

## Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen mithilfe einer Datenbank relevanter Szenarien

Andreas Pütz\*, Adrian Zlocki\* und Lutz Eckstein†

**Zusammenfassung:** Um den Absicherungsaufwand für hochautomatisierte Fahrfunktionen zu reduzieren, werden neue Ansätze für die Absicherungsmethodik benötigt. Als zielführend kann dabei eine Verknüpfung bestehender Methoden und Werkzeuge zu einem ganzheitlichen Ansatz angesehen werden. Im Projekt PEGASUS wird dazu eine Datenbank entwickelt, mit deren Hilfe relevante Verkehrsszenarien für die Absicherung nutzbar gemacht werden. Hierzu werden Daten aus unterschiedlichen Quellen (Unfalldatenbanken, Feldversuche, Simulation, etc.) zunächst harmonisiert und anschließend mit einer einheitlichen Prozesskette weiterverarbeitet. Auf diese Weise können Testspezifikationen für die Freigabe von hochautomatisierten Fahrfunktionen basierend auf einer Clustering der in den Datenquellen enthaltenen konkreten Szenarien abgeleitet werden.

**Schlüsselwörter:** Absicherung, hochautomatisierte Fahrfunktion, Datenbank, Szenarien

### 1 Einleitung

Die technische Umsetzbarkeit von hochautomatisierten Fahrfunktionen konnte in zahlreichen Forschungs- und Entwicklungsprojekten durch den Aufbau von Prototypen gezeigt werden (z. B. [1], [2], [3]). Ebenso wurden in jüngster Vergangenheit auch die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Nutzung automatisierter Fahrfunktionen im normalen Straßenverkehr geschaffen [4]. Bevor die Prototypen für das hochautomatisierte Fahren (HAF) den Weg in Serienprodukte finden, muss jedoch nachgewiesen werden, dass sie nach gesellschaftlich akzeptierten Maßstäben ausreichend sicher sind.

Die Anwendung der Methoden und Werkzeuge, die für den Nachweis der Funktionssicherheit von Fahrerassistenzsystemen existieren, führen aufgrund der Vielzahl zu berücksichtigender Szenarien, in denen hochautomatisierte Fahrfunktionen agieren, ohne eine Anpassung zu einem immensen Kosten- und Zeitaufwand. Statistische Überlegungen schätzen diesen Aufwand basierend auf der Anzahl gefahrener Kilometer zwischen zwei tödlichen

---

\* Andreas Pütz ist Senior Engineer FAS & HAF an der fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen, Steinbachstr. 7, 52074 Aachen ([puetz@fka.de](mailto:puetz@fka.de)).

† Adrian Zlocki ist Bereichsleiter Fahrerassistenz an der fka Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen, Steinbachstr. 7, 52074 Aachen ([zlocki@fka.de](mailto:zlocki@fka.de)).

† Lutz Eckstein ist Leiter des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika), RWTH Aachen University, Steinbachstr. 7, 52074 Aachen ([eckstein@ika.rwth-aachen.de](mailto:eckstein@ika.rwth-aachen.de)).

Unfällen in Größenordnung von ca.  $10^8$  bis  $10^9$  zurückzulegenden Testkilometern ab [5]. Neben der Länge dieser theoretisch erforderlichen Strecke für den Absicherungsnachweis im realen Straßenverkehr legt die Tatsache, dass für jede Anpassung am Systemdesign einer hochautomatisierten Fahrfunktion ein erneuter Nachweis geführt werden muss, nahe, dass neue Wege für die Funktionsabsicherung gefunden werden müssen.

## 2 Stand der Technik

Neben dem Nachweis der Funktionssicherheit im realen Straßenverkehr existieren weitere Testmethoden und -werkzeuge, die auch heute schon in der Entwicklung und Validierung von Assistenzsystemen an verschiedenen Stellen eingesetzt werden. Neben Verkehrs- und Fahrsimulationen kommen auch Prüfgelände- und Feldtests mit Funktionsprototypen zum Einsatz [6]. Diese zeichnen sich durch unterschiedliche Validitätsgrade ihrer Ergebnisse aus, welche sich annäherungsweise proportional zum Aufwand für den Einsatz der entsprechenden Methode verhalten (siehe Abbildung 1).

