

Wie gut müssen automatisierte Fahrzeuge fahren - PEGASUS

Frank Köster^{*}, Thomas Form⁺, Karsten Lemmer^{*}, Jens Plättner^{*}

^{*}Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

⁺Volkswagen AG

eMail: frank.koester@dlr.de

Abstract

Das Projekt PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) schließt wesentliche Lücken im Bereich des Testens sowie zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen. PEGASUS leistet damit einen Beitrag, dass Ergebnisse aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten zum hochautomatisierten Fahren sowie bereits existierende Fahrzeugprototypen in marktfähige Produkte überführt werden können. Hierzu werden im Projekt u.a. Kriterien und Maße zur Funktionsbewertung erarbeitet, Güteniveaus festgelegt und die für Tests und Freigaben benötigten Methoden sowie Werkzeugketten aufgebaut. Die Projektergebnisse werden praktisch angewendet und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Praxistauglichkeit bewertet. Zentraler Use-Case des Projekts ist die Funktion des hochautomatisierten Autobahn-Chauffeurs.

Die bislang herstellerspezifischen Vorgehensweisen zur Erprobung und Absicherung von Assistenzfunktionen bzw. Automatisierungsfunktionen werden durch PEGASUS in ein neues Vorgehen überführt, welches sich auf wissenschaftlich motivierten Kriterien, Maßen, Güteniveaus, Testkatalogen, Testmethoden und entsprechend ausgerichteten Werkzeugketten abstützt. Das Projekt definiert damit erstmals einen wissenschaftlich hergeleiteten Rahmen zum Testen und zur Freigabe hochautomatisierter Fahrzeuge.

Am Projekt PEGASUS sind 17 Einrichtungen aus Wirtschaft und Wissenschaft beteiligt¹. Das Projekt startete im Januar 2016, hat ein Projektvolumen von ca. 34,5 Mio. Euro und eine Laufzeit von 46 Monaten.

¹ Audi, BMW, Daimler, Opel, Volkswagen, Automotive Distance Control Systems, Continental Teves, Bosch, TÜV SÜD, fka, iMAR Navigation, IPG, QTronic, TraceTronic, VIRES, DLR, TU Darmstadt

Einleitung

Fortschrittliche Fahrerassistenz, die Automatisierung von Fahrzeugen und das vernetzte Fahren entwickeln sich zu wichtigen Bausteinen des Straßenverkehrs.

Als Grundlage für die Entwicklung marktreifer Produkte liegen heute bereits eine Vielzahl von Prototypen vor – siehe z.B. die Ergebnisse aus den nationalen und europäischen Projekten UR:BAN (www.urban-online.org), V-Charge (www.v-charge.eu), HAVE-IT (www.haveit-eu.org) und Drive-Car2X (www.drive-c2x.eu). Sie definieren in Teilen zentrale Meilensteine in Roadmaps zu innovativen Assistenzfunktionen sowie insbesondere auch zum automatisierten und vernetzten Fahren. Die betrachteten Use-Cases liegen auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen, auf Bundes- und Landstraßen sowie in urban geprägten Räumen. Die in diesen Bereichen umgesetzten Funktionen adressieren z.B. das automatisierte Fahren im Stau (Stau-Chauffeur), das automatisierte Fahren auf der Autobahn (Autobahn-Chauffeur) und das automatisierte Parken – vgl. u.a. Ergebnisdokumente des Runden Tisches *Automatisiertes Fahren* des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI – www.bmvi.de).

Ein wichtiger Schritt zur Überführung der vorliegenden Projektergebnisse und Fahrzeugprototypen in marktreife Produkte ist das systematische Testen – vgl. [Wachenfeld und Winner, 2015].

An dieser Stelle setzte das Projekt PEGASUS an. Das Projekt zielt auf ein wissenschaftlich abgesichertes Vorgehen zum Testen hochautomatisierter Fahrfunktionen, wobei u.a. Kriterien und Maße zu deren Bewertung erarbeitet (Was ist zu testen bzw. nachzuweisen?), Güteniveaus festgelegt (Wie gut müssen automatisierte Fahrzeuge fahren können?) und die für die Tests und Freigaben benötigten Testkataloge, Methoden sowie Werkzeugketten aufgebaut werden (Welche Tests sind wie durchzuführen?). Zentraler Use-Case des Projekts ist der Autobahn-Chauffeur. Zur abschließenden Evaluation werden die Ergebnisse des Projekts in Industrieprozesse eingebettet.

Der im Projekt definierte Rahmen (Kriterien, Maße und Güteniveaus) inklusive des entwickelten Vorgehens sowie der damit verknüpften Werkzeugkette für das Testen und die Freigabe automatisierter Straßenfahrzeuge wird im Anschluss an das Projekt direkt nutzbar sein. Zudem dienen die Projektergebnisse in ihrer Summe als Referenz bzw. Blaupause, um weitere Testeinrichtungen zu konzipieren und zu bewerten, die bspw. bei Herstellern, Zulieferern und Prüfstellen umgesetzt werden.

