

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

Dipl.-Ing. Jens Mazzega, Dr.-Ing. Hans-Peter Schöner

Abstract

The joint research project PEGASUS (Project for Establishing Generally accepted Quality-Criteria, Tools and Methods as well as Scenarios and Situations for the Release of highly automated Driving Functions) closes the gaps in the areas of testing and approval of automated vehicles. This will support the transfer of already existing functions and prototypes into products. Central use-case of the project is a highly automated sample vehicle function, the highway-chauffeur. 17 partners are working in the project, which is funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. The partners develop a complete tool chain, including criteria and measures for driving task assessment, quality levels, test catalogs and centralized methods and processes to secure and enable highly automated driving functions. The result is a new state of the art, which establishes an overall approach for validation of assistance or automation functions, in preparation of a subsequent release and approval.

Kurzfassung

Das Verbundprojekt PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) schließt Lücken in den Bereichen Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen, damit bereits vorliegende Funktionen und Prototypen zeitnah in Serienprodukte überführt werden können. Zentraler Use-Case des Projekts ist eine zukunftsnahe hochautomatisierte beispielhafte Fahrzeugfunktion, der Autobahn-Chauffeur. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekt erarbeiten insgesamt 17 Partner eine durchgängige Werkzeugkette, unter anderem mit Kriterien und Maßen zur Funktionsbewertung, Güteniveaus, Testkataloge sowie zentrale Methoden und Prozessen zur Absicherung und Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen. Die Werkzeugkette wird dabei innerhalb des Projektes prototypisch aufgebaut und praktisch demonstriert. Es resultiert ein neuer herstellerübergreifender Stand der Technik zur Absicherung von Assistenz- bzw. Automatisierungsfunktionen, der die spätere Freigabe und Zulassung vorbereitet.

1 Motivation

Mit der Einführung von Assistenzsystemen in Serienfahrzeuge und der kontinuierlichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit, in Bezug auf Qualität und Quantität, zeichnet sich ein klarer Trend zu höheren Automatisierungsgraden bis hin zum automatisierten Fahren ab. So gelten Automatisierung, Vernetzung und die Elektromobilität aktuell nicht ohne Grund als die Zukunftsthemen der Automobilindustrie. Dass diese Themen auch auf politischer Ebene eine wichtige Rolle spielen, zeigen Beschlüsse, Gremien und Fördermaßnahmen der Bundesregierung. Hierzu zählen unter anderem das Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ [1] des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), der durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) ins Leben gerufene runde Tisch „Automatisiertes Fahren“, an dem fachübergreifend eine deutsche Position zu dem Thema erarbeitet wird [2], die „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren“ der Bundesregierung [3] sowie die Schaffung von offiziellen Testmöglichkeiten im öffentlichen Raum (wie das „Digitale Testfeld Autobahn“, initiiert durch das BMVI [4]) und entsprechende Förderprogramme zur Nutzung [5].

Dass das (hoch)automatisierte Fahren (HAF) möglich ist, wurde bereits in einer Vielzahl von nationalen (u.a. aFAS, Aktiv, Ko-FAS und UR:BAN) sowie internationalen (u.a. HAVEit, interactive und Adaptive) Forschungsvorhaben anhand von einzelnen Use-Cases praxisnah mit entsprechenden Fahrfunktions-Prototypen demonstriert. In Summe bleibt die Anzahl der in den Projekten betrachteten Situationen sehr granular, und die Projekte zielten zumeist auf eine technik- bzw. funktionsorientierte Demonstration und lieferten damit wichtige Erkenntnisse zur Konzeptionierung von Funktionen. Sie ermöglichen jedoch keine direkten Schlüsse über die Gesamtleistung der Funktionen für die gesamte Vielzahl realer verkehrlicher Szenarien. Mit den in den Projekten gewonnenen Kenntnissen ist die Zulassung von Serienprodukten bei weitem nicht möglich. Es fehlt an einem systematischen Vorgehen, das eine ganzheitliche Absicherung nach einem festen Schema ermöglicht.

Die deutsche Automobilindustrie ist sich einig, dass für die Absicherung und Freigabe höherer Automatisierungsgrade ein einheitliches Vorgehen in den Bereichen Test und Erprobung notwendig ist. Diese Stellung wird im Projekt PEGASUS bekräftigt, in dem sich die deutsche Automobilindustrie, Zulieferer, kleine und mittelständische Unternehmen, sowie Forschungseinrichtungen gemeinsam mit den zwei im Folgenden genannten zentralen Fragestellungen befassen:

- Was muss ein automatisiertes Fahrzeug mindestens leisten?
 - Was leistet der Mensch (als Referenz-Maß)?
 - Was kann und muss die Automatisierung leisten (und was nicht)?
- Wie kann nachgewiesen werden, dass das automatisierte Fahrzeug seine Aufgaben auch zuverlässig ausführt?

Insbesondere die Übertragung der Verantwortlichkeit vom Fahrer auf die Automation stellt mit steigendem Automatisierungslevel (SAE Level 3 und höher, Definition s. [6]) hohe Anforderungen an die neuen Systeme, da der Fahrer die Fahraufgabe nicht mehr kontinuierlich überwachen muss und sich anderen Tätigkeiten widmen darf. Dementsprechend hoch sind die Anforderungen an die Automationssysteme. Die Absicherungsmethoden von bestehenden auf dem Markt etablierten Fahrerassistenzsystemen stützen sich auf der Rückfallebene Mensch, Statistiken, empirischen

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

Betrachtungen sowie dem „Freifahren“ einzelner Funktionen unter realen Bedingungen. Diese Art von Testauslegung ist aus verschiedensten Gründen für (hoch)automatisierte Systeme praktisch nicht anwendbar. So wären bspw. zur Absicherung einer hochautomatisierten Fahrfunktion theoretisch 240 Mio. km nach Winer [7] notwendig. Dieses Vorgehen ist weder zeit- noch kosteneffizient und wäre mit den typischen Entwicklungszyklen für neue Serienmodelle nur schwer vereinbar. Auch im Vergleich zu anderen Systemen mit hohen Sicherheitsanforderungen entspricht diese Vorgehensweise nicht dem Stand der Technik.