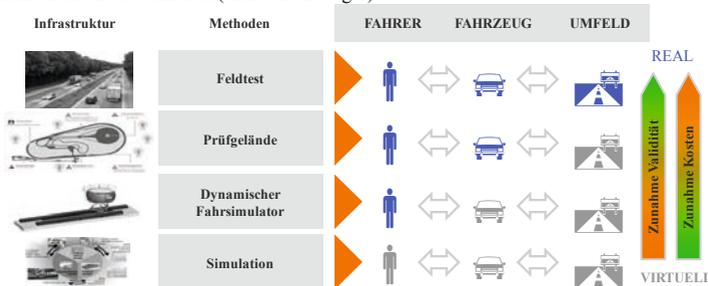


Abbildung 1: Vergleich verschiedener Test- und Evaluierungsmethoden

Während der Anwendung dieser Methoden werden Daten über Szenarien gesammelt, die als relevant für die Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen klassifiziert werden können, auch wenn während des entsprechenden Test die abzusichernde Funktion gar nicht zum Einsatz kommt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die aufgrund der Verkehrssituation eine erhöhte Kritikalität aufweisen und vom Fahrer - oder im Fall der Funktionsabsicherung von der hochautomatisierten Fahrfunktion - beherrscht werden müssen (z. B. ein knapp vor dem eigenen Fahrzeug einscherendes Fahrzeug).

Unfälle können ebenfalls als relevante Szenarien eingestuft werden, da sie im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Szenarien eine nochmals höhere Kritikalität aufweisen. Insbesondere bei hochautomatisierten Fahrfunktionen muss die Funktion rechtzeitig eigenständig unfallvermeidende Maßnahmen ergreifen [7]. Für Unfälle existieren seit ca. 20 Jahren Datenbanken, in denen sowohl Unfallfolgen als auch Ursachen abgespeichert werden, z. B. [8]. Hierdurch ist es möglich, die Wirksamkeit von unfallvermeidenden und unfallfolgenmil-

dernden Assistenzsystemen zu untersuchen, indem neue Systeme in den darin beschriebenen Szenarien getestet werden können. (Öffentlich zugängliche) Datenbanken, die für die Analyse von hochautomatisierten Fahrfunktionen genutzt werden kann, existieren zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht.

### 3 Datenbank relevanter Szenarien

Im Rahmen des Projekts PEGASUS (Projekt zur Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen) wird eine Datenbank als Werkzeug für die Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen entwickelt. Nachfolgend werden zunächst die Ziele der Datenbank sowie die Datenquellen für ihre Befüllung beschrieben. Anschließend wird die erforderliche Datenbankmechanik zur Verarbeitung der Datenquellen sowie die darin enthaltenen Datenbankinstanzen vorgestellt.

#### 3.1 Ziele (und Vorteile) der Datenbank

Das übergeordnete Ziel der Datenbank ist die Sammlung von relevanten Szenarien, die beim „Freifahren“ einer Funktion durch eine hohe Anzahl an Testkilometern zustande kommen, um so den Nachweis der Funktionssicherheit sehr viel effizienter führen zu können. Mithilfe der Datenbank müssen diese Szenarien im Absicherungsprozess nicht jedes Mal neu erzeugt, sondern können direkt in geeigneten Versuchsumgebungen hinsichtlich der Wirkung der hochautomatisierten Fahrfunktion analysiert werden.

