
2.4.2	Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves.....	46
2.4.3	Erreichte Ergebnisse.....	48
<b>2.5</b>	<b>Zahlenmäßiger Nachweis.....</b>	<b>52</b>
<b>2.6</b>	<b>Notwendigkeit der Förderung.....</b>	<b>52</b>

<b>2.7</b>	<b>Nutzen und Verwertbarkeit .....</b>	<b>53</b>
<b>2.8</b>	<b>Bekannt gewordener Fortschritt .....</b>	<b>54</b>
<b>2.9</b>	<b>Veröffentlichungen.....</b>	<b>55</b>
2.9.1	Erfolgte Veröffentlichungen .....	55
2.9.2	Geplante Veröffentlichungen.....	55
<b>3</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>57</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>58</b>

## 0 Zusammenfassung / Summary

Ziel von PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) war es, eine allgemein akzeptierte Herangehensweise zum Verifizieren und Validieren automatisierter Fahrfunktionen zu schaffen und somit eine Zulassung und Markteinführung automatisiert fahrender Fahrzeuge auf Autobahnen (SAE Level 3) zu ermöglichen.

Die Hauptziele von PEGASUS waren dabei:

- Definition eines einheitlichen Vorgehens beim Testen und Erproben automatisierter Fahrzeugsysteme in der Simulation, auf Prüfständen und in realen Umgebungen
- Entwicklung einer durchgängigen und flexiblen Werkzeugkette zur Absicherung des automatisierten Fahrens
- Integration der Tests in die Entwicklungsprozesse bereits zu einem frühen Zeitpunkt
- Schaffung einer herstellerübergreifenden Methode zur Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen

Um einen neuen Stand der Technik für die Verifikation und Validierung automatisierter Fahrfunktionen zu definieren, wurden in vier Teilprojekten innerhalb des Projekts Analysen zu verschiedenen Testmethoden, Qualitätskriterien, Verkehrsszenarien, Tools und Richtlinien durchgeführt. Aufgrund der hohen Abhängigkeit der Teilprojekte untereinander wurden die Forschungsergebnisse der verschiedenen Teilprojekte in einem iterativen Prozess zusammengefasst, um eine gemeinsame PEGASUS-Methode zur Bewertung hochautomatisierter Fahrfunktionen zu definieren.

Als weltweit agierender Zulieferer der Automobilindustrie für System- und Gerätekomponenten hat Continental Teves AG & Co. oHG, basierend auf den umfassenden Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten, seinen Schwerpunkt im Rahmen von PEGASUS auf das Teilprojekt 3 „Testen“ gelegt. Hier hat Continental Teves eine Simulationsumgebung aufgebaut und prototypisch die in PEGASUS entwickelte Werkzeugkette zum Testen der automatisierten Fahrfunktion (SAE-Level 3) auf Autobahnen implementiert. Ziel bei Continental Teves war es, gemeinsam mit den Kooperationspartnern ein standardisiertes Werkzeug zu entwickeln, das die große Anzahl von Testläufen, die im Rahmen einer HAF Absicherung erforderlich sind, mit relativ geringen Kosten durchführen kann.

Darüber hinaus war Continental Teves, im Teilprojekt 4 „Ergebnisreflektion und Einbettung“ für die Projektkoordination verantwortlich. Zu den Aufgaben der Projektkoordination und des Projektmanagements gehörten die inhaltliche Abstimmung und Koordination der Arbeiten mit den Projektpartnern sowie die Sicherstellung des Erreichens der geplanten Ziele.

Sämtliche von Continental Teves durchgeführten Arbeiten verliefen nach Plan, seitens Continental Teves wurden alle Projektziele vollumfänglich erreicht. Bei der Abschlusspräsentation vom 13.-14.05.2019 auf dem VW-Testgelände präsentierte Continental Teves seine Forschungsergebnisse im Rahmen von Vorträgen, Postern sowie in Form einer Software-in-the-Loop-Simulation, in der die gesamte PEGASUS Toolkette dargestellt wurde und Tests mit einer bei Continental entwickelten Fahrfunktion durchgeführt werden konnten.

Nach dem Abschluss des Forschungsprojektes werden die in PEGASUS entwickelten Prozesse, Methoden und Werkzeuge im Rahmen der Vorentwicklung bei Continental Teves hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit bewertet und gegebenenfalls angepasst, damit sie sich in die Entwicklungslandschaft bei Continental einbinden lassen.

The objective of PEGASUS (project for the establishment of generally accepted quality criteria, tools and methods as well as scenarios and situations for the release of highly automated driving functions) was to develop a generally accepted method for the verification and validation of automated driving functions and thus to enable homologation of automated vehicles on highways (SAE Level 3).

The main objectives of PEGASUS were:

- Defining a consistent approach for verification and validation of automated vehicle systems in simulation, testing facilities and real environments
- Developing a consistent and flexible tool chain for verification and validation of automated driving
- Integration of verification and validation activities into development processes at an early stage
- Establish a manufacturer independent method for securing highly automated driving functions

In order to define a new state of the art for the verification and validation of automated driving functions, four sub-projects within this PEGASUS project carried out focused on various test methods, quality criteria, traffic scenarios, tools and guidelines. Due to the high dependence of the subprojects on each other, the research results of the various subprojects were summarized in an iterative process in order to define a common PEGASUS method for the evaluation of highly automated driving functions.

As a global supplier of system and components to the automotive industry, Continental Teves AG & Co. oHG, based on its research experience from previous projects, has focused on sub-project 3 "Testing" within PEGASUS Project. Continental Teves has set up a simulation environment and implemented a prototype of the tool chain developed in PEGASUS for testing the automated driving function (SAE level 3) on highways. The objective of Continental Teves was to develop a standardized tool together with the cooperation partners, which can perform the large number of test runs required by a HAD verification and validation at relatively low cost.

In addition, Continental Teves was responsible for project coordination in sub-project 4 'Result reflection and embedding'. The tasks of project coordination and project management included the coordination of the content and coordination of the work packages with the project partners as well as ensuring the achievement of the planned objectives.

At the final PEGASUS event on 13-14 May 2019 at the VW test site, Continental Teves presented its research results in the form of lectures, posters and software-in-the-loop simulation, in which the entire PEGASUS tool chain was presented and tests with a driving function developed at Continental could be carried out.

After the completion of the research project, processes, methods and tools developed in PEGASUS are evaluated and adjusted in terms of their practicality, as part of preliminary development at Continental Teves, so that they can be integrated into the Continental development landscape.

# 1 Übersicht

## 1.1 Aufgabenstellung

Durch die schnell voranschreitende technologische Entwicklung und die steigenden Innovationsraten im Bereich der Fahrerassistenz und Fahrzeugautomatisierung steht das hochautomatisierte Fahren auf Autobahnen wenige Jahre vor der Marktreife.

Belegt wird der hohe technische Reifegrad durch eine Vielzahl von Prototypen und Erprobungsfahrten auf öffentlichen Straßen. Bereits im Jahr 2010 sorgte die Bekanntmachung des IT-Konzerns Google, bereits mehrere hunderttausend Kilometer mit automatisierten Fahrzeugen auf öffentlichen Straßen zurückgelegt zu haben, für Aufsehen. Auch von deutschen Herstellern werden seit Jahren Testfahrten im öffentlichen Straßenverkehr auf Autobahnen im In- und Ausland durchgeführt.

Neben den Forschungsfahrzeugen zeigt sich der stetig steigende Automatisierungsgrad bereits bei den am Markt verfügbaren Fahrerassistenzsystemen. So beherrschen Stauassistenten in aktuellen deutschen Premiumfahrzeugen bereits die gleichzeitige aktive Längs- und Querführung bis zu einer Geschwindigkeit von max. 60km/h ohne „Hands-On“ Erkennung.

Die Übernahme der Fahraufgabe bei längeren monotonen Autobahnfahrten (Autobahn-Chauffeur) ist der nächste Schritt auf dem Weg zum autonomen Fahren. Dies entspricht der Automatisierungsstufe 3 gemäß SAE-Klassifikation.

**Summary of Levels of Driving Automation for On-Road Vehicles**

This table summarizes SAE International's levels of *driving* automation for on-road vehicles. Information Report J3016 provides full definitions for these levels and for the italicized terms used therein. The levels are descriptive rather than normative and technical rather than legal. Elements indicate minimum rather than maximum capabilities for each level. "System" refers to the driver assistance system, combination of driver assistance systems, or *automated driving system*, as appropriate.

The table also shows how SAE's levels definitively correspond to those developed by the Germany Federal Highway Research Institute (BAST) and approximately correspond to those described by the US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) in its "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles" of May 30, 2013.

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of <i>dynamic driving task</i>	System capability ( <i>driving modes</i> )	BAST level	NHTSA level
<i>Human driver</i> monitors the driving environment								
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	<b>System</b>	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
<i>Automated driving system</i> ("system") monitors the driving environment								
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	<b>System</b>	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	<b>System</b>	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes		

Abbildung 1: Automatisierungsstufen (Quellen: SAE)

Bislang fehlt jedoch eine fundierte Quantifizierung des minimal notwendigen Sicherheitsniveaus (Kriterien und Maße) solcher innovativen Automatisierungssysteme. Zudem existiert bis heute keine umfassende Methodik zum Testen automatisierter Fahrzeuge bzw. ihrer Komponenten, die für die heutigen Entwicklungsprozesse/Entwicklungszyklen der Fahrzeughersteller geeignet umsetzbar wären.

Aufgrund der Vielzahl der zu testenden Situationen wird der Test und Validierungsprozess ein Niveau erreichen, welches jenseits der wirtschaftlich umsetzbaren Möglichkeiten der Dauer-

lauf-Erprobung liegt. Bei der Entwicklung von Systemen zum automatisierten Fahren wird somit der Test- und Validierungsprozess zum limitierenden Faktor. Der hierdurch verursachte Kostenanteil wird mit wachsender Komplexität immer stärker ansteigen.

PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) hat sich daher zum Ziel gesetzt, ein Vorgehen für das Testen automatisierter Fahrfunktionen zu entwickeln, um so die rasche Einführung des automatisierten Fahrens in der Praxis zu ermöglichen.

Die Hauptziele von PEGASUS sind dabei:

- Definition eines einheitlichen Vorgehens beim Testen und Erproben automatisierter Fahrzeugsysteme in der Simulation, auf Prüfständen und in realen Umgebungen
- Entwicklung einer durchgängigen und flexiblen Werkzeugkette zur Absicherung des automatisierten Fahrens
- Integration der Tests in die Entwicklungsprozesse bereits zu einem frühen Zeitpunkt
- Schaffung einer herstellerübergreifenden Methode zur Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen

Innerhalb von PEGASUS wurde dabei das Testobjekt, die automatisierte Fahrfunktion, auf der Fahrzeug-Systemebene beschrieben und während des gesamten Projekts wie eine Blackbox behandelt. Eine detaillierte Sicht auf die Architektur des Gesamtfahrzeugs oder anderer Einzelkomponenten und deren Architektur stand nicht im Fokus des Projekts und wurde nicht explizit behandelt oder getestet.

### **1.1.1 Einzelziele des Verbundprojekts PEGASUS**

#### Teilprojekt 1

Das Teilprojekt 1 „Szenarienanalyse & Qualitätsmaße“ definierte über die Beispielanwendung „Autobahn-Chauffeur“ Methoden zur Ableitung relevanter verkehrlicher Szenarien und beschäftigte sich mit der menschlichen und maschinellen Leistungsfähigkeit sowie Kriterien und Maßen ihrer Beurteilung, um so die Frage zu beantworten: „wie gut ist gut genug?“

Ziele des Teilprojekt 1 waren:

- Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Festlegung von Auslegungskriterien für hochautomatisierte Fahrfunktionen
- Demonstration dieser Methoden und Werkzeuge anhand konkreter Beispielfunktionen
- Ableiten funktionaler Anforderungen an die Beispielfunktion
- Übergabe dieser Anforderungen an die Teilprojekte 2 und 3 als Arbeitsgrundlage

#### Teilprojekt 2

Das Teilprojekt „Umsetzungsprozesse“ analysierte bestehende, in der Automobilindustrie bereits etablierte Prozesse rund um das Thema Verifikation und Validierung und erarbeitete Vorschläge für erforderliche Modifikationen, die der Verifikation und Validierung von Systemen zum automatisiertem Fahren Rechnung tragen.

#### Teilprojekt 3

Das Teilprojekt 3 „Testen“ erarbeitete Methoden und Werkzeuge zur Durchführung der Tests im Labor, auf dem Prüfgelände sowie im realen Verkehrsgeschehen und demonstrierte diese dann auch praktisch.

Weiteres Ziel war eine zentrale Datenbank von Testspezifikationen zur Testfallverwaltung und zum Testfallmanagement. Diese diente insbesondere als Referenz mit dem Ziel einer umfassenden Beschreibung der Prüfumfänge für den Nachweis der hinreichenden Beherrschung hochautomatisierter Fahraufgaben durch HAF.

## Teilprojekt 4

Das Teilprojekt 4 „Ergebnisreflektion & Einbettung“ prüft, dass die einzelnen Ergebnisse und Verfahren ineinandergreifen und eine durchgängige Absicherungsmethodik gewährleisten ist und die in PEGASUS erarbeiteten Werkzeuge und Prozesse in die Unternehmen integriert werden können.

### **1.1.2 Zielsetzung von Continental Teves AG & Co. oHG in PEGASUS**

Continental Teves hat in PEGASUS zu allen Arbeitspaketen beigetragen.

Im Rahmen des Teilprojekt 1 hat Continental Teves beim UAP „Beschreibung Autobahn-Chauffeur“ auf Basis seiner Expertise bei Umfeldsensoren, Aktoren und Steuergeräten bei der Erstellung einer umfassenden lastenheftähnlichen Beschreibung der hochautomatisierten Fahrfunktion „Autobahn-Chauffeur“ mitgewirkt.

Im Teilprojekt 2 hat Continental Teves die Tatsache adressiert, dass trotz aller Verifikations- und Validierungsaktivitäten, Prinzip bedingt eine statistische Unsicherheit bzgl. der Sicherheit automatisiert fahrender Fahrzeuge (SAE L3+) bei SoP verbleibt und eine Erweiterung des aktuellen Entwicklungsmodells vorgeschlagen. Die Erweiterung hat das Ziel, eine Markteiführungsstrategie in den Entwicklungsprozess einzubinden. Die wesentlichen Grundelemente hierfür wurden von Continental Teves erarbeitet.

Simulation wird zukünftig ein wesentlicher Baustein für den Sicherheitsnachweis einer HAF-Funktion sein. So umfasst bspw. der Autobahn-Chauffeur deutlich mehr mögliche Fahrsituationen als die bisherigen teilautomatisierten Fahrerassistenzsysteme. Inklusiv der möglichen Umgebungsbedingungen für ein HAF-Fahrzeug (z.B. Variation des statischen Verkehrsumfelds, der anderen Verkehrsteilnehmer und deren Fahrverhalten, des Wetters) ergibt sich ein extrem großer Testraum. Ziel ist es daher, die Absicherung äquivalent mittels neuer virtueller Testmethoden zu beherrschen, die eine große Anzahl von Testläufen mit relativ geringen Kosten durchführen kann. Daher lag ein ausgeprägter Schwerpunkt für Continental Teves im Rahmen des PEGASUS Projekts auf dem Teilprojekt 3. Hier hat Continental Teves basierend auf den umfassenden Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten eine Simulationsumgebung aufgebaut und prototypisch die in PEGASUS entwickelte Werkzeugkette für automatisiertes Fahren (SAE-Level 3) auf Autobahnen implementiert. Ziel bei Continental Teves war es, gemeinsam mit den Kooperationspartnern ein standardisiertes Werkzeug zu entwickeln, wodurch die große Anzahl von Testläufen, die im Rahmen einer HAF Absicherung erforderlich sind, mit relativ geringen Kosten durchgeführt werden kann.

Im Teilprojekt 4 „Ergebnisreflektion und Einbettung“ hat Continental Teves die Projektkoordination übernommen. Zu den Aufgaben der Projektkoordination und des Projektmanagements gehören u.a. die inhaltliche Abstimmung der Arbeiten mit den Projektpartnern. Dies umfasst die fachliche Koordination und Moderation dieser Treffen mit den Partnern zum Informationsaustausch und zur Überprüfung des Projektfortschritts (z. B. anhand der Meilensteine und Ergebnisse). Hierzu zählen auch die bilaterale firmenübergreifende Koordination der Arbeiten und die Sicherstellung des Erreichens der geplanten Ziele.

## **1.2 Voraussetzungen für das Vorhaben**

Um die deutsche Fahrzeugindustrie in ihrer Rolle als weltweiter Technologie- und Innovationsführer zu stärken, hat das BMWi im Juni 2015 das Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ gestartet, welche eingebettet ist in die Digitale Agenda und die High-tech-Strategie. Automatisiertes Fahren ist hierbei einer der beiden Programmschwerpunkte der Bundesregierung, um die Entwicklung richtungsweisender Technologien für die Mobilität von morgen zu fördern.

Gefördert werden in diesem Zusammenhang Verbundprojekte, in denen Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammenarbeiten. Unterschiedliche Kompetenzen werden hier im Sinne des Projekterfolgs gebündelt. Großen Wert legt das Programm auf die Einbeziehung



von kleinen und mittleren Unternehmen, die mit ihrer hohen Innovationskraft einen wichtigen Beitrag leisten.

Das BMWi hat sich insbesondere der Aufgabe verschrieben, den technologischen Reifegrad von Anwendungen beim hochautomatisierten Fahren zu steigern. Zugleich sollen damit Grundlagen für branchenweite Technologie- und Sicherheitsstandards geschaffen werden.

Die Bandbreite der geförderten Projekte reicht von innovativen Einzelkomponenten bis zu systemischen Funktionslösungen.

PEGASUS ist dabei das erste Projekt, das schwerpunktmäßig zum Thema Validierung und Freigabe von HAF-Funktionen forscht und eine abgestimmte und valide Methodik sowie ein zur Umsetzung geeignetes Werkzeugportfolio bzw. Instrumentarium für das Testen automatisierter Fahrzeugfunktionen mit Bezug zur Serienentwicklung und der Fahrzeugfreigabe entwickelt.

Die Herausforderungen zur Erreichung aller der in Abschnitt 1.1.1 beschriebenen Ziele waren daher trotz aller bisheriger öffentlich geförderter Projekte hoch. Abbildung 2 verdeutlicht die Gesamtstrategie zur Erreichung der Vision von unfallfreiem, hochautomatisiertem Fahren.

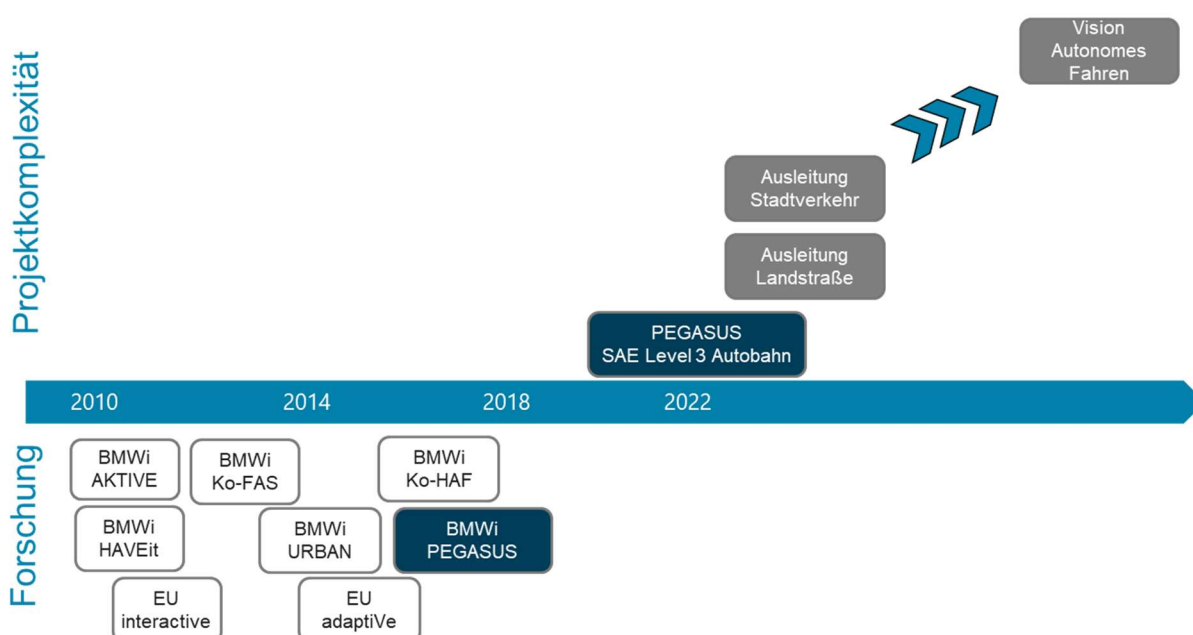


Abbildung 2: PEGASUS Ausgangssituation und Vision: Unfallfreies hochautomatisiertes Fahren

Die Projektbeteiligung von Continental Teves AG & Co. oHG an PEGASUS war eingebettet in den Gesamtverbund von insgesamt 17 Partnern. Die beteiligten Partner (s. Tabelle 2) arbeiteten in kooperativer und vorwettbewerblicher Weise zusammen. Mit vielen dieser Partner arbeitete Continental Teves bereits seit vielen Jahren in einer Reihe von Vorgängerprojekten vertrauensvoll zusammen.

Nr.	Partnername	Abkürzung
1	Audi AG	Audi
2	ADC Automotive Distance Control Systems GmbH	ADC
3	BMW Group	BMW
4	Continental Teves AG & Co. oHG	Teves
5	Daimler AG	Opel
6	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	DLR
7	Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (	fka

8	Gesellschaft für inertielle Mess-, Automatisierungs- und Regelsysteme mbH	iMAR
9	IPG Automotive GmbH	IPG
10	Opel Automobile GmbH	Opel
11	QTronic GmbH	QTronic
12	Robert Bosch GmbH	Bosch
13	Technische Universität Darmstadt – FZD	FZD
14	TraceTronic GmbH	TraceTronic
15	TÜV SÜD Auto Service GmbH	TÜPV Süd
16	VIRES Simulationstechnologie GmbH	VIRES
17	Volkswagen AG	VW

Tabelle 1: Projektpartner

Bei Projektstart konnte Continental Teves auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgreifen, u.a. auf die Ergebnisse vorangegangener Forschungsprojekte. Continental Teves war an allen in Abbildung 2 gezeigten Forschungsprojekten maßgeblich beteiligt. Ebenso konnte auf viele firmeninterne Projekte (z.B. PRORETA) aufgesetzt werden, etwa mit Blick auf Sensor-Signalverarbeitung für Kamera oder Radar, aber auch auf Systemarchitekturen, Regler und Aktoren.

### 1.3 Planung und Ablauf

Bei der Planung des Projektes PEGASUS konnte seitens Continental Teves auf die Erfahrungen aus den in Abschnitt 1.2 erwähnten BMWi- und EU-Projekten zurückgegriffen werden. Die Planung konnte daher – auch aufgrund der guten Kooperation mit den anderen Verbundpartnern – zügig abgeschlossen und konsequent umgesetzt werden.

Den Herausforderungen entsprechend wurden im Projekt PEGASUS den eigentlichen Testphasen im TP 3 die Erarbeitung von Qualitätsmaßen und die Ableitung von Entwicklungs- und Testprozessen im TP 1 bzw. TP 2 vorangestellt. In den ersten beiden Teilprojekten wurden somit die Rahmenbedingungen und Randbedingungen für die präzise Umsetzung der Tests herausgearbeitet und Gütemaße zur Bewertung der Anforderungsumsetzung bzw. der Fahrfunktionen erarbeitet. Das TP 4 unterstützte die Arbeiten im TP 1 – TP 3 und war maßgeblich für die Prüfung der Übertragbarkeit zuständig. Sämtliche inhaltliche Arbeiten wurden durch das TP 0 Projektmanagement unterstützt.

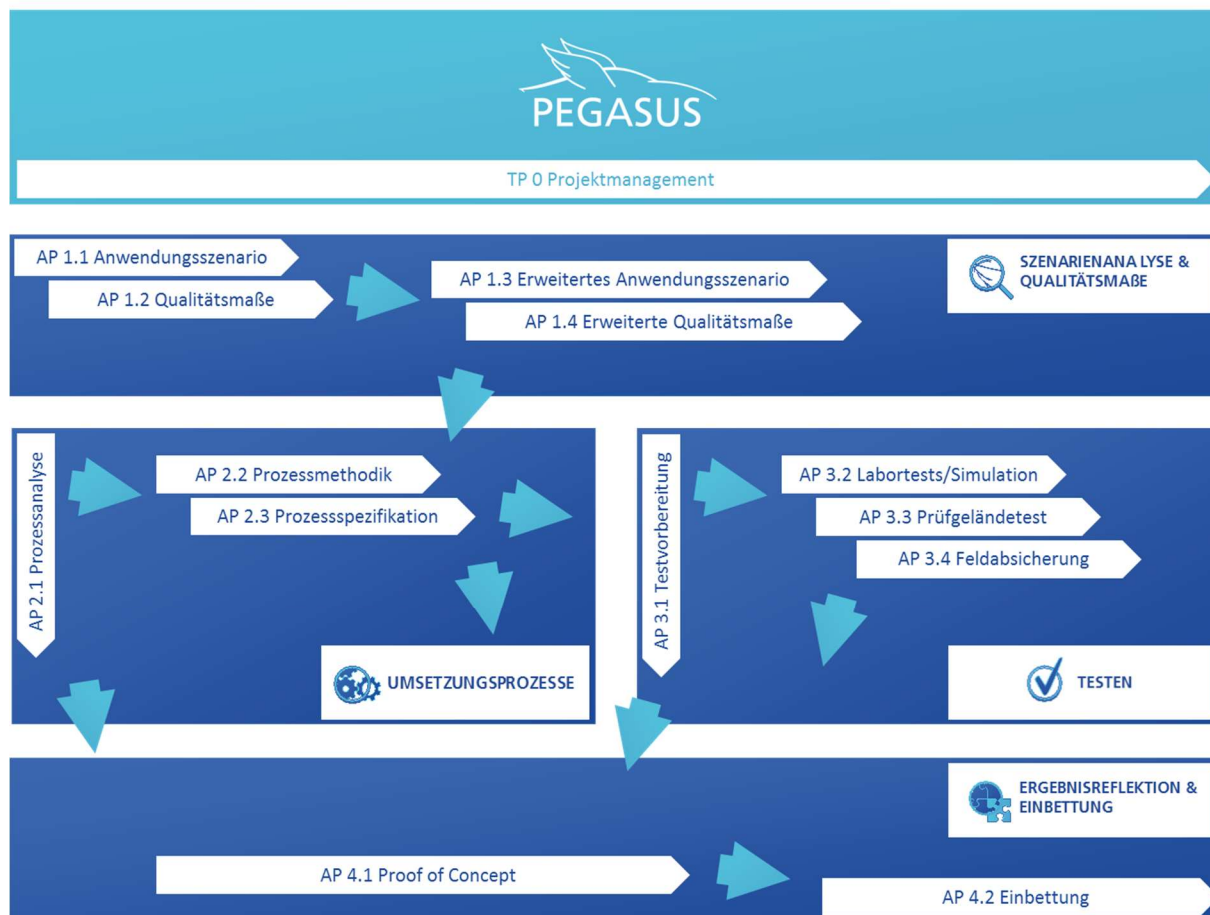


Abbildung 3 Schematischer Aufbau des PEGASUS-Projekts

Das von Continental Teves geleitete Teilprojekt 4 umfasste die Koordination des Teilprojekts, die Abstimmung, Planung und Durchführung von Projekttreffen, das inhaltliche Controlling, sowie die Regelberichterstattung.