Das Projekt PEGASUS erarbeitet in vier Teilprojekten ein neues Vorgehen, welches die Erkenntnisse aus der Absicherung bestehender Fahrerassistenzsysteme (FAS) und den aufgebauten HAF-Prototypen berücksichtigt und in ein normgerechtes generell akzeptiertes Test- und Freigabeverfahren überführt. Das Teilprojekt (TP) 1 „Szenarienanalyse und Qualitätsmaße“ beschäftigt sich mit der Definition des Autobahn-Chauffeurs, der menschlichen sowie maschinellen Leistungsfähigkeit in diesen Fahraufgaben sowie Kriterien und Maßen zur Beurteilung. Innerhalb des TP 2 „Umsetzungsprozesse“ erfolgt die Analyse bestehender sich in der Automobilindustrie etablierter Prozesse rund um das Thema Absicherung. Diese werden analysiert, in eine neue/ erweiterte Prozessmethodik für HAF überführt und es erfolgt die Prozessspezifikation für das Testen. Im TP 3 erfolgt die Erarbeitung von Methoden und Werkzeugen zur Durchführung der Tests im Labor, auf dem Prüfgelände sowie im realen Verkehrsgeschehen, mit dem Ziel möglichst viele Tests simulativ abdecken zu können. Dass die Projektergebnisse nicht nur für die Beispielanwendung Autobahn-Chauffeur nutzbar sind, stellt das TP 4 „Ergebnisreflektion & Einbettung“ mit einem Proof of Concept sicher. So wird unter anderem geprüft, ob die erarbeiteten Ergebnisse und Verfahren auch für weitere Anwendungen genutzt und die erarbeiteten Werkzeuge und Prozesse in die Unternehmen integriert werden können. Bild 1 zeigt die Struktur der Teilprojekte auf:

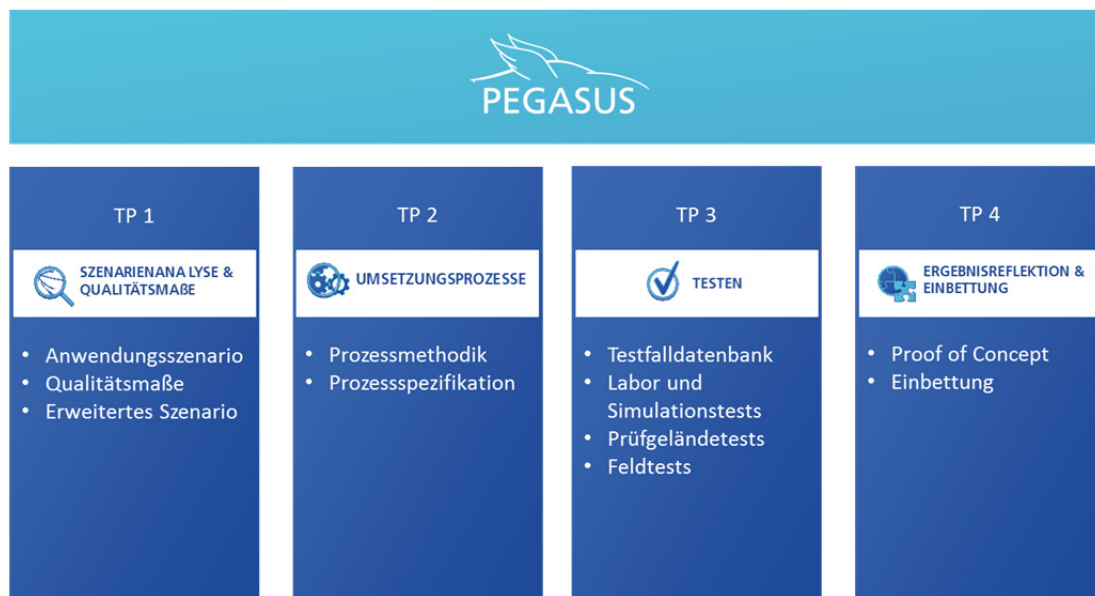


Bild 1: Teilprojekte von PEGASUS

Für eine erfolgreiche Projektbearbeitung ist es in PEGASUS essenziell, dass sich die einzelnen TP stark verzahnen, da die Arbeitsergebnisse der einzelnen Teilprojekte stets Auswirkungen und definierte Ausgangspunkte auf die anderen Teilprojekte darstellen. Im Folgenden erfolgt die Darstellung einzelner ausgewählter Arbeitsinhalte.

2 Szenarien und Qualitätsmaße für das automatisierte Fahren

Um ein (hoch)automatisiertes System bewerten zu können, werden für die Prüfdurchläufe in der Simulation, dem Prüfgelände sowie dem Realverkehr eine Vielzahl von Informationen benötigt. So sind für das eigentliche Testen mindestens Szenarien, geeignete Kriterien und Maße zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit/ Qualität des Systems notwendig. In PEGASUS werden hierzu funktionale Anforderungen an das technische System, auf Grundlage der Beispielfunktion Autobahn-Chauffeur abgeleitet, umgesetzt und praktisch demonstriert. Dabei ist insbesondere die menschliche Leistungsfähigkeit von großer Bedeutung, um mit der Einführung von HAF-Systemen keine Verschlechterung der Verkehrssicherheit zu erzielen, andererseits aber auch zu vermeiden, dass unrealistisch hohe Anforderungen eine signifikante Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr durch Automatisierung verhindern.