Hierzu muss in der Datenbank eine Aufbereitung der Eingangsdaten erfolgen, mit deren Hilfe aus Szenarien aus Messdaten eine Testspezifikation erstellt werden kann. Die Ableitung von Testspezifikationen auf Basis von real gemessenen Szenarien erhöht somit ihre Validität und kann hierdurch auch zur gesellschaftlichen Akzeptanz des so vorgenommenen Absicherungsprozesses beitragen. Für die Erreichung des Ziels der gesellschaftlichen Akzeptanz ist es erforderlich, dass neben einer ausreichend großen Datenbasis für die Erstellung der Testspezifikation auch die Vollständigkeit des durch alle Testspezifikationen adressierten Situationsraums nachgewiesen werden kann. Auch hier bietet der Datenbanksatz Vorteile gegenüber den konventionellen Methoden, da der Vollständigkeitsnachweis erst nach der Erstellung des berücksichtigten Datensets vorgenommen werden kann.

Neben der Reduzierung des Testaufwands durch das gezielte Adressieren bestimmter Szenarien soll mithilfe der Datenbank auch eine Ausspielung von Testfällen in geeignete Versuchsumgebungen erfolgen. Dadurch kann die Untersuchung der Wirkung der Funktion in der Versuchsumgebung vorgenommen werden, die für den untersuchten Anwendungsfall den besten Kompromiss aus Ergebnisvalidität und Kosten darstellt. Zu diesem Zweck ist es erforderlich geeignete Schnittstellen zwischen Datenbank und den verschiedenen Testmethoden zu implementieren.

### 3.2 Datenquellen und Inhalte der Datenbank

Die relevanten Szenarien der Datenbank können aus unterschiedlichen Datenquellen stammen. Eine zuvor bereits angesprochene Datenquelle stellen Unfalldatenbanken dar. Die hierin enthaltenen Szenarien sind aufgrund ihres Ausgangs potentiell als relevant einzustufen, da die zu testenden hochautomatisierten Fahrfunktionen das Ziel verfolgen, einen entsprechenden Unfall zu vermeiden. Unterschieden werden muss hierbei zwischen Unfällen, die durch menschliches Fehlverhalten (z. B. überhöhte Geschwindigkeit, zu geringer Abstand) und solchen, in denen der Unfall durch die Verkehrskonstellation zustande kam. Im Sinne einer Wirksamkeitsanalyse zur Unfallvermeidung müssen beide Unfallarten berücksichtigt werden, für die Absicherung sind jedoch nur die Unfälle durch die Verkehrskonstellation primär relevant, da Fehlverhalten wie überhöhte Geschwindigkeit bei der Nutzung hochautomatisierter Fahrfunktionen ausgeschlossen werden kann.

Eine zweite Datenquelle stellen Realverkehrsdaten dar. Hierbei kann es sich einerseits um Felddaten handeln, andererseits um Daten aus Feldversuchen wie z. B. [9], [10]. Auch wenn die Messdaten keine Nutzung einer hochautomatisierten Fahrfunktion beinhalten, können trotzdem Szenarien beobachtet werden, die kritische Situationen beschreiben und daher als relevant anzusehen sind. Messdaten aus virtuellen Testmethoden (Verkehrssimulation und Fahrsimulator) sind ebenfalls wichtige Datenquellen. Während Verkehrssimulationen insbesondere dazu genutzt werden können, den Einfluss einzelner Szenarioparameter auf die Kritikalität eines Szenarios durch Parametervariationen zu bestimmen, helfen Fahrsimulatoren kritische Szenarien bei der Interaktion zwischen Mensch und System zu identifizieren. Fahrsimulatoren sind daher insbesondere geeignet, Daten über Szenarien zu liefern, die den Automationsrisiken zuzuordnen sind. Neben Fahrsimulatoren kann für die Identifizierung von Szenarien zu Automationsrisiken auch Expertenwissen genutzt werden, welches damit eine weitere Datenquelle darstellt. Dieses kann auch für andere Arten von relevanten Szenarien genutzt werden. Die im Zusammenhang mit dem Projekt PEGASUS identifizierten Datenquellen sind nachfolgend zusammengefasst:



