

Ein Fehlermodell zur Manipulation des Fahrerverhaltens in virtuellen Umgebungen zum Testen automatisierter Fahrfunktionen

Bernd Huber*, Christoph Sippl*, Stefanie Weber† und Reinhard German‡

Zusammenfassung: Dieser Beitrag beschreibt ein Konzept für ein Fehlermodell für Fahrerverhaltensmodelle zum Test hochautomatisierter Fahrfunktionen. Das vorgestellte Konzept basiert auf Ergebnissen der Unfallforschung. Ziel des Fehlermodells ist es, dem Fahrerverhaltensmodell in der Verkehrssimulation die gleichen Fähigkeiten zu geben, wie sie der reale Mensch besitzt. Das Absichern und Freigeben hochautomatisierter Fahrfunktionen stellt für die Automobilhersteller große Herausforderungen dar. Das Erproben derartiger Systeme ist ohne unterstützende Tests in einer virtuellen Umgebung aufgrund wirtschaftlicher Betrachtungen, technologischer Restriktionen oder aus Sicherheitsgründen nicht umsetzbar. Daher werden für die sinnvolle Anwendung von Verkehrssimulationen neue Konzepte benötigt.

Schlüsselwörter: Automatisiertes Fahren, Fahrerverhaltensmodell, Fehlermodellierung, Simulation, Testen

1 Motivation

In zukünftigen Mobilitätslösungen für den Individualverkehr gewinnt die Automatisierung der Fahraufgabe immer stärker an Bedeutung. Dies kann einerseits auf wirtschaftliche Gründe zurückgeführt werden, so lassen sich durch hochautomatisierte Fahrfunktionen verschiedene Anwendungsfälle ableiten [1], wodurch der Markt entsprechend wächst [2]. Andererseits soll durch den erhöhten Automatisierungsgrad die Sicherheit im Straßenverkehr steigen. Verschiedene Statistiken zeigen, dass in über 90% der Fälle menschliches Versagen als Unfallursache gilt [3], [4]. Um die Anzahl an Unfällen im Straßenverkehr weiter zu reduzieren, soll dem Menschen die Fahraufgabe abgenommen werden.

Zur Absicherung dieser Systeme existieren zwei unterschiedliche Ansätze. Funktionstests können mithilfe von Testfahrten im Fahrzeug durchgeführt und anschließend die aufgezeichneten Daten ausgewertet werden. Der zweite Ansatz nutzt Simulationen, um Funktionstests in der virtuellen Welt im Labor durchführen zu können.

Im Vergleich zu Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) ist das Testen und Freigeben hochautomatisierter Fahrfunktionen komplexer und der Testaufwand deutlich erhöht.

*AUDI AG, 85045 Ingolstadt (e-mail: {bernd2.huber}, {christoph.sippl}@audi.de).

†Universitätsklinikum Regensburg, AARU Verkehrsunfallforschung, Am BioPark 13, 93053 Regensburg (e-mail: stefanie.weber@aaru.de).

‡Friedrich-Alexander Universität Erlangen, Lehrstuhl Informatik 7, Rechnernetze und Kommunikationssysteme, Martensstraße 3, 91058 Erlangen (e-mail: reinhard.german@fau.de).

Mit wachsendem Automatisierungsgrad [5] werden die zu beherrschenden Situationen vielfältiger und komplexer. Zudem werden die Funktionen im offenen Verkehrsraum ausgeführt, sodass die Systeme unzählige Situationen mit anderen Verkehrsteilnehmern bewältigen müssen. Das Freigeben hochautomatisierter Fahrfunktionen ist ohne unterstützende Tests in der virtuellen Welt aufgrund wirtschaftlicher Betrachtungen, technologischer Restriktionen oder aus Sicherheitsgründen nicht umsetzbar. Zusätzlich zeigen die Zwischenergebnisse des PEGASUS¹ Förderprojektes, dass ein deutlicher Anteil der Erprobung hochautomatisierter Fahrfunktionen in der virtuellen Welt mithilfe von Simulationen umgesetzt sind [6].