Zu Beginn der Arbeiten erfolgt die Beschreibung des Autobahn-Chauffeurs in seiner Grundfunktion, basierend auf den Ergebnissen von Vorgängerprojekten sowie Erweiterungen und Verfeinerungen. Die Ermittlung kritischer Verkehrssituationen für den Anwendungsfall erfolgt auf Basis bestehender Unfalldaten (z.B. GIDAS-Datenbank [8]), Field Operational Tests (FOT), Naturalistic Driving Studies (NDS) sowie Fahrsimulatorstudien. Zur effizienten Bewertung der damit aufgezeigten Verkehrssituationen werden Kritikalitätsmetriken erstellt und angewendet. Man erhält damit die menschliche Leistungsfähigkeit sowie Wirksamkeit (Unfallvermeidungspotential) für das Anwendungsszenario. Die Ermittlung der maschinellen Beherrschbarkeit und der Systemgrenzen erfolgt ausgehend von einem fünfstufigen Verfahren (vgl. Bild 2):

- Beschreibung aller kritischen Verkehrssituationen für die (Beispiel-) Funktion anhand neu entwickelter Kritikalitätsmetriken, sowie Identifizierung der menschlichen Leistungsfähigkeit in diesen kritischen Verkehrssituationen.
- Ermittlung der maschinellen Leistungsfähigkeit für die ermittelten kritischen Situationen. Bestimmung der potentiellen Automationsrisiken.
- Aufbau und Nutzung eines Werkzeugs zur Ermittlung des Sicherheitsniveaus hochautomatischer Fahrfunktionen auf Datenbasis von Unfallschwere und Auftretenswahrscheinlichkeit kritischer Verkehrssituationen sowie der maschinellen Beherrschbarkeit.
- Ermittlung eines Gütemaßes unter Berücksichtigung der möglichen notwendigen gesellschaftlichen Akzeptanz.
- Ableitung der Gesamtheit an Anforderungen an die (Beispiel)Funktion, die in den Tests erprobt werden.

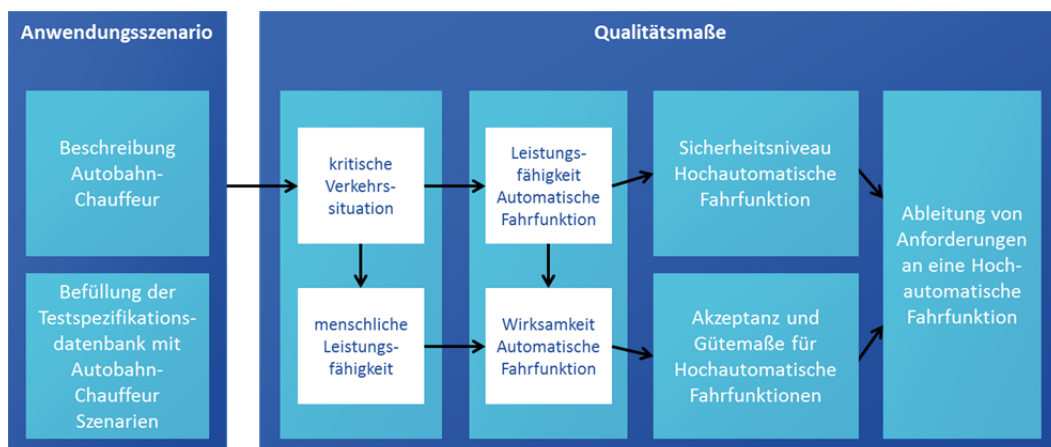


Bild 2: Verfahren zur Ermittlung der maschinellen Beherrschbarkeit

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

Mit diesem Vorgehen besteht die Möglichkeit, die Beherrschbarkeit kritischer Situationen durch einen menschlichen Fahrer der Beherrschbarkeit dieser Situation durch die Automation gegenüber zustellen (s. beispielhaft Bild 3, mit der Darstellung der Time To Collision (TTC) für eine bestimmte Situation).

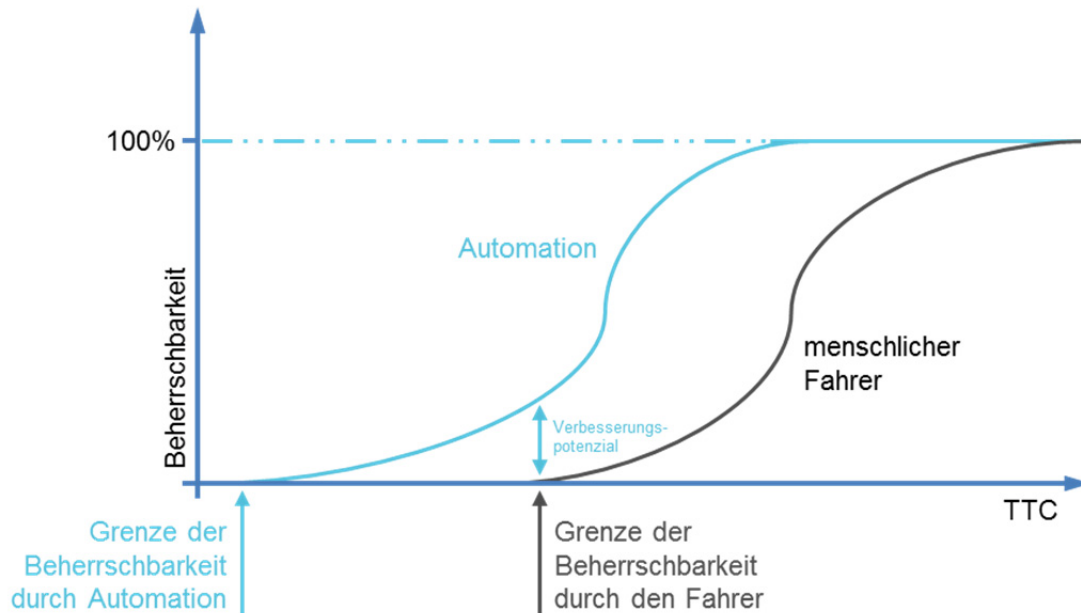


Bild 3: Prinzipskizze zur Visualisierung der Beherrschbarkeit kritischer Szenarien durch einen menschlichen Fahrer vs. Autobahn-Chauffeur

Neben den positiven Erscheinungen der (hoch)automatisierten Systeme, wie z.B. *das System ist immer „aufmerksam“ und ist somit dazu in der Lage, Unfälle aufgrund von fehlender menschlicher Konzentration zu vermeiden*, ergeben sich auch neue aktuell nicht auftretende Unfälle aufgrund zusätzlicher Automatisierungsrisiken. Zu diesen Automationsrisiken zählen unter anderem die Interaktion mit dem Fahrer in Übergabeszenarien, sowie technische Schwachstellen im Bereich Informationszugang, -aufnahme und -verarbeitung gegenüber dem menschlichen Fahrer. Somit gilt es als Herausforderung die neuen Automatisierungsunfälle so klein wie möglich und bestehende konventionelle Unfälle zu vermeiden.