Abbildung 2: Datenquellen als Eingang für die Datenbank

Mithilfe dieser unterschiedlichen Datenquellen können aus Rohdaten Messdaten-Szenarien für die Datenbank erzeugt werden. Um diese Messdaten-Szenarien in Testspezifikationen zu überführen, wird eine Clustering der Messdaten-Szenarien zu „logischen“ Szenarien [11] vorgenommen. Ein Beispiel eines solchen logischen Szenarios wäre der Einschervorgang, für den die Szenarioparameter Abstand und Relativgeschwindigkeit zum einscheren Fahrzeug als Häufigkeitsverteilung angegeben werden und nicht wie bei einem Messdaten-Szenario mit einem konkreten Wert belegt sind. Diese logischen Szenarien stellen somit eine Aggregation der Parameterverteilungen für einzelne Szenarioklassen dar.

Das Ziel der logischen Szenarien ist die Datengrundlage für die später zu erstellenden Testspezifikationen bereitzustellen (siehe auch Abbildung 3). Hierzu können aus den Verteilungen der Szenarioparameter ausgewählt werden, welche z. B. ein Szenario einer bestimmten Kritikalität definieren. Im folgenden Abschnitt soll daher der Datenverarbeitungsprozess von der Verarbeitung der Eingangsdaten bis zu Erstellung der Testspezifikation inklusive des Zwischenschritts über die logischen Szenarien näher vorgestellt werden.

### 3.3 Datenbankmechanik

Um Szenarien aus den beschriebenen Datenquellen in die Datenbank relevanter Szenarien zu integrieren, müssen diese in einem geeigneten Prozess aufbereitet werden. Dieser Prozess setzt sich aus mehreren Einzelschritten und Datenbankinstanzen zusammen und ist in Abbildung 3 dargestellt.

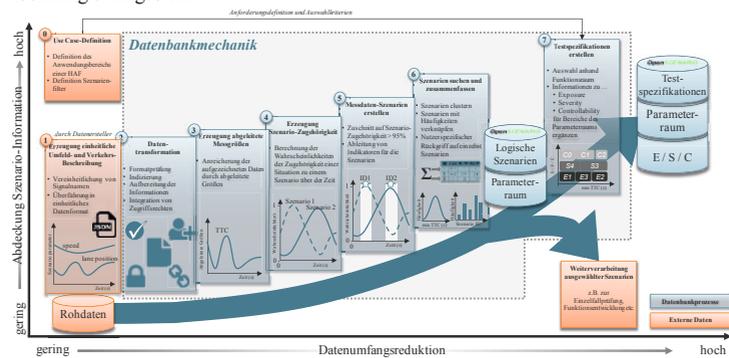


Abbildung 3: Übersicht über Datenverarbeitung im Rahmen der Datenbankmechanik

Die beschriebenen Datenquellen stellen den in Abbildung 3 unten links als Rohdaten bezeichneten Ausgangspunkt für die Datenbankmechanik dar. Da diese Rohdaten in sehr heterogener Form beschrieben sein können, müssen sie durch den Datenbesitzer in eine einheitliche Beschreibungsform überführt werden, siehe ①. Dieser Schritt ist erforderlich, um innerhalb der Datenbankmechanik eine einheitliche Datenverarbeitung zu ermöglichen, welche auf einheitlichen Signalbezeichnungen, Einheiten, Vorzeichenkonventionen und Daten-

strukturen aufsetzt. Die entsprechenden Angaben hierzu werden durch eine Reihe von json-Dateien vorgegeben, welche je einen Szenario-Parameter definieren.

In der Datenbankmechanik wird zunächst ein organisatorischer Schritt ② vorgenommen, in welchem eine Formatprüfung, die Indizierung eines Eingangsdatensatzes sowie die Integration von Zugriffsrechten durchgeführt werden. Letzteres ist erforderlich, um auch Datensätze in der Datenbank nutzen zu können, die nicht durch alle Partner, sondern nur durch den Datenersteller eingesehen werden können.