2 Problemstellung

Mithilfe sogenannter X-in-the-Loop-Methoden werden vernetzte Funktionen unter Verwendung von Simulationen im Labor getestet und verifiziert. Je nach Phase im Entwicklungsprozess werden unterschiedliche Simulationsmethoden eingesetzt, um entwicklungsbegleitend zu testen [7].

Ulbrich et al. [8] beschreiben die gezielte Anwendung simulativer Methoden beim entwicklungsbegleitenden Testen. Dabei sichern die Autoren die Spurwechselfunktion eines hochautomatisierten Fahrzeuges ab. Hierbei wurden von Experten Simulationsszenarien entwickelt, unter welchen das System getestet wurde. Das manuelle Ausarbeiten der Simulationsszenarien stellt hier eine Limitation für die virtuelle Erprobung der hochautomatisierten Fahrfunktion dar. Das Erstellen von Simulationsszenarien ist aufwendig und kompliziert, da das Verhalten jeder einzelnen Entität in der Simulation durch den Entwickler beschrieben werden muss. Darüber hinaus ist es fraglich, ob eine Gruppe von Experten in der Lage ist, alle notwendigerweise zu testenden Szenarien für einen fehlerfreien Betrieb der hochautomatisierten Fahrfunktion zu definieren.

Das PEGASUS Projekt begegnet dieser Problematik durch das Erstellen einer Datenbank, welche logische Szenarien beinhaltet [9]. Auf Basis der logischen Szenarien und mithilfe eines entsprechend definierten Parameterraums sollen automatisiert konkrete Szenarien für den Test von hochautomatisierten Fahrfunktionen abgeleitet werden können [10].

Die logischen Szenarien der Datenbank können aus unterschiedlichen Datenquellen, wie beispielsweise aus Unfalldaten, Fahrversuchen und Feldversuchen zur Verfügung gestellt werden [11]. Eine weitere Möglichkeit, die Datenbank mit entsprechenden Verkehrssituationen zu füllen, ist das Auswerten möglichst realistischer Verkehrssimulationen in der virtuellen Welt. Die Simulation bringt hier einige Vorteile mit sich, sodass Fahrzeugfunktionen betrachtet werden können, welche noch nicht die Serienreife erreicht haben. So kann beispielsweise das Verhalten unterschiedlich stark automatisierter Fahrfunktionen untereinander untersucht werden. Auch die Ausführung einer hochautomatisierten Fahrfunktion im Grenzbereich ist mithilfe einer Verkehrssimulation gefahrlos analysierbar. Jedoch ist sicherzustellen, dass der Abstraktionsgrad der Simulationen von der Realität nicht zu physikalisch unmöglichen Zuständen führt.

Ebenso stellt das Finden von Verkehrssituationen für den Test hochautomatisierter Fahrfunktionen einen neuen Anwendungsfall für Verkehrssimulationen dar. Zunächst muss allerdings beachtet werden, dass bei diesem Anwendungsfall das Verhalten der simulierten

¹Forschungsprojekt PEGASUS <http://pegasus-projekt.info>, [abgerufen am 22.04.2018].

Verkehrsteilnehmer nicht durch den Entwickler bestimmt werden kann. Eine Möglichkeit das Verhalten von Verkehrsteilnehmern zu bestimmen, ist das Einsetzen von entsprechenden Verhaltensmodellen. Diese nutzen sowohl statische Daten (z. B. Verkehrsinfrastrukturdaten) als auch dynamische Informationen (z. B. Objektdaten des Fremdverkehrs) aus der Verkehrssimulation, um das Verhalten von Verkehrsteilnehmern nachzubilden. Es wurden bereits unzählige Verhaltensmodelle vorgestellt, jedoch zeigen Reviews, wie zum Beispiel von Levesque et al. [12] über Fahrerverhaltensmodelle, dass die Modelle für andere Anwendungsfälle implementiert wurden und somit anderen Anforderungen genügen.