In Summe resultiert für jedes einzelne (hoch)automatisierte System ein Gesamtbild (vgl. die schematische Darstellung in Bild 4), mit dem die Funktionsfähigkeit des Systems der Fähigkeit von menschlichen Fahrern objektiv gegenübergestellt werden kann. Ferner können die Leistungsgrenzen klar herausgearbeitet werden. Dabei sind folgende Grundannahmen für HAF denkbar: kritische Szenarien müssen vom (hoch)automatisierten System in gleicher Weise bewältigt werden, wie von einem menschlichen Fahrer. Aufgrund der meist kürzeren „Reaktionszeiten“ ist hier das System dem Menschen sogar in vielen Szenarien voraus. Dabei müssen aber auch sprunghaft eintretende Situationen, wie ein plötzliches Hindernis, nicht zwangsläufig durch die Automation beherrscht werden (schwarz dargestellt). Steht die Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer aufgrund der Überschreitung einer funktionalen Systemgrenzen bevor, so muss dies vom System erkannt und der Fahrer rechtzeitig zur Übernahme aufgefordert werden (blau dargestellt). Es verbleiben die schwierigen Szenarien (türkis dargestellt), wie z.B. die Cola Dose auf der Autobahn, die das System erkennen und darauf adäquat reagieren muss. Diese schwierigen Szenarien

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

sind zwar für das System fordernd, müssen aber von ihm vergleichbar wie vom Menschen bewältigt werden.

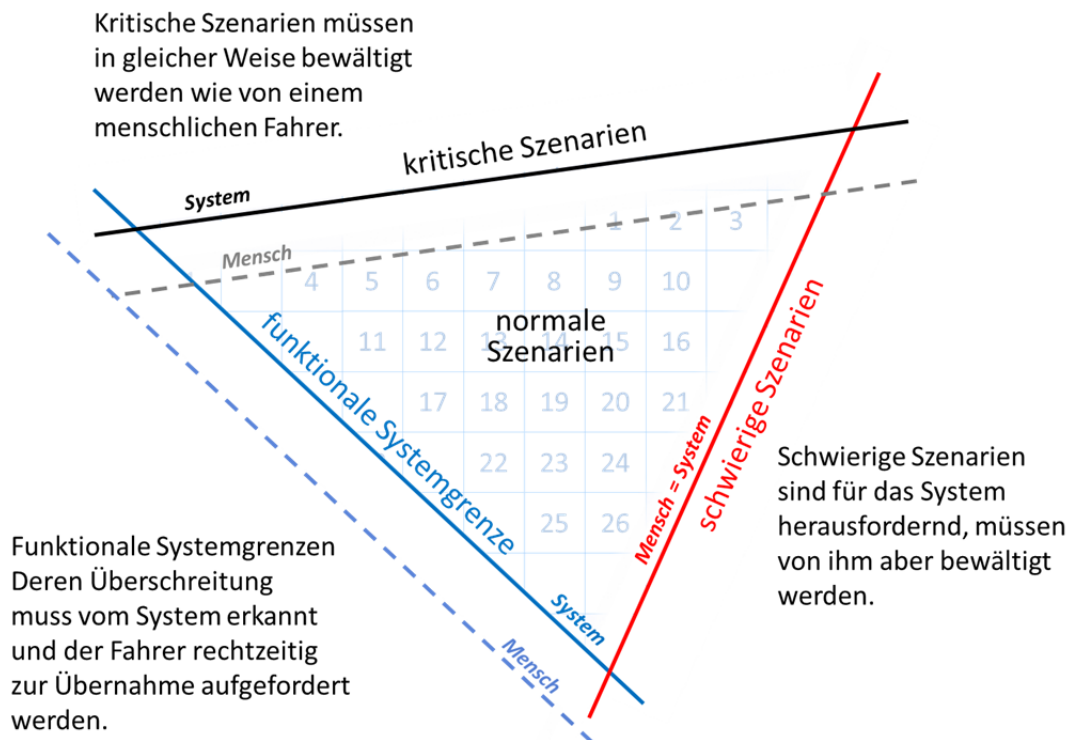


Bild 4: Prinzipskizze: Systemgrenzen

Zur effizienten Nutzung der in TP 1 „Szenarienanalyse und Qualitätsmaße“ erarbeiteten inhaltlichen Ergebnisse erfolgt deren Speicherung in einer Testspezifikations-Datenbank. Alle weiteren Teilprojekte greifen dabei ebenfalls auf diese Datenbank zu, reichern die Informationen weiter an und nutzen die Inhalte für die eigentlichen Tests. Damit stehen alle für das Testen unmittelbar notwendigen Projektergebnisse zentral zur Verfügung. Mit der Erstellung dieser auch nach Projektende barrierefrei zugänglichen Testspezifikations-Datenbank soll eine dauerhafte, effiziente Nutzung der Projektergebnisse (über die Projektlaufzeit hinaus) auch für weitere Anwendungsfälle ermöglicht werden.

3 Notwendige Prozesse zur Absicherung

Die Identifizierung und Erstellung von möglichst allgemeingültigen Entwicklungs- sowie Testprozessen stellt eine wichtige Basis für das eigentliche Testen dar. Nur mit einheitlichen, allgemeingültigen und anwendbaren Prozessschritten, die zum Nachweis der Sicherheit notwendig sind, ist es möglich (höher)automatisierte Systeme für eine Zulassung vorzubereiten. Hierzu wird in PEGASUS der notwendige Modifikationsbedarf vorhandener Metriken und Prozesse (u.a. der funktionalen Sicherheit) bei der Automobil-Serienentwicklung, besonders während der frühen Phase des V-Modells, analysiert. Darauf aufbauend erfolgt im engen Zusammenspiel zwischen den Teilprojekten die Überführung der systematischen Szenario-Leitlinien in Prozessschritte unter Berücksichtigung von System-Klassifikationen und Fahrzeugnutzungsstufen (SAE-Level). Ergänzend können neuartige Konzepte (z.B. die Dekom-

position der Fahraufgabe) in Prozesse überführt werden, die die Ableitung weiterer spezifischer Testfälle für die Fahraufgabe ermöglichen.