Mit Schritt ③ startet die inhaltliche Verarbeitung der Daten. Hierzu werden zunächst abgeleitete Messgrößen (wie z. B. TTC) berechnet, welche ggf. nicht im Rohdatensatz enthalten sind, aber für die spätere Bewertung (z.B. der Kritikalität eines Szenarios) benötigt werden. Hier zeigt sich der Vorteil des einheitlichen Datenverarbeitungsprozesses, indem die abgeleitete Messgrößen und Bewertungsgrößen nach einheitlichen Algorithmen berechnet werden und somit einem einheitlichen Bewertungsmaßstab unterliegen.

In Schritt ④ werden für die zeitkontinuierlichen Messdaten Wahrscheinlichkeiten der Zugehörigkeit zu den einzelnen logischen Szenarien bestimmt. Dabei kann es zu Überschneidungen der Zugehörigkeit zu mehreren Szenarien kommen, z. B. zwischen Folgefahrt und Einschervorgang. Wie für die abgeleiteten Messgrößen besteht auch bei diesem Verarbeitungsschritt der zentrale Vorteil der einheitlichen Verarbeitungskette, dass ein gemeinsames Szenarienverständnis wiedergegeben wird

Schritt ⑤ markiert den Übergang von zeitkontinuierlichen Messdaten zu einzelnen Messdaten-Szenarien, welche aufgrund der zuvor bestimmten Wahrscheinlichkeiten der Szenariozugehörigkeit ausgewählt werden. Jedoch werden dieser sowie die vorherigen Schritte auch bei Datensätzen angewendet, die bereits einzelne Szenarien beinhalten (z.B. eine Probandenstudie, bei der nur Einschervorgänge untersucht wurden). Durch die Anwendung von Schritt vier und fünf auf diese Daten kann sichergestellt werden, dass sie das gemeinsame Szenarienverständnis treffen und Start- und Endzeitpunkt des im Folgenden berücksichtigten Szenarios einheitlich definiert sind. Für die extrahierten Messdaten-Szenarien werden anschließend skalare und zeitkontinuierliche Indikatoren berechnet werden, die die Szenarien charakterisieren.

Im Schritt ⑥ wird die Zuordnung von Messdaten- zu logischen Szenarien vorgenommen, welche durch OpenScenario-Dateien [12] beschrieben werden. Die in den Messdaten-Szenarien beobachteten Parameter (und Parameterkombinationen) werden in Häufigkeitsverteilungen der Parameter des logischen Szenarios überführt. Die Ergebnisse werden in einer Datenbankinstanz abgelegt, welche die logischen Szenarien im OpenScenario-Format sowie den zugehörigen Parameterraum beinhaltet. Dies sind z.B. ein prototypisches Einscherszenario sowie die Häufigkeitsverteilung über den Abstand zum einschierenden Fahrzeug oder die Ego-Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Einschereins.

Basierend auf diesen logischen Szenarien können nun in Schritt ⑦ Testspezifikationen abgeleitet werden. Wie die logischen Szenarien werden auch die Testspezifikationen im OpenScenario-Format beschrieben. Zur Erstellung der Testspezifikationen werden zwei Punkte abgearbeitet: Zunächst werden für Bereiche des Parameterraums Auftretenshäufigkeit (E: Exposure), potentielle Folgen (S: Severity) und die Beherrschbarkeit (C: Controllability) durch den menschlichen Fahrer als Referenz bestimmt. Hierbei muss ein Kompromiss zwischen einer möglichst genauen Beschreibung und Umsetzbarkeit einer sehr detaillierten Beschreibung getroffen werden. Zudem muss bei der Bestimmung der Auftretenshäufigkeit beachtet werden, dass diese für eine sehr detaillierte Szenarienbeschreibung gegen null verläuft. Der zweite Punkt ist die Auswahl der Testspezifikationen aus den Parameterkombinationen der logischen Szenarien anhand der Funktionsbeschreibung. Das Ergebnis wird wiederum in einer weiteren Datenbankinstanz gespeichert.