3 Ziel der Verkehrssimulation

Unter Anwendung einer Verkehrssimulation sollen Situationen generiert und identifiziert werden, unter welchen die hochautomatisierte Funktion nicht ordnungsgemäß funktioniert. Dabei soll die Funktion in der virtuellen Welt in Unfall- oder Beinaheunfall-Situationen gebracht werden, welche physikalisch möglich sind. Aus diesem Grund soll in der Simulation nicht explizit realistischer Verkehr modelliert werden, bei dem es selten zu Unfall- oder Beinaheunfall-Situationen kommt. Vielmehr sollen vermehrt Situationen generiert werden, welche zu Unfällen führen können. Solche Situationen in der virtuellen Welt zu erzeugen, ist mithilfe sogenannter *near-collision driver behavior models* möglich. Markkula et al. analysieren in [13] bereits vorgestellte *near-collision driver behavior models*. Dabei zeigen die Autoren auf, dass einerseits die jeweiligen Modelle für bestimmte Anwendungsszenarien entwickelt wurden und somit nicht allgemein gültig sind. Andererseits sehen die Autoren Herausforderungen in der Validierung der Modelle.

4 Konzept eines Fehlermodells für Fahrerverhaltensmodelle

Wie in Abschnitt 1 beschrieben wurde, ist menschliches Fehlverhalten in über 90% der Unfälle für deren Entstehung verantwortlich. Aus diesem Grund wird die Idee verfolgt, dem Fahrerverhaltensmodell menschliche Fehlverhaltensweisen beizubringen.

Im Folgenden wird das Konzept des Fehlermodells erläutert. Dabei wird zuerst auf die Datenbasis für das Fehlermodell eingegangen, die auf Unfalldaten der AARU (Audi Accident Research Unit²) beruht. Die Datenbasis gibt Aufschluss darüber, welche Fehler dem Menschen während der Ausführung der Fahraufgabe unterlaufen. Daraufhin werden entsprechende Anforderungen an das Fahrerverhaltensmodell abgeleitet. Anschließend wird anhand einer imaginativen Unfallsituation beispielhaft dargestellt, nach welcher Methodik die Informationen der AARU genutzt werden, um Beinaheunfall-Situationen in einer Verkehrssimulation zu generieren. Abschließend wird die Anwendung des Fehlermodells am Beispiel des Autobahn-Chauffeurs [14] dargestellt und beschrieben.

²Audi Accident Research Unit <http://www.aaru.de/> [abgerufen am 22.04.2018].

4.1 Datenbasis des Fehlermodells

Das Ziel des Fehlermodells ist das Generieren von Unfall- oder Beinaheunfall-Situationen. Um solche Situationen gezielt mithilfe von Fahrerhaltensmodellen provozieren zu können, ist es nötig, ausreichend Wissen über die Ursachen von Unfällen oder Beinaheunfällen zu haben. Eine Möglichkeit stellen hierbei die Auswertungen der GIDAS (German In-Depth Accident Study³) Datenbank dar. Jedoch ist bei der Auswertung der GIDAS Datenbank die Unfallursache nur mithilfe einer allgemeinen Bewertung beschrieben, wie z. B. unangepasste Geschwindigkeit des Unfallverursachers. Detaillierte Informationen über die Unfallursachen liefert die AARU. Neben technischen und medizinischen Faktoren wird bei der Unfallherhebung durch die AARU auch eine psychologische Beurteilung des Unfallhergangs durchgeführt. Dabei wird der menschliche Informationsverarbeitungsprozess der Unfallbeteiligten mithilfe der 5-Step-Methode in fünf Fehlerklassen kategorisiert. Diese gliedern sich in Informationszugang, Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung, Zielsetzung und Handlung [4]. Die Ergebnisse der psychologischen Beurteilung bilden die Datenbasis für das Fehlermodell.