Das Teilprojekt hat die erarbeiteten Ergebnisse kritisch reflektiert und ein tragfähiges Konzept sichergestellt. Mit der Einbettung der Ergebnisse in die Unternehmensstrukturen wird gewährleistet, dass diese praktisch genutzt und weiterentwickelt werden können.

Auf die in jedem Arbeitspaket bis Projektende erzielten Ergebnisse wird in Kapitel 3 ausführlich eingegangen.

An dieser Stelle sei zusammenfassend betont, dass die Ziele aller Arbeitspakete, an denen Continental Teves beteiligt war, erreicht wurden.

Bei der Abarbeitung der Arbeitspakete kam es, insbesondere in den Teilprojekten 1 und 3, zu Verzögerungen. Die Teilprojekte wurden daher entgegen der ursprünglichen Planung bis Ende der Projektlaufzeit, parallel zu den Einbettungsaktivitäten von Teilprojekt 4, verlängert. So konnte das Projekt PEGASUS, wie im Projektantrag geplant, zum 30.06.2019 erfolgreich abgeschlossen werden.

## 1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Seit den 1990er Jahren wurden eine Vielzahl von Förderprojekten, die sich mit dem automatisierten Fahren im öffentlichen Straßenverkehr beschäftigten, gestartet. Dabei erfolgten in den bisherigen Forschungsprojekten meist nur die Betrachtung von Einzelaspekten und nie die Betrachtung aller notwendigen Schritte zur Homologation von hochautomatisierten Fahrzeugen der Automatisierungsstufe 3 (Abbildung 1).

Die meisten der heute erhältlichen Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind für relativ einfache Verkehrssituationen, wie z. B. im Bereich von Autobahnen oder für einen niedrigen Geschwindigkeitsbereich, konzipiert. Durch eine Beschränkung der Anwendungsfälle werden dem Kunden somit robuste Systeme in die Hand gegeben, die den Fahrer in seiner Fahraufgabe unterstützen – jedoch ist der Fahrer heute vollumfänglich verantwortlich. Zwar sind mittlerweile auch schon hochautomatisierte Systeme der 1. Generation am Markt verfügbar, z.B. als Staupilot im Audi A8, der als erstes System mit Automatisierungsstufe 3 (Abbildung 1) im Herbst 2017 am Markt eingeführt wurde. Die Homologation ist allerdings bis heute im Gange, so dass die Funktion zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts in den Fahrzeugen noch nicht freigeschaltet ist. Weitere HAF der 1. Generation Funktionen mit Automatisierungsstufe 3 werden in den nächsten Jahren auch von den anderen Fahrzeugherstellern auf den Markt kommen.

Zu Beginn des Projekts war daher keine Systematik bekannt, um komplexe Verkehrskonstellationen und die sich daraus potenziell entwickelnden Verkehrssituationen systematisch zu analysieren. Die Darstellung und Prognose komplexer Situationen und die Gesamtheit aller möglichen Verkehrssituationen ist jedoch für das Testen automatisierter zwingend notwendig.

Das Projekt PEGASUS baute daher auf einer Reihe von Forschungsprojekten zu Fahrerassistenz, aktiver Sicherheit und kooperativen Systemen auf. Auf die Abgrenzung bzw. die Integration von Erkenntnissen besonders relevanter Projekte wird nachfolgend kurz eingegangen, wobei eine Fokussierung auf die Projekte erfolgt, die für die Arbeiten von Continental Teves in PEGASUS besonders relevant waren:

### BMW-Projekt AKTIV-AS

AKTIV-AS zielte auf die Entwicklung von Funktionen zur aktiven Sicherheit ab. Insbesondere die im Rahmen der Teilprojekte „Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit“ (FSA), „Integrierte Querführungsassistenz“ (IQF) sowie die Notbremsfunktionen des Teilprojekts „Aktive Gefahrenbremsung“ (AGB) stellen wichtige Bausteine für die Realisierung von hochautomatisierten Fahrzeugen dar: Hochautomatisierte Fahrzeuge müssen zusätzlich zum hochautomatisierten Fahren im Normalbetrieb auch einen Notbetrieb mit Ausweich- und Bremsfunktionen abbilden und das Fahrzeug in den sicheren Zustand überführen, z.B. im Fall des Fahrerausfalls.

### EU-Projekt HAVEit

Im Rahmen des EU-Projekts HAVEit (Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport) wurden erstmalig Hands-off Systeme erforscht. Der Schwerpunkt auf der Funktionsseite lag auf „Automated Assistance in Roadworks and Congestion“ (ARC), „Automated Queue Assistance“ (AQuA), „Temporary Autopilot“ (TAP). Wichtige Querschnittsthemen betrafen die Fahrerüberwachung mittels „Direct and Indirect Driver Monitoring“ sowie die Gestaltung des MMI, insbesondere die Transitionen zwischen den Automatisierungsstufen. Die in HAVEit erforschten Automatisierungsstufen betrafen „Driver Assisted“, „Semi-Automated“ (Automatisierung nur in Längsrichtung) und „Highly Automated“ (Automatisierung in Längs- und Querrichtung). Die HAVEit-Systeme mussten permanent vom Fahrer überwacht werden, Nebentätigkeiten waren nicht zugelassen. Als HAVEit gestartet wurde, gab es die im Rahmen der erwähnten BAST-Aktivitäten erstellte Definition der Automatisierungsstufen noch nicht. Nach dieser BAST-Definition sind die in HAVEit erforschten Funktionen als „teilautomatisiert“ einzuordnen.

Die im Projekt HAVEit entwickelte Methode zur Beschreibung von Szenarien und Transitionen wurde im Projekt PEGASUS im TP 1 „Szenarioanalyse und Qualitätsmaße“ zur Beschreibung der Grundfunktionalität des Autobahn Chauffeurs sowie des erweiterten Szenarios genutzt. Die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Projekt HAVEit zur Erprobung automatischer Fahrfunktionen ist in das TP 3 „Testen“ eingeflossen.

### BMW-Projekt Ko-FAS

Auch in Ko-FAS blieb der Fahrer immer im „Loop“; eine Automatisierung des Fahrens erfolgte nicht. Der Fokus lag auf der Erforschung von kooperativen Sensortechnologien und ad hoc Vernetzung von Sensorinformationen. Im Hinblick auf Use Cases und Szenarien lagen die Schwerpunkte von Ko-FAS auf kritischen und unfallnahen Verkehrssituationen. Viele Applikationen zielten auf den urbanen Bereich, v.a. auf Kreuzungen ab. Ein weiterer Schwerpunkt betraf die Nutzung infrastrukturbasierter Sensorsysteme zur Objekterkennung und Situationsbewertung. Die Synergien zwischen PEGASUS und Ko-FAS betreffen insbesondere die Nutzung der Technologien zur Eigenlokalisierung für das von Continental in TP3 genutzte Testobjekt. Die im Verbundprojekt Ko-PER gewonnenen Erfahrungen bildeten hierfür eine solide Grundlage.

### EU-Projekt interactiVe

Die Schwerpunkte des EU-Projekts interactiVe betrafen das gemeinsame Verständnis zu intervenierenden Assistenzsystemen (Notbremsen, Notausweichen) sowie Funktionen zur kontinuierlichen Fahrerassistenz. Wie alle anderen bisher genannten Forschungsprojekte zielte auch interactiVe nicht auf die Erforschung von hochautomatisierten Systemen im Sinne der heutigen BAST-Definition (SAE-Level 3) ab. Die erzielten Ergebnisse wurden zudem nicht im öffentlichen Straßenverkehr demonstriert. Im Teilprojekt „Perception“ wurde eine Perzeptionsplattform konzipiert und umgesetzt, die Informationen aus verschiedenen Sensoren fusioniert und die so erfasste Umgebung in einem so genannten Perception Horizon für unterschiedliche Sicherheitsanwendungen fahrzeuglokal zur Verfügung stellt.

Die in interactiVe entwickelte Bewertungsmetrik für aktive Sicherheitsfunktionen wurde in PEGASUS aufgegriffen und erweitert. Die Sytemklassifikation und Sensor-Limit-Betrachtungen aus interactiVe sowie die Ergebnisse der Probandenstudien in kontrolliertem Feld (Test aktiver Sicherheitsfunktionen, wie Spurwechselsituationen, Totwinkelsituationen, Überholzenario etc. auf Teststrecke) wurden in PEGASUS zur weiteren Ausarbeitung verwendet. Zusätzlich wurden die Safety Impact Assessments für aktive Sicherheitsfunktionen für PEGASUS genutzt.

### BMW-Projekt UR:BAN

Das BMWi-geförderte Verbundprojekt UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement) befasste sich mit der Erforschung bzw. Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und Verkehrsmanagementsystemen mit besonderem Fokus auf die städtische Umgebung mit ihren vielfältigen komplexen Verkehrssituationen.

#### a) Projekt Kognitive Assistenz (KA)

In der Projektsäule „Kognitive Assistenz“ ging es zum einen im Teilprojekt „Kollisionsvermeidung durch Ausweichen und Bremsen“ um Systeme, die in kritischen Verkehrssituationen durch kurzfristige automatisierte Eingriffe dazu beitragen können, Unfälle zu vermeiden bzw. Unfallfolgen zu vermindern. Zum anderen wurden im Teilprojekt „Sichere Quer- und Längsführung“ Assistenzsysteme für den Anwendungsbereich des städtischen Umfelds erforscht, die im Bereich von Engstellen, bei Gegenverkehr oder bei Spurwechseln wirken. Schließlich zielte UR:BAN SVT auf den Schutz verletzlicher Verkehrsteilnehmer. Den in UR:BAN betrachteten Applikationen war zudem gemeinsam, dass die den einzelnen Funktionen zugrunde liegenden Informationen auf der Basis fahrzeugeigener Sensorik ermittelt wurden. Im Gegensatz zu UR:BAN adressierte PEGASUS nicht die Funktion in bestimmten urbanen Fahrscenarien, sondern den Verifikation und Validierungsaspekt auf Autobahnen.

Dennoch lieferte auch UR:BAN SVT wesentlichen Input für das grundsätzliche Verständnis über potentiellen Risiken des Automatisierten Fahrens.

a) Projekt Mensch im Verkehr (MV)

In UR:BAN MV (Projektsäule „Mensch im Verkehr“) stand der Mensch im Zentrum der Betrachtungen in seinen vielfältigen Rollen im städtischen Verkehrssystem. Während in UR:BAN vor allem Fragen der Informationsfülle bearbeitet wurden und die Integration der Einzelinformationen verschiedener Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssysteme im Vordergrund stand, betrachtete PEGASUS „den Fahrer im hochautomatisierten Fahrzeug“.

Für PEGASUS war hier insbesondere das Teilprojekt „Kontrollierbarkeit“ und das darin enthaltende erweiterte Vorgehen für einen Toleranzansatz sowie die Entwicklung einer Fahrerleistungsdatenbank zur Abschätzung der Kontrollierbarkeit für die weiteren Arbeiten relevant.

### EU-Projekt D3CoS

Im EU-Projekt D3CoS wurden Methoden, Techniken, Tools und ein Entwicklungsprozess geschaffen, um die Entwicklung kooperativer Systeme in verschiedenen Domänen (Land, Wasser, Luft) effektiver und effizienter zu gestalten. Synergien mit PEGASUS lagen in der Erforschung multimodaler Interaktion von Mensch und Fahrzeug und der Erforschung der menschlichen Leistungsfähigkeit in komplexen Fahrsituationen. Während D3CoS situationsbasierte kurzzeitige Situationen mit dynamisch wechselnden Kooperationspartnern untersuchte, betrachtete PEGASUS in einer erweiterten Sicht die logischen Szenarien. Das D3CoS Szenario für den automobilen Bereich beschränkte sich zunächst auf das Lane-Change-Szenario auf der Autobahn, während PEGASUS den Blick auf einen möglichst umfassenden Szenarien-Katalog für relevante Autobahnszenarien weitete. Der Automationsgrad in D3CoS variiert im Spektrum zwischen manuellem und teilautomatisiertem Fahren und untersucht die in diesem Zusammenhang relevanten Systemtransitionen. PEGASUS legte demgegenüber den Fokus klar auf das hochautomatisierte Fahren und die damit einhergehenden Out-of-the-Loop-Effekte. D3CoS forschte während der Projektlaufzeit an Low-Fidelity (Lo-Fi) Interaktionskonzepten und präsentierte am Ende des Projektes einen simulierten Demonstrator, PEGASUS dagegen demonstrierte Tests der Fahrfunktion für automatisiertes Fahren auf Autobahnen in unterschiedlichen Testumgebungen (Labor, Simulation, Realfahrzeugen) und den Betrieb im gemischten Verkehr.

### BMBF-/BMW-Projekt simTD

Das Projekt simTD schuf die Voraussetzungen für eine nachhaltige Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr und der Verkehrseffizienz durch die Realisierung und Erprobung von Anwendungen der C2X-Kommunikation in einem Feldtest unter Alltagsbedingungen sowie für marktwirtschaftlich-technische Lösungen für eine breite Markteinführung von C2X-Kommunikation. Diese beruhten im Wesentlichen auf einer verbesserten Information der Verkehrsteilnehmer, einer zutreffenden und präzisen lokalisierten Warnung vor Gefahren mit dem dadurch erreichbaren positiven Einfluss auf das Fahrerverhalten und einer signifikanten Verbesserung der Kenntnis der aktuellen Verkehrslage (sowohl mikro- als auch makroskopisch) der Verkehrszentralen mit dem Ziel, eine verbesserte Kapazitätsausnutzung der vorhandenen verkehrlichen Infrastruktur erzielen zu können. Im Fokus von simTD stand die C2X-Technologieentwicklung im Feldtest. Für PEGASUS ergaben sich hieraus wesentliche Erkenntnisse für die Entwicklung logischer Fahrszenarien.

### BMBF-Projekt InCarIn

Das Projekt Intelligent Car Interieur hatte zum Ziel, durch die Erforschung und Entwicklung neuer Lösungen zur Fahrzeuginnenraumsensorik, Innenraumkontexterfassung und Innenraumkontextinterpretation eine wichtige Grundlage für zukünftige Sicherheits-, Komfort- und Assistenzsysteme im Fahrzeug zu schaffen. Dazu erfolgte eine tiefgehende Adaption elektronischer Fahrzeugsysteme an menschliche Bedürfnisse – insbesondere an die Bedürfnisse von Menschen mit altersbedingten oder anderweitigen körperlichen Einschränkungen. Die in

diesem Projekt gesammelten Erfahrungen in Bezug auf menschliches Verhalten in den unterschiedlichen Fahrszenarien war ein hilfreicher Input für PEGASUS zur Bewertung der menschlichen Leistungsfähigkeit.

#### EU-Projekt AdaptIVe (Automated Driving Applications & Technologies for Intelligent Vehicles)

Übergeordnetes Ziel des Projekts zum Thema „Supervised Automated Driving“ war die Erzielung eines gesamteuropäischen Verständnisses, welches für die spätere Markteinführung dieser Systeme zwingend erforderlich ist. Zudem wurden in diesem Vorhaben auch die rechtlichen Rahmenbedingungen für hochautomatisiertes Fahren auf europäischer Ebene erörtert, mit dem Ziel, eine Art „Code of Practice“ für hochautomatisierte Fahrzeuge vorzubereiten. Schließlich wurden auch einige Beispiele für hochautomatisiertes Fahren in ausgewählten Szenarien, wie etwa Staufolgefahrten, untersucht und prototypisch demonstriert. Gerade die ersten beiden genannten Ziele des Vorhabens, das europäische Verständnis und die europäische rechtliche Sicht, waren auch für die PEGASUS Partner von Bedeutung. Der Fokus von PEGASUS lag aber auf der Entwicklung einer Verifikations- und Validierungsmethodik, die die Markteinführung von hoch automatisierten Fahrzeugen (HAF Generation 2) überhaupt erst ermöglichen. Daher wurden in PEGASUS (HAF Generation 2) gegenüber AdaptIVe (HAF Generation 1) automatisiertes Fahren auf Autobahnen in ein Geschwindigkeitsbereich bis 130km/h betrachtet.

### **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Aufgrund der Mitarbeit in allen Teilprojekten des Forschungsprojekts PEGASUS entstanden diverse Schnittstellen der Zusammenarbeit.

Der Großteil dieser Schnittstellen ergab sich innerhalb des Teilprojekt 3. In diesem Teilprojekt wurde zusammen mit weiteren Projektpartnern die PEGASUS Simulationstoolkette entwickelt und in Betrieb genommen. Gegliedert nach den Projektpartnern ergab sich dabei folgende Zusammenarbeit:

#### IKA/FKA: Datenbank:

- Regelmäßiger Austausch über notwendige Signale der 360° Umfelddaten zur Einspielung in die Datenbank
- Workshop zur Definition der Schnittstelle zum Abrufen der in der Datenbank gespeicherten Szenarien
- Ausarbeitung des Formats Extended Open Scenario
- Einbindung des Metrik Frameworks und der implementierten Metriken, in die Simulationstoolkette

#### DLR:

- Einbindung des vom DLR entwickelten SimplifiedRoad-Formats und des Open Drive Generators

#### IPG:

- Nutzung des Simulationsprogramms CarMaker
- Implementierung und Test der im Projekt erarbeiteten Erweiterungen für das Simulationsprogramm
- Implementierung und Test des OpenDrive zu CarMaker Road Konverters

#### TraceTronic:

- Nutzung, Test und Weiterentwicklung der Testautomatisierungssoftware ECU-Test
- Integration des Stochastik Moduls in die Software ECU-Test
- Anbindung des HIL-Simulators und der SiL-Umgebung mit angebundener HAF-Funktion an ECU-Test

Vires:

- Erstellung und Korrektur logischer Szenarien im Open Drive-Format TU-Darmstadt
- Austausch zu Kritikalitätsmetriken und Nutzung dieser innerhalb des Metrik Frameworks

Ein weiterer Schwerpunkt der Zusammenarbeit ergab sich durch die Leitung des Teilprojekts 4.

BMW, Daimler, DLR, Opel, Volkswagen:

- Durch die Teilprojektleitung und die Gesamtprojekttreffen sowie die Erstellung der Gesamtmethode und deren Beschreibung gab es einen intensiven und regelmäßigen wissenschaftlichen Austausch zur Absicherungsthematik im Allgemeinen und zu deren Herausforderungen und Lösungsansätzen im Speziellen.

Offis:

- Organisation und Durchführung der projektinternen Ergebnisreflektion

Bosch:

- Koordination und Betreuung der Reflexion mit Dritten, im Besonderen mit der BAST und dem BMVi

DLR

- Organisation der TP4 Ergebniseinbettung und Aggregation der Rückmeldungen für die DLR TP4 Bewertungsverwertung

Abhängig vom Projektpartner erfolgte die Zusammenarbeit in unterschiedlichen Intervallen und auf verschiedenen Arten. Neben gelegentlichen und nur nach Bedarf durchgeführten Telefonkonferenzen wurde, beispielsweise zusammen mit TraceTronic, ein wöchentliches Regelmeeting durchgeführt und vor Ort Besuche abgehalten.



## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 TP1 Szenarienanalyse und Qualitätsmaße

#### 2.1.1 Zielsetzung und Struktur

Das Teilprojekt 1 „Szenarienanalyse & Qualitätsmaße“ definierte über die Beispielanwendung Autobahn-Chauffeur Methoden zur Ableitung relevanter verkehrlicher Szenarien, beschäftigte sich mit der menschlichen und maschinellen Leistungsfähigkeit sowie Kriterien und Maßen ihrer Beurteilung, um so die Frage zu beantworten: „Wie gut ist gut genug?“

Die Arbeitsziele von TP1 wurden hierzu wie folgt definiert:

- Beschreibung des Anwendungsszenarios „Autobahn-Chauffeur“ in seiner Grundfunktion, basierend auf den Ergebnissen von Vorgängerprojekten sowie Erweiterung und Verfeinerung
- Ermittlung kritischer Verkehrssituationen, menschlicher Leistungsfähigkeit sowie Wirksamkeit (Unfallvermeidungspotential) innerhalb des Anwendungsszenarios „Autobahn-Chauffeur“
- Ermittlung des Sicherheitsniveaus des Autobahn-Chauffeurs durch eine Bewertung von Auftretenswahrscheinlichkeit und maschineller Beherrschbarkeit der kritischen Verkehrssituationen
- Herleiten eines gesellschaftlich akzeptierten Gütemaßes für automatische Fahrfunktionen
- Ableiten von Anforderungen an den Autobahn-Chauffeur aus dem gesellschaftlich akzeptierten Gütemaß
- Beschreibung einer erweiterten Grundfunktion sowie Gütemaße für hochautomatische Fahrfunktionen, z.B. auf Bundes- und Landstraßen oder im urbanen Umfeld

In TP 1 wurden somit alle relevanten kritischen Verkehrssituationen sowie deren Auftretenswahrscheinlichkeit als auch Beherrschbarkeit und die daraus abgeleitete gesellschaftliche Akzeptanz als Gütemaß für die automatische Fahrfunktion erarbeitet. Diese wurden dann auf Basis des Anwendungsfalls „Autobahn-Chauffeur“ einmal komplett demonstriert.

Die Gesamtleitung von TP 1 wurde von der Volkswagen AG übernommen.

Das TP 1 war in 4 Arbeitspakete (AP) strukturiert die jeweils in weitere Unterarbeitspakete (UAP) gegliedert waren:

- In AP 1.1 „Anwendungsszenario“ erfolgte eine Lastenheft ähnliche Beschreibung eines konkreten Anwendungsbeispiels für eine hochautomatische Fahrfunktion („Autobahn Chauffeur“) sowie die Erstbefüllung der TP 3 Testspezifikations-Datenbank.
  - In UAP 1.1.1 wurde als konkrete Anwendungsfunktion der sog. „Autobahn-Chauffeur“ beschrieben. Aufbauend auf der obigen Beschreibung erfolgte eine Erweiterung und Verfeinerung der Beschreibung dieser Grundfunktion bezüglich Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Straßenverhältnissen, Gefahrenstellen, etc. in Form einer Lastenheft ähnlichen Beschreibung.
  - In UAP 1.1.2 erfolgte eine Erstbefüllung der TP 3 Testspezifikations-Datenbank mit Hilfe dieses Lastenheftes.
- In AP 1.2 „Qualitätsmaße“ wurden Auslegungskriterien für hochautomatische Fahrfunktionen am Beispiel des Autobahn-Chauffeurs abgeleitet,
  - In UAP 1.2.1 wurden mit Hilfe der Beschreibung des Autobahn-Chauffeurs alle kritischen Verkehrssituationen anhand einer in diesem Projekt entwickelten Kritikalitätsmetrik identifiziert sowie die menschliche Leistungsfähigkeit in diesen kritischen Verkehrssituationen ermittelt.

- In UAP 1.2.2 wurde die maschinelle Leistungsfähigkeit einer hochautomatischen Fahrfunktion in den identifizierten kritischen Situationen als auch potentielle Automationsrisiken ermittelt.
  - In UAP 1.2.3 wurde ein Werkzeug zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus hochautomatischer Fahrfunktionen auf Datenbasis von Unfallschwere und Auftretenswahrscheinlichkeit kritischer Verkehrssituationen (UAP 1.2.1) sowie deren maschineller Beherrschbarkeit (UAP 1.2.2) erstellt.
  - In UAP 1.2.4 wurde unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Akzeptanz ein Gütemaß für hochautomatische Fahrfunktionen abgeleitet.
  - In UAP 1.2.5 wurden Anforderungen an die hochautomatische Fahrfunktion abgeleitet, mit denen das aus der gesellschaftlichen Akzeptanz ermittelte Gütemaß erzielt werden kann.
- Ob die in AP 1.2 am Beispiel des „Autobahn Chauffeurs“ entwickelten Methoden und Werkzeuge grundsätzlich auch auf andere hochautomatische Fahrfunktionen angewandt werden können, wurde in AP 1.3 und AP 1.4 geprüft.

## **2.1.2 Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves**

Continental Teves beteiligte sich im TP1 an UAP1.1.1 und UAP1.2.5. Der Fokus der Tätigkeiten in UAP1.1. lag auf der Spezifikation des „Autobahn-Chauffeur“, worin Continental Teves die eigene Expertise bei Umfeldsensoren, Aktoren und Steuergeräten einbrachte.

Ebenso konnte Continental Teves bei der Umsetzung auf die Erfahrungen bei der Spezifikation einer im eigenen Hause entwickelten Funktionalität für automatisiertes Fahren auf Autobahnen („Cruising Chauffeur“) zurückgreifen.

## **2.1.3 Erreichte Ergebnisse**

Das Anwendungsszenario, der sog. „Autobahn-Chauffeur“, wurde in einer funktionalen Systemspezifikation ausführlich beschrieben. Diese Spezifikation diene als exemplarisches, konkretes Anwendungsbeispiel für das hochautomatisierte Fahren (SAE-Level 3) auf der Autobahn innerhalb des Projektes PEGASUS für alle Teilprojekte als Arbeitsgrundlage. Mit Hilfe dieser Systembeschreibung sollten u.a. Standardszenarien, kritische Szenarien und Automationsrisiken eines Autobahn-Chauffeurs möglichst vollständig und genau abgeleitet werden.

Diese Systemspezifikation diene nicht dazu, ein zukünftiges Seriensystem vollständig und richtig zu beschreiben. Eine herstellerübergreifende Standardisierung bleibt Standardisierungsorganisationen vorbehalten.

Die funktionale Systemspezifikation basiert auf den Ergebnissen der BAST Arbeitsgruppe „Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung“ [1] sowie der EU-Förderprojekte HAVEit [2] und Adaptive [3]. An der Erstellung der Systembeschreibung waren die Projektpartner Audi, BMW, Bosch, Continental, Daimler, DLR, Oper und Volkswagen beteiligt.