#### 4 Zusammenfassung / Ausblick

Um den Absicherungsaufwand für hochautomatisierte Fahrfunktionen reduzieren zu können, ist es erforderlich, alternative Absicherungskonzepte zu finden. Ein solcher Ansatz beinhaltet die Sammlung von relevanten Verkehrsszenarien mithilfe einer Datenbank, welche im Projekt PEGASUS umgesetzt wird. Hierzu wurde das Konzept sowie die Umsetzung der Datenbank und ihrer Mechanik zur Verarbeitung und Integration der Daten aus verschiedenen Datenquellen vorgestellt. Ein Vorteil der dargestellten Verarbeitungskette ist die einheitliche Datenanalyse und einheitliche Bewertung nach abgestimmten Maßstäben, indem die hierzu genutzten Algorithmen von allen Partnern gemeinsam entwickelt werden.

Der Aufbau der zur dargestellten Datenverarbeitung erforderlichen Datenbankinfrastruktur ist nahezu vollständig. Im Folgenden müssen die inhaltlichen Bestandteile wie die erforderlichen Metriken zur Kritikalitätsbewertung, Szenarien-Zuordnung und E/S/C-Bestimmung weiter vervollständigt werden. Anschließend kann die Verarbeitungskette dann auf bereitgestellte Datensätze automatisiert angewendet werden. Noch ausstehend ist die Integration von Schnittstellen zu unterschiedlichen Testwerkzeugen, um Szenarien und Testspezifikationen der Datenbank automatisiert in einen ausführbaren Testfall zu überführen. Dies beinhaltet z. B. die Umrechnung des relativen Bewegungsverhaltens von (aufgezeichnetem) Umgebungsverkehr in Absolut-Trajektorien für Fahrzeuge, die den Umgebungsverkehr im Test simulieren.

#### 5 Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts PEGASUS, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

## 6 Literatur

- [1] Fahrenkrog, F.; Rösener, C.; Zlocki, A. 2016. Towards higher level of automated driving: The European project AdaptiVe. 25<sup>th</sup> Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2016, Aachen
- [2] Kotte, J. 2016. Platooning – History and current activities. IDEA League Mobility Summer School, Aachen
- [3] Zlocki, A. 2012 KONVOI and interactive – Truck Platooning and Crash Avoidance. Road Vehicle Automation Workshop, Irvine.
- [4] UNECE 2014. Amendments to Article 8 and Article 39 of 1968 Convention on Road Traffic,
- [5] Winner, H. 2015. How to Address the Approval Trap for Autonomous Vehicles. 18<sup>th</sup> IEEE ITSC, Gran Canaria.
- [6] Eckstein, L. & Zlocki, A. 2013. Safety Potential of ADAS - Combined Methods for an Effective Evaluation. ESV 2013, Seoul, South-Korea
- [7] SAE International 2014. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems.
- [8] GIDAS 1999. GIDAS – German in-Depth Accident Study ([www.gidas.org](http://www.gidas.org) aufgerufen am 08.12.2016)
- [9] Benmimoun, M. et al. 2011. Execution of a field operational test within the euroFOT project at the German 1 test site. 18<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transportation Systems, Orlando
- [10] Assenmacher, S. 2009. simTD: field operational test for determining the effectiveness of cooperative systems. 16<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems, Stockholm
- [11] Bagschik, G.; Menzel, T.; Reschka, A.; Maurer, M. 2017. Szenarien für Entwicklung, Absicherung und Test von automatisierten Fahrzeugen. 11. Uni-DAS e.V. Workshop Fahrerassistenz, Walting
- [12] Dupuis, M. 2015. OpenScenario – Standardisierung „auf hohem Niveau“. IBS-Workshop Automotive Software Engineering – Virtuelle Absicherung, 2015