4.2 Anforderungen an Fahrerhaltensmodelle

Um die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Informationen in der Fahrerhaltensmodellierung nutzen zu können, muss das Fahrerhaltensmodell die Fehlerkategorien der 5-Step-Methode abbilden. Da die 5-Step-Methode auf einem menschlichen Informationsverarbeitungsmodell basiert [15], eignen sich vor allem Fahrerhaltensmodelle, welche die menschliche Entscheidungslogik abbilden. Ein Beispiel hierfür ist das Fahrerhaltensmodell von Bellet et al. [16]. Es besitzt ein Wahrnehmungsmodul, welches den Informationszugang und die Informationsaufnahme abstrahiert. Sowie ein Kognitionsmodul, welches die Informationsverarbeitung und die Zielsetzung berechnet, und ein Aktionsmodul, welches die Handlung des Fahrers in der virtuellen Welt umsetzt.

4.3 Methodik zur Entwicklung von Modellen des menschlichen Fehlverhaltens auf Basis der Ergebnisse der AARU

Zur Modellierung des menschlichen Fehlverhaltens werden neben den Ergebnissen psychologischer Auswertungen aufgenommener Unfälle durch die AARU auch die Beschreibung des Unfallhergangs, Ergebnisse der simulativen Unfallrekonstruktion sowie Interviews der Unfallbeteiligten berücksichtigt.

Ebendiese Informationen wurden von der AARU bezüglich Unfällen auf Autobahnen im Erhebungsgebiet zur Implementierung eines Fehlermodells für Fahrerhaltensmodelle ausgewertet und zur Verfügung gestellt. Während der Analyse der bereitgestellten Daten konnten viele Unfälle in der Pre-Crash Phase gemeinsamen Mustern zugeordnet werden. Unfälle, welche dem gleichen oder ähnlichen Muster in der Pre-Crash Phase entsprechen, und das gleiche Fehlverhalten nach der 5-Step-Methode durch den Unfallverursacher aufweisen, werden im Folgenden als Unfallsituationstyp bezeichnet. Nachfolgend soll nun anhand eines imaginativen Unfallsituationstyps beispielhaft die Vorgehensweise zur Entwicklung eines Modells für das menschliche Fehlverhalten aufgezeigt werden.

³German In-Depth Accident Study <http://www.gidas.org/>, [abgerufen am 22.04.2018].

Der in Abbildung 1 dargestellte Unfallsituationstyp basiert auf Auswertungen verschiedener Unfallrekonstruktionen durch die AARU. Die abgebildeten Situationen stellen jedoch keine Rekonstruktionen realer Unfälle dar, sie sollen lediglich das Muster eines Unfallsituationstyps verdeutlichen.

Pre-Crash Situation

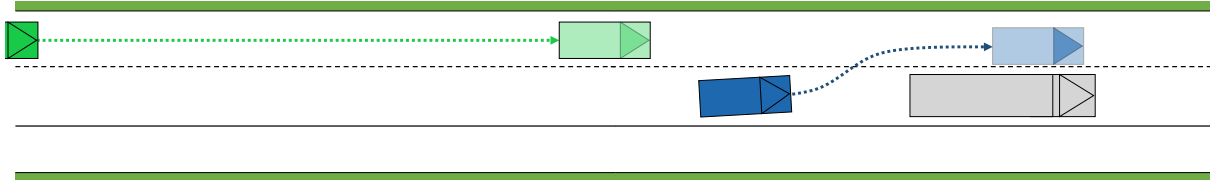


Abbildung 1: Potentielle Pre-Crash Situation auf einer zweispurigen Autobahn.