### **2.1.3.1 Grundsätzliche Systemauslegung**

Der Autobahn-Chauffeur ist dazu gedacht, den Fahrer auf der Autobahn bei monotonen Fahraufgaben wie z.B. Langstreckenfahrten oder Staufolgefahrten zu entlasten. Hierzu soll er die Längs- und Querführung des Fahrzeugs übernehmen. Bei aktivem Autobahn-Chauffeur muss der Fahrer das System und die umliegende Fahrzeugumgebung und den Verkehr nicht mehr dauerhaft überwachen. Der Fahrer kann sich daher von seiner Fahraufgabe abwenden. Fahrfremde Tätigkeiten sind begrenzt möglich.

Der Autobahn-Chauffeur ist nicht dazu gedacht, den Fahrer auf der Autobahn bei stark herausfordernden Fahraufgaben außerhalb seiner Systemgrenzen bzw. seines Wirkungsbereichs zu entlasten, wie z.B. dem Fahren bei starker Sichtweitereinschränkung oder starker Straßen glätte. In diesem Fall muss der Fahrer die Fahraufgabe weiterhin selber übernehmen, kann hierbei aber von Fahrerassistenzsystemen unterstützt werden.

Der Autobahn-Chauffeur soll Notsituationen bewältigen können, sofern sie in ähnlicher Weise für einen menschlichen Fahrer beherrschbar wären. Der Autobahn-Chauffeur kann nicht alle Notsituationen bewältigen. Ist ein Unfall unabwendbar, so verhält er sich schadensminimierend. Der Autobahn-Chauffeur soll keine ethischen Entscheidungen treffen können. Er soll nicht abwägen zwischen dem Wert von Menschen (alter Mensch vs. junger Mensch, ein Mensch vs. viele Menschen, etc.). Der Autobahn-Chauffeur soll die Grenzen seines Wirkbereichs erkennen (sog. Systemgrenzen). Werden diese erreicht, dann soll er den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme auffordern.

Finale Rückfallebene des Autobahn-Chauffeurs ist der Fahrer. D.h. nach einer Übernahmeaufforderung muss der Fahrer die Fahrzeugführung unter Nutzung der Zeitreserve wieder übernehmen. Nach Ablauf der Zeitreserve ist der Fahrer wieder verantwortlich für die Fahrzeugführung. Sollte der Fahrer dieser Übernahmepflicht nicht nachkommen können oder wollen, dann versucht der Autobahn-Chauffeur durch ein Nothaltemanöver dieses Fehlverhalten des Fahrers zu kompensieren und das Risiko für einen Schaden bestmöglich zu minimieren.

- hochautomatisiertes Fahren (Level 3 gem. SAE Standard, Abbildung 1)
- für PKW ohne Anhänger
- auf Autobahnen oder Autobahn ähnlichen Straßen, sofern sie deutschen Standards genügen
- Geschwindigkeitsbereich zwischen 0 und 130 km/h
- bei Tag und Nacht
- bei normalen Witterungsbedingungen
- inklusive automatisierte Staufolgefahrten im Stop & Go Verkehr
- inklusive automatisierter Fahrstreifenwechsel und Überholmanöver
- inklusive automatisiertes Notbremsen und Notausweichen
- exklusive automatisiertes Auffahren auf die Autobahn
- exklusive automatisiertes Abfahren von der Autobahn
- exklusive automatisiertes fahren bei extrem schlechtem Straßenwetter – wie z.B. starker Straßenglätte – oder starker Sichtweitereinschränkung

### 2.1.3.2 Systembeschreibung

Abbildung 4 zeigt eine Prinzip-Skizze des Systems „Autobahn-Chauffeur“ mit seinen Komponenten. Dieses System besteht nicht nur aus dem Fahrzeug mit seinen technischen Komponenten und der automatisierten Fahrfunktion, welche mit Hilfe dieser technischen Komponenten realisiert wird, sondern auch aus dem Fahrer, der Interaktion zwischen dem Fahrer und der automatisierten Fahrfunktion, sowie der Fahrzeugumgebung. Diese System-Gesamtsicht ist zwingend erforderlich, um mit Hilfe der Systembeschreibung nicht nur Standardszenarien, sondern auch kritische und schwierige Szenarien sowie Automationsrisiken identifizieren zu können. Im Folgenden werden die einzelnen Systemkomponenten sowie deren Bedeutung für die Ableitung von Szenarien kurz erläutert.

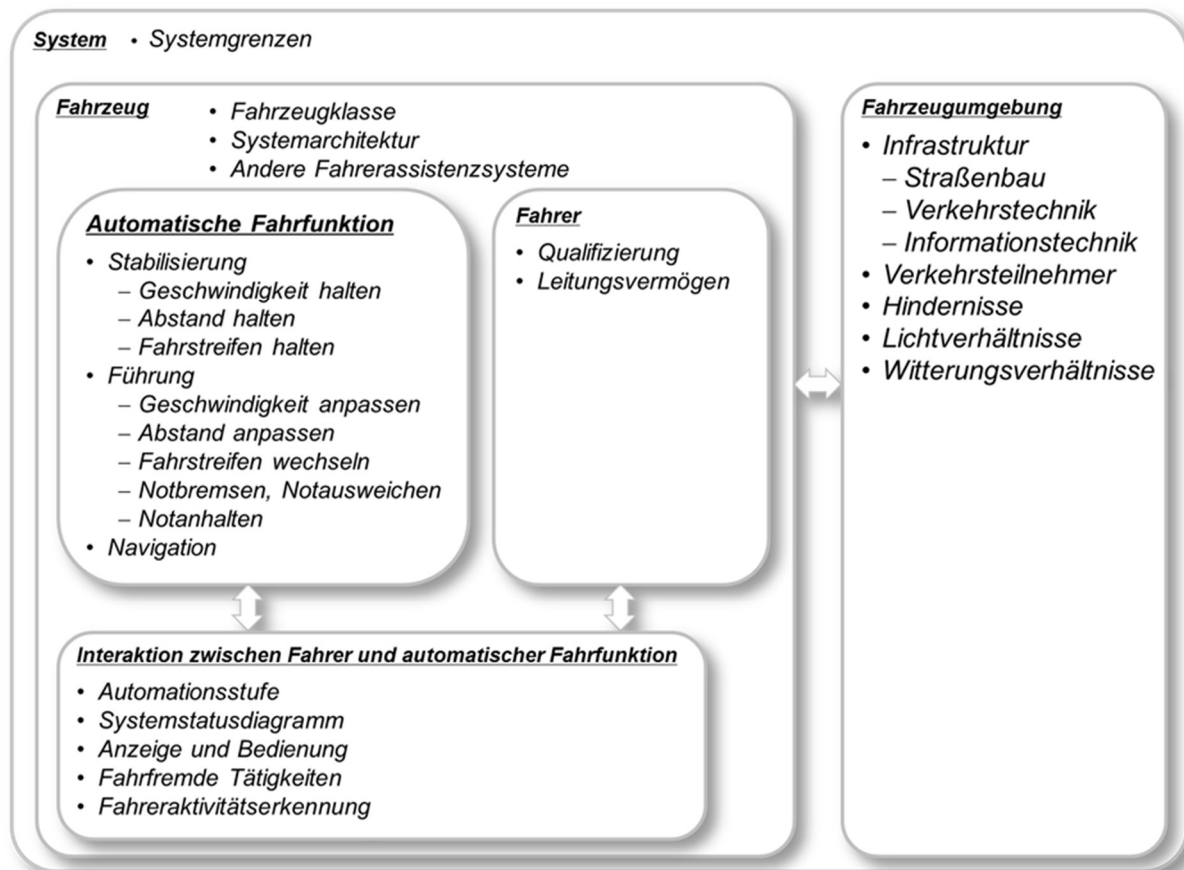


Abbildung 4 Prinzip-Skizze des Systems „Autobahn-Chauffeur“ mit seinen Komponenten

### 2.1.3.2.1. Automatische Fahrfunktion

Zum Ableiten von Standardszenarien und kritischen Szenarien wird die Automatische Fahrfunktion des Autobahn-Chauffeurs beschrieben. Die Gliederung der Fahrfunktion erfolgt gem. Donges [4] in Stabilisierung, Führung und Navigation. Zur Stabilisierung des Fahrzeugs gehören das Halten von Geschwindigkeit, Abstand und Fahrstreifen. Zur Führung des Fahrzeugs gehört das Ändern von Geschwindigkeit, Abstand oder Fahrstreifen sowie Notbremsen, Notausweichen und Notanhalten, dies jeweils unter Beachtung von Verkehrsregeln. Hierbei werden auch sog. schwierige Szenarien betrachtet, welche für die Technik des Autobahn-Chauffeurs bekanntermaßen herausfordernd sind. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Standardszenarien und kritischen Szenarien (in Kursivschrift), welche in der Systemspezifikation ausführlich beschrieben werden.

<p><u>Geschwindigkeit halten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Motorrad</i></li> </ul>	<p><u>Abstand halten</u></p>	<p><u>Fahrstreifen halten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Abgenutzte Markierungslinien</i></li> <li>– <i>Teernähte</i></li> <li>– <i>Detektionslücke (Schmutz, ...)</i></li> <li>– <i>Abfahrt</i></li> </ul>
<p><u>Geschwindigkeit anpassen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeitsbeschränkung             <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Eingeschränkte Sichtweite</i></li> <li>– <i>Irrelevante Tempolimits</i></li> </ul> </li> <li>• Enge Kurven             <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Schlechtes Straßenwetter</i></li> </ul> </li> </ul>	<p><u>Abstand anpassen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Autobahnauffahrt</li> <li>• Fahrbahnverengung</li> <li>• Gefahrenstellen</li> <li>• Eingeschränkte Sichtweite</li> </ul>	<p><u>Fahrstreifen wechseln</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Abbruch</i></li> <li>• Überholen             <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>LKW unterfahren</i></li> </ul> </li> <li>• Rechtsfahrgebot</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Kassler Berge</i></li> <li>● Rechtsüberholverbot</li> <li>● Gefahrenstellen</li> <li>● Vorausfahrendes Fahrzeug bei Freier Fahrt                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Kurve</i></li> <li>– <i>Schlechtes Straßenwetter</i></li> <li>– <i>Fußgänger (im Stau)</i></li> </ul> </li> <li>● Vorausfahrendes Fahrzeug bei Folgefahrt</li> <li>● Staufolgefahrt</li> <li>● Stauende                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Kuppe</i></li> </ul> </li> <li>● Einscherer                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Motorrad</i></li> </ul> </li> <li>● Ausscherer</li> <li>● Durchscherer</li> <li>● Eingeschränkte Sichtweite</li> <li>● Straßenwetter</li> <li>● Lichtsignalanlage vor Tunneleinfahrt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Straßenwetter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fahrbahnverengung                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Vorwarntafel</i></li> <li>– <i>Schilderbrücke</i></li> </ul> </li> <li>● Absicherungsfahrzeuge</li> <li>● Seitenstreifenfreigabe                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Wechselverkehrszeichen</i></li> </ul> </li> <li>● Autobahnverzweigung</li> <li>● Gefahrenstelle auf Seitenstreifen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Notbremsen und Notausweichen                         <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Cola-Dose</i></li> <li>– <i>Schilderbrücke</i></li> <li>– <i>Kurve</i></li> <li>– <i>Hindernis auf Nachbarfahrstreifen</i></li> </ul> </li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Notanhalt</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Falschfahrer</li> </ul>		

Tabelle 2: Übersicht der Standardszenarien und kritischen Szenarien

### 2.1.3.2.2. Fahrer

Zum Ableiten von Automationsrisiken werden die Qualifikation und das Leistungsvermögen des menschlichen Fahrers beschrieben, welche zum Betreiben des Autobahn-Chauffeurs vorausgesetzt werden.

Grundsätzlich gilt: Ein Fahrzeug, welches mit einem Autobahn-Chauffeur ausgestattet ist, benötigt weiterhin einen Fahrer. Bei aktivem Autobahn-Chauffeur darf sich dieser zwar von der Fahraufgabe abwenden. Außerhalb des dedizierten Anwendungsfalls des Autobahn-Chauffeurs – also beim Fahren auf Stadt- und Landstraßen, beim Auf- und Abfahren von der Autobahn, beim Ein- und Ausparken, etc. – ist jedoch der menschliche Fahrer weiterhin für die Fahrzeugführung verantwortlich. Daraus ergibt sich u.a., dass der Fahrer weiterhin einen gültigen Führerschein für das von ihm geführten Fahrzeug besitzen und mit sich führen sowie sich mit dem Autobahn-Chauffeur vor dessen Nutzung anhand der Bedienungsanleitung vertraut machen und die in der Bedienungsanleitung angegebenen Instruktionen befolgen muss.

Der Fahrer muss fahrfähig sein, hinter dem Lenkrad auf dem Fahrersitz mit geschlossenem Gurtschloss sitzen, grundsätzlich übernahmebereit sein und bei einer Übernahmeaufforderung durch den Autobahn Chauffeur die Fahrzeugführung spätestens nach Ablauf der Zeitreserve wieder übernehmen.

### 2.1.3.2.3. Fahrzeug

Zur Eingrenzung von Standardszenarien und kritischen Szenarien wird die Fahrzeugklasse definiert, in welcher ein Autobahn-Chauffeur betrieben werden darf.

Die Systembeschreibung des Autobahn-Chauffeurs gilt für Fahrzeuge der Klassen M1, M1G und N1 gemäß UNECE [5]. Der Autobahn-Chauffeur soll bei Anhängerbetrieb nicht verfügbar sein. Zum Ableiten von Automationsrisiken (Fehlerinjektion, etc.) wird die Fahrzeugarchitektur beschrieben. Das folgende Bild zeigt die vereinfachte Systemarchitektur eines Autobahn-Chauffeurs. In der Systembeschreibung werden die einzelnen Ebenen der Systemarchitektur ausführlich erläutert.

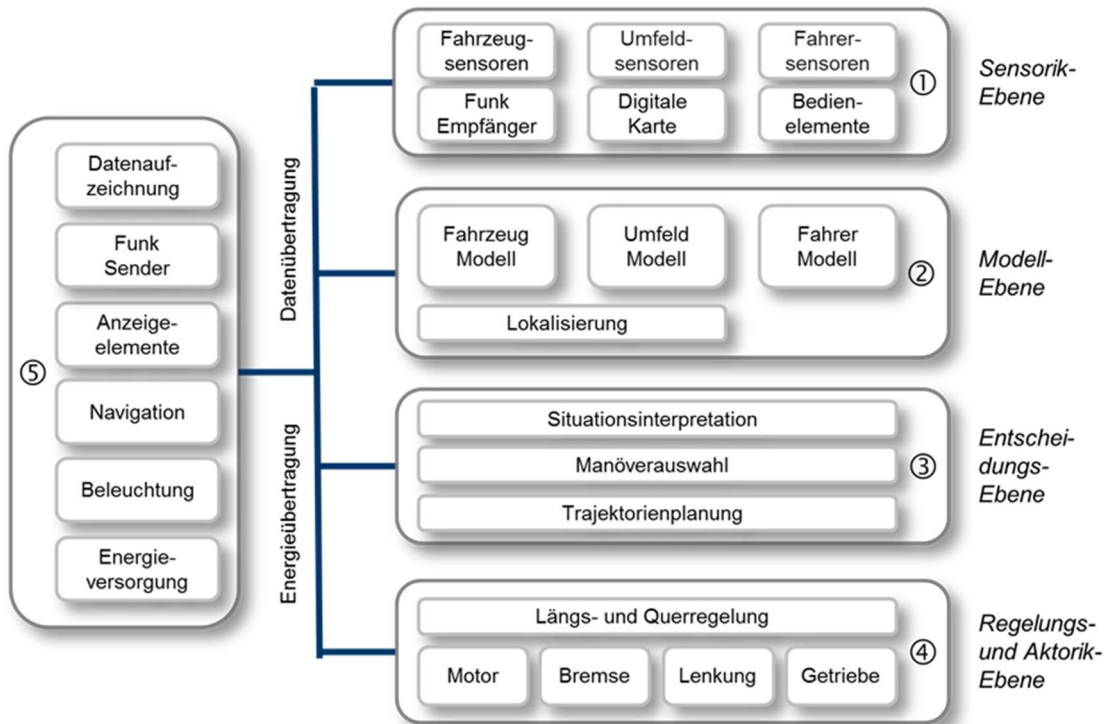


Abbildung 5 Vereinfachte Systemarchitektur eines Autobahn-Chauffeurs

### 2.1.3.2.4. Interaktion zwischen menschlichem Fahrer und automatischer Fahrfunktion

Zum Ableiten von Automationsrisiken und Testfällen für Statusmaschine, Anzeige- und Bedienelemente wird die Interaktion zwischen Fahrer und automatisierter Fahrfunktion beschrieben mit Hilfe eines Systemstatusdiagramms (Systemstati, Transitionen) sowie des zugehörigen Anzeige- und Bedienkonzeptes.

Die folgende Abbildung zeigt das vereinfachte Systemstatusdiagramm eines Autobahn-Chauffeurs. Dieses zeigt die erlaubten Systemstati, welche ein Autobahn-Chauffeur einnehmen kann, ebenso wie die Transitionen zwischen diesen Systemstati. Diese Systemstati und Transitionen werden in der Systembeschreibung ausführlich erläutert ebenso wie Anforderungen an die Anzeige der Systemstati sowie bordeigene fahrfremde Tätigkeiten, welche der Autobahn-Chauffeur dem Fahrer ermöglicht.

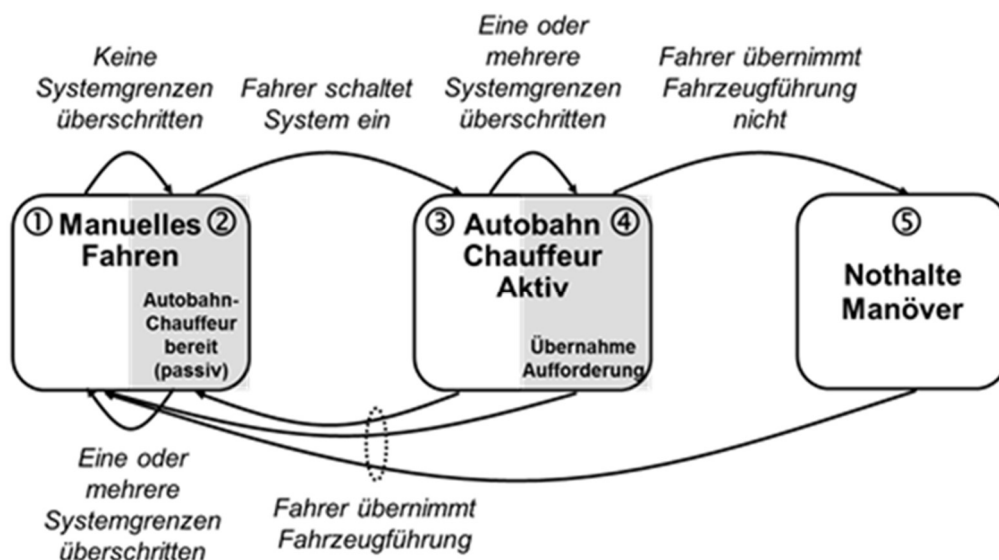


Abbildung 6 Vereinfachtes Systemstatusdiagramm eines Autobahn-Chauffeurs

#### 2.1.3.2.5. Fahrzeugumgebung

Zum Ableiten von Standardszenarien und kritischen Szenarien wird die Fahrzeugumgebung beschrieben, in der ein Autobahn-Chauffeur betrieben werden soll (straßenbauliche, verkehrs- und informationstechnische Infrastruktur), ebenso wie die Verkehrsteilnehmer und Hindernisse, mit denen der Autobahn-Chauffeur interagieren muss, sowie die Licht und Witterungsverhältnisse, welche ein Autobahn-Chauffeur bewältigen muss.

Anforderungen an die straßenbaulicher Infrastruktur: Bauliche Trennung zwischen den Richtungsfahrbahnen, durch z.B. Schutzplanken oder Betonschutzwände (Alternativ: Mehrere Meter breiter Mittelstreifen zwischen den Richtungsfahrbahnen), Auf- und Abfahren auf die Richtungsfahrbahn nur über Anschlussstellen, Wechsel der Richtungsfahrbahn an Kreuzen und Dreiecken nur über Anschlussstellen, Absicherung besonderer Gefahrenstellen am Fahrbahn-rand (Brückenpfeiler, Bäume, Abhang, etc.) durch Schutzplanken, in der Regel vorhandene und gut gewartete Markierungslinien, in der Regel Wildfangzäune, in der Regel ebene Fahr-bahn ohne Schlaglöcher, praktisch keine Fußgänger oder Radfahrer, Ampeln nur vor Tunnelleinfahrten.

Anforderungen an die verkehrstechnische Infrastruktur: Durch Verkehrszeichen oder Wechsel-verkehrszeichen sollen Geschwindigkeitsbeschränkungen, Gefahrenstellen, Fahrbahnverengungen, Überholverbote, Seitenstreifenfreigabe und Absicherungsfahrzeuge gut wahrnehmbar und rechtzeitig angezeigt werden.

Anforderungen an die informationstechnische Infrastruktur: Der Autobahn Chauffeur soll aktuelle Verkehrsinformationsdaten und Kartendaten von einem Datenserver über eine Einrichtung zur Infrastruktur-Fahrzeug-Kommunikation erhalten.

Verkehrsinformationsdaten beinhalten temporäre Ereignisse und quasistatische Objekte auf dem unmittelbar vorausliegenden Streckenabschnitt, wie z.B. Gefahrenstellen, Baustellen, eingeschränkte Sichtweite, schlechtes Straßenwetter, zäh fließender Verkehr, Stauende, temporäre Fahrbahnverengung, Falschfahrer, Absicherungsfahrzeuge sowie temporäre Seitenstreifenfreigabe.

Kartendaten beinhalten permanente Merkmale des Straßennetzwerkes, wie z.B. Land, Straßenklasse Maut- und Zollstellen, Straßengeometrie (Verlauf, Steigung, Gefälle), Straßenquerschnitt (Fahrbahn mit Fahrtrichtung, Fahrstreifen mit Anzahl und Breite), permanente Fahrbahnverengung, permanente Seitenstreifenfreigabe, scharfe Kurve, unebene Fahrbahn, Anschlussstellen, Markierungslinien (Abstand, Breite, gestrichelt / durchgezogen), Landmarken (Typ, Position, Merkmale), relevante und irrelevante Geschwindigkeitsbeschränkung inkl. Zusatzzeichen, relevante und irrelevante Überholverbote inkl. Zusatzzeichen.

### 2.1.3.2.6. Systemgrenzen

Zum Ableiten von Automationsrisiken werden die Systemgrenzen des Autobahn-Chauffeurs beschrieben.

Der Autobahn-Chauffeur soll die Grenzen seines Wirkbereichs (sog. funktionale Systemgrenzen) erkennen können. Werden diese erreicht, dann soll er den Fahrer mit ausreichender Zeitreserve zur Übernahme auffordern. Funktionale Systemgrenzen sollen vom Autobahn-Chauffeur möglichst frühzeitig erkannt werden, damit der Fahrer nach der Übernahmeaufforderung genügend Zeit hat, die Fahrzeugführung wieder übernehmen zu können.

Funktionale Systemgrenzen werden dem Fahrer per Instruktion in der Bedienungsanleitung bekannt gemacht. Wenn der Fahrer fährt, und eine funktionale Systemgrenze überschritten ist, dann darf der Fahrer das System nicht aktivieren. Wenn der Fahrer dieser Pflicht nicht nachkommt, versucht das System, dieses Fehlverhalten des Fahrers so gut es kann zu kompensieren (im Folgenden jeweils mit „idealerweise“ benannt), z.B. indem es eine Aktivierung verhindert.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der funktionalen Systemgrenzen des Autobahn-Chauffeurs. In der Systemspezifikation werden diese ausführlich beschrieben.

<i>Systemgrenze</i>	<i>Bemerkung</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schneller als Richtgeschwindigkeit</li> </ul>	Muss ein menschlicher Fahrer beim Fahren auf der Autobahn bewältigen. Für den Anwendungsfall des Autobahn-Chauffeurs jedoch ausgeschlossen.
Nicht auf Richtungsfahrbahn einer Autobahn <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anschlussstelle</li> <li>- Tank- &amp; Raststelle</li> <li>- Verbindungsrampe</li> <li>- Überführungsbauwerke</li> <li>- Stadt-, Land-, oder Bundesstraßen</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baustelle</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maut &amp; Zollstelle</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anhängerbetrieb</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatzfahrzeuge</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weisung durch Polizeibeamten</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrzeugstatus nicht ordnungsgemäß                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bremsen stark überhitzt</li> <li>- Niedriger Tankfüllstand</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlechter Straßenzustand                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Starke Straßenglätte</li> <li>- Starke Schlaglöcher</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Sichtweitereinschränkung</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falschfahrer</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrstreifenwechsel bei extrem dichtem Verkehr</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückwärts fahren</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tür offen</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrer nicht auf Sitz</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrer ohne Grundvigilanz</li> </ul>	Außerhalb des Anwendungsfalls liegen, unabhängig davon, ob der Fahrer oder der Autobahn-Chauffeur fährt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Verdeckung der Umfeldsensoren</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technischer Defekt einer betriebsrelevanten Komponente</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Netz</li> </ul>	Neue, spezifische Systemgrenzen des Autobahn-Chauffeurs. Gab es vorher nicht.

Tabelle 3: Übersicht der funktionalen Systemgrenzen



## **2.2 TP2 Umsetzungsprozesse**

### **2.2.1 Zielsetzung und Struktur**

Vor dem Hintergrund der Freigabeherausforderung war das Ziel, den vorhandenen Entwicklungsprozess darzustellen und Vorschläge für Anpassungen dieses Prozesses zur Lösung der Freigabeherausforderung einzubringen.

### **2.2.2 Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves**

Der Arbeitsschwerpunkt von Continental Teves lag im UAP 2.1.1 in der Analyse bestehender Prozesse bei der Entwicklung konventioneller Fahrzeuge und solchen mit teilautomatisierten Systemen. Basierend auf dieser Analyse lag der Fokus von Continental Teves arbeiten auf der Definition eines Vorschlags für eine Prozessanpassung, die speziell die Lebenszyklusphase des Betriebs bzw. der Wartung betrifft. Dieser Vorschlag ist unten dargestellt.

Die Arbeiten von Continental Teves in Bezug auf UAP 2.3.1 der Definition der Vorgaben/Leitlinien für eine Testspezifikation haben sich beschränkt auf die Inhalte der Testfahrer Spezifikation. Da es sich bei den genauen Inhalten um ein nicht öffentliches Dokument handelt, wurden zwar die Informationen im Projekt geteilt. Das Zusammenführen und Konsolidieren oblag jedoch dem Projektpartner Opel AG. Im Folgenden sind die Ergebnisse nur abstrakt beschrieben.