Ziel ist die Erarbeitung von allgemeinen Prozessen, die in die bestehenden Unternehmensprozesse integriert und im idealen Fall direkt in die bestehenden etablierten Prozessketten eingebunden sowie dort angewendet werden können. Dabei wird darauf geachtet, dass die neuen bzw. überarbeiteten Prozesse dem aktuellen schrittweisen Vorgehen der Automobilindustrie innerhalb des gesamten V-Modells Rechnung tragen. Hierzu muss die neue Prozesskette einerseits für den Forschungs- und Entwicklungsbetrieb ausreichend flexibel, andererseits ausreichend robust im Rahmen der Serienentwicklung und Absicherung sein. Im Bedarfsfall werden deshalb Rückkopplungsschleifen und Rückkopplungsebenen gezielt integriert.

Der Fokus in PEGASUS liegt in diesem Bereich insbesondere in der Ableitung von Leitlinien und Prozessen zur Bestimmung von Szenarien und Qualitätsmaßen sowie der Erstellung der Prozessschritte, die eine durchgängige, eng verzahnte (und vollständige) Testdurchführung in Simulation, auf dem Prüfgelände sowie im realen Verkehr ermöglichen. Parallel erfolgt die Verfeinerung der Guidelines für die notwendige Dokumentation der Prozessschritte. Als Ergebnis resultieren insbesondere Richtlinien und Vorlagen zur Dokumentation der Einhaltung des technischen State-of-the-Art beim Entwicklungsprozess von (hoch)automatisierten Fahrfunktion für das eigentliche Testen.

4 Das eigentliche Testen

Zum Nachweis, dass eine (hoch)automatisierte Fahrfunktion „hinreichend sicher“ ist, gehört zwangsläufig der Nachweis, dass alle zu erwartenden Situationen hinreichend sicher beherrscht werden. Ob dieser Nachweis in Form von Simulation, auf Prüfgeländen oder unter realen Bedingungen erfolgt, ist offen. Betrachtet man die erwartete Komplexität und die dazugehörigen Prüfumfänge, so bietet es sich aus Zeit- und Kostengründen an, möglichst viele Aspekte der Absicherung im Labor unter Zuhilfenahme von Simulation abzudecken.

Wichtiger Input für das eigentliche Testen kommt in PEGASUS aus den beiden zuvor beschriebenen Bereichen, aus denen auf Kriterien und Maße für die Tests zurückgegriffen werden kann, die unter Bezugnahme der menschlichen Fähigkeiten ermittelt und festgelegt sind. Zudem sind in den Prozessen besondere, aus der Automatisierung entstehende Prüfaufgaben, definiert.

Neben dem Wunsch, möglichst simulations-/ laborlastig zu testen, muss grundsätzlich betrachtet werden, was durch bspw. Software-in-the-Loop (SIL)-, Hardware-in-the-Loop (HIL)- oder Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Tests abgedeckt werden kann und bei welchen Fragestellungen Tests auf dem Prüfgelände oder gar im realen Verkehrsgeschehen zwingend erforderlich sind. Die Entscheidung, welcher Prüfdurchlauf im Labor, auf dem Prüfgelände oder im Feld stattfindet, erfolgt in der Testvorbereitung. Ausgehend von den bestehenden Informationen und ersten Daten zu dem Anwendungsfall (in Form von: Szenarien-Sets, Szenarien-Relevanz, Güte- und Qualitätsmaßen, Richtlinien für das Testen, ...) erfolgt in der Testvorbereitung eine Szenariendetaillierung unter technischen und systemspezifischen Gesichtspunkten. Mit

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

den angereicherten Informationen erfolgt die Festlegung des Testkonzeptes auf Basis von festen Vorgaben. Dabei wird abhängig von einzelnen Systemausprägungen, wie Darstellbarkeit der Szenarien oder Eigenschaften des Sensorsetups, festgelegt, welche Prüfdurchläufe wo stattfinden. Alle für die Tests notwendigen Informationen sind dabei zentral in der Testspezifikations-Datenbank gespeichert.

Im Anschluss an die Testvorbereitung erfolgt die Durchführung der einzelnen Tests inkl. einer „Feedbackschleife“. Mit dieser fließen Erkenntnisse aus der Testdurchführung direkt in eine verbesserte Spezifikation der Tests ein. Hierzu zählen insbesondere Kenntnisse zu den Grenzen der Anwendbarkeit von festgelegten Kriterien und Maßen bzw. Prüfmethode sowie Ergebnisse zu der notwendigen Prüftiefe (vgl. Bild 5).