Abbildung 1 zeigt eine potentielle Pre-Crash Situation auf einer zweispurigen Autobahn mit Seitenstreifen. Die linke Spur wird hierbei von einem PKW (grün) mit sehr hoher Geschwindigkeit (> 180 km/h) befahren. Gleichzeitig läuft ein weiterer PKW (blau) auf einen LKW (grau) auf. Das blaue Fahrzeug hält sich dabei an die Richtgeschwindigkeit (~ 130 km/h), während der LKW die für ihn vorgeschriebene Geschwindigkeit von 80 km/h einhält. Aufgrund der Differenzgeschwindigkeit zwischen blauem PKW und LKW möchte der PKW den langsameren LKW überholen. Dazu initiiert das blaue Fahrzeug einen Spurwechsel auf die linke Fahrbahn. Dabei nimmt der Fahrer des blauen Fahrzeugs aus unbekanntem Grund nicht wahr, dass sich das grüne Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit von hinten nähert. Dieses Fehlverhalten des Fahrers des blauen PKWs ist der Kategorie Informationsaufnahme zuzuordnen. Durch die sehr hohe Differenzgeschwindigkeit zwischen grünem und blauem PKW ist es dem Fahrer des grünen PKW nicht möglich, durch eine Geschwindigkeitsanpassung einen Aufprall auf das Heck des blauen Fahrzeugs zu verhindern. Nach der Analyse verschiedener Unfallrekonstruktionen dieses Unfallsituationstyps konnten zwei unterschiedliche Verhaltensweisen des grünen Fahrzeugs identifiziert werden.

Variante A

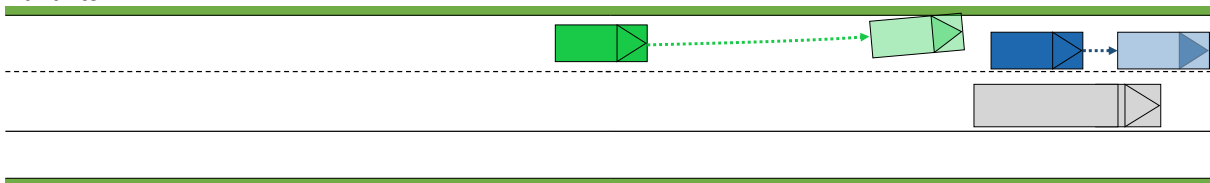


Abbildung 2: Unfallvermeidungsstrategie des grünen Fahrzeugs durch Ausweichen nach links.

Einerseits kann der Fahrer des grünen Fahrzeugs versuchen durch ein Ausweichmanöver nach links einen Unfall zu verhindern. In Abbildung 2 ist das beschriebene Ausweichmanöver visualisiert. Auswertungen verschiedener Unfallrekonstruktionen dieses Unfallsituationstyps zeigen, dass dieses Manöver in einer Kollision mit der Leitplanke und/oder einer Kollision mit dem blauen Fahrzeug enden kann.

Andererseits zeigen die Analysen der AARU eine weitere Unfallvermeidungsstrategie des Fahrers des grünen PKW. So versuchen Autofahrer durch ein Ausweichmanöver über den

Variante B

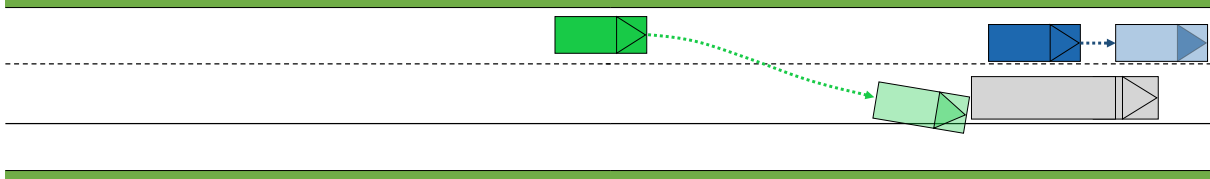


Abbildung 3: Unfallvermeidungsstrategie des grünen Fahrzeugs durch Ausweichen nach rechts über den Standstreifen