## 2.2.3 Erreichte Ergebnisse

### 2.2.3.1 UAP 2.1.1. Analyse bestehender Prozesse bei der Entwicklung konventioneller Fahrzeuge und solchen mit teilautomatisierten Systemen

#### 2.2.3.1.1. Aktuelles Entwicklungsmodell (V-Modell)

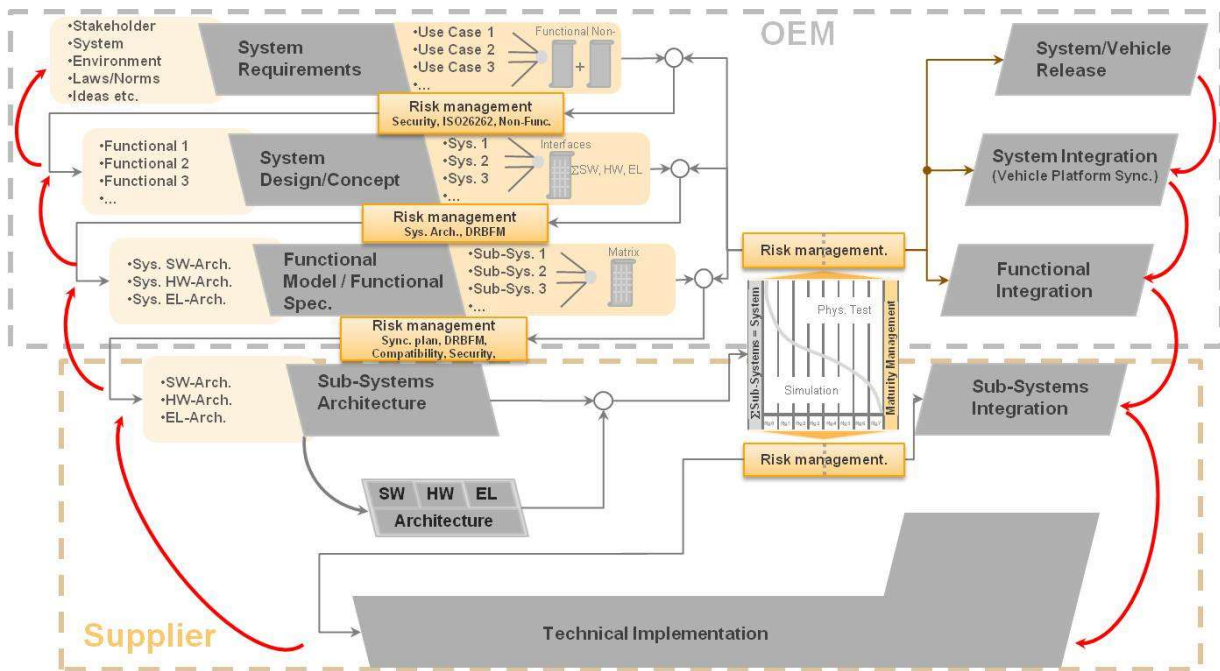


Abbildung 7 Darstellung des aktuell üblichen Vorgehens nach V-Modell

Das aktuelle V-Modell aus Abbildung 7 wurde bereits in früheren Berichten erläutert. Aus unserer Sicht enthält dies ein bewährtes Vorgehen, das in Systems Engineering Lehrbüchern umfassend beschrieben wird. Dies ist auch weiterhin auf die Produkte der Automobilindustrie anzuwenden. Der Einsatz von agilen Methoden für die Entwicklung ist aktuell bei Continental im Einsatz. Inwieweit agile Methoden das Vorgehen nach dem V-Modell für die Entwicklung von hochautomatisierten Fahrzeugen ersetzen können, ist aktuell noch offen. Gegebenenfalls ist eine Kombination beider Ansätze eine Möglichkeit.

In dem vorhandenen Vorgehen nach dem V-Modell, z.B. im Lebenszyklus der ISO 26262 erläutert, sind auch Aktivitäten während der Nutzung vorgesehen. Dazu gehören Maintenance & Service. Außerdem ist zusätzlich ein Safety Management für die Zeit nach SoP gefordert: *The organization shall institute, execute and maintain a field monitoring process with respect to functional safety.* [6]

Allerdings sind die aktuell vorhandenen und erwähnten Aktivitäten aus unserer Sicht nicht ausreichend, um die Freigabeherausforderung für hochautomatisiertes Fahren zu lösen. Die Argumentation dafür erfolgt im nächsten Abschnitt. Der darauffolgende Abschnitt stellt eine aus unserer Sicht zu erwartende Erweiterung des aktuellen Vorgehens vor. Dies ist ein Vorschlag, den wir in PEGASUS zur offenen Diskussion stellen.

### 2.2.3.1.2. Herausforderungen für den klassischen Entwicklungsprozess ab SAE L3+

Wie durch Wachenfeld, Walther (2017) [7] motiviert, ist die Hypothese, dass das aktuelle Entwicklungsmodell in der Automobilindustrie für SAE L3+ Systeme zu erweitern ist. Die Herausforderungen, die vom aktuellen Entwicklungsmodell nur minimal adressiert werden, bilden zugleich die Motivation für diese Erweiterung und sind in den nächsten drei Unterkapiteln erläutert.

#### Die statistische Unsicherheit von SAE L3+ Systemen bis SoP

Trotz aller Aktivitäten verbleibt Prinzip bedingt eine statistische Unsicherheit bzgl. der Sicherheit automatisiert fahrender Fahrzeuge (SAE L3+) bis SoP, aus den folgenden Gründen:

- Der erste Grund, dass wir keine statistische Sicherheit bis SoP erreichen werden, ist, dass wir nicht in der Lage sein werden, ausreichend Distanz mit dem Testobjekt im realen Straßenverkehr zu fahren. Der Mensch als Referenz ist relativ gut und erreicht ein hohes Level an Sicherheit im Straßenverkehr. Das bedeutet, dass beispielsweise mehr als 600 Millionen km zwischen zwei Unfällen mit Todesfolge liegen. Der statistische Nachweis, dass automatisiertes Fahren dieses hohe Maß an Sicherheit erreicht, wird durch ökonomische Einschränkungen der Realfahrt verhindert. Folglich, obwohl wir so viel prüfen wie praktikabel sein wird, wird vor SoP eine statistische Ungewissheit bleiben. Der so genannte *makroskopische Ansatz (Realfahrt und Zählung von Ereignissen + Statistik)* ist nicht in der Lage, diese Ungewissheit vor der Markteinführung zu klären. Dies ändert sich mit der Einführung einer Flotte von Fahrzeugen zum Serienstart.
- Leider gilt die gleiche Herausforderung für den mikroskopischen Ansatz. Mit dem mikroskopischen Ansatz sind die Verifizierungs- und Validierungsaktivitäten gemeint, die auf definierten Testfällen basieren und entwickelte Testwerkzeuge einsetzen. Zum Beispiel: Bei der Verwendung von Software-in-the-Loop (SiL) wird das System-under-Test (SuT) analysiert, Testfälle werden definiert und die SiL wird zur Durchführung des Tests verwendet. Bei der Festlegung dieser Testfälle und beim Aufbau dieser Test-Tools ist die Vereinfachung der Realität, um die Komplexität zu bewältigen, notwendig. Nicht alle Kombinationen von Wetter, Beleuchtung, Fahrzeugformen, etc. werden getestet. Wir leiden unter wirtschaftlichen Beschränkungen, können also nicht alles testen und jedes Detail der Realität für SiL modellieren. Das ist vernünftig und sollte sowieso nicht das Ziel sein. Obwohl Validierungsaktivitäten für Testfälle und Test-Tools durchgeführt werden, bleibt eine statistische Unsicherheit bestehen. Auch der mikroskopische Ansatz ist nicht in der Lage, diese Unsicherheit zu umgehen.

#### Die zeitliche Varianz der Realität

Die Realität verändert sich im Laufe der Zeit kontinuierlich aus den folgenden Gründen:

- Die Umwelt, die Infrastruktur sowie Objekte verändern sich, und sogar völlig neue Elemente, Materialien, Formen, Reflexion u.a. werden eingeführt, z.B. LED-Scheinwerfer, Pedelec, Segway, Hoverboard, i3's mit Carbon Fiber Shell.
- Das Fahrzeug selbst ändert sich, z.B. Verformung durch Unfälle, Alterung von Komponenten, Reparaturen.

#### Die Evolutionsstrategie hin zu SAE L5 Systemen

Die Strategie der heutigen OEMs ist die Entwicklung zu höheren Automatisierungsleveln. Für diese Evolution sind zwei Hauptachsen zu sehen:

- Die Verfügbarkeit: Die ersten hoch automatisierten Fahrzeuge werden durch Örtlichkeiten, Wetter, Beleuchtung etc. begrenzt. Sie werden ihre Verfügbarkeit erweitern, um die volle Verfügbarkeit zu erreichen. Dies könnte für nächste Fahrzeuggenerationen oder schneller durch Software-Releases realisiert werden. Zum Beispiel gehen wir davon aus, dass der erste Chauffeur auf bestimmte Wetterbedingungen, Höchstgeschwindigkeit und Betriebsbereiche beschränkt ist. Dies könnte jedoch im Laufe der Zeit geändert werden.
- Der Automatisierungsgrad: Es könnte eine Strategie sein, ein Fahrzeug mit dem Ziel zu verkaufen, AD4 oder sogar AD5 zu erreichen, aber es als AD2-Fahrzeug vorzustellen und zu verkaufen. (AD2 → AD3 → AD4 → AD5)

### 2.2.3.1.3. Erweiterungsvorschlag des Entwicklungsprozesses

Um mit den im vorherigen Kapitel erläuterten Herausforderungen umzugehen, die durch SAE L3+ Systeme hervorgerufen werden, gehen wir davon aus, dass die im Folgenden ausgearbeiteten Erweiterungen an dem Entwicklungsmodell (V-Modell), Erweiterungen an den Produktreifegraden sowie Erweiterungen an dem Risikomanagement zu erfolgen haben. Da die Herausforderungen nicht nur Auswirkung auf die Fahrzeug-L0-Ebene haben, erscheint es außerdem als sinnvoll, eine industrieweite Anpassung des Vorgehens anzustreben. Beispielsweise sind auch die Subsystemebene, Fahrfunktionen oder Radarsensoren von den Herausforderungen direkt betroffen. Dieses gemeinsame Vorgehen soll hiermit initiiert werden und eine konstruktive Anpassung der Entwicklungsprozesse entsprechend der Herausforderungen starten.

#### Erweiterung des aktuellen Entwicklungsmodells (V-Modell)

Ziel ist die Erweiterung des aktuellen Entwicklungsmodells für die „Einführungsstrategie begleitende Entwicklung“ (VEbE). Zu dieser VEbE gehören drei grundlegende Elemente, die aktuell nicht oder nur geringfügig im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden:

- ii. Limitierung der Nutzung
- iii. Informationsgewinnung
- iv. Beschleunigtes Lernen & Verbessern nach V-Modell

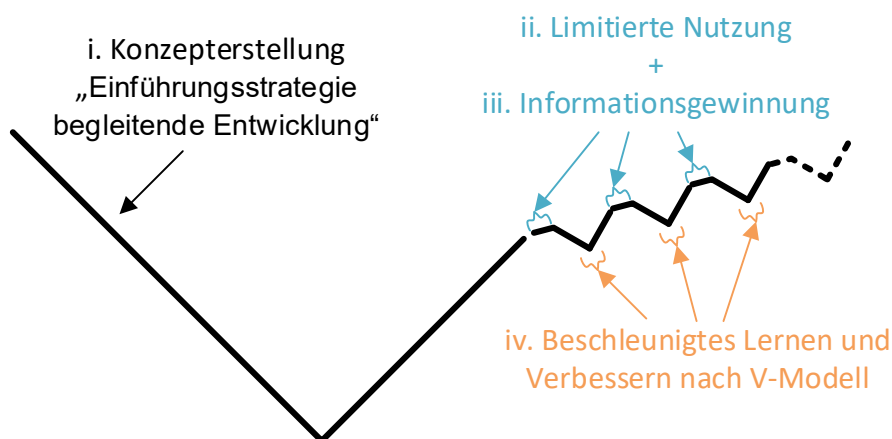


Abbildung 8: Vereinfachte Abbildung der Erweiterung des V-Modells zum VEbE-Modell

Diese drei Elemente haben zusätzlich Auswirkung auf die Arbeitsschritte im klassischen Entwicklungsmodell (V-Modell). Um diese explizit zu machen, wird folgendes Element in Abbildung 8 erwähnt und nachfolgend erläutert.

- i. Konzepterstellung der Einführungsstrategie begleitenden Entwicklung

Im Folgenden beschreiben wir die vier zu erwartenden Erweiterungen des V-Modells grundlegend.

Ziel der VEbE ist es, die unter Kapitel 2 [7] erläuterten Herausforderungen zu adressieren. Das Konzept, um diese Herausforderungen zu adressieren, ist auf den verschiedenen Systemebenen sowohl organisatorisch als auch technisch bereits während der Designphase zu erarbeiten. Diese Designphase ist heute, sodass wir damit heute beginnen müssen.

Während der Designphase sind die in den folgenden Kapiteln 3.1.2-3.1.4 [7] beschriebenen Elemente auszuarbeiten und somit in den gesamten Entwicklungsprozess zu integrieren. Die Stakeholder sind zu definieren, Anforderungen abzuleiten, diese zu validieren, die Systemar-

chitektur ist entsprechend anzupassen, die benötigten Fahrzeug- und Infrastrukturfunktionen sind umzusetzen, zu verifizieren und zu validieren.

Wichtig ist dabei, dass es sich nicht ausschließlich um Funktionen des Fahrzeugs handelt, sondern um ein dazugehöriges Vorgehen, das ebenfalls zu entwickeln ist.

## ii. Limitierung der Nutzung

Dafür ist es notwendig, die Anforderungen aller Stakeholder der Einführungsstrategie und entsprechenden Entwicklungsschritten zur Limitierung, Informationsgewinnung und dem beschleunigten Lernen zu erfassen. Zu diesen Stakeholdern gehören unter anderen die OEMs, genauso wie die Zulieferer von Komponenten, die für den sicheren Betrieb der Hochautomatisierten Fahrfunktionen relevant sind, sowie ggf. eingesetzte Service Unternehmen, Datenschutzbeauftragte, zulassende Stellen und natürlich der Nutzer.

Um die verbleibende statistische Unsicherheit bzgl. der Safety Performance proaktiv zu adressieren, gehen wir davon aus, dass eine Limitierung der Nutzung gemäß des nachfolgenden Beispiels umzusetzen ist.

Prinzipiell ist es möglich, die Nutzung in den verschiedensten Dimensionen (Wetter, Geschwindigkeit, Anzahl, Automationslevel, räumlich, usw.) zu limitieren. Daraus ergeben sich eine unüberschaubare und nicht mehr händelbare Anzahl von Möglichkeiten. Da jedoch die verschiedensten Stakeholder diese Limitierung entwickeln, zulassen und nutzen müssen, ist hierbei eine gemeinsame eindeutige Definition und Erläuterung notwendig. Es folgt dafür ein Vorschlag, der in PEGASUS abzustimmen ist.

Für die Adressierung der statistischen Unsicherheit durch das IV&V Konzept von Continental werden die übergeordneten Dimensionen I. „Funktionsrahmen“, II. „Aktionsverantwortung“, III. „Durchdringung“ benötigt und werden deshalb hier vorgeschlagen.

### Die Limitierung des Funktionsrahmens:

Im Sinne der Limitierung des Funktionsrahmens gibt es eine Vielzahl von Bedingungen, die den Funktionsrahmen ausmachen können. Beispielhafte Bedingungen wären:

1. Egogeschwindigkeit bedingt
2. Räumlich bedingt
3. Zeitlich bedingt
4. Witterungsbedingt
5. Ereignisbedingt
6. Sonstige Bedingungen

Um eine möglichst schnelle und flexible Einführung entsprechend den Fähigkeiten der Systeme zu ermöglichen, schlagen wir für diese Dimension keine Definition der konkreten Ausprägungen vor, sondern lediglich eine Definition der oben erwähnten Bedingungen für eine Limitierung. Damit wären beispielsweise sehr unterschiedliche Einführungsstrategien mit inkrementellen Evolutionsstufen einheitlich darstellbar:

#### A. A5-Chauffeur:

1. 130 km/h
2. Autobahn A5
3. 10-12Uhr & 14-16Uhr
4. Kein Nebel, Regen, Schnee oder sonstige Partikel in der Luft, Temperatur über 5°C
5. Alle Ereignisse außer normalem Autobahnverkehr sind ausgeschlossen (Baustellen, Einsatz von Fahrzeugen mit Sondererlaubnissen, Sperrungen, etc.)
6. Es gibt durch verschiedene Autoritäten die Möglichkeit die automatisierte Fahrfunktion zu deaktivieren.

#### B. Frankfurt-Berlin-Chauffeur:

1. 80 km/h
2. Autobahnen A2, A4, A7, A9, A66
3. 0-24 Uhr
4. Kein Nebel, Regen, Schnee oder sonstige Partikel in der Luft, Temperatur über 5°C

5. Alle Ereignisse außer normalem Autobahnverkehr sind ausgeschlossen (Baustellen, Einsatz von Fahrzeugen mit Sondererlaubnissen, Sperrungen, etc.)
6. Es gibt durch verschiedene Autoritäten die Möglichkeit die automatisierte Fahrfunktion zu deaktivieren.

Die Limitierung der Aktionsverantwortung je Funktionsrahmen

In jedem Funktionsrahmen wird aufgrund der statistischen Unsicherheit vorgeschlagen, die Limitierung der Aktionsverantwortung in folgenden Evolutionschritten umzusetzen:

1. L0 Shadowing für L2 Funktion
2. L2 Shadowing für L3 Funktion
3. L3 Shadowing für verbesserte L3 Funktion

Mit dem 1. „L0 Shadowing für L2 Funktionen“ ist der Einsatz der Shadowing Methode für die Freigabe von L2 Funktionen gemeint. Bei diesem Evolutionsschritt führt der Mensch die Aktionen aus und ist somit Aktionsverantwortlicher. Im Verkehr stellt sich dies als L0 Fahrzeug dar. Prinzipiell ist diese Evolutionsstufe nicht zwingend notwendig, wird allerdings als vielversprechende Möglichkeit gesehen um den Freigabeaufwand für L2 Systeme auf dem Weg hin zu L3 Systemen gesehen.

Die zweite Stufe „L2 Shadowing für L3 Funktionen“ stellt entsprechend dieser Logik ein L2 im Verkehr dar. Die Automation setzt die Fahraufgabe um; der Mensch ist jedoch Überwacher und hat die Pflicht, einzugreifen und behält damit die Verantwortung.

Die dritte Stufe wird benötigt, um die hochautomatisierte Fahrfunktion weiter zu optimieren, da wir davon ausgehen, dass Unbekannte im System enthalten sein werden, die wir mit diesem Evolutionsschritt effizient berücksichtigen können. L3 Shadowing für verbesserte L3 Funktion bedeutet also, dass eine bereits freigegebene L3 Automation das Fahrzeug führt und somit die Aktionsverantwortung besitzt. Die verbesserte L3 Funktion befindet sich zu diesem Zeitpunkt noch in der Validierungsphase.

Diese drei Evolutionsschritte bilden eine logische Kette, die im Folgenden dargestellt ist. Diese beginnt mit SoP und endet mit der unlimitierten Nutzung der L3 Funktion für den entsprechenden Funktionsrahmen. Je Funktionsrahmen ist diese Kette zu durchlaufen. Die zusätzlichen Limitierungen der Stückzahl ergeben sich aus der Limitierung der Durchdringung, die im nächsten Absatz erläutert wird.

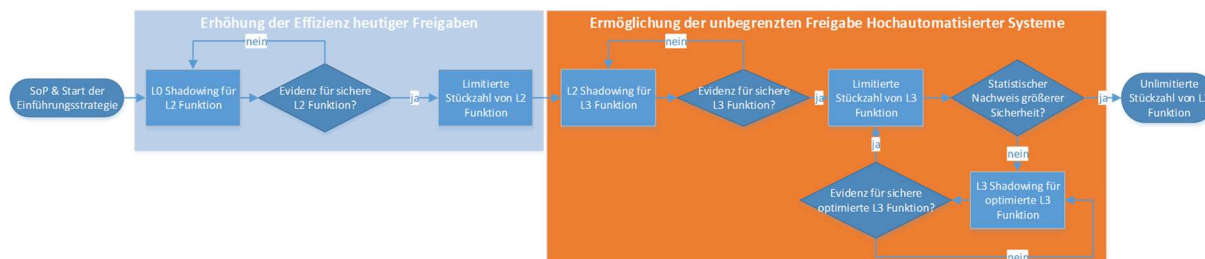


Abbildung 9 Einführungsstrategie unter Verwendung von Shadowing

Limitierung der Durchdringung je Aktionsverantwortung und Funktionsrahmen

Aufgrund der statistischen Unsicherheit während der Einführung, die auch durch die Shadowing Ansätze nicht umfassend behoben werden kann (Der Beobachter beeinflusst immer die Realität. Nach Heisenberg), ist zusätzlich eine unsicherheitsbasierte Limitierung der Durchdringung notwendig. Mit einer Limitierung der Durchdringung der automatisierten Fahrt durch bspw. eine Begrenzung der von allen Fahrzeugen gefahrenen mittleren Geschwindigkeit oder der Anzahl von Fahrzeugen oder der Anzahl gleichzeitig aktivierter automatisierter Systeme wird das gesellschaftliche Risiko limitiert. Das gesellschaftliche Risiko wird hier als das Risiko der Verkehrsteilnehmer in der Nähe der automatisierten Fahrzeuge verstanden. Wird die Anzahl automatisiert fahrender Fahrzeuge limitiert, wird somit die Gesellschaft nur in begrenztem Maße dem automatisierten Fahrzeug ausgesetzt (Exposure to Risk). Wie eine solche unsicherheitsbasierte Limitierung der Durchdringung aussehen könnte, ist in Wachenfeld,

Walther (2017): How Stochastic can Help to Introduce Automated Driving. Technische Universität Darmstadt in Kapitel 3 und 5.4 erläutert.[7]

Die Argumentative sowie organisatorische Umsetzung im PEGASUS Gesamtkonzept ist im Projekt zu diskutieren.

iii. Informationsgewinnung

Wie oben dargestellt, soll die Limitierung keine statische Limitierung sein, sondern basierend auf neuen Informationen die Einführung der automatisierten Systeme proaktiv unsicherheitsbasiert gestalten, um zeitnah eine bzgl. der Sicherheitsbedenken unlimitierte Einführung zu ermöglichen. Um die neuen Informationen zu gewinnen und damit die sich daraus ergebende hoffentlich geringere Unsicherheit in die Limitierung einfließen zu lassen, ist die Informationsgewinnung durch alle Stakeholder zu gestalten.

Entsprechend der zuvor erarbeiteten Strategie sind verschiedene Informationen zu generieren. Dazu könnten z. B. die Nutzung anhand der gefahrenen Kilometer, die Zahl von Ereignissen (Unfälle, Falschsensierungen, etc.), aber auch identifizierte Szenarien für die Datenbank oder ähnliches gehören.

Um diese Informationen zu gewinnen, sind somit die Fahrzeuge entsprechend zu entwickeln und die organisatorische Struktur ist aufzubauen, um diese Informationen zu verwerten. Dazu gehört, das Zugänglichmachen der Informationen, die Anpassung der Limitierung der Nutzung und das beschleunigte Lernen und Verbessern der Funktion nach dem V-Modell, wie im Folgenden erläutert wird.

iv. Lernen & Verbessern nach V-Modell

Da wir mit einer gewissen Unsicherheit in die Produktion gehen und hiermit einen Prozess aufsetzen, um diese Unsicherheit zu beseitigen, müssen wir die zusätzlich gewonnenen Informationen in den Entwicklungsprozess einbinden. Das bedeutet, dass wenn die Informationsverarbeitung zu dem Ergebnis kommt, dass das bereits entwickelte Fahrzeug sicher ist, kann die Limitierung weiter gelockert werden.

Allerdings gibt es auch die Möglichkeit, dass aus der Informationsverarbeitung die Erkenntnis resultiert, dass das entwickelte Fahrzeug Schwächen besitzt. Ein einem V-Modell entsprechendes „kleineres/beschleunigtes“ Vorgehen, ist für diesen Fall zu definieren, der klärt wie mit dieser Information umgegangen wird. Entweder die Schwäche wird als nicht relevant für die Sicherheit bewertet, oder aber eine Anpassung des Systems hat entsprechend einem Entwicklungsprozess zu erfolgen. Das Ergebnis dieses Prozesses sollte idealerweise ein Over-The-Air Update sein, das entsprechend die Schwäche ausgleicht.

Außerdem durchzuführen ist eine Prüfung des hier beschriebenen  $V_{Ebe}$  Vorgehens und eine ggf. notwendige Anpassung. Es ist durchaus möglich, dass mit zusätzlichen Informationen, das Vorgehen als nicht mehr notwendig angesehen wird.

### **Erweiterung der Produktreifegrade**

Die vorhandenen Reifegrade sollten basierend auf der oben geführten Diskussion und dem vorhandenen Vorschlag zur Anpassung des Vorgehens an die notwendige Limitierung angepasst werden. Nach Freigabe für SoP sollte eine detaillierte Reifegradmatrix Limitierung der Durchdringung, der Aktionsverantwortung und des Funktionsrahmen erfassen. Zum Schluss steht die unlimitierte Freigabe L3, die in L4 und L5 übergeht.

### **Erweiterung des Risikomanagements**

Gezielt sind folgende Risikoaspekte im Risikomanagement zu untersuchen:

1. Die Einführungsstrategie ist ein Risikomanagement der durch die AD Funktion möglicherweise entstehenden Risiken.

Risiken, die durch die Einführungsstrategie entstehen und zu berücksichtigen sind:

2. „Einführungsstrategie begleitende Entwicklung“ entwickeln und Einsetzung und die dabei sich ergebenden Risiken sind proaktiv zu adressieren. Z.B. darf es nicht passie-

- ren, dass Arbeitsschritte, die vor SoP zu erledigen sind, durch die OTA Möglichkeit nach hinten verschoben werden.
3. Eine ökonomische Berücksichtigung des Open-End-Problems dieses Ansatzes ist erforderlich. Dieses Konzept ist nicht in Stein gemeißelt, sondern in vorgegebenen Abständen nach Einführung und mit neuen Informationen anzupassen. Ggf. sind heutige Annahmen über die Leistungsfähigkeit fehlerhaft, aber Einführung und Nutzung sind dennoch sinnvoll und akzeptiert.
  4. Der Umgang mit den Ergebnissen und Erkenntnissen der „Einführungsstrategie begleitende Entwicklung“ ist proaktiv zu planen. Ein Augenmerk ist darauf zu legen, was was passiert, wenn geringere Sicherheit nachgewiesen wird, bzw. was geschieht, wenn Ereignisse, wie z.B. Unfälle, auftreten.
  5. Erwartungsmanagement und Öffentlichkeitsarbeit bzgl. der Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge ist zu betreiben. Wir gehen davon aus, dass wir keine All-In Funktion verkaufen. Ein Umdenken der Kunden wird aus unserer Sicht notwendig sein.