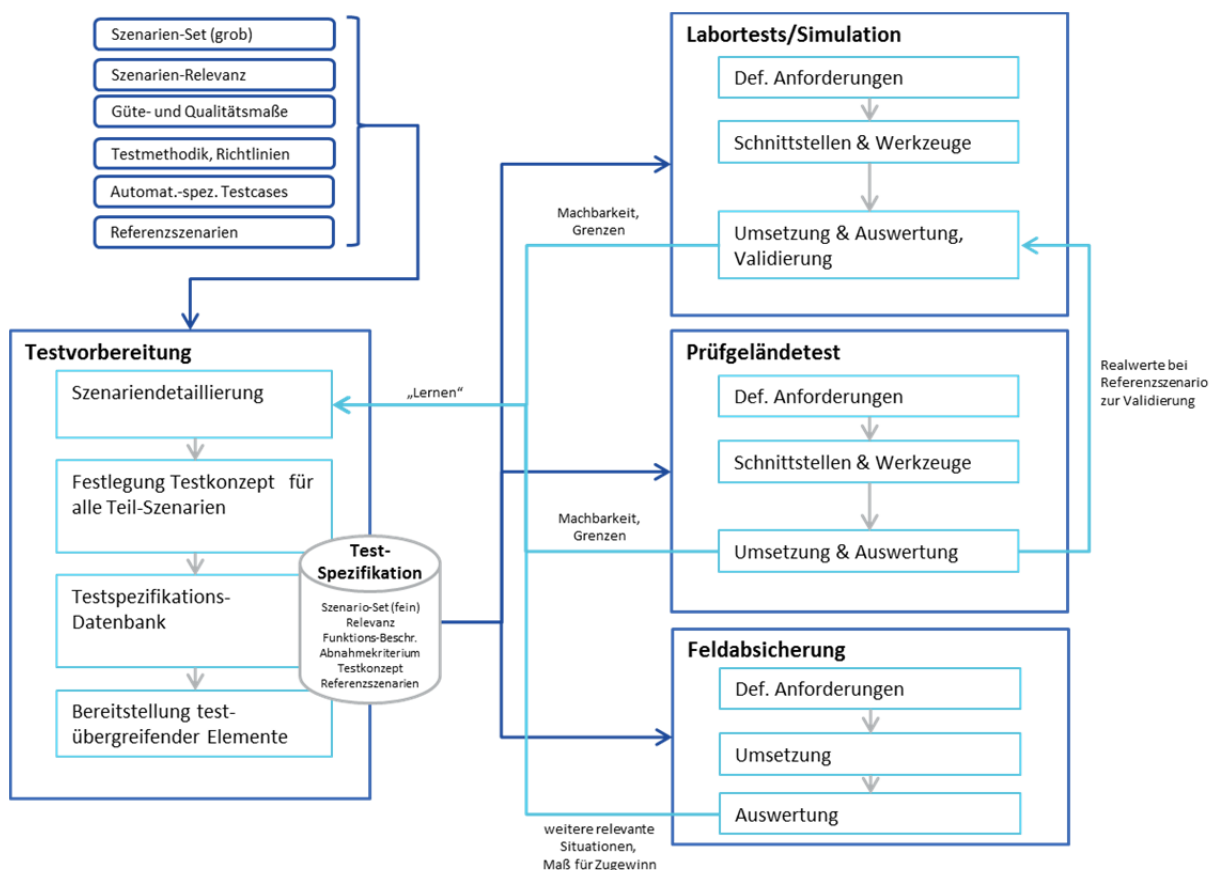


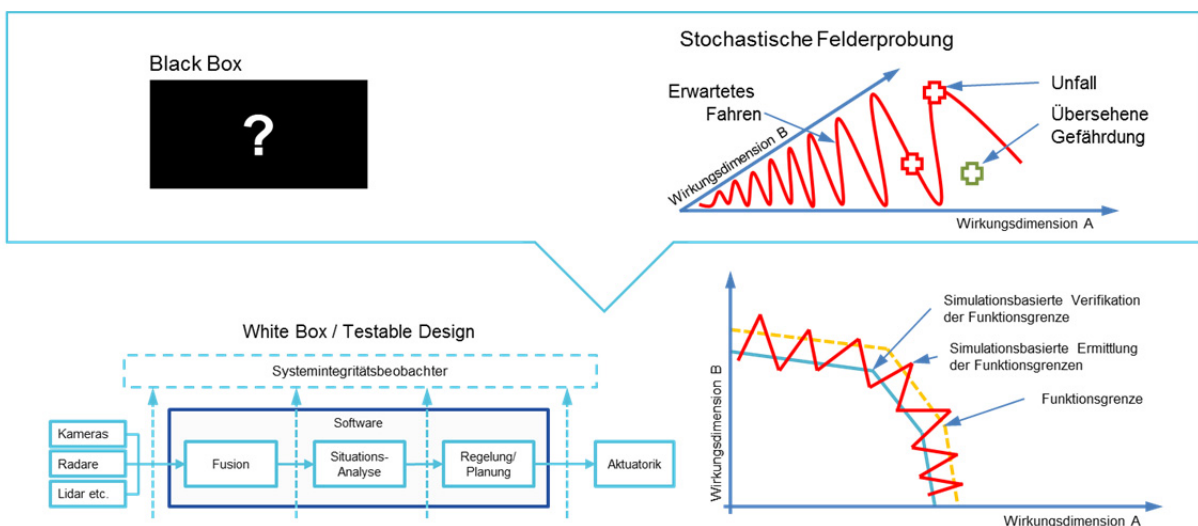
Bild 5: Schematische Darstellung der Testdurchführung

Eine wichtige Rolle beim Testen spielt das Grundverständnis und das Wissen über das System, da nur so eine ausreichend hohe Sicherheit für die Beherrschbarkeit sämtlicher relevanter Verkehrssituationen nachgewiesen werden kann. Die Absicherung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) beruht bisher wesentlich auf der Erprobung im Realverkehr („Safety by Test“). Hierbei wird von einem quasi „Black Box“-System ausgehend (es müssen nicht alle Systemzusammenhänge vollständig bekannt sein) eine stochastische Felderprobung durchgeführt (vgl. auch [7]). Da der Fahrer als Überwachungsinstanz ständig die Fahrzeugführung kontrolliert und weiterhin die Verantwortung hat, musste bisher nur nachgewiesen werden, dass das Assistenzsystem den Fahrer in auftretenden kritischen Situationen unterstützt und durch das System auch im Fehlerfall keine unbeherrschbaren Situationen auftreten; in Situationen, in denen ein Eingriff des Systems nicht zweifelsfrei gefahrlos geschehen konnte, blieb wie schon ohne FAS die Beherrschung der Situation dem Fahrer

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

überlassen. Für hochautomatisierte Fahrzeuge (HAF) dagegen, bei denen das Fahrzeug sämtliche erwartbaren relevanten Situationen eigenständig (oder nur mit „langen“ Übernahmezeiten durch den Fahrer) beherrschen muss, resultiert eine deutlich größere notwendige Absicherungstiefe. Bei einer reinen Felderprobung des Systems kann es dazu kommen, dass auch Situationen, die im HAF-Betrieb eine Gefährdung darstellen, übersehen werden, weil sie bspw. im Streckenverlauf nicht auftreten (vgl. Bild 6 oben).

Zur Absicherung von (hoch)automatisierten Fahrzeugen ist ein Umdenken notwendig [9], [10], [11]. So muss ein normkonformes (z.B. ISO 26262) Vorgehen („Safety by Design“) entstehen, bei dem ein komplexes Fahrzeugsystem auf Robustheit und Fehlertoleranz (bis hin zur Gesamtsystemebene) getestet werden kann. Dafür ist es notwendig, ein vollständiges Systemwissen zu besitzen (White Box), bei der u.a. ausgehend von der Sensorik bis hin zur Aktorik der Zustand aller Komponenten bezüglich Systemintegrität zu beobachten ist. Dabei erfolgen in Simulationsdurchläufen, anhand der in TP1 festgelegten Szenarien, die Abdeckung des gesamten Funktionsraumes und die Ermittlung der Funktionsgrenzen (vgl. Bild 6 unten). Die eigentlichen Testdurchläufe auf Prüfgeländen erfolgen bei der Absicherung von (hoch)automatisierten Systemen hauptsächlich entlang der erwarteten Funktionsgrenze, zur Verifikation der Funktion in diesem Grenzbereich.