In der praktischen Anwendung werden sich die Ergebnisse des Projekts PEGASUS dadurch auszeichnen, dass das Testen hochautomatisierter Fahrzeuge bzw. einzelner Fahrzeugkomponenten simulations- bzw. labor-/prüfstandbasiert im engen Zusammenspiel mit Erprobungen auf Prüfgeländen und im Feld durchgeführt wird. Hierbei liegt der Fokus insbesondere auf der Maximierung des Anteils simulations- bzw. labor-/prüfstandbasierter Tests, um umfassende Tests bereits sehr früh in Entwicklungsprozesse zu integrieren und den Aufwand auf Testgeländen und im Feld möglichst gering zu halten.

Das Projekt PEGASUS ist eine durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWI – www.bmwi.de) geförderte Forschungs- und Entwicklungsinitiative. Projektpartner sind nationale Automobilhersteller und deren Zuliefererindustrie, Prüfeinrichtungen, kleine und mittelständische Unternehmen und verschiedene wissenschaftliche Partner (Audi, BMW, Daimler, Opel, Volkswagen, Automotive Distance Control Systems, Continental Teves, Bosch, TÜV SÜD, fka, iMAR Navigation, IPG, QTronic, TraceTronic, VIRES, DLR, TU Darmstadt). Weitere Partner sind über Unteraufträge in das Projekt eingebunden, wie z.B. die TU-Braunschweig und das OFFIS aus Oldenburg.

Das Projekt startete im Januar 2016, hat ein Projektvolumen von ca. 34,5 Mio. Euro und eine Laufzeit von 46 Monaten. Die Koordination übernehmen Volkswagen und das DLR gemeinsam.

Handlungsfelder des Projekts PEGASUS

Der Kern des Projekts PEGASUS ist durch die folgenden zwei Leitfragen definiert:

- Wie gut müssen automatisierte Fahrzeuge sein?
- Wie zeigen wir zuverlässig, dass die Fahrzeuge dies auch sind?

Zur Beantwortung dieser Leitfragen wurden vier Handlungsfelder und verschiedene Teilfragestellungen bzw. Ergebnisbausteine identifiziert:

- Leistungsfähigkeit von Mensch und Technik innerhalb der im Projekt adressierten Anwendungsfälle:
 - Was leistet der Mensch (menschliche Leistungsfähigkeit beim Fahren und auch seine Leistungsfähigkeit als Rückfallebene für die Automatisierung)? → Kriterien, Maße und notwendige Güteniveaus.

- Was leistet die Automatisierung und wo liegen die Grenzen der Automatisierung (Wirkungsbereich und Funktionsgrenzen)? → Kriterien, Maße und notwendige Güteniveaus.
- Welche Güteniveaus werden gesellschaftlich akzeptiert?
- Methoden, Prozesse, Testkataloge und Werkzeugketten zum Test sowie zur Freigabe der untersuchten Anwendungsfälle:
 - Welche Methoden, Prozesse, Testkataloge und Werkzeugketten sind erforderlich, um automatisierte Fahrzeuge bzgl. der identifizierten Kriterien/Maße und der zu erreichenden Güteniveaus in den jeweiligen Anwendungsfällen zu testen?
 - Was muss wie und wo getestet werden (insbesondere über Modellbetrachtungen, simulationsbasierte Methoden, in Laboren/Prüfständen, auf Testgeländen oder in Feldtests)?
- Beschreibung und Identifikation von Testfällen und deren Management zum Test sowie zur Freigabe der untersuchten Anwendungsfälle:
 - Wie werden die Testfälle selektiert und beschrieben?
 - Wie kann eine vollständige Überdeckung der relevanten Situationen durch Testfälle gewährleistet werden?
 - Wie sieht ein Management der Testkataloge aus, welches die sukzessive Integration neuer Testfälle unterstützt und auch neue Anwendungsszenarien aufgreifen kann?
- Einbettung der entwickelten Methoden, Prozesse, Testkataloge und Werkzeugketten zum Test und zur Freigabe der untersuchten Anwendungsfälle in Entwicklungsprozesse:
 - Sind die erarbeiteten Methoden, Prozesse, Testkataloge und Werkzeugketten erfolgreich in Entwicklungsprozesse der Industrie integrierbar?

Zentraler Use-Case → Autobahn-Chauffeur

Der zentrale Anwendungsfall im Projekt PEGASUS ist der Autobahn-Chauffeur. Die Funktionalität wurde in vorangegangenen nationalen und europäischen Projekten bereits thematisiert, wie z.B. im einleitend genannten Projekt HAVE-IT.