Standstreifen einen Unfall zu verhindern. Solch ein Fahrmanöver des grünen Fahrzeugs in dem zuvor beschriebenen Unfallsituationstyp ist in Abbildung 3 dargestellt. Aufgrund des fahrdynamischen Zustands des grünen Fahrzeugs kann es jedoch durch das Fahrmanöver ins Schleudern geraten, wodurch das Fahrzeug für den Fahrer nur sehr schwer kontrollierbar ist. Dabei kann das grüne Fahrzeug den LKW rammen, die Fahrbahn auf den Standstreifen verlassen, oder durch das Schleudern sich auf der Autobahn drehen.

Durch den vorgestellten Unfallsituationstyp (vgl. Abbildung 1) soll verdeutlicht werden, dass durch ein bestimmtes Fehlverhalten eines Fahrers unterschiedliche Situationen entstehen können. Dieser Effekt soll genutzt werden, um Testszenarien für hochautomatisierte Fahrfunktionen in einer virtuellen Welt zu generieren. Dazu muss das Fehlermodell das Fehlverhalten des blauen PKWs nachbilden, als auch die möglichen Unfallvermeidungsstrategien des grünen Fahrzeugs.

4.4 Anwendung des Fehlermodells zum Testen hochautomatisierter Fahrfunktionen

Für die Anwendung des Fehlermodells in einer Verkehrssimulation, ist zuerst ein Anwendungsfall der zu testenden Funktion zu definieren (vgl. Abbildung 4). Anhand des Autobahn-Chauffeurs könnte solch ein Anwendungsfall eine Autobahnfahrt mit definiertem Start und Ziel sein. Aufgrund dieser Beschreibung wird für den Test eine entsprechende Autobahn als Datenbasis für die Verkehrssimulation benötigt. Ebenso ist eine Szenario-Datei zur Verfügung zu stellen, in welcher die weiteren Verkehrsteilnehmer und deren Ziel definiert ist. Zusätzlich ist in der Szenario-Datei zu definieren, welche Fahrzeuge

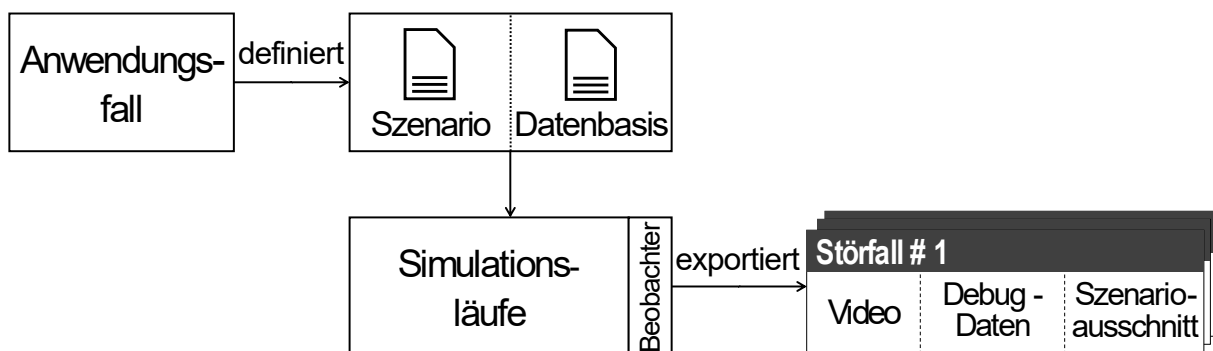


Abbildung 4: Arbeitsschritte für die Anwendung des Fehlermodells in einer nicht-deterministischen Verkehrssimulation.

durch die hochautomatisierte Funktion gesteuert werden und welche Fahrerverhaltensmodelle die übrigen Verkehrsteilnehmer steuern. Auf Basis dieser Dateien werden, mithilfe einer Verkehrssimulation, Simulationsläufe durchgeführt (vgl. Abbildung 4). Dabei fährt die hochautomatisierte Funktion das zu steuernde Fahrzeug zum definierten Ziel. Je nach Konfiguration durch die Szenario-Datei ist das Fehlermodell in verschiedenen Verkehrsteilnehmer aktiv.