### 2.2.3.2 UAP 2.3.1. Bewertung Limitationen eines szenariobasierten Ansatzes

Der Zweck des erstellten Dokuments besteht darin, Anforderungen an die Person zu definieren, die die Prototyp-Fahrzeuge mit SAE-L3- und L4-Fahrzeugautomation im geschlossenen Fahrmodus testen darf; d.h. mit einem aktivierten automatisierten Antriebssystem, das das Quer- und Längsverhalten des Fahrzeugs steuert. Dieses Dokument listet die Anforderungen an den Führerschein, einen Health Check, ein Fahrertraining, eine spezielle Fahrereinweisung, ein spezielles Fehlerfalltraining sowie eine Definition eines Prozesses zur Kommunikation zu Änderungen in Bezug auf die Versuchsträger auf.

## 2.3 TP3 Testen

### 2.3.1 Zielsetzung und Struktur

Das Hauptziel des Teilprojekt 3 bestand in der Darstellung des Zusammenspiels zwischen Szenarien, Labortests und Simulation, Prüfgeländetest sowie Feldabsicherung. Das Teilprojekt wurde in 4 Arbeitspakete unterteilt, die sich detailliert mit den einzelnen Elementen des Zusammenspiels auseinandersetzen.

In AP 3.1 lag dabei der Fokus auf dem Aufbau einer Testspezifikationsdatenbank. Die für die hochautomatisierte Fahrfunktion vor besondere Herausforderung stellenden Szenarien, welche in der Testspezifikationsdatenbank hinterlegt sind, sollten dabei exemplarisch in der Simulation und im Prüfgeländetest durchgeführt und ausgewertet werden, um so die Simulationmethodik zu verifizieren. Die Szenarien der Testspezifikationsdatenbank sollten unter anderem aus realen Verkehrsszenarien extrahiert werden.

Die große Anzahl möglicher Parameterkombinationen eines virtuellen Simulationsszenarios, welche einen möglichen Einfluss auf die HAF-Funktion haben, stellte eine neue Herausforderung an die Simulationsmethoden und Werkzeuge dar. In AP 3.2 wurden deshalb neue Methoden und Werkzeuge zur simulativen Absicherung von HAF-Funktionen erarbeitet, deren Nutzen untersucht und in eine Simulationstoolkette integriert.

Die in der Simulation durchgeführten Szenarien wurden in AP3.3 mittels Prüfgeländetests verifiziert, um damit die Simulationsmethoden zu validieren. Im Besonderen sollten sogenannten Edge Cases, also in der Simulation als besonders kritisch identifizierte Szenarien, auf dem Prüfgelände durchgeführt werden.

Die Fragestellung, wie eine Feldabsicherung im Zusammenspiel mit den vorgelagerten Simulations- und Prüfgeländetest gestaltet sein muss, wurde im AP3.4 Feldabsicherung beantwortet. Die für eine Feldabsicherung notwendige Messausstattung der Versuchsfahrzeuge wurde ebenfalls untersucht.



### 2.3.2 Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves

Die Erreichung des Hauptziels des Teilprojekts 3, eine durchgängige Toolkette zu etablieren, war der Arbeitsschwerpunkt von Continental in diesem Teilprojekt. Ein besonderer Fokus lag dabei auf dem Aufbau einer Simulationstoolkette, wobei neben einer Software-in-the-Loop Simulationsumgebung auch eine Hardware-in-the-Loop Umgebung aufgebaut und an die PEGASUS-Toolkette angebunden wurde.

Aus Simulationssicht besteht die PEGASUS-Toolkette dabei aus den folgenden Elementen:

- Testspezifikationsdatenbank
- Werkzeuge zum Einlesen der Szenarien und deren Parameterverteilungen
- Methoden zur Exploration des Parameterraums und zur Konkretisierung logischer Szenarien,
- Werkzeug zur Erzeugung von OpenDrive-Dateien aus einer höheren Beschreibungssprache heraus,
- Die Simulationsumgebung,
- In die Simulationsumgebung eingebundene HAF-Funktion SAE Level  $\geq 3$ ,
- In die Simulationsumgebung eingebundene Sensormodelle,
- Metriken zur Bewertung der Kritikalität des durchgeführten Simulationslaufs,
- Werkzeug zur Speicherung der Ergebnisse der Bewertungen
- Methoden und Werkzeuge zur Visualisierung der Ergebnisse

Continental setzte dabei als einziger Tier1 die PEGASUS-Toolkette mit den oben genannten Elementen in einer lauffähigen Implementierung um. Neben BMW ist Continental der einzige Projektpartner, der die Toolkette nach Projektvorgabe und mit allen Elementen aufgebaut hat. Aufgrund dieser Vorgehensweise beteiligte sich Continental ganzheitlich an der Entwicklung der PEGASUS-Toolkette, indem vor allem das Zusammenspiel der einzelnen Elemente während der Integration dieser getestet wurde. Dadurch ergab sich für Continental die Rolle eines Systemintegrators. Das Integrieren, Testen und Rückmelden an die Projektpartner stellte sich als sehr arbeits- und zeitintensiv heraus. Diese Tätigkeiten haben deshalb einen Schwerpunkt der Arbeiten im Teilprojekt 3 eingenommen.

Weiterhin beteiligte sich Continental an der Erstellung und weiteren Ausarbeitung von Szenarien. Basierend auf einem Vorschlag des IFR zur Nutzung von drei Abstraktionsgraden für Szenarien (funktional, generisch und konkret), wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern grundlegende funktionale Szenarien definiert. Continental hat dabei unter anderem das funktionale Szenario „Stauende“ ausgearbeitet.

### 2.3.3 Erreichte Ergebnisse

Abbildung 10 zeigt einen Ausschnitt der PEGASUS-Gesamtmethode. Dargestellt ist der Bereich der Bewertung der hochautomatisierten Fahrfunktion. Diese Abbildung zeigt auf hohem Abstraktionslevel die einzelnen Elemente, die zur Bewertung einer hochautomatisierten Fahrfunktion notwendig sind. Dabei ist sie unabhängig von einer konkreten Testumgebung (Software-in-the-loop, Hardware-in-the-loop oder Fahrversuch).

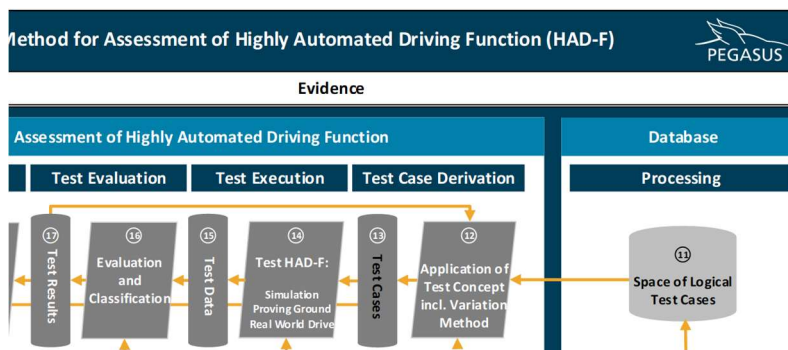


Abbildung 10 Darstellung der Simulationsmethodik

#### 2.3.3.1 Beschreibung der Methode zur Bewertung einer hochautomatisierten Fahrfunktion auf hohem Abstraktionslevel

Logische Szenarien, also Szenarien, in denen für gewisse Parameter Variablen, anstatt konkreter Zahlenwerte, hinterlegt sind, sind in einer Datenbank abgelegt. Diese werden an das Testkonzept weitergegeben. Dort erfolgt die Konkretisierung der hinterlegten Variablen, und es entsteht ein ausführbarer Testfall, welcher an die Ausführungsinstanz (Simulation, Fahrversuch, Realfahrt) übergeben und ausgeführt wird. Während der Testdurchführung werden Testdaten aufgezeichnet, die zur anschließenden Bewertung der Kritikalität des durchgeführten Testfalls verwendet werden. Die berechnete Kritikalität wird an das Testkonzept zurückgegeben, um Einfluss auf die Auswahl der für den nächsten Testfall zu verwendenden Parameterwerte zu nehmen. Durch diesen Aufbau entsteht eine Rückwirkung der Testbewertung auf die Testfallerstellung. Dies stellt einen wesentlichen Punkt in der PEGASUS-Methodik dar. Die beschriebene Methodik ist abstrakt und stark vereinfacht. Sie soll ein grundlegendes Verständnis liefern, ist für eine konkrete Umsetzung allerdings nicht ausreichend.

#### 2.3.3.2 Beschreibung der Simulationstoolkette zur Bewertung einer hochautomatisierten Fahrfunktion

Innerhalb des Projekts wurden, ausgehend von der abstrakten Beschreibung der Methodik, zwei Versionen einer konkreten, anwendbaren Simulationstoolkette erarbeitet. Im Folgenden wird nur auf die Simulationstoolkette in der Version 2 eingegangen. Die Version 1 ist der Vorgänger der Version 2 und besitzt einen geringeren, dafür allerdings einfacher zu implementierenden Funktionsumfang. Diese Toolkette beschreibt in einer tieferen und auch technischeren Ebene die notwendigen Bausteine zur Umsetzung der PEGASUS-Methodik. Da es den Projektpartnern freigestellt war, in welcher Weise sie zusammenarbeiten, wurde die Simulationstoolkette von den OEMs und Tier1s auf unterschiedlicher Weise technisch realisiert. Continental entschied sich für eine Zusammenarbeit mit der TraceTronic GmbH und deren Testautomatisierungstool ECU-Test, sowie für die IPG Automotive GmbH mit CarMaker als Simulationsprogramm. Abbildung 11 zeigt die gemeinsam mit den Projektpartnern entwickelte Simulationstoolkette in einer konkreten Repräsentation in der Architektur Version 2.

## PEGASUS Toolchain Architektur V2 Interface Flowchart

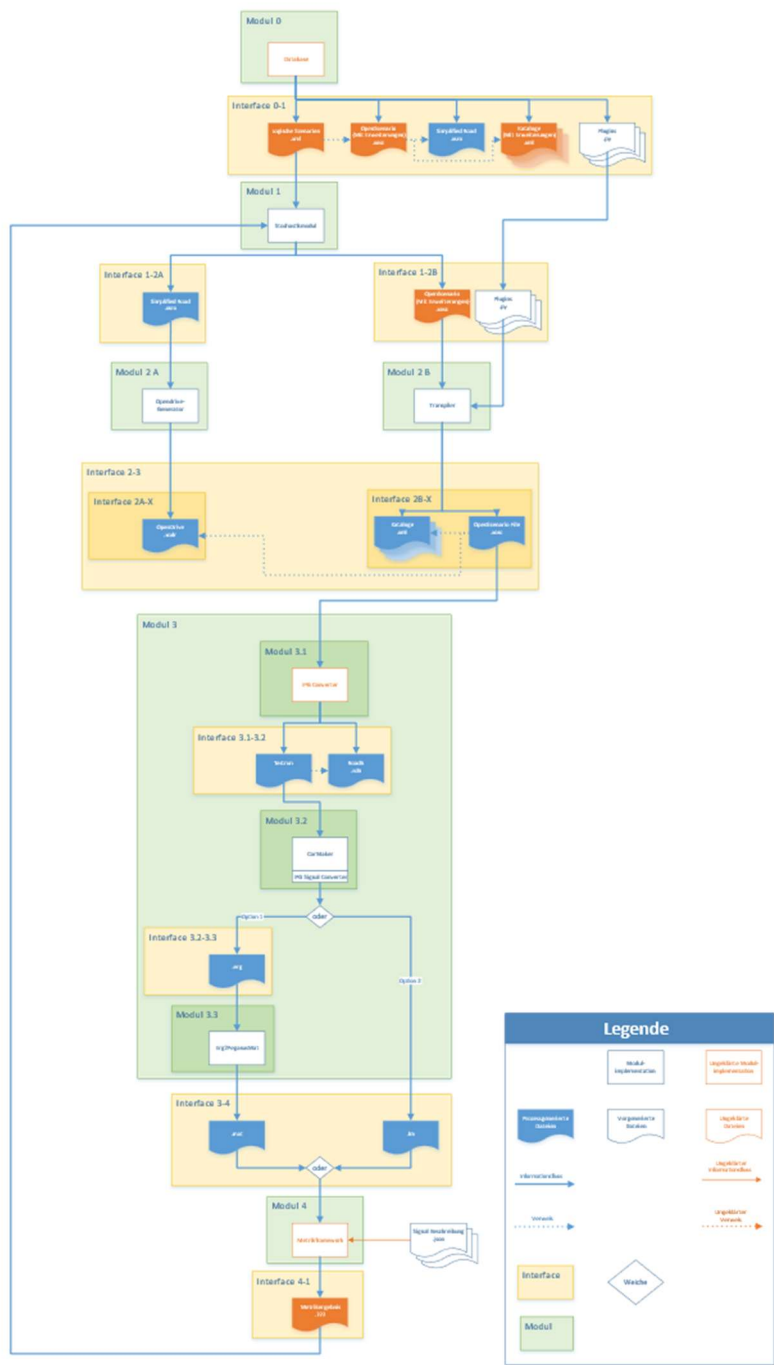


Abbildung 11: Konkreter Aufbau der Simulationstoolkette (Version 2)

### 2.3.3.2.1. Beschreibung der in der Toolkette verwendeten Dateien

Ein „logisches“ Szenario setzt sich, abhängig von der Position innerhalb der Toolkette, aus dem eigentlichen Szenario in Form einer OpenScenario-Datei und einer zum Szenario passenden OpenDrive-Datei, sowie einer Parameterverteilungsdatei zusammen. Bei OpenDrive und OpenScenario handelt es sich um offene und im Bereich der Simulation bereits eingesetzte Formate. OpenScenario lag zum Zeitpunkt des Projekts noch nicht in einer finalen Version vor. Dies zeigte sich unter anderem daran, dass gewisse Szenarien, mit dem damals verfügbaren Stand, nicht dargestellt werden konnten, bzw. diese auf sehr komplexe Art beschrieben werden mussten. Die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH (fka) entwickelte deshalb eine Erweiterung in Form von sogenannten Plugins. Diese Plugins sind Skripte, welche in der Programmiersprache Python geschrieben sind. Mit ihnen ist die Beschreibung komplexerer Szenarien auf einfachere Weise möglich. Die Python Skripte können von den verwendeten Simulationsprogrammen allerdings nicht verwendet werden und müssen deshalb mittels eines sogenannten Transpilers in OpenScenario überführt werden. Continental beteiligte sich maßgeblich am Test, der Fehlersuche und dem Erarbeiten von Besserung der Plugins und des Transpilers. Durch diese Arbeiten konnten mehrere Fehler entdeckt und korrigiert werden. Letztendlich konnte durch die Zusammenarbeit mit dem involvierten Projektpartner die Funktionsfähigkeit der Plugins und des Transpilers auf dem End Event demonstriert werden.

Einen ähnlichen Ansatz wählte man in Bezug auf die OpenDrive-Dateien zur Repräsentation der Fahrbahn. Eine OpenDrive-Datei hat einen sehr komplexen Aufbau, eine vorgesehene Variation der Fahrbahn, bspw. die Anzahl der Fahrstreifen, ist damit nicht möglich. Seitens des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) wurde dem Projekt ein OpenScenario-Generator zur Verfügung gestellt. Dieser generiert OpenScenario-Dateien aus sogenannten SimplifiedRoad-Dateien. SimplifiedRoad-Dateien haben einen deutlich höheren Abstraktionsgrad im Vergleich zu OpenDrive-Dateien. Die Anzahl der Fahrstreifen sind dort zum Beispiel als einfacher Parameter hinterlegt, während diese Information in OpenDrive in mehrere Zeilen xml repräsentiert wird. Continental beteiligte sich auch hier in der Integration des OpenDrive-Generators in die Toolkette, sowie im Test und bei der Fehlersuche. Im Vergleich zu den Plugins und des Transpilers verfügte der OpenDrive-Generator über eine deutlich höhere Reife. Dies zeigte sich in einer geringeren Fehlerzahl und der schnelleren, funktionsfähigen Integration in die Toolkette. Abbildung 12 zeigt alle in der Simulationstoolkette verwendeten Dateien, deren Formate und deren Verknüpfung miteinander. Die Abbildung gibt eine Vorstellung über die Komplexität des Zusammenspiels der einzelnen Dateien.

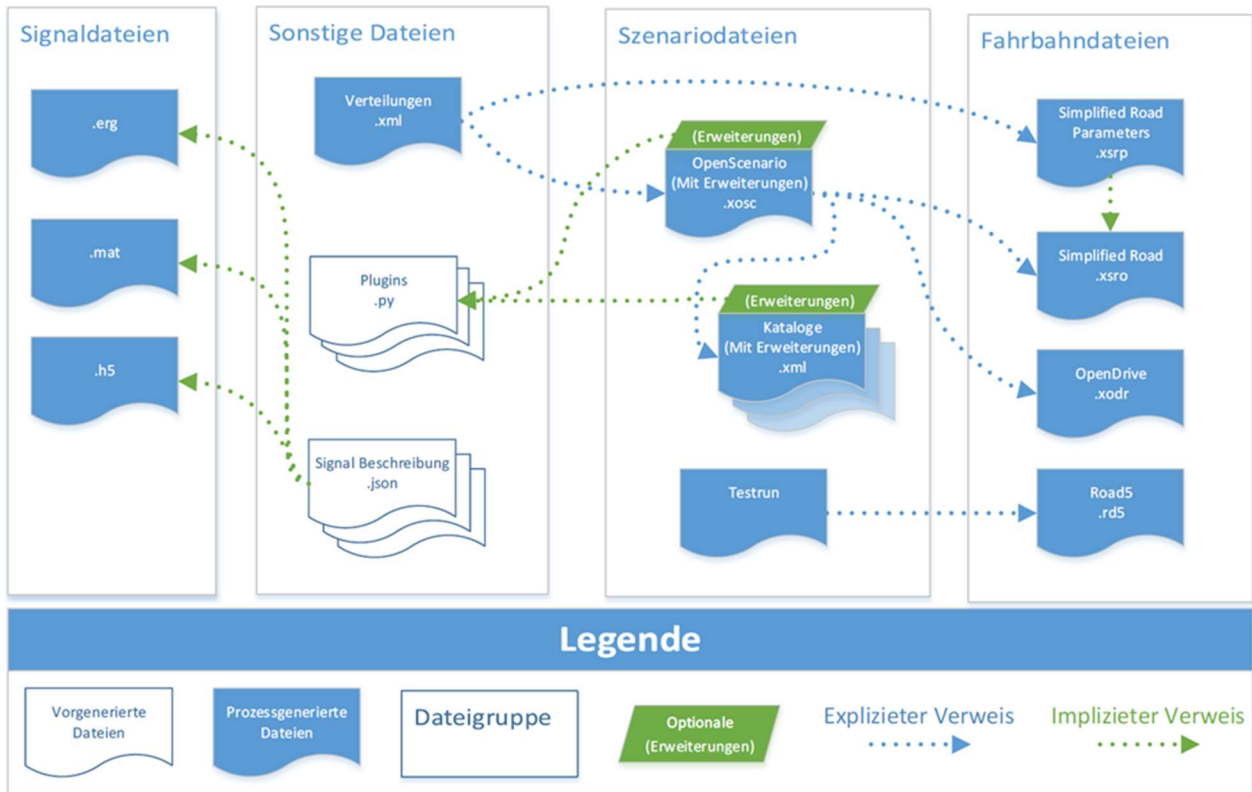


Abbildung 12: Verwendete Dateien und deren Verknüpfung miteinander

Die OpenDrive- und die SimplifiedRoad-Dateien enthalten, zur Umsetzung der PEGASUS-Methodik, Variablen für Parameter. Das Stochastik Modul, welches im späteren Verlauf die Variablen durch konkrete Zahlenwerte ersetzt, benötigt die Information darüber, aus welchem Zahlenbereich Werte ausgewählt werden dürfen. Diese Informationen sind in einer Parameterverteilungsdatei hinterlegt. Die Verteilungen der einzelnen Parameter wurden innerhalb der Datenbank aus verschiedenen Quellen ermittelt. Besonders von den Projektpartner zur Verfügung gestellte Realfahrten mit 360° Umfeld Sensorik wurden für die Extraktion der Verteilungen herangezogen. Die Abbildung 13 zeigt einen Auszug aus der Parameterverteilungsdatei am Beispiel des Parameters „L4\_Obj\_Position\_Initial“ welcher die initiale Objektposition beschreibt.

```

<parameterGroup name="Level 4 Parameters">
  <parameter name="$L4_Obj_Position_Initial" unit="m" type="double">
    <distribution>
      <bin lowerLimit="100.00" upperLimit="110.00" probabilityOfOccurrence="0.006143"/>
      <bin lowerLimit="110.00" upperLimit="120.00" probabilityOfOccurrence="0.046073"/>
      <bin lowerLimit="120.00" upperLimit="130.00" probabilityOfOccurrence="0.086880"/>
      <bin lowerLimit="130.00" upperLimit="140.00" probabilityOfOccurrence="0.116279"/>
      <bin lowerLimit="140.00" upperLimit="150.00" probabilityOfOccurrence="0.125055"/>
      <bin lowerLimit="150.00" upperLimit="160.00" probabilityOfOccurrence="0.105309"/>
      <bin lowerLimit="160.00" upperLimit="170.00" probabilityOfOccurrence="0.089952"/>
    </distribution>
  </parameter>
</parameterGroup>

```

Abbildung 13 Auszug aus der Parameterverteilungsdatei

### 2.3.3.2.2. Die Datenbank

Aus Sicht der Simulationstoolkette ist die Datenbank eine Quelle von verschiedenen für die Toolkette notwendigen Dateien. Informationen zu diesen Dateien sind im vorangegangenen Kapitel 2.3.3.2.1 detailliert beschrieben, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen wird. Die Zurverfügungstellung der einzelnen Dateien sollte in der finalen Version der Datenbank mittels Programmierschnittstelle (Application Programming Interface - API) möglich sein. Diese Schnittstelle stand während dem Aufbau und der Inbetriebnahme der Simulationstoolkette nicht zur Verfügung. Continental setzte sich dafür ein, alle zum Aufbau der Toolkette notwendigen Dateien, innerhalb eines auf Gitlab online verfügbaren Git-Repositories, den Projektpartnern verfügbar zu machen. Weiterhin erarbeitete Continental eine Datei- und Ordnerstruktur, welche mit den Projektpartnern abgestimmt und umgesetzt wurde. Die Struktur hat einen entscheidenden Einfluss auf die Komplexität, mit der die Simulationstoolkette automatisiert werden kann. Die umgesetzte Struktur sorgte für eine deutliche Vereinfachung im Vergleich zur Vorherigen.

### 2.3.3.2.3. Das Stochastik Modul

Die OpenScenario-, SimplifiedRoad- und die Parameterverteilungsdatei werden an das sogenannte Stochastik Modul übergeben. Dieses ist in das Testautomatisierungsprogramm ECU-Test integriert und wurde gemeinsam mit TraceTronic entwickelt. Die Hauptaufgabe des Stochastik Moduls besteht darin, die in den OpenDrive- und OpenScenario-Dateien enthaltenen Variablen durch konkrete Zahlenwerte aus der Parameterverteilungsdatei zu ersetzen. Die Besonderheit liegt in der Rückführung der Kritikalitätsbewertung aus vorherigen Simulationläufen, welche die Auswahl neuer Zahlenwerte beeinflusst. Ziel ist es, die Zahlenwerte so zu wählen, dass sich möglichst schnell und reproduzierbar „kritische“, also mit einer hohen Kritikalität, Szenarien ergeben.

Die Nutzung vergangener Simulationsergebnisse (Kritikalitätsbewertung) zur Steuerung des darauffolgenden Simulationslaufs (Closed-Loop-Parametervariation), stellte eine technische Neuerung dar, die es in dieser Form zum Projektstart noch nicht gegeben hat. Gängig waren zu diesem Zeitpunkt sogenannte Open-Loop-Parametervariationen wie beispielsweise „Pair-wise Testing“ oder „N-wise Testing“. Aber auch diese Verfahren, welche vor allem aus dem Bereich des Softwaretests stammen, wurden noch nicht mit Simulationsprogrammen zur systematischen Erzeugung von Simulationsszenarien verwendet. Es wurde deshalb zunächst mit der Umsetzung der Open-Loop-Parametervariation innerhalb des Stochastik Moduls begonnen. TraceTronic stellte den notwendigen Rahmen und eine Auswahl von Variationsmethoden zur Verfügung, während Continental für das Auslesen der OpenScenario-, der OpenDrive-, und der Parameterverteilungsdatei verantwortlich war. Des Weiteren war Continental für das Ersetzen der Variablen mit Zahlenwerten und das Abspeichern der Dateien verantwortlich. Nach der erfolgreichen Umsetzung der Open-Loop-Parametervariation wurden von TraceTronic und weiteren Projektpartnern Methoden und Verfahren zur Closed-Loop-Parametervariation untersucht. Verfahren, die sich aufgrund von theoretischen Untersuchungen und einfachen praktischen Experimenten als geeignet gezeigt haben, wurden in das Stochastik Modul integriert. Continental war dabei für die Integration und Erweiterung des Stochastik Moduls verantwortlich. Konkret wurde ein Partikelschwarmalgorithmus implementiert. Dabei handelt es sich um einen Optimierungsalgorithmus, bei dem ein konkretes Szenario als Partikel interpretiert werden kann. Ein Partikel besteht dabei aus konkreten Werten der in den OpenScenario-, SimplifiedRoad-Dateien enthaltenen Parametern.

Der Zusammenhang kann anhand eines einfachen Szenarios verdeutlicht werden. Das Szenario in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt ein dem Ego-Fahrzeug vorausfahrendes Fahrzeug, welches nach einer gewissen Zeit in den Stillstand bremst.