Zudem wurde die Funktion in der Arbeitsgruppe *Rechtfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung* aufgegriffen [Gasser et al., 2012], an der auch viele der PEGASUS-Projektpartner aktiv beteiligt waren.

Da der Autobahn-Chauffeur funktional damit bereits sehr gut aufgearbeitet wurde und gleichzeitig eine zukünftig hohe Marktrelevanz besitzt, ist er sehr gut als Use-Case für PEGASUS geeignet. Zudem schätzen Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verbänden und Politik des Runden Tisches *Automatisiertes Fahren* des BMVI die Funktion für etwa 2020 als Marktreif ein (siehe hierzu u.a. die in der Einleitung genannten Ergebnisdokumente des Runden Tisches *Automatisiertes Fahren*).

Der Autobahn-Chauffeur wird den Fahrer in monotonen bzw. unterfordernden Fahrsituationen auf Autobahnen oder autobahnähnlichen Straßen durch Automatisierung der Fahrzeugführung unterstützen, wie z.B. bei Fahrten im Stau oder Langstreckenfahrten. Hierdurch sollen Unfälle verhindert oder mindestens deren Folgen gemindert werden, welche bspw. durch eine Unterforderung des Fahrzeugführers bedingt sind. Zudem werden Ziele in den Bereichen Effizienzerhöhung des Fahrzeugs und Komforterhöhung für die Fahrzeugnutzer adressiert.

Der in PEGASUS betrachtete Autobahn-Chauffeur erfüllt die folgenden Anforderungen:

- hochautomatisiertes Fahren (SAE Level 3 [SAE, 2014])
- Anwendung auf Autobahnen und autobahnähnlichen Straßen
- Geschwindigkeitsbereich zwischen 0 und 130 km/h
- Fahrstreifenwechsel und Überholmanöver
- Stop & Go
- geeignete Handhabung von Notfallsituationen

Das Fahrzeug übernimmt sowohl Längs- als auch Querführung während der Fahrt unter normalen Bedingungen. Der Fahrer muss dabei das System sowie den umliegenden Verkehr nicht dauerhaft überwachen, sodass fahrfremde Tätigkeiten in begrenztem Umfang ausgeführt werden können. Eine prinzipielle Fahrtüchtigkeit des Fahrers wird stets vorausgesetzt.

Zur Längsführung überwacht das System den Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug und stellt zu diesem durch Beschleunigen und Bremsen einen angemessenen Abstand ein, welcher sich aus einer vom Fahrer parametrisierbaren Zeitlücke ergibt. Fährt kein Fahrzeug voraus, stellt der Autobahn-Chauffeur die Geschwindigkeit selbst ein. Die Geschwindigkeit ergibt sich dann entweder durch eine signalisierte oder kartenseitig dokumentierte Geschwindigkeitsvorgabe, eine durch das

Fahrzeug ermittelte und an die Straßenverhältnisse angepasste Geschwindigkeit, eine z.B. vor einer Kurve vom Fahrzeug ermittelte und den Komforterwartungen der Insassen entsprechende Geschwindigkeit oder einer vom Fahrer gewünschten und zulässigen Geschwindigkeitsvorgabe.

Bei der Wahl der Geschwindigkeit werden zudem die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge auf den linken benachbarten Fahrstreifen berücksichtigt – Berücksichtigung des „Rechts-Überholverbots“. Andere spezielle Regelungen – wie etwa spezielle Länderregelungen – werden in Teilen ebenfalls berücksichtigt (z.B. Überholen von Kolonnen mit niedriger oder mittlerer Eigengeschwindigkeit) oder können bei entsprechend hoher Relevanz im laufenden Projekt noch integriert werden.

In Stau-Situationen bremst der Autobahn-Chauffeur ggf. bis zum Stillstand herunter. Im Stop & Go-Betrieb erfolgt das Wiederanfahren automatisiert. Wird in der Nähe des Fahrzeuges vom System z.B. ein Fußgänger erkannt, so unterbleibt das automatisierte Wiederanfahren und dem Fahrer wird eine entsprechende Übernahmeaufforderung signalisiert.

Zur Querführung überwacht das System die laterale Position des Fahrzeugs im aktuellen Fahrstreifen und hält es durch automatisiertes Lenken in der Fahrstreifenmitte – auf geraden Strecken ebenso wie in Kurven. Die laterale Position des Fahrzeugs im aktuellen Fahrstreifen wird z.B. anhand von Fahrstreifenmarkierungslinien, Randbebauungen oder der lateralen Position anderer Verkehrsteilnehmer geschätzt.