Die Funktionsweise des Fehlermodells ist in Abbildung 5 beispielhaft verdeutlicht. Auf der mittleren Fahrspur, der dargestellten Autobahn, ist ein hochautomatisiertes Fahrzeug (rot) abgebildet. Während auf der rechten Fahrspur ein PKW (blau) auf einen LKW (grau) aufläuft. Hierbei manipuliert das Fehlermodell die Wahrnehmung des Fahrerverhaltensmodell, sodass das Umfeld des blauen PKW nur teilweise beschrieben wird (vgl. Abbildung 5, rechts). Durch die manipulierte Wahrnehmung würde das blaue Fahrzeug einen

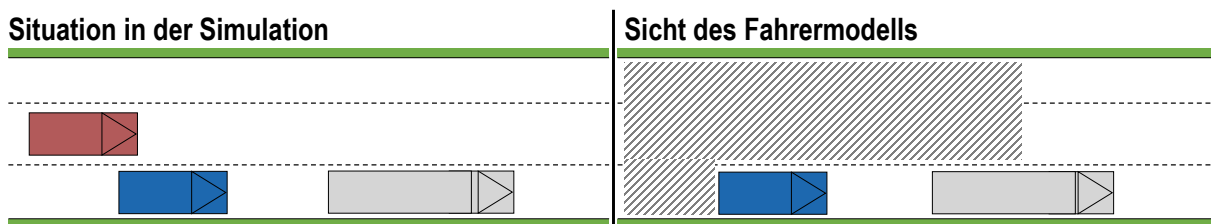


Abbildung 5: Beispielsituation in der Simulation unter Manipulation der Wahrnehmung. Links: Situation in der Simulation, Rechts: manipulierte Wahrnehmung des Fahrermodells

Spurwechsel durchführen um den langsameren LKW zu überholen, trotz des roten PKW auf der mittleren Spur. Auf dieses Verhalten muss die hochautomatisierte Fahrfunktion entsprechend reagieren.

Die Situation wird gleichzeitig von einem Simulationsbeobachter analysiert (siehe Abbildung 4). Je nach Verletzung funktionspezifischer Anforderungen wird sowohl ein Szenario-Ausschnitt, das entsprechende Video der Situation als auch aufgezeichnete Debug-Daten der hochautomatisierten Fahrfunktion als Paket zur späteren Untersuchung abgelegt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt ein Konzept für ein Fehlermodell für Fahrerverhaltensmodelle zum Test hochautomatisierter Fahrfunktionen unter der Verwendung einer Verkehrssimulation. Das vorgestellte Konzept basiert auf Ergebnisse der Unfallforschung. Des Weiteren wurde die Methodik verdeutlicht, in welcher Art und Weise die Daten der Unfallforschung zur Modellentwicklung genutzt werden. Dabei wurde der Begriff Unfallsituationstyp eingeführt und definiert. Anschließend wurde die Funktionsweise des Fehlermodells anhand eines Beispiels verdeutlicht. Ebenso wurden die Voraussetzungen für das Fehlermodell, als auch die Arbeitsschritte für die Anwendung des Fehlermodells in einer nicht-deterministischen Verkehrssimulation beschrieben.

Das beschriebene Konzept des Fehlermodells für Fahrerverhaltensmodelle wird anhand psychologischer Beurteilung von dokumentierten Unfällen der AARU als Konformitätsnachweis implementiert. Die jeweiligen Fehlverhaltensmodelle werden anschließend unter Zuhilfenahme weiterer Unfälle validiert. Abschließend soll die Nutzbarkeit des Fehlermodells anhand einer hochautomatisierten Fahrfunktion erprobt werden.