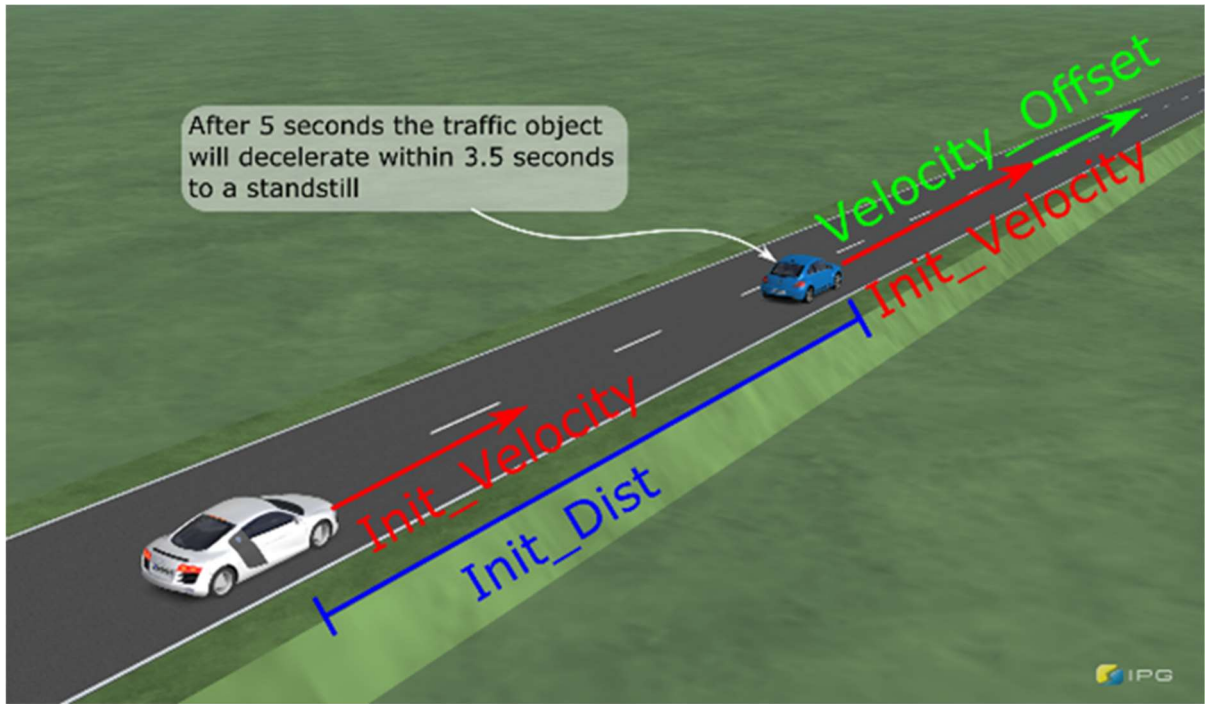


Abbildung 14: Einfaches Szenario zur Erklärung des Partikelschwarmalgorithmus

Das Szenario besteht aus den 3 Parametern `Init_Velocity`, `Init_Dist`, `Velocity_Offset`. Ein Partikel setzt sich somit aus den 3 Zahlenwerten der 3 Parameter zusammen. In diesem Szenario beispielsweise aus `Init_Velocity_E = 130`, `Init_Dist = 30`, `velocity_offset = 5`.

Die Abbildung 16 und 15 zeigen die gewählten Partikel in einer 2D-Darstellung.

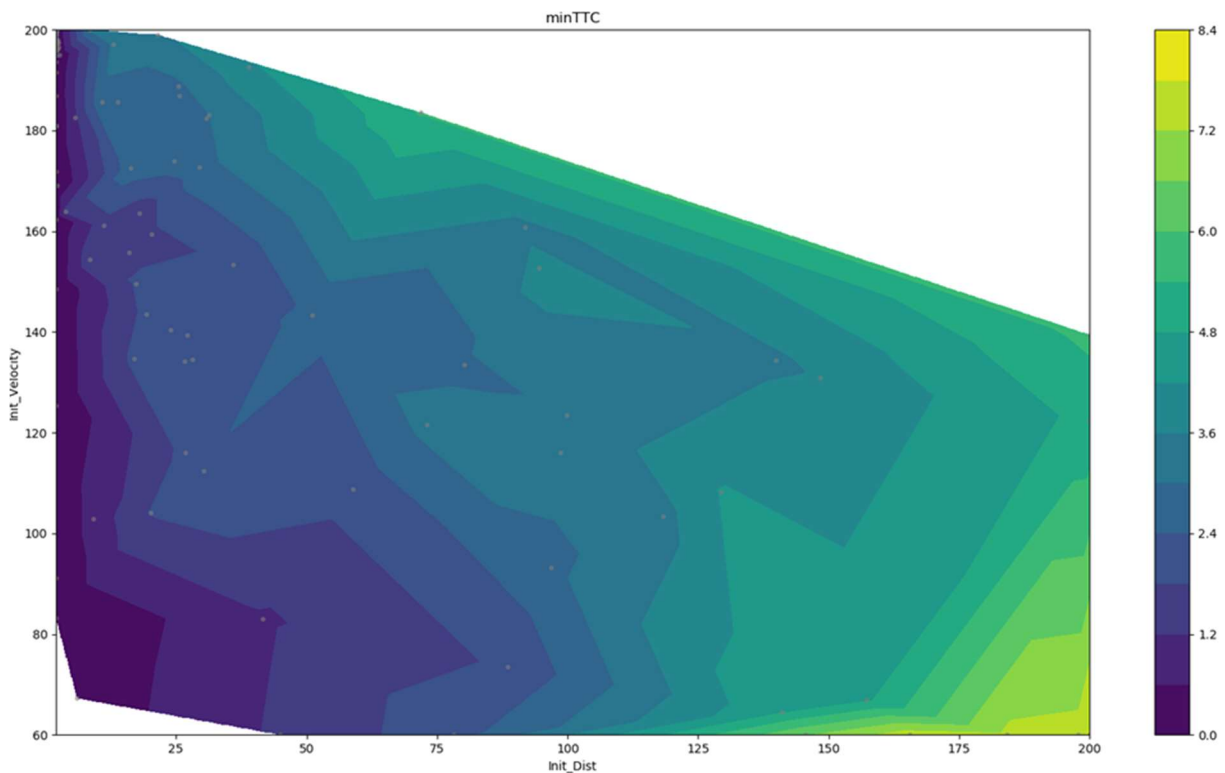


Abbildung 15: Partikel (graue Punkte) entsprechen einem durchgeführten Szenario

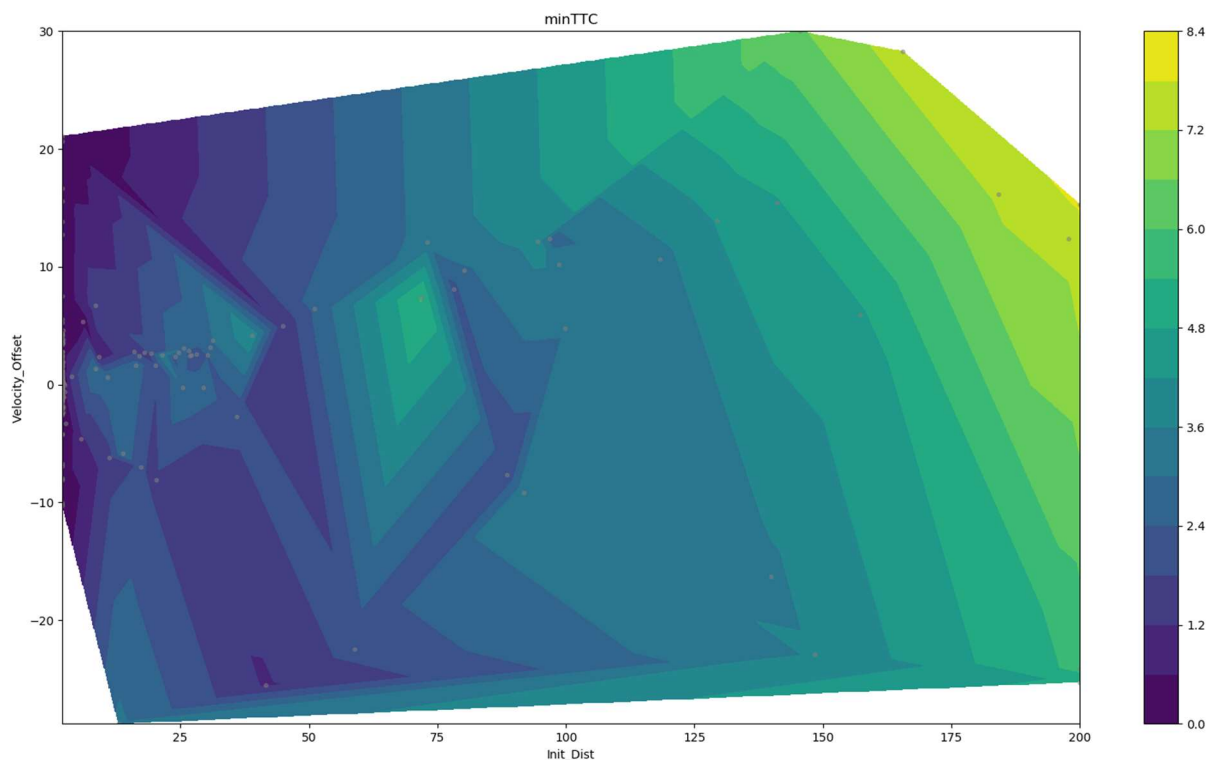


Abbildung 16 Partikel (graue Punkte) entsprechen einem durchgeführten Szenario

Im ersten Durchlauf werden die Partikel zufällig innerhalb der vorgegebenen Parameterräumen verteilt. Erst nachdem alle Partikel einmal simuliert wurden, wird die nächste Position des Partikels auf Grundlage des Ergebnisses des vorangegangenen Simulationslauf bestimmt. Die in Abbildung 16 und 15 farbigen Flächen geben die Kritikalität des Simulationslauf wieder. Je dunkler desto geringer ist das Ergebnis der Kritikalitätsmetrik (Time-to-Crash TTC) und somit kritischer das Szenario.

Die Closed-Loop-Parametervariation mittels Partikelschwarmalgorithmus konnte von Continental erfolgreich in die Simulationstoolkette integriert werden. Dies stellte einen wichtigen Schritt innerhalb des PEGASUS-Methodik dar. Logische Szenarien können somit, mittels des Stochastik Moduls, beziehungsweise im konkreten Fall mit dem darin integrierten Partikelschwarmoptimierers konkretisiert werden. Ein logisches Szenario ist damit in ein konkretes überführt worden.

#### 2.3.3.2.4. Datei Konvertierung

In Kapitel 2.3.3.2.1 wurde bereits auf die in der Simulationstoolkette verwendeten Dateien eingegangen. Das mittels Stochastik Moduls erzeugte konkrete Szenario beinhaltet Abhängigkeiten zu den Plugins, beziehungsweise die Fahrbahninformation liegt in Form einer SimplifiedRoad-Datei vor. Diese müssen nun mittels des Transpilers und des OpenDrive-Generators in OpenScenario- und OpenDrive-Dateien ohne weitere Abhängigkeiten konvertiert werden. Gemeinsam mit der TraceTronic GmbH wurden die beiden Konverter (Transpiler und OpenDrive-Generator) in die Testautomatisierungssoftware ECU-Test integriert. Continental war dabei für das Programmieren der Schnittstelle zu den Konvertern verantwortlich.

Zum damaligen Zeitpunkt des Aufbaus der Simulationstoolkette unterstütze das Simulationsprogramm CarMaker die Formate OpenScenario und OpenDrive nicht. Deshalb wurde ein von IPG zur Verfügung gestellter Konverter, welcher OpenDrive in das Format IPG Road5 und OpenScenario in das Format IPG TestRun konvertiert, eingebunden. Da sich der Konverter selbst in der Entwicklung befand und auch die durch die Datenbank zur Verfügung gestell-



ten OpenScenario- und OpenDrive-Dateien nicht der Spezifikation entsprachen, musste auf beiden Seiten entsprechend nachgebessert werden, bevor die Konvertierung fehlerfrei funktionierte. Continental beteiligte sich dabei intensiv am Test und der Fehlersuche neuer Versionen der Plugins, des Transpilers, des OpenDrive-Generators, sowie des von IPG zur Verfügung gestellten Konverters.

Nachdem die Dateien in einem vom Simulationsprogramm unterstützten Format vorlagen, konnte die eigentliche Simulation angestoßen und durchgeführt werden.

Die dabei entstehenden Simulationsdaten mussten anschließend nochmals konvertiert werden. Innerhalb des PEGASUS Projekts einigte man sich zur Speicherung der Simulationsdaten auf das bereits in der Datenbank verwendete Format. Dieses wurde ebenfalls noch nicht vom Simulationsprogramm CarMaker unterstützt, weshalb ein von IPG zur Verfügung gestellter Konverter von Continental in das Programm ECU-Test integriert wurde.

#### 2.3.3.2.5. Einbindung des Metrik Frameworks

Zur Ermittlung der Kritikalität des durchgeführten Szenarios wurden von verschiedenen Projektpartnern Kritikalitätsmetriken entwickelt. Das fka entwickelte zur Einbindung verschiedener Metriken in die Datenbank ein sogenanntes Metrik Framework. Das Metrik Framework wurde dabei primär mit dem Ziel entwickelt, dass dieses in der Datenbank lauffähig ist. Die Nutzung des Frameworks auch außerhalb der Datenbank, nämlich innerhalb der Simulationstoolkette, war nicht primäres Ziel. Während der Integration mussten, aus diesem Hintergrund heraus, diverse Iterationen durchgeführt werden, bevor das Framework zusammen mit den Kritikalitätsmetriken innerhalb der Simulationstoolkette funktionierte. Continental war dazu im engen Austausch mit den beteiligten Projektpartnern. Unter anderem waren diese das fka als Entwickler des Frameworks, aber auch mit der TU-Darmstadt als Entwickler verschiedener Kritikalitätsmetriken und der TraceTronic GmbH fand ein enger und regelmäßiger Austausch statt.

#### 2.3.3.2.6. Lauffähigkeit der Simulationstoolkette

Die in Abbildung 11 dargestellte Simulationstoolkette wurde von Continental gemeinsam mit den Projektpartnern erfolgreich aufgebaut und in Betrieb genommen.

Bis zum Projektende wurden mehrere 1000 Simulationsläufe durchgeführt und Funktionsfähigkeit konnte auf der Endveranstaltung präsentiert werden. Aufgrund des intensiven und regelmäßigen Austauschs mit allen am Aufbau der Simulationstoolkette beteiligten Firmen, trug Continental maßgeblich zur Umsetzung der PEGASUS-Methodik in Form einer technisch realisierten Simulationstoolkette bei. In den Diagrammen Abbildung 17 und Abbildung 18 sind exemplarisch die Ergebnisse einer Simulationskampagne dargestellt.

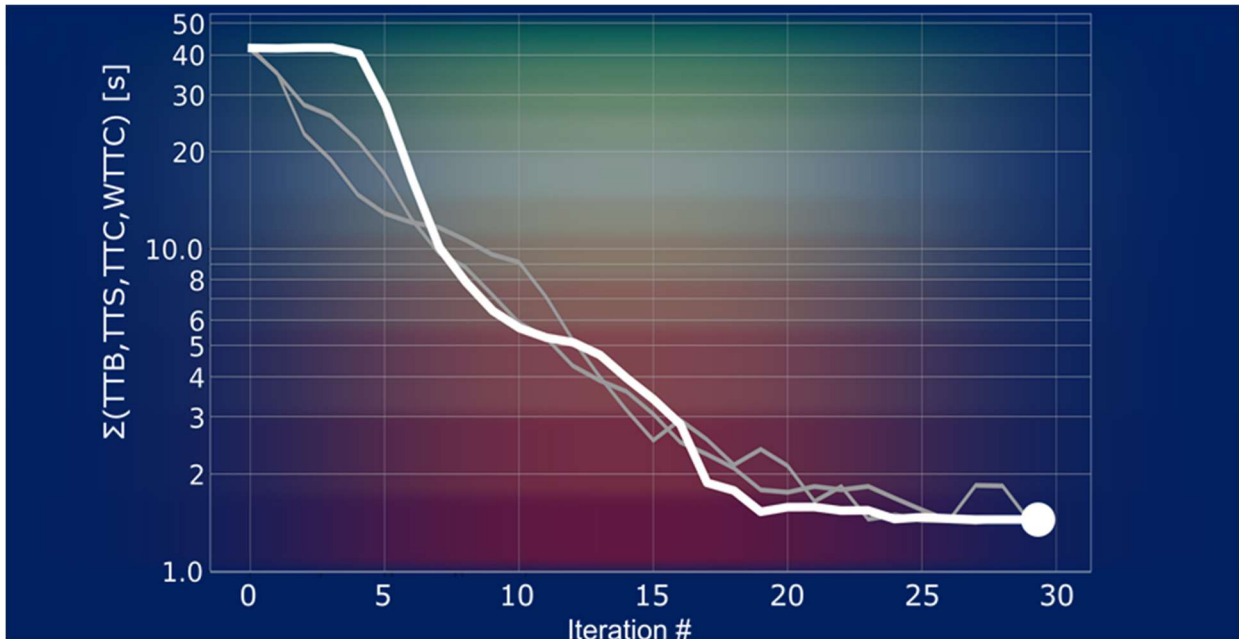


Abbildung 17: Verlauf der Kritikalität über mehrere Iterationen und drei Partikel

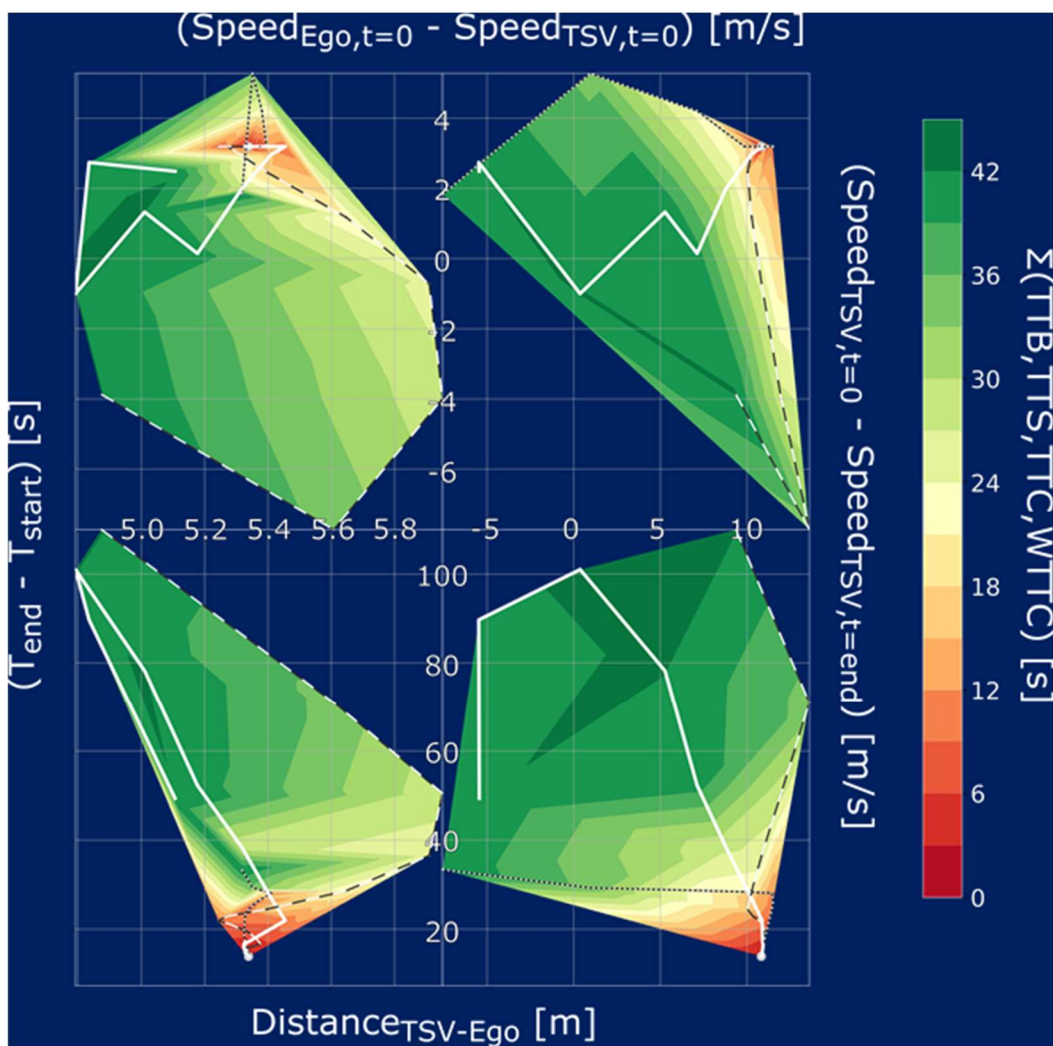


Abbildung 18: Darstellung der Kritikalität in Abhängigkeit der variierten Parameter

Bei dem simulierten Szenario handelt es sich um ein „Einscherer von rechts“. Bei diesem Szenario schert ein dem Ego-Fahrzeug vorausfahrendes Fahrzeug in den Fahrstreifen des Ego-Fahrzeugs von rechts ein. Das Ego-Fahrzeug muss auf das einscherende Fahrzeug reagieren, um einen Unfall zu verhindern. In Abbildung 17 erkennt man anhand der drei Linien, dass der Partikelschwarmalgorithmus mit 3 Partikel konfiguriert wurde. Bereits nach wenigen Iterationen wird die Kritikalität des Szenarios mit jeder weiteren Iteration kritischer. Nach ca. 20 Iterationen verringert sich die Kritikalität nur noch geringfügig. Dies ist durch die Reaktion des EGO-Fahrzeugs auf das einscherende Fahrzeug zu erklären.

Aus der Darstellung in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** lässt sich allerdings nicht erkennen, welche Partikel bzw. welche Parameter Kombination welche Kritikalität verursacht hat. Diese Information lässt sich aus der Abbildung 18 ablesen. Diese Abbildung zeigt in jedem der Quadranten die Abhängigkeit der Kritikalität über 2 Parameter. Anhand der drei verschieden farbigen Linien innerhalb jedes Quadranten lässt sich der Verlauf der einzelnen Partikel beobachten. Diese Art der Darstellung ist wichtig, um Erkenntnisse darüber zu erlangen, welche Parameter bzw. Parameterkombination einen Einfluss auf die Kritikalität des Szenarios haben.

### 2.3.3.3 Messdatenkonverter zur Einspielung von 360° Umfeld Daten in die PEGASUS-Datenbank

Ein zentraler Baustein innerhalb der PEGASUS Methodik stellt die PEGASUS-Datenbank dar. In ihr werden aus verschiedenen Quellen logische Szenarien extrahiert. 360° Umfeld Daten, die mittels Realfahrten eingefahren wurden, stellen dabei die wichtigste Quelle dar.

Dazu wurden Fahrzeuge mit Sensorik verschiedener Technologien (Kamera, Radar, LiDAR) ausgestattet. Die Sensoren wurden dabei in der Art am Fahrzeug positioniert, dass diese das Umfeld 360° um das Fahrzeug herum beobachten. Die von den Sensoren gesammelten Informationen werden innerhalb des Fahrzeugs zu einer gemeinsamen Repräsentation fusioniert. Die Art und Weise, wie das Umfeld und die Informationen beschrieben werden, ist dabei bei jedem OEM und Tier1 unterschiedlich. Die Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH (*fka*) definierte vor diesem Hintergrund das sogenannte PEGASUS Datenbankformat. Die Definition beinhaltet eine Auflistung notwendiger und optionaler Signale, Koordinatensysteme, auf die sich diese Signale beziehen, sowie die Einheiten der Signale.

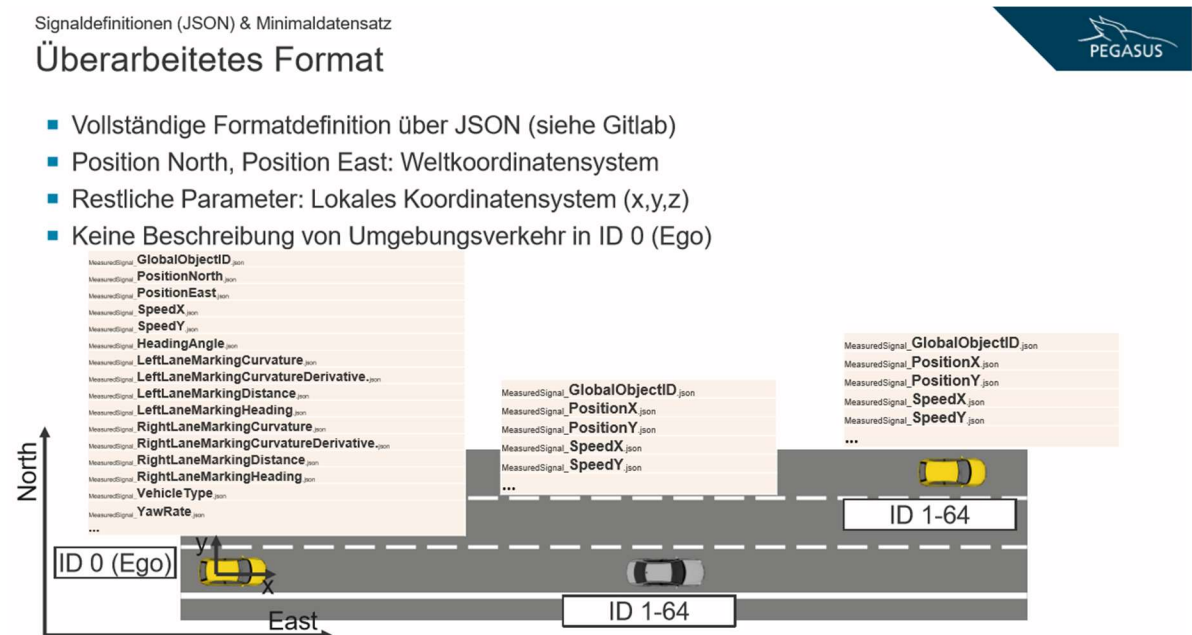


Abbildung 19: PEGASUS Datenbankformat

Um die Funktionalität der PEGASUS Datenbank zu garantieren, wurde ein Minimaldatensatz vom fka vordefiniert. Dieser beinhaltet die Struktur einer Messung, eine festgelegte Größeneinheit pro Messkanal und ein Datentyp (bspw. .h5 oder .mat).

Für den Minimaldatensatz galt unter anderem, dass sich der Referenzpunkt der Messungen auf die Hinterachse bezieht und die exakte Vergabe der erkannten Fahrzeuge – IDs (Vehicle – IDs) nach einem bestimmten Muster ablaufen muss.

Bei dem Continental Versuchsträger handelt es sich um einen VW Passat (Plattformbezeichnung B8), welcher mit mehreren Sensoren ausgestattet wurde, um eine 360° FoV (Field of View) zu garantieren. Basierend auf der Erkennung anderer Verkehrsteilnehmer ist das Fahrzeug in der Lage, eine generische Objektliste zu erzeugen, die zur Rekonstruktion der Fahrdynamik des EGO-Fahrzeugs sowie der Fremdfahrzeuge diene. Der Referenzpunkt des Versuchsträgers bezog sich vorerst auf die Vorderachse.