Ist ein Fahrstreifenwechsel erforderlich, überprüft das System, ob der Nachbarfahrstreifen frei ist. Kann das Manöver ausgeführt werden, wird zur Einleitung des Spurwechsels der Fahrtrichtungsanzeiger betätigt und das Fahrzeug auf den Nachbarfahrstreifen gelenkt. Eingeleitet werden Fahrstreifenwechselmanöver z.B. zur Einhaltung des Rechtsfahrgebotes, zur Einhaltung der Wunschgeschwindigkeit, vor Fahrbahnverengungen (Fahrstreifen endet), vor Verzweigungen der Richtungsfahrbahn oder z.B. auch zwecks Abbildung kooperativen Verhaltens vor Autobahnauffahrten.

Notsituationen wird das Fahrzeug bei aktivem Autobahn-Chauffeur selbst bewältigen, sofern sie in ähnlicher Weise für einen menschlichen Fahrer beherrschbar wären und der umgebende Verkehr hierdurch nicht gefährdet wird. Erkennt das System eine Systemgrenze im Voraus, wird der Fahrer zur Übernahme der Fahraufgabe mit ausreichender Zeitreserve aufgefordert. Bei dauerhaftem Nicht-Beachten der Übergabeaufforderung durch den Fahrer wird das Fahrzeug durch ein automatisiertes risikominimiales Manöver in einen sicheren Zustand gebracht.

Alle automatisiert durchgeführten Funktionen/Manöver des Autobahn-Chauffeurs können jederzeit durch den Fahrer übersteuert bzw. abgebrochen werden.

Der Autobahn-Chauffeur kann auf Autobahnen oder autobahnähnlichen Straßen aktiviert und betrieben werden. Er kann z.B. nicht auf Autobahnanschlussstellen (Auf- und Abfahrten) sowie Rast- und Tankstellen aktiviert werden. Vor dem Verlassen für die Funktion geeigneter Straßenabschnitte (z.B. wenn die Autobahn geplant endet oder die Navigation das Verlassen der Autobahn an einer Abfahrt vorschlägt) fordert der Autobahn-Chauffeur den Fahrer rechtzeitig zur Übernahme auf.

Grundlegendes Gestaltungsziel im Kontext mit der Fahrer/Fahrzeug-Interaktion ist, dass stets eine klare Aufgabenverteilung zwischen Fahrer und Fahrzeug vorliegt und diese den menschlichen Akteuren und technischen Komponenten stets geeignet zugänglich ist. Dies bedeutet u.a., dass Funktionsaktivierungen durch den Fahrer immer über explizite Handlungen erfolgen und ebenso wie Deaktivierungen des Systems dem Fahrer bewusst gemacht werden – ggf. durch eskalierendes Feedback im Sinne eines Warnens, Informierens und Eingreifens. Hierbei ist es unerheblich, ob eine Aktivierung oder Deaktivierung durch den Fahrer oder das technische System initiiert wurde.

Zusammenfassung

Das Projekt PEGASUS ist im Januar 2016 gestartet. Es adressiert eine Reihe von Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Testen bzw. der Absicherung und Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen (vgl. Abschnitt *Handlungsfelder des Projekts PEGASUS*).

Neben Testkatalogen, Methoden und Werkzeugketten zur Absicherung und Freigabe stehen hierbei insbesondere die (erwartete) Leistungsfähigkeit von Mensch und Technik innerhalb der adressierten Anwendungsfälle im Mittelpunkt des Projekts. Gerade der letztgenannte Punkt ist zentral für den Erfolg des Projekts, denn über eine detaillierte Beantwortung der Fragen

- Was leistet der Mensch?
- Was kann die Automatisierung leisten (und was nicht)?
- Was sind akzeptable Güteniveaus?

werden zwingend notwendige Anforderungen für eine zielgerichtete Konzeption von Testkatalogen, Methoden und Werkzeugketten für die Absicherung und Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen definiert.

Dies ist Ausgangspunkt, um die bisher herstellerspezifischen Vorgehensweisen zur Erprobung und Absicherung von Assistenzfunktionen bzw. Automatisierungsfunktionen in ein herstellerübergreifendes Vorgehen zu überführen, welches sich auf wissenschaftlich motivierten Kriterien, Maßen, Güteniveaus, Testkatalogen, Methoden und entsprechend ausgerichteten Werkzeugketten abstützt.

Durch das Projekt PEGASUS wird damit erstmals ein wissenschaftlich hergeleiteter Rahmen zum Testen bzw. zur Absicherung und Freigabe hochautomatisierter Fahrzeuge vorgelegt.

Literatur

- Gasser et al. (2012). *Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung*. Bundesanstalt für Straßenwesen – Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe *Fahrzeugsicherheit*, Heft F83, 01/2012.
- SAE (2014). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. J3016_201401. On-Road Automated Vehicle Standards Committee. SAE International.
- Wachenfeld und Winner (2015). *Die Freigabe des Autonomen Fahrens*. In Markus et al., (Hrsg.): *Autonomes Fahren – technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer. Seiten 440-463.