Literatur

- [1] W. Wachenfeld, H. Winner, J. C. Gerdes, B. Lenz, M. Maurer, S. Beiker, E. Fraedrich, and T. Winkle, “Use cases for autonomous driving,” in *Autonomous Driving*. Springer, 2016, pp. 9–37.
- [2] A. Cacilo, S. Schmidt, P. Wittlinger, F. Herrmann, W. Bauer, O. Sawade, H. Doderer, M. Hartwig, and V. Scholz, “Hochautomatisiertes Fahren auf Autobahnen–Industriepolitische Schlussfolgerungen,” Fraunhofer-Institut für Arbeitswissenschaft und Organisation IAO, Tech. Rep., 2015.
- [3] S. Singh, “Critical reasons for crashes investigated in the national motor vehicle crash causation survey,” U.S. Department of Transportation, Tech. Rep., 2015.
- [4] S. Weber, A. Ernstberger, E. Donner, and M. Kiss, “Interdisziplinäre Unfallforschung - ein Zusammenschluss von Technik, Medizin und Psychologie zur Steigerung der Verkehrssicherheit,” *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, vol. 52, no. 2, 2014.
- [5] SAE International, “Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems,” *Standard J3016*, 2014.
- [6] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik, “Testen von L3 Systemen - ein Überblick über die aktuelle PEGASUS Vorgehensweise,” [ONLINE]. Verfügbar: http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/HZE-Vortraege/04.PEGASUS_HZE_Testen%20von%20L3%20Systemen.pdf, 2017, [abgerufen am 22.04.2018].
- [7] S. Hakuli and M. Krug, “Virtuelle Integration,” in *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Springer, 2015, pp. 125–138.
- [8] S. Ulbrich, F. Schuld, K. Homeier, M. Steinhoff, T. Menzel, J. Krause, and M. Maurer, “Testing and validating tactical lane change behavior planning for automated driving,” in *Automated Driving*. Springer, 2017, pp. 451–471.
- [9] G. Bagschik, T. Menzel, A. Reschka, and M. Maurer, “Szenarien für entwicklung, absicherung und test von automatisierten fahrzeugen,” in *11. Workshop Fahrerassistenzsysteme. Hrsg. von Uni-DAS e. V.*, 2017, pp. 125–135.
- [10] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik, “Testfallgenerierung, Testraumabdeckung und Reduktion des Testaufwandes,” [ONLINE]. Verfügbar: http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/PDF-HZE/13_Testfallgenerierung-Testraumabdeckung-und-Reduktion-des-Testaufwandes.pdf, 2017, [abgerufen am 23.04.2018].
- [11] —, “Testspezifikations-Datenbank,” [ONLINE]. Verfügbar: http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/PDF-HZE/12_Testspezifikations-Datenbank.pdf, 2017, [abgerufen am 23.04.2018].

- [12] A. Levesque and J. Johrendt, “The state of the art of driver model development,” SAE Technical Paper, Tech. Rep., 2011.
- [13] G. Markkula, O. Benderius, K. Wolff, and M. Wahde, “A review of near-collision driver behavior models,” *Human factors*, vol. 54, no. 6, pp. 1117–1143, 2012.
- [14] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik, “Der Autobahn-Chauffeur,” [ONLINE]. Verfügbar: http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/PDF-HZE/03_Der-Autobahn-Chauffeur.pdf, 2017, [abgerufen am 23.04.2018].
- [15] A. Zimmer, “Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkungen aus ingenieurpsychologischer Sicht,” in *Kraftfahrzeugführung*. Springer, 2001, pp. 39–55.
- [16] T. Bellet, P. Mayenobe, J.-C. Bornard, J.-C. Paris, D. Gruyer, and B. Claverie, “Human driver modelling and simulation into a virtual road environment,” in *Human modelling in assisted transportation*. Springer, 2011, pp. 251–262.