Zur Realisierung des vordefinierten Formats wurde bei Continental Teves ein Konverter, basierend auf der Programmiersprache Python erstellt, welcher diverse Signalumrechnungen durchführt, bspw. eine Koordinatentransformation des Referenzpunktes von der Vorderachse auf die Hinterachse. Hinzu kamen Berechnungsalgorithmen für die jeweiligen gewünschten Umrechnung der einzelnen Kanäle sowie die Umrechnung in die vorgegebenen Einheitsgrößen. Die Ergebnisse der konvertierten Messdaten wurden in ein HDF5 Format überführt. Eine weitere Überprüfung der Vollständigkeit der Daten wurde ebenfalls in dem Python Skript implementiert. Durch die Erstellung von Logging Files während der Konvertierung konnte im Post-Processing überprüft werden, ob die Zeitstempel der einzelnen Kanäle synchron und vollständig sind. Nach dieser Überprüfung wurden die umgeformten Messungen anschließend zur Befüllung der PEGASUS Datenbank verwendet.

Des Weiteren fügte Continental Teves den jeweiligen Messungen, auf Anfrage der fka GmbH, das Videomaterial aus der Frontkamera hinzu. Hierfür wurde im Fahrzeug eine MFC-430 der Firma Continental AG verbaut. Diese dienen zu weiterer Überprüfung und Analyse der abgegebenen Ergebnisse. Um keine Datenschutzrechte zu verletzen, wurde das Videomaterial anhand eines MatLab Skripts so unkenntlich gemacht, das Fahrzeugkennzeichen bzw. genauere Beschriftungen auf den Fahrzeugen nicht erkenntlich sind.

## 2.4 TP4 Ergebnisreflektion und Einbettung

### 2.4.1 Zielsetzung und Struktur

Die Ergebnisse aus PEGASUS sollen den Grundstock zum Testen sowie zur Absicherung automatisierter Fahrfunktionen für spätere Serienprodukte bilden. Um dies sicherzustellen, müssen die erarbeiteten Ergebnisse allgemeingültig sein und sich idealerweise nahtlos in bestehende Unternehmensstrukturen integrieren lassen. Dies ist eins der essenziellen Ziele von PEGASUS. Das TP 4 „Ergebnisreflektion und Einbettung“ sollte die erarbeiteten Ergebnisse kritisch reflektieren. Hiermit sollte sichergestellt werden, dass ein tragfähiges Konzept entsteht. Mit der Begleitung der Einbettung der Ergebnisse in die Unternehmensstrukturen wird gewährleistet, dass die in PEGASUS erarbeiteten Ergebnisse praktisch genutzt und weiterentwickelt werden können.

Die Struktur des Teilprojekts, um diese Ziele zu erreichen, wurde im Laufe des Projekts angepasst. Aufgrund der neuen Erkenntnisse aus dem Projekt und den Steuerkreistreffen wurde eine entsprechende Entscheidungsvorlage für eine Anpassung von AP4.1 in den 3. Steuerkreis am 20.09.2017 eingebracht.

Folgende Struktur für AP 4.1 wurde realisiert:

- AP 4.1 Ergebnisreflektion
  - UAP 4.1.1 PEGASUS interne Reflexion
  - UAP 4.1.2 Unternehmensinterne Reflexion
  - UAP 4.1.3 Reflexion mit der BASt/Dritten
  - UAP 4.1.4 Reflexion der Robustheit der Ergebnisse

Inhaltlich wurde in den UAPs Folgendes erarbeitet:

<i>UAP 4.1.1</i>	PEGASUS interne Reflexion
Leiter: Bosch	
<p>UAP 4.1.1 organisierte eine Reflexion der Arbeitsstände und Ergebnisse der anderen PEGASUS Teilprojekte durch die PEGASUS Projektmitarbeiter. Dazu wurden Leitfragen vorbereitet, die inhaltlich auf die Themenreife der Arbeiten, Durchgängigkeit und Nachverfolgbarkeit abzielen. Diese Leitfragen wurden in Ergebnisreflexionsrunden mit PEGASUS Projektmitarbeitern reflektiert. TP4 hat die Moderation und Erfassung der Ergebnisse übernommen. Die Ergebnisse dieser Ergebnisreflexionsrunden wurden analysiert und strukturiert, sowie den anderen PEGASUS Teilprojekten vorgelegt. Außerdem verfolgt TP4 die Einarbeitung der Ergebnisse aus den Ergebnisreflexionsrunden.</p> <p>Die interne Reflexion, wie oben beschrieben, wurde auf zwei Gruppen angewandt. Auf der einen Seite wurden nach einem Bottom-Up Verfahren die UAP-Leiter befragt. Auf der anderen Seite wurden die TP-Leiter als Top-Down Ansatz befragt. Beide Ansätze haben die erarbeitete Gesamtmethode als Grundlage.</p>	

<i>UAP 4.1.2</i>	Unternehmensinterne Reflexion
Leiter: Continental	
<p>UAP 4.1.2 initiierte eine Reflexion der Arbeitsstände und Ergebnisse der anderen PEGASUS Teilprojekte durch die Projektpartner, die an einer Entwicklung von hochautomatisierten Fahrzeugen arbeiten. Dazu wurden die Projektpartner aufgerufen, ein internes Reflexionsteam zusammen zu stellen und die entsprechenden Arbeitsstände und Ergebnisse in einer vorgeschlagenen Form zu reflektieren. Eine Formatvorlage für eine Rückmeldung wurde durch TP4 gegeben. Die Rückmeldungen wurden von TP4 gesammelt. Die Ergebnisse dieser Ergebnisreflexionsrunden wurden analysiert und strukturiert, sowie den anderen PEGASUS Teilprojekten vorgelegt. Außerdem verfolgt TP4 die Einarbeitung der Ergebnisse aus den Ergebnisreflexionsrunden.</p>	

UAP 4.1.3	Reflexion mit der BAST/Dritten
Leiter: Bosch	
UAP 4.1.3 initiierte eine Reflexion der Arbeitsstände und Ergebnisse der anderen PEGASUS Teilprojekte durch Dritte, wie etwa die BAST und das BMVI. TP4 erarbeitete Leitfragen für diese Ergebnisreflexion. Diese Leitfragen wurden in Ergebnisreflexionsrunden mit beispielsweise den TP-Leitern sowie der BAST reflektiert. TP4 übernahm die Moderation und Erfassung der Ergebnisse. Die Ergebnisse dieser Ergebnisreflexionsrunden wurden analysiert und strukturiert, sowie den anderen PEGASUS Teilprojekten vorgelegt. Außerdem verfolgt TP4 die Einarbeitung der Ergebnisse aus den Ergebnisreflexionsrunden.	

UAP 4.1.4	Reflexion der Robustheit der Ergebnisse
Leiter: TÜV Süd	
UAP 4.1.4 erarbeitete ein Vorgehen zur Reflexion der Robustheit der PEGASUS-Ergebnisse. Basierend auf systematischen Analysen wurden Teile der Gesamtmethode, sowie relevante Ergebnisse auf ihre Robustheit gegenüber fehlenden und falschen Informationen/Eingängen/Annahmen bewertet.	

Das Thema der Einbettung wurde, wie geplant, in AP 4.2 bearbeitet.

#### UAP 4.2.1 Begleitung der Einbettung

Im UAP 4.2.1 wurde ein Vorgehen erarbeitet, mit dessen Hilfe die Erfahrungen bei der Umsetzung und Einbettung der in PEGASUS erarbeiteten Methodik und Prozesse in die bestehende Entwicklungsumgebung den einzelnen Häusern hinsichtlich ihrer Handhabbarkeit reflektiert und evaluiert wurden. Die Überprüfung der Umsetzung wurde dabei in definierten Beobachtungsintervallen durchgeführt und notwendige Anpassungen vorgenommen. Die Partner haben dazu ihre Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Umsetzung der Prozesse und Methoden in das Projekt zurückspiegelt, wodurch eventuelle Methoden- und Prozessanpassungen durchgeführt wurden.

#### UAP 4.2.2 Bewertung der Projektergebnisse

Im UAP 4.2.2 wurden die erzielten Ergebnisse analysiert, an die Partner zurückgespiegelt und mit den Erwartungen aus der Projektzielsetzung abgeglichen. Es wurde ein Entwurf zur effizienten Verwertung der Projektergebnisse von PEGASUS ausgearbeitet, um zukünftige Entwicklungen unter anderem mit Hilfe der PEGASUS-Methodik abzusichern.

### **2.4.2 Arbeitsschwerpunkte von Continental Teves**

Der Arbeitsschwerpunkt der Continental Teves lag auf der Koordination der Aktivitäten im TP4. Folgende Abbildung stellt die Zielausrichtung des UAP4.1 Ergebnisreflexion dar, welche als Leitbild zur Koordination definiert wurde.

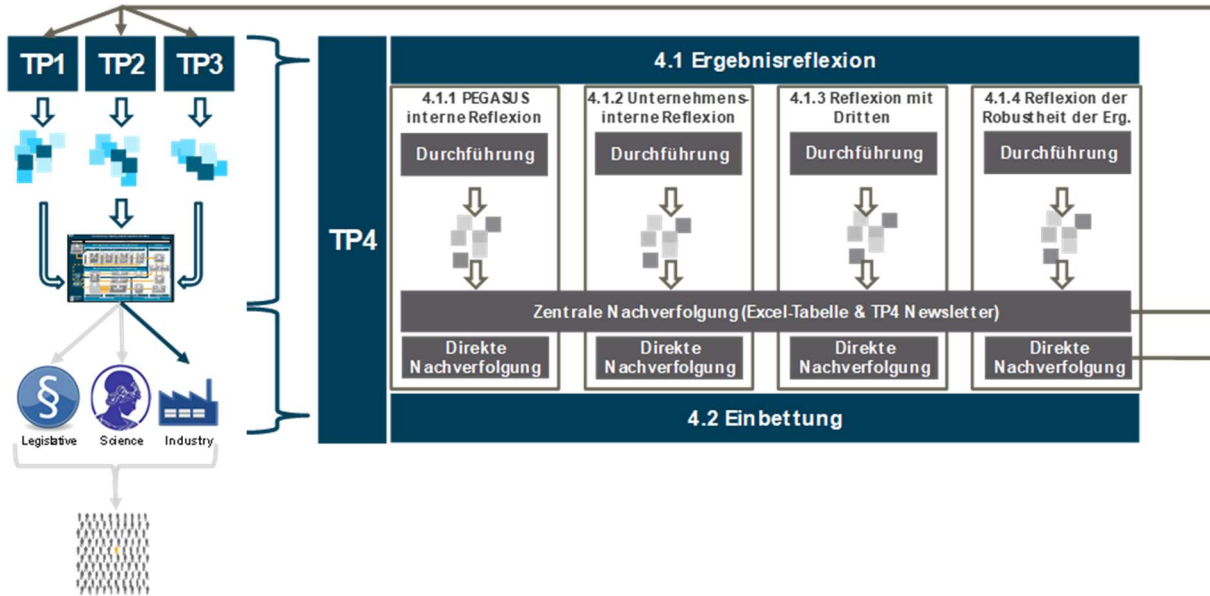


Abbildung 20 Vorgehen Ergebnisreflexion

Die Partner wurden so koordiniert, dass die als blaue Kästen dargestellten Ergebnisse als Grundlage für die Ergebnisreflexion eingesetzt wurden. Zusammen mit der PEGASUS-Gesamtmethode wurden die vier Reflexionen durchgeführt. Die Bewertungen/ Rückmeldungen, die unterschiedlichster Natur sind, wurden in eine gemeinsam definierte Nachverfolgungstabelle aufgenommen und im Projekt verteilt. Sowohl die Durchführung als auch die Aufnahme in die zentrale Tabelle und die Nachverfolgung wurde durch Continental Teves koordiniert.

Die Einbettung in 4.2 wurde so koordiniert, dass zunächst Einbettungselemente gemeinsam im Projekt definiert wurden. Zu den Elementen wurden Informationen zusammengestellt, die bei der Einbettung unterstützen sollten. Die Einbettung fand in den einzelnen Häusern statt, und entsprechende Ergebnisse wurden an das TP4 zurückgemeldet. Die Aktivitäten wurden so koordiniert, dass ein Bewertungsworkshop mit den Partnern stattgefunden hat und ein Bericht zu diesem Workshop aktuell bei dem DLR in Erstellung ist.

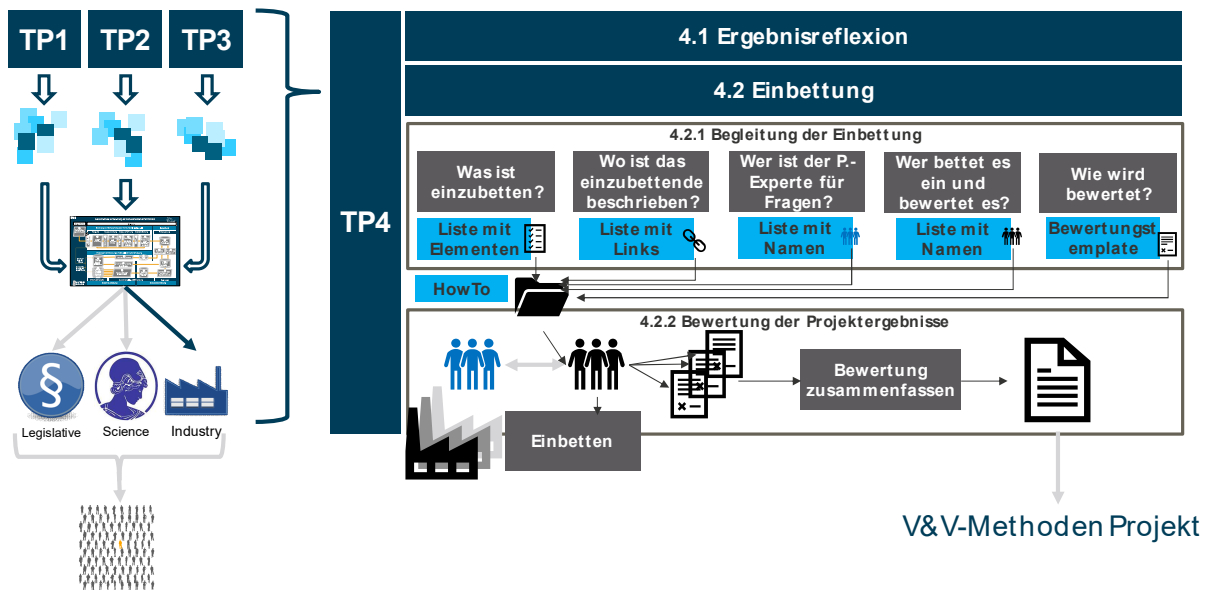


Abbildung 21 Vorgehen Bewertung der Ergebnisse





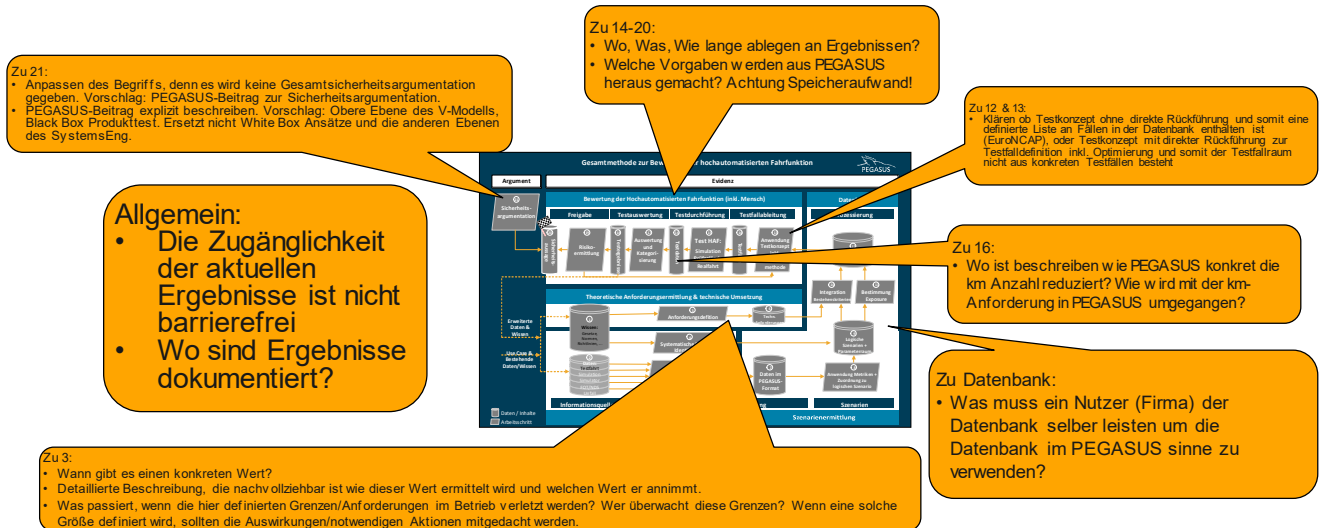


Abbildung 23 Rückmeldung Teil 1 nach Blöcken der Gesamtmethode

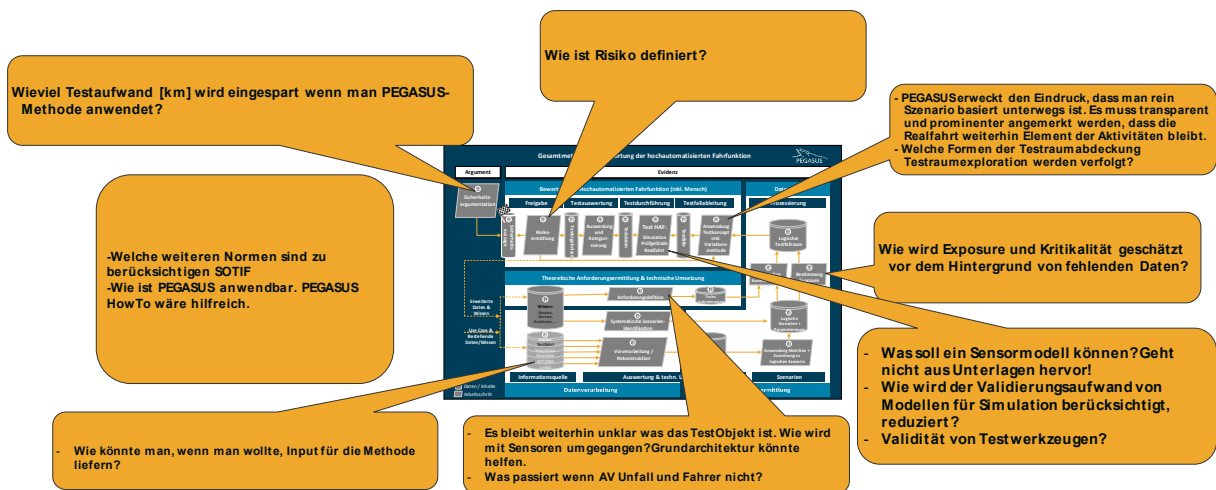


Abbildung 24 Rückmeldung Teil 2 nach Blöcken der Gesamtmethode

Ergebnis der Koordination der unternehmensinternen Einbettung und Bewertung war die Vorbereitung und Durchführung des Ergebnisworkshops. Mit folgender Agenda wurde der Ergebnisworkshop nach Plan abgehalten:

9:30 – 9:45	Begrüßung	Teilnehmer	Moderation
9:45 – 10:30	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motivation eines gemeinsam getragenen Ergebnisses</li> <li>Gemeinsame Definition von Fokusthemen basierend auf vorheriger Auswertung durch TP4</li> </ul>	alle	Hardi
15min	Kaffee		-
10:45 – 11:30	Fokusthema „Tendenz positive Rückmeldungen“ • Warum sind die Bewertungen tendenziell positiv?	alle	Thomas
11:30-12:15	Fokusthema "Tendenz negative Rückmeldungen" • Warum sind die Bewertungen tendenziell negativ?	alle	Walther
60min	Mittag		
13:15 – 14.15	Fokusthema "Tendenz Widersprüchliche Rückmeldungen" • Warum sind die Bewertungen tendenziell widersprüchlich?	alle	Hardi
14.15-15.00	Fokusthema "Tendenz Bewertung nicht möglich" • Warum konnte eine Bewertung tendenziell nicht stattfinden?	alle	Kathrin
15min	Kaffee		
15:15 – 15:45	Fokus Mögliche Einbindung in / weitere Vorbereitung für Regularien	alle	Dieter
15:45 – 16:00	Wrap-up	Hardi	

Abbildung 25 Agenda Ergebnis Workshop

In der Vorbereitung wurden die Rückmeldungen quantitativ ausgewertet, wie am folgenden Beispiel der Gesamtmethode dargestellt:

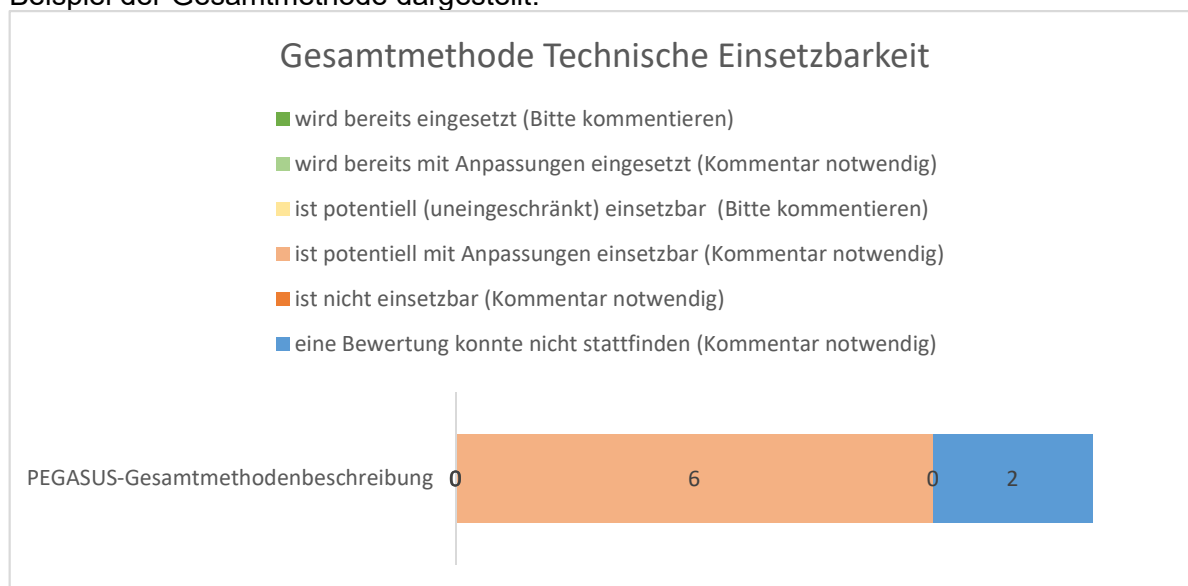


Abbildung 26 Auswertung Technische Einsetzbarkeit der Gesamtmethode

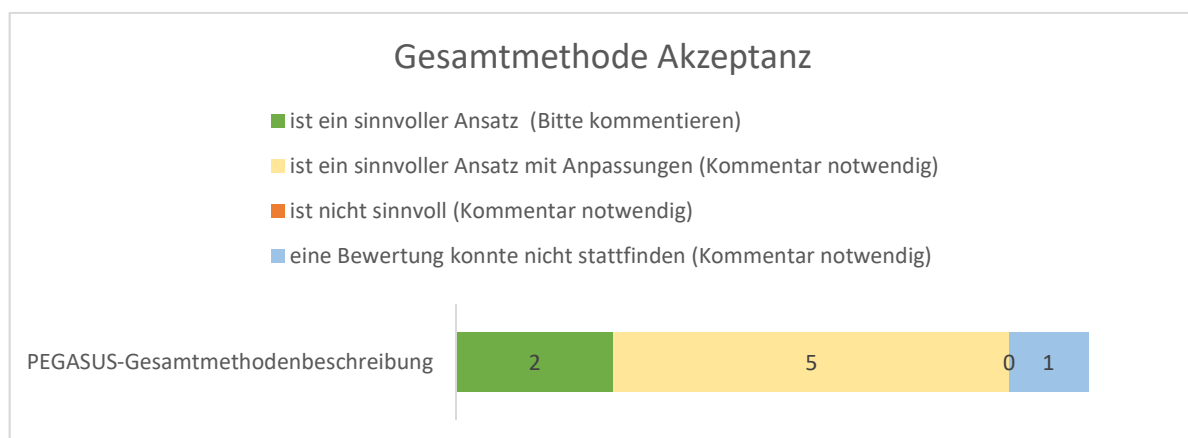


Abbildung 27 Auswertung Akzeptanz der Gesamtmethode

Basierend auf dieser quantitativen Auswertung wurden Einbettungselemente als Fokusthemen identifiziert, die folgende besondere Tendenz aufwiesen:

- I. Tendenziell positiv: Interface Beschreibungen (Minimaldatensatz Datenbank, OSI, openDrive, Sensormodell)
- II. Tendenziell negativ: Modell menschlicher Leistungsfähigkeit, Ermittlung Sicherheitsniveau, Sicherheitsargumentation, Zugehörigkeitsmetrik
- III. Tendenziell widersprüchlich: Ontologie, Gesellschaftliche Akzeptanz, Automationsrisiken, Testkonzept
- IV. Tendenziell nicht bewertbar: Prüfgelände, Datenbankmechanik, Karten-Webdienst, Themen bzgl des erweiterten Anwendungsszenario

Im Workshop wurde versucht, die sich zeigende Tendenz zu erklären:

- Warum sind die Bewertungen tendenziell positiv?
- Notizen:
  - OpenScenario: Die Überführung in den ASAM wird von allen Partnern begrüßt. Basierend auf dem vorhandenen Stand ist OpenScenario weiter auszuarbeiten.
  - OpenDrive: Von den Partnern wird der Einsatz im PEGASUS Kontext begrüßt.

- OSI-Schnittstelle: Von allen Partnern positiv bewertet, teilweise keine Bewertung da noch nicht eingebettet. Positiv hervorzuheben ist, dass diese Schnittstelle während PEGASUS zum Leben erweckt wurde.
- Minimaler Datensatz: Daten aus allen Häusern wurden erfolgreich in das definierte Format konvertiert. Weitere Anpassungen zur Standardisierung (z.B. anhand OSI bzw. ISO Sensorinterface) werden für sinnvoll erachtet.
- Zusammenfassend:
  - Vor allem bei eingesetzten Schnittstellen wurde eine hohe Einsetzbarkeit und Akzeptanz in PEGASUS erzielt.
  - Erfolgsversprechend ist, wenn Konzept und Umsetzung explizit vorgesehen und ggf. auch in einem TP/AP erarbeitet werden.

Für die Darstellung der weiteren Ergebnisse des Bewertungsworkshop wird auf die Dokumentation des DLR verwiesen.

Die hier erzielten Ergebnisse, sollen zukünftig als Lessons Learned in weitere Forschungsprojekte zu dem Thema der Absicherung Automatisierter Fahrzeuge eingehen. Ein Kontakt zu TP 9 in V&V-Methoden ist durch Teilnehmer beider Teilprojekte in PEGASUS und V&V-Methoden sichergestellt.