Ziel: Hinreichende Vollständigkeit innerhalb der Funktionsgrenzen durch systematische Szenarienerstellung und Methoden zur Testabdeckung

Bild 6: Von „Safety by Test“ zu „Safety by Design“

Ziel des Vorgehens ist, eine hinreichende Vollständigkeit innerhalb der Funktionsgrenzen durch systematische Szenarienerstellung und Methoden zur Testabdeckung sicherzustellen.

In den nachfolgenden drei Unterkapiteln wird ausschnittartig noch einmal der Fokus aus den Bereichen Simulation/Labortests, Prüfgeländetest und Feldabsicherung in PEGASUS aufgezeigt. Dabei erfolgen im Zusammenspiel der drei einzelnen Testinstanzen eine Verifikation der Simulationsergebnisse auf dem Prüfgelände sowie die Validierung der Ergebnisse Funktion in den Feldtests. Um auch die Funktionsfähigkeit praktische Einsatzfähigkeit und Nutzbarkeit der im Förderprojekt erzielten Er-

gebnisse aufzuzeigen, werden hierzu die wesentlichen Hilfsmittel und Verfahren auch exemplarisch aufgebaut und erprobt.

4.1 Simulation

Die Simulation/Labortests bilden die Grundlage zur Abdeckung des „sehr großen“ Testraumes, der für die Absicherung einer (hoch)automatisierten Fahrfunktion notwendig ist. Mit der Virtualisierung der Testdurchläufe sollen seltene Ereignisse (deren Auftreten nur bei hohen Kilometerzahlen zu erwarten sind), eine große Varianz an Situationen und Umgebungsbedingungen sowie auch das fehlerbehaftete Verhalten von beteiligten Fahrzeugkomponenten abgebildet werden.

Mit der Virtualisierung des Test-, Absicherungs- und Freigabevorgehens, zur Beherrschung des Testraumes und -volumens, sollen die simulationsbasierte Ermittlung der Funktionsgrenzen sowie der Nachweis der Beherrschbarkeit mittels stochastischer Variation erfolgen. Als Voraussetzung für ein konsistentes Vorgehens ist primär ein einheitliches Beschreibungsformat für Testfälle und Testergebnisse unentbehrlich. Für das durchgängige Testen ist zusätzlich eine Werkzeugkette, mit „standardisierten“ Schnittstellen und Formaten, Tools zur automatisierten Testfallerstellung und -Auswertung sowie mit realitätsnahen Simulationsmodellen (u.a. für Sensorik und Verkehr) notwendig. Um die Ergebnisse in der Simulation bestmöglich bewerten zu können, ist zudem ein breites Wissen zu den Stärken und Schwächen aller virtuellen Testinstanzen sowie der Grenzen der Machbarkeit unerlässlich. Aufbauend auf diesem Wissen kann die Entwicklung einer Teststrategie zur simulativen Abdeckung des Testraums erfolgen.

Als Ergebnisse resultieren in PEGASUS insbesondere ein Leitfaden für ein Simulationskonzept für HAF-Funktionen, sowie ein möglichst industrieweit etablierter Standard für Modelle, Werkzeuge und Schnittstellen für die Simulationen. Die Ergebnisse werden dabei ebenfalls beispielhaft am Autobahn-Chauffeur demonstriert.

4.2 Prüfgeländetests

Ausgehend von den erhobenen Rahmenbedingungen und Kriterien für die Tests müssen in der Vorbereitung der Prüfgeländetests zunächst die Anforderungen an die Tests gesammelt werden. Dies erfolgt anhand eines gemeinsam mit TP 2 erstellten Prozesses, bei dem unter anderem spezifische und generische Umgebungsfaktoren berücksichtigt werden. Spezifische stationäre Faktoren (z.B. notwendige Fahrbahngeometrie) und dynamische Faktoren (wie Verkehrsteilnehmer), als auch generische Faktoren (wie Niederschlag oder Sichtweite), werden dabei strukturiert erhoben und ermöglichen die Festlegung der Geländebedingungen. Die Auswahl der eigentlichen Prüfmittel erfolgt abhängig von den Anforderungen, wie: notwendige Genauigkeit, Synchronisierung mehrerer Testelemente, oder Dynamik der Targets und deren Crash-Tauglichkeit. Die Informationen zur Testdurchführung werden auch bei den Prüfgeländetests aus der Testspezifikations-Datenbank über eine einheitliche Schnittstelle bereitgestellt.

Auf dem Prüfgelände werden nach dem PEGASUS-Ansatz insbesondere Situationen nachgestellt, die mit simulationsbasierten Methoden nicht sinnvoll oder nicht voll-

ständig umgesetzt werden können, welche sich im Grenzbereich der Beherrschbarkeit befinden, als auch komplexe Verkehrssituationen mit mehreren involvierten Fahrzeugen. Ziel ist der praktische Nachweis des geforderten Gütemaßes, in der Regel durch Verifikation der in den Simulationen/Labortests erzielten Ergebnisse.

4.3 Feldabsicherung

Die Hypothesen und Annahmen aus den durchgeführten Simulationsdurchläufen und Prüfgeländetests sollen im Zuge der Feldabsicherung validiert werden. Dabei werden insbesondere kritische Situationen betrachtet, die dafür in den beiden vorangegangenen Testabschnitten angenommenen verkehrlichen und verhaltensbedingten Voraussetzungen überprüft, und die resultierenden Verhaltensweisen der hochautomatisierten Fahrzeuge im Realverkehr ausgewertet. Neben der Betrachtung von bekannten kritischen Situationen können ausgehend von der Feldabsicherung zusätzliche Vorgänge identifiziert werden, die evtl. noch nicht in der Testspezifikations-Datenbank hinterlegt sind. Hierzu zählen unter anderem relevante Verkehrssituationen aber auch besondere Phänomene des Sensorverhaltens, die als Vorstufe zu kritischen Situationen eingeschätzt werden. Mit der gezielten Analyse und Überführung der neu aufgezeichneten Situationen in die Testspezifikations-Datenbank ergibt sich die Möglichkeit, diese Situationen auch im Nachgang noch einmal in der Simulation mit bspw. einer Parametervariation zu durchlaufen. Mit diesem „replay2simulation“-Ansatz gelingt somit auch eine dauerhafte weitere Anreicherung der Testspezifikations-Datenbank um weitere Situationen.