## 2.5 Zahlenmäßiger Nachweis

Personalkosten:	€ 1.686 Mio.
Fremdleistungen:	€ 99.600,00
Reisekosten:	€ 12.583,00
Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten:	€ 60.791,29

Die mit Abstand größte Position der Projektkosten betrifft die Personalkosten (0837) für das bei Continental Teves AG & Co. oHG in Frankfurt fest angestellte Personal, das die umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchführte: Rund € 1.686 Mio. entfielen bis zur Einreichung des Verwendungsnachweises im Zeitraum 01.01.2016 – 30.06.2019 auf diese Position.

Den zweiten wesentlichen Kostenblock repräsentierten Kosten für Fremdleistungen (0823). Im Rahmen des Projektverlaufs wurden die Leistungen der Firma Offis e.V. für UAP 1.2.2 "Leistungsfähigkeit und Wirksamkeit einer hochautomatisierten Fahrfunktion", UAP 1.2.3 "Sicherheitsniveau hochautomatisierter Fahrfunktionen", AP 4.1.2 und für AP 4.1.3 „Traceability-Konzept“ in Höhe von € 99.600 in Rechnung gestellt. Die Ergebnisse wurden u.a. auf dem PEGASUS Sharepoint zur Verfügung gestellt.

Die sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten (0850) betragen € 60.791. Diesbezüglich wurde der DLR e.V. als Projektbüro und für die Ergebnisverbreitung beauftragt.

Zu diesen drei o.g. Kostenarten kommen lediglich rund € 12.583 für Reisekosten hinzu, wodurch sich die Gesamtkosten in Höhe von rund € 1.859 Mio. ergeben.

## 2.6 Notwendigkeit der Förderung

Das autonome Fahren ist eine der vielversprechendsten neuen Technologien im Mobilitätsbereich. Das autonome Fahren im Straßenverkehr bietet die Chance, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, weniger Staus zu verursachen, sowie die Nutzung der Fahrzeit zu verbessern.

Automatisierte Fahrzeuge SAE Level 3 können für eine begrenzte Zeit und in einer fest definierten Situation selbst die Steuerung des Fahrbetriebs übernehmen und den/die Fahrer(in) so entlasten. Fahrzeuge SAE Level 3 stellen somit einen weiteren Schritt zum autonomen Fahren (Level 4/5) dar, die dauerhaft die Fahraufgabe übernehmen können und somit weitere Vorteile in Sicherheit und Effizienz erschließen und ganz neue Mobilitätslösungen möglich machen.

Der Mobilitätsbereich gehört zu den forschungs- und innovationsstärksten Feldern Deutschlands und trägt maßgeblich zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie sowie zum Erhalt von Arbeitsplätzen und Wohlstand bei.

Der Automobilstandort Deutschland wird in der Entwicklung des autonomen Fahrens aber nur dann eine führende Rolle einnehmen können, wenn forschungsintensive Schlüsseltechnologien und -kompetenzen ausgebaut und gefördert werden.

Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Entwicklung von Technologien (Prozessen, Methoden und Werkzeugen) zum Nachweis der Sicherheit von automatisierten Fahrzeugen.

PEGASUS hat hier mit der „PEGASUS Methode“, in enger Kooperation von Forschung und Wirtschaft, einheitliche Qualitätsstandards und Methoden entwickelt, die die Basis für das Testen sowie die Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen für spätere Serienprodukte bilden.

Das Verbundprojekt mit all seinen Herausforderungen und Risiken bietet somit vor allem einen vielfachen Nutzen für Bund, Wirtschaft und Gesellschaft, den der Bund mit ausschließlich eigenen öffentlichen Einrichtungen nicht in der notwendigen Zeit, dem notwendigen Umfang und der entsprechenden Nachhaltigkeit hätte erreichen können.

Aus dem Verbundprojekt lassen sich für den Bund sowie den Gesetzes- und Verordnungsgeber Empfehlungen für gesetzliche und normative Anforderungen an die Freigabe von automatisierten Fahrfunktionen sowie für Standardisierungen und Normen ableiten.

Über die Projektdauer von dreieinhalb Jahren ist PEGASUS überdies zur internationalen Marke geworden – einem Inbegriff für die Etablierung von Prüfmethodik zur Absicherung hochautomatisierter Fahrzeugsysteme.

PEGASUS steht dabei sinnbildlich für die Entwicklung von Prüfverfahren, die es ermöglichen, dass automatisierte Fahrsysteme zuverlässig überall auf der Welt eingesetzt werden können.

Auch deshalb fand und findet seit Projektbeginn ein regelmäßiger internationaler Austausch mit zahlreichen Automobilherstellern, Behörden und Verbänden aus Europa, USA, Japan und China statt.

Continental Teves hat mit seinen in Kap. 2.1 – 2.4 dargestelltem Forschungsbeitrag und erzielten Ergebnissen ganz wesentlich zu diesem Erfolg des Verbundprojekts beigetragen.

## **2.7 Nutzen und Verwertbarkeit**

Continental gestaltet die zukünftige Mobilität durch Ideen und Lösungen für seine Kunden in den verschiedensten Industrien mit. Die Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung (F&E) sind daher für Continental von hoher strategischer Relevanz.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Entwicklung bei Continental liegt auf Produkten, Systemen, Lösungen und Services für das Automatisierte Fahren.

Mit seiner Cruising Chauffeur Funktion, die in verschiedenen Versuchsfahrzeugen umgesetzt wurde, erprobt Continental Teves am Standort Frankfurt das automatisierte Fahren auf Autobahnen.

Von entscheidender Bedeutung und eine ganz wesentliche Voraussetzung für eine Markteinführung automatisiert fahrender Fahrzeuge SAE Level 3 auf Autobahnen ist die Akzeptanz des Gesetzgebers, der Zulassungsbehörden und der Gesellschaft.

Damit kommt eine Schlüsselrolle im Wettbewerb bei automatisierten Systemen dem Thema Verifikation und Validierung zu. Entscheidend wird dabei sein, dass die Verifikation und Validierung rechtssicher und kosteneffizient erfolgen kann.

Das Projekt PEGASUS hat genau dieses Ziel verfolgt und stellt ein praxistaugliches Konzept für den vollständigen, widerspruchsfreien Nachweis für sicheres automatisierten Fahren auf Autobahnen mit dem minimal notwendigen Testumfang und Testaufwand bereit.

Gerade in der technischen und wirtschaftlichen Verwertung bestehen die Stärken von Continental. So werden im Rahmen der Vorentwicklung bei Continental Teves die in der PEGASUS Methode entwickelte Verifikations- und Validierungsbausteine für die Absicherung des Cruising Chauffeurs bereits eingebunden sowie hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit bewertet und gegebenenfalls angepasst, damit sie sich optimal in die Entwicklungslandschaft bei Continental einbinden lassen.

Im Rahmen von TP 4 wurden die Erfahrungen bei der Umsetzung und Einbettung der in PEGASUS erarbeiteten Methodik und Prozesse in die bestehende Entwicklungsumgebung der einzelnen Industriepartner hinsichtlich ihrer Handhabbarkeit reflektiert und evaluiert. Auch aus dieser Evaluierung spiegelt sich bereits wider, dass viele der Einbettungselemente der PEGASUS Methode sich direkt oder mit Anpassungen in den Entwicklungsprozess bei Continental einbinden lassen.

Ebenfalls werden die in PEGASUS gewonnen Ergebnisse in das Forschungsprojekt VVMethoden überführt und für autonomes Fahren SAE Level 4/5 weiterentwickelt.

## 2.8 Bekannt gewordener Fortschritt

Grundsätzlich ist der PEGASUS Fokus recht breit und in jedem Bereich der PEGASUS Arbeiten sind weltweit Aktivitäten vorhanden. Allerdings ist aus aktueller Perspektive keine der zentralen Fragen von PEGASUS während der Projektlaufzeit von einem anderen Projekt oder anderen Akteuren abschließend beantwortet wurde. Nachfolgenden wird eine kurze Übersicht über wichtige Aktivitäten, die in einzelne Elemente der Gesamtmethode eingeordnet werden könnten, ausgeführt. So wurde beispielsweise während der PEGASUS-Projektlaufzeit von der NHTSA in den USA zwei Reports veröffentlicht, wobei der zweite ein Self Assessment zum Thema Safety für Automated Driving Systems vorschlägt. (<https://www.nhtsa.gov/automated-driving-systems/voluntary-safety-self-assessment>). Die dort erzeugten 17 Berichte von Akteuren wie Apple, GM, Nvidia bis hin zu Zoox, adressieren ähnliche Fragen, wie sie in PEGASUS gestellt wurden. Aus unserer Bewertung bleiben jedoch die meisten dieser Berichte relativ oberflächlich und erreichen damit größtenteils nicht die Tiefe der Diskussion, die in PEGASUS erreicht wurde. Ein Widerspruch zu PEGASUS Ergebnissen wurde nicht gefunden.

Heruntergebrochen auf die einzelnen Themen, in denen Continental teilweise aktiv war, gibt es unterschiedlich konkrete Vorschläge von anderen Akteuren.

Zum Beispiel aus den Arbeiten des Edge Case Research Centers von Philip Koopman et al. gibt es eine Diskussion einer Sicherheitsargumentation. Die dort definierten Punkte entsprechen zu einem Großteil den Arbeiten von PEGASUS zur Goal Structuring Notation und der entsprechenden Sicherheitsargumentation (Credible Autonomy Safety Argumentation, Feb. 2019).

Die Frage nach dem akzeptablen Leveln der Sicherheit wurde ebenfalls von Kalra, N., Paddock, S., in Driving to Safety: how many miles of driving would it take to demonstrate autonomous vehicle reliability? (Rand Corporation, RR-1479-RC, 2016) behandelt. In weiteren Veröffentlichungen wurde der Umgang mit diesen ermittelten Zahlen diskutiert. Hier gibt es teilweise unterschiedliche Vorschläge, wie mit diesen Zahlen zu verfahren ist und welche Risiken bei der Einführung Automatisierter Systeme eingegangen werden könnte. Diese wurden in den PEGASUS Arbeiten ebenfalls berücksichtigt.

Für die konkrete Bewertung einzelner Szenarien wurde von Intel/Mobileye die RSS Metrik (Responsibility Sensitive Safety) und von Nvidia das so genannte Force Field → <https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-introduces-drive-av-safety-force-field-computational-defensive-driving-policy-to-shield-autonomous-vehicles-from-collisions> veröffentlicht. Dabei handelt es sich primär um eine Logik um die Entscheidungen eines Fahrzeugs im Sinne der Sicherheit zu bewerten. Im PEGASUS Kontext wurde die RSS teilweise betrachtet, inwieweit diese für die Auswertung von Testfällen geeignet ist. Die Veröffentlichung des Force Fields erschien erst zu Abschluss des Projekts und wurde entsprechend nicht mehr betrachtet.

Für die Thematik der Datenbank abgeleitet aus realen Messungen gab es an der Virginia Tech Transportation Institute die sogenannte AMP - <https://vtti-amp.org/> Aktivität. Dort wird ebenfalls versucht, relevante Szenarien aus vorhandenen Messungen zu identifizieren und sie unter anderem für die Simulation nutzbar zu machen.

Das Move-UK Projekt (<https://www.move-uk.com/>) betrachtet ähnliche Themen, wie in TP2 bearbeitet wurden, bzgl. der Gewinnung und Nutzung von Daten aus dem Feldbetrieb. Diese Thematik wird in einem der Nachfolgeprojekte (V&V-Methoden) unter dem Thema Silent Testing genauer betrachtet.

Eine wichtige Aktivität, die über den Automotive Bereich hinaus geht, ist das EU Projekt ENABLE-S3. Dort zu finden sind weitere Ergebnisse zum Beispiel zur Sensormodellierung, Szenario Beschreibung, Variationsmethoden usw. Eine Zusammenfassung ist zu finden in: Validation and Verification of Automated Systems - Results of the ENABLE-S3 Project, Herausgeber, Andrea Leitner, Daniel Watzenig, Javier Ibanez-Guzman, Copyright 2020, Verlag,

Springer International Publishing, Copyright Inhaber, Springer Nature Switzerland AG., eBook ISBN, 978-3-030-14628-3.

## 2.9 Veröffentlichungen

### 2.9.1 Erfolgte Veröffentlichungen

- Vortrag | 6. AutoTest Fachkonferenz (26.-27.10.2016), Stuttgart, Absicherung von Systemen für das (hoch)automatisierte Fahren, 26.10.2016 | Matthias Stiller (Continental Teves)
- Vortrag | TRB Vehicle Automation Workshop 2016 (18.-22.07.2016), San Francisco, Safety Assurance Based on an Objective Identification of Scenarios – One Approach of the PEGASUS-Project, 20.07.2016 | Walther Wachenfeld (FZD), Philipp Junietz (FZD), Philipp Themann (fka), Andreas Pütz (fka), Hermann Winner (FZD)
- Ergebnisreflexion - Der Weg zu generell akzeptierten Ergebnissen, Dr. Walther Wachenfeld, Deutschland, Aachen, 08.11.2017, PEGASUS Halbzeitveranstaltung
- Research Project PEGASUS, Germany, Düsseldorf, 2018 March 15<sup>th</sup>, Dr. Walther Wachenfeld
- Vortrag | Automated Vehicle Symposium, San Francisco, The PEGASUS-Method for HAD Assessment - Status Quo, 09.-12. Juli 2018 | Dr. Walther Wachenfeld (Continental)
- Vortrag | IEEE ITSC 2018, Maui, Hawaii, Evaluation of Different Approaches to Address Safety Validation of Automated Driving, 04.-07.11.18 | Philipp Junietz (FZD) Prof. Dr. Hermann Winner (FZD) Dr. Walther Wachenfeld (Continental) Kamil Klonecki (Continental) Vortrag | IEEE ITSC 2018, Maui, Hawaii, Evaluation of Different Approaches to Address Safety Validation of Automated Driving, 04.-07.11.18 | Philipp Junietz (FZD) Prof. Dr. Hermann Winner (FZD) Dr. Walther Wachenfeld (Continental) Kamil Klonecki (Continental)
- Vortrag | IEEE ITSC 2018, Maui, Hawaii, Evaluation of Different Approaches to Address Safety Validation of Automated Driving, 04.-07.11.18 | Philipp Junietz (FZD) Prof. Dr. Hermann Winner (FZD) Dr. Walther Wachenfeld (Continental) Kamil Klonecki (Continental)
- Wie wird der PEGASUS-Ansatz verwendet? Dr. Walther Wachenfeld, Deutschland, Ehra-Lessien, 13.05.2019, Abschlussveranstaltung

### 2.9.2 Geplante Veröffentlichungen

Aktuell sind keine weiteren Veröffentlichungen im PEGASUS Kontext geplant.

### 3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Automatisierungsstufen (Quellen: SAE).....	6
Abbildung 2: PEGASUS Ausgangssituation und Vision: Unfallfreies hochautomatisiertes Fahren.....	9
Abbildung 3 Schematischer Aufbau des PEGASUS-Projekts .....	11
Abbildung 4 Prinzip-Skizze des Systems „Autobahn-Chauffeur“ mit seinen Komponenten....	20
Abbildung 5 Vereinfachte Systemarchitektur eines Autobahn-Chauffeurs .....	22
Abbildung 6 Vereinfachtes Systemstatusdiagramm eines Autobahn-Chauffeurs.....	23
Abbildung 7 Darstellung des aktuell üblichen Vorgehens nach V-Modell.....	26
Abbildung 8: Vereinfachte Abbildung der Erweiterung des V-Modells zum V <sub>EbE</sub> -Modell.....	28
Abbildung 9 Einführungsstrategie unter Verwendung von Shadowing .....	30
Abbildung 10 Darstellung der Simulationsmethodik.....	34
Abbildung 11: Konkreter Aufbau der Simulationstoolkette (Version 2).....	35
Abbildung 12: Verwendete Dateien und deren Verknüpfung mit einander .....	37
Abbildung 13 Auszug aus der Parameterverteilungsdatei .....	37
Abbildung 14: Einfaches Szenario zur Erklärung des Partikelschwarmalgorithmus .....	39
Abbildung 15: Partikel (graue Punkte) entsprechen einem durchgeführten Szenario.....	39
Abbildung 16 Partikel (graue Punkte) entsprechen einem durchgeführten Szenario.....	40
Abbildung 17: Verlauf der Kritikalität über mehrere Iterationen und drei Partikel .....	42
Abbildung 18: Darstellung der Kritikalität in Abhängigkeit der variierten Parameter .....	42
Abbildung 19: PEGASUS Datenbankformat .....	43
Abbildung 20 Vorgehen Ergebnisreflexion.....	47
Abbildung 21 Vorgehen Bewertung der Ergebnisse .....	47
Abbildung 22 PEGASUS Gesamtmethode .....	48
Abbildung 23 Rückmeldung Teil 1 nach Blöcken der Gesamtmethode.....	49
Abbildung 24 Rückmeldung Teil 2 nach Blöcken der Gesamtmethode.....	49
Abbildung 25 Agenda Ergebnis Workshop .....	49
Abbildung 26 Auswertung Technische Einsetzbarkeit der Gesamtmethode .....	50
Abbildung 27 Auswertung Akzeptanz der Gesamtmenthode .....	50



## **4 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Projektpartner .....	10
Tabelle 2: Übersicht der Standardszenarien und kritischen Szenarien .....	21
Tabelle 3: Übersicht der funktionalen Systemgrenzen.....	24

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] T. M. Gasser, C. Arzt, M. Ayoubi, A. Bartels, L. Bürkle, J. Eier, F. Flemisch, D. Häcker, T. Hesse, W. Huber, C. Lotz, M. Maurer, S. Ruth-Schumacher, J. Schwarz and W. Vogt, "Legal consequences of an increase of vehicle automation," in Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Magazin F 83, Januar 2012, Wirtschaftsverlag NW, ISBN 978-3-86918-189-9, siehe [http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/723/pdf/Legal\\_consequences\\_of\\_an\\_increase\\_in\\_vehicle\\_automation.pdf](http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/723/pdf/Legal_consequences_of_an_increase_in_vehicle_automation.pdf).
- [2] (E. Donges, „Das Prinzip Vorhersehbarkeit als Auslegungskonzept für Maßnahmen zur aktiven Sicherheit im Straßenverkehrs System,“ Ergänzungspapier zum VDI-Bericht 948)
- [3] UNECE Regelung ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.4 “Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles”, siehe auch <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29classification.html>
- [4] Project-Deliverable D33.1 “Scenario Modeling and Transition Testing” des EU-Förderprojektes HAVEit. Siehe [http://www.haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEit\\_D33.1\\_web\\_version.pdf](http://www.haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEit_D33.1_web_version.pdf)
- [5] [3] Projekt-Deliverable D33.1 “Scenario Modeling and Transition Testing” des EU-Förderprojektes HAVEit. Siehe [http://www.haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEit\\_D33.1\\_web\\_version.pdf](http://www.haveit-eu.org/LH2Uploads/ItemsContent/24/HAVEit_D33.1_web_version.pdf)
- [6] ISO 26262 Road vehicles — Functional safety — Part 2: Management of functional Safety Chapter 7.4.2.4
- [7] Wachenfeld, Walter, “How Stochastic can Help to Introduce Automated Driving”, 2017 Kapitel 3 und 5.4

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel  <b>PEGASUS</b>  (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Corell, Thomas (Projektleiter) Goll, Markus Wachenfeld, Walther Elfu, Raphael	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2019
	6. Veröffentlichungsdatum November 2019
	7. Form der Publikation Dokument
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Continental Teves AG & Co. oHG Guerickestraße 7 60488 Frankfurt a. M.	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <b>19A15012H</b>
	11. Seitenzahl 58
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 10115 Berlin	13. Literaturangaben 7
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 27
16. Zusätzliche Angaben . / .	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln, Dezember 2019	

## 18. Kurzfassung

Ziel von PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) war es eine allgemein akzeptierte Herangehensweise zum Verifizieren und Validieren automatisierter Fahrfunktionen zu schaffen und somit eine Zulassung und Markteinführung automatisiert fahrender Fahrzeuge auf Autobahnen (SAE Level 3) zu ermöglichen.

Die Hauptziele von PEGASUS waren dabei:

- Definition eines einheitlichen Vorgehens beim Testen und Erproben automatisierter Fahrzeugsysteme in der Simulation, auf Prüfständen und in realen Umgebungen.
- Entwicklung einer durchgängigen und flexiblen Werkzeugkette zur Absicherung des automatisierten Fahrens.
- Integration der Tests in die Entwicklungsprozesse bereits zu einem frühen Zeitpunkt.
- Schaffung einer herstellerübergreifenden Methode zur Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen.

Um einen neuen Stand der Technik für die Verifikation und Validierung automatisierter Fahrfunktionen zu definieren, wurden in vier Teilprojekten innerhalb des Projekts Analysen zu verschiedenen Testmethoden, Qualitätskriterien, Verkehrsszenarien, Tools und Richtlinien durchgeführt.

Aufgrund der hohen Abhängigkeit der Teilprojekte untereinander wurden die Forschungsergebnisse der verschiedenen Teilprojekte in einem iterativen Prozess zusammengefasst, um eine gemeinsame PEGASUS-Methode zur Bewertung hochautomatisierter Fahrfunktionen zu definieren.

Als weltweit agierender Zulieferer der Automobilindustrie für System- und Gerätekomponenten hat Continental Teves AG & Co. oHG, basierend auf den umfassenden Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten, seinen Schwerpunkt im Rahmen von PEGASUS auf das Teilprojekt 3 „Testen“ gelegt. Hier hat Continental Teves eine Simulationsumgebung aufgebaut und prototypisch, die in PEGASUS entwickelte Werkzeugkette zum Testen der automatisierten Fahrfunktion (SAE-Level 3) auf Autobahnen, implementiert. Ziel bei Continental Teves war es, gemeinsam mit den Kooperationspartnern ein standardisiertes Werkzeug zu entwickeln, das die große Anzahl von Testläufen, die im Rahmen einer HAF Absicherung erforderlich sind, mit relativ geringen Kosten durchführen kann.

Darüber hinaus war Continental Teves, im Teilprojekt 4 „Ergebnisreflektion und Einbettung“ für die Projekt-Koordination verantwortlich. Zu den Aufgaben der Projektkoordination und des Projektmanagements gehörten die inhaltliche Abstimmung und Koordination der Arbeiten mit den Projektpartnern, sowie die Sicherstellung des Erreichens der geplanten Ziele.

Sämtliche von Continental Teves durchgeführten Arbeiten verliefen nach Plan; seitens Continental Teves wurden alle Projektziele vollumfänglich erreicht. Bei der Abschlusspräsentation von 13.-14.05.2019 auf dem VW-Testgelände präsentierte Continental Teves seine Forschungsergebnisse im Rahmen von Vorträgen, Postern, sowie in Form einer Software in the Loop Simulation, in der die gesamten PEGASUS Toolkette dargestellt wurde und Tests mit einer bei Continental entwickelten Fahrfunktion durchgeführt werden konnten.

Nach dem Abschluss des Forschungsprojektes werden die in PEGASUS entwickelten Prozesse, Methoden und Werkzeuge im Rahmen der Vorentwicklung bei Continental Teves, hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit bewertet und gegebenenfalls angepasst, damit sie sich in die Entwicklungslandschaft bei Continental einbinden lassen.

## 19. Schlagwörter

PEGASUS, hochautomatisierte Fahrfunktionen, Prüfmethodik, Standardisierung und Normung, Sicherheit, Qualitätsstandards und Methoden, Einbettung, szenariobasiertes Testen, Simulation, Szenariendatenbank, Entwicklungsprozess, V-Modell, Testmanagement, Parametervariation, OpenDRIVE, OpenSCENARIO

## 20. Verlag

./.

## 21. Preis

./.

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report	
3. title  <b>PEGASUS</b>  (Project for the establishment of generally accepted quality criteria, tools and methods as well as scenarios and situations for the release of highly-automated driving functions)		
4. author(s) (family name, first name(s)) Corell, Thomas (Project Manager) Goll, Markus Wachenfeld, Walther Elfu, Raphael	5. end of project 30.06.2019	
	6. publication date November 2019	
	7. form of publication Document	
8. performing organization(s) (name, address)  Continental Teves AG & Co. oHG Guerickestraße 7 60488 Frankfurt a. M.	9. originator's report no.	
	10. reference no. <b>19A15012H</b>	
	11. no. of pages 58	
12. sponsoring agency (name, address)  Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) 10115 Berlin, Germany	13. no. of references 7	
	14. no. of tables 3	
	15. no. of figures 27	
16. supplementary notes . / .		
17. presented at (title, place, date)  TÜV Rheinland Consulting GmbH, Cologne, Germany, December 2019		

18. abstract

The objective of PEGASUS (project for the establishment of generally accepted quality criteria, tools and methods as well as scenarios and situations for the release of highly automated driving functions) was to develop a generally accepted method for the verification and validation of automated driving functions and thus to enable homologation of automated vehicles on highways (SAE Level 3).

The main objectives of PEGASUS were:

- Defining a consistent approach for verification and validation of automated vehicle systems in simulation, testing facilities and real environments.
- Developing a consistent and flexible tool chain for verification and validation of automated driving.
- Integration of verification and validation activities into development processes at an early stage.
- Establish a manufacturer independent method for securing highly automated driving functions.

In order to define a new state of the art for the verification and validation of automated driving functions, four sub-projects within this PEGASUS project carried out focused on various test methods, quality criteria, traffic scenarios, tools and guidelines.

Due to the high dependence of the subprojects on each other, the research results of the various subprojects were summarized in an iterative process in order to define a common PEGASUS method for the evaluation of highly automated driving functions.

As a global supplier of system and components to the automotive industry, Continental Teves AG & Co. oHG, based on its research experience from previous projects, has focused on sub-project 3 "Testing" within PEGASUS Project.

Continental Teves has set up a simulation environment and implemented a prototype of the tool chain developed in PEGASUS for testing the automated driving function (SAE level 3) on highways.

The objective of Continental Teves was to develop a standardized tool together with the cooperation partners, which can perform the large number of test runs required by a HAD verification and validation at relatively low cost.

In addition, Continental Teves was responsible for project coordination in sub-project 4 'Result reflection and embedding'. The tasks of project coordination and project management included the coordination of the content and coordination of the work packages with the project partners, as well as ensuring the achievement of the planned objectives.

At the final PEGASUS event on 13-14 May 2019 at the VW test site, Continental Teves presented its research results in the form of lectures, posters and software-in-the-loop simulation, in which the entire PEGASUS tool chain was presented and tests with a driving function developed at Continental could be carried out.

After the completion of the research project, processes, methods and tools developed in PEGASUS are evaluated and adjusted in terms of their practicality, as part of preliminary development at Continental Teves, so that they can be integrated into the Continental development landscape.

19. keywords

PEGASUS, highly automated driving functions, SAE level 3, test methodology, verification and validation, standardization, safety, quality standards and methods, embedding, scenario based testing, simulation, scenario database, development process, V-model, test management, parameter variation, OpenDRIVE, OpenSCENARIO

20. publisher

./.

21. price

./.