5 Proof of Concept/ Überführung der Ergebnisse

Um sicherzustellen, dass die in PEGASUS erarbeiteten Ergebnisse, in Form von Prozessen, Methoden und Werkzeugen, im Anschluss an die Projektlaufzeit ganzheitlich in die Unternehmen eingebettet werden können, erfolgt bereits zur Projektlaufzeit durchgängig ein Proof of Concept. So wird unter anderem über ein Reifegradmanagement die Güte der essenziellen Projektergebnisse aufgezeigt und es erfolgt eine stichpunktartige Überprüfung essenzieller Themen (z.B., ob die ausgewählten Funktionen durch die beschriebenen kritischen Situationen ausreichend abgedeckt sind, oder ob alle Anforderungen für die ausgewählten Funktionen und Referenzszenarien durch Testfälle abgedeckt sind und der Test-Parameterraum vollständig definiert ist). Parallel erfolgt für das Projekt zur Sicherstellung der Durchgängigkeit die Einführung eines Traceability-Konzepts. So können bspw. bei sich ändernden Anforderungen die Testfälle schnell und effizient angepasst werden.

Mit der Betrachtung eines weiteren Anwendungsszenarios (neben dem Autobahn-Chauffeur) erfolgt bereits innerhalb des Projektes die Sicherstellung, dass die Ergebnisse auch auf andere (hoch)automatisierte Systemausprägungen übertragbar und somit auch aufwärtskompatibel sind.

6 Zusammenfassung

17 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft definieren in dem Verbundprojekt PEGASUS neue Kriterien und Maßgaben zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen. Aktuelle Testverfahren wie sie heute bei Fahrerassistenzsystemen zum

3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

Einsatz kommen, können nicht ohne weiteres übernommen werden, denn für hochautomatisierte Fahrfunktionen wären sie zu zeit- und kostenintensiv und vor allem herstellereinspezifisch. Mit PEGASUS sollen die Resultate verschiedener Forschungs- und Entwicklungsprojekte sowie bereits existierende Fahrzeugprototypen zukünftig effizient und schnell in marktfähige Produkte überführt werden können. Die Projektpartner entwickeln deshalb bis Juni 2019 allgemein akzeptierte Methoden und Werkzeuge für die Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen und präsentieren diese am Beispielsystem Autobahn-Chauffeur.

7 Key-Facts

Partner: Adam Opel AG, Audi AG, Automotive Distance Control Systems GmbH, BMW Group, Robert Bosch GmbH, Continental Teves AG & Co. oHG, Daimler AG, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Forschungsgesellschaft Kraftfahrzeugwesen mbH Aachen (fka), iMAR Gesellschaft für inertielle Mess-, Automatisierungs- und Regelsysteme mbH, IPG Automotive GmbH, QTronic GmbH, TraceTronic GmbH, Technische Universität Darmstadt - FZD, TÜV SÜD Auto Service GmbH, VIRES Simulationstechnologie GmbH, Volkswagen AG

Projektkoordination: Volkswagen AG, DLR

Projektvolumen: ca. 34,5 Mio. Euro,
davon 16,3 Mio. Euro gefördert durch das BMWi

Personaleinsatz: ca. 1.800 Personenmonate bzw. 149 Personenjahre

Laufzeit: 01.01.2016 – 30.06.2019

Weitere Informationen: <http://pegasusprojekt.de/>

Literatur

- [1] BMWi Förderprogramm "Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien":
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Technologie/Schluesselformen/verkehrstechnologien.html>
- [2] BMVI runder Tisch „Automatisiertes Fahren“:
http://www.bmvi.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/DigitalUndMobil/AutomatisiertesFahren/automatisiertes-fahren_node.html
- [3] „Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren“ der Bundesregierung:
https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/broschuere-strategie-automatisiertes-ernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- [4] BMVI „Digitales Testfeld Autobahn“:
<http://www.bmvi.de/digitalestestfeldautobahn>
- [5] „Automatisiertes und vernetztes Fahren auf digitalen Testfeldern in Deutschland“:
http://www.bmvi.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/DigitalUndMobil/ForschungsprogrammAutomatisierung/forschungsprogramm-automatisierung_node.html
- [6] Level der Automation nach Society of Automotive Engineers (SAE):
http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf
- [7] H. Winner, Absicherung automatischen Fahrens, 6. FAS-Tagung München, 2013
- [8] GIDAS-Datenbank (German In-Depth Accident Study): <http://www.gidas.org>
- [9] H.P. Schöner: Challenges and Approaches for Testing of Highly Automated Vehicles, in: Energy Consumption and Autonomous Driving, pp 101-109, Springer, 2016 (Proceedings of the 3rd CESA Automotive Electronics Congress, Paris, 2014)
- [10] U. Steininger, H.P. Schöner, M. Schiementz: Requirements on tools for assessment and validation of assisted and automated driving systems, 7. Tagung Fahrerassistenz, München, Nov. 2015
- [11] F. Köster, T. Form, K. Lemmer, J. Plättner: Wie gut müssen automatisierte Fahrzeuge fahren – PEGASUS, AAET 2016, Braunschweig, Feb. 2016

- 3 Wie PEGASUS die Lücke im Bereich Testen und Freigabe von automatisierten Fahrzeugen schließt

Autoren / *The Authors:*

Dipl.-Ing. Jens Mazzega
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik
Braunschweig

Dr.-Ing. Hans-Peter Schöner
Leiter Fahrsimulatoren, Werkstätten und Erprobung
Daimler AG, Fahrzeugautomatisierung und Fahrwerksysteme
Sindelfingen