

Absicherungs- und Bewertungsmethoden für kooperative hochautomatisierte Fahrzeuge

Hallerbach, Sven*, Eberle, Ulrich*, Köster, Frank[†]

*Adam Opel AG

Bahnhofplatz, D-65423 Rüsselsheim am Main

+49-6142-7-75752, sven.hallerbach@opel.com

+49-6142-7-69506, ulrich.eberle@opel.com

[†]Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig

+49-531-295-3523, frank.koester@dlr.de

Abstract

Die Absicherung und Validierung von kooperativen hochautomatisierten Fahrfunktionen (SAE-Level ≥ 3) stellt eine große Herausforderung für die Automobilindustrie dar. Aktuelle Prüfmethoden wie Simulation, Prüffelderprobung und Tests im öffentlichen Straßenverkehr, die zur Absicherung von Fahrerassistenzsystemen angewendet werden, sind für hochautomatisierte Fahrfunktionen nur bedingt geeignet. Die Validierung im Straßenverkehr würde im Hinblick auf Aufwand und Komplexität den zeitlichen und ökonomisch vertretbaren Rahmen weit überschreiten [1, S. 454-458]. Eine weitere Aufgabe besteht darin, eine sinnvolle Bewertung dieser Fahrfunktionen durchzuführen. Als Forschungsprojekt ist aktuell das Projekt PEGASUS [2, S. 292-300] federführend bei der Entwicklung von Methoden zur Absicherung und Validierung dieser Fahrfunktionen. Das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte Projekt dient der Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses für einen akzeptierten Stand der Technik der Industrie zur Absicherung und Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen, wie z.B. dem bereits sehr gut wissenschaftlich untersuchten Autobahn-Chauffeur (SAE-Level 3) [3, S. 61], der einen erster Produktkandidaten für automatisiertes Fahren darstellt. Die Notwendigkeit neue generische Methodiken zu entwickeln, ist für die Etablierung und Freigabe

hochautomatisierter Fahrzeuge unabdingbar. Dabei stellt die Komplexität und Vielschichtigkeit der Szenarien und Funktionen eine besonders große Herausforderung dar. Die Ziele dieses Beitrages sind es bestimmte Anforderungen, welche zur Bewertung und Absicherung kooperativer hochautomatisierter Fahrzeuge notwendig sind aufzuzeigen, resultierende Ausprägungen durch simulationsbasierte Methoden zu untersuchen und durch geeignete Metriken zu bewerten. Als Ausprägung wird in diesem Beitrag die Auswirkung der Fahrzeuge auf Verkehrssysteme und Verkehrsqualität betrachtet. Dabei werden Kartenfehler und das Fahrverhalten anderer Verkehrsteilnehmer als spezielle Einflussgrößen angesehen.

1 Einleitung

Kooperative und hochautomatisierte Fahrzeuge verwenden genaue Karten zur Eigenlokalisierung. Die Karten fungieren in gewisser Weise wie eine Sensorerweiterung. Durch hohe Geschwindigkeitsanforderungen auf Autobahnen reicht die Sensorreichweite nicht aus, um alleine auf Basis der Sensorinformationen komfortabel und mit wünschenswerter Vorausschau fahren zu können. Eine Karte ist eine wichtige Erweiterung zur Unterstützung von Fahrstrategieentscheidungen, zur Erkennung von Gefahrenstellen und zusätzlichen Informationen, wie z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Landmarken und Überholverbote. Da Fahrzeughersteller Karten von verschiedenen Zulieferern verwenden und diese sich voneinander unterscheiden, entstehen unerwünschte Situationen bzw. haben diese Unterschiede Auswirkungen auf den umliegenden Verkehr. Karten können sich im Detaillierungsgrad, der Kartengüte und der Aktualität unterscheiden. Die große Herausforderung besteht darin, dass von nicht-, über teil-, bis hochautomatisierte Fahrzeuge gleichzeitig sicher und verkehrseffizient interagieren sollen. Dabei sind sowohl funktionale als auch nichtfunktionale Anforderungen zu beachten. Es werden erste Ansätze einer generischen Toolkette vorgestellt, welche eine Möglichkeit zur simulationsbasierten Bewertung und Identifikation verkehrskritischer Situationen von kooperativen hochautomatisierten Fahrzeugen ermöglicht. Dabei stehen die Auswirkung dieser Fahrzeuge und die Qualität der HAF-Funktion auf Verkehrssysteme und Verkehrsqualität im Vordergrund. Durch die Kopplung von Fahrdynamik- und mikroskopischer Verkehrssimulation sollen

kritische Situationen identifiziert und über geeignete Metriken bewertet werden.

2 Einführendes Beispiel

In diesem Beispiel ist eine Autobahnauffahrt dargestellt. Im Szenario sind alle Fahrzeuge hochautomatisiert und nutzen genaue Karten. Das Update der Karten kann als kooperativer Aspekt angenommen werden. Eine direkte kooperative Trajektorienplanung ist in diesem Beispiel nicht vorgesehen. Abbildung 1 zeigt die zeitliche Abfolge des Szenarios von oben nach unten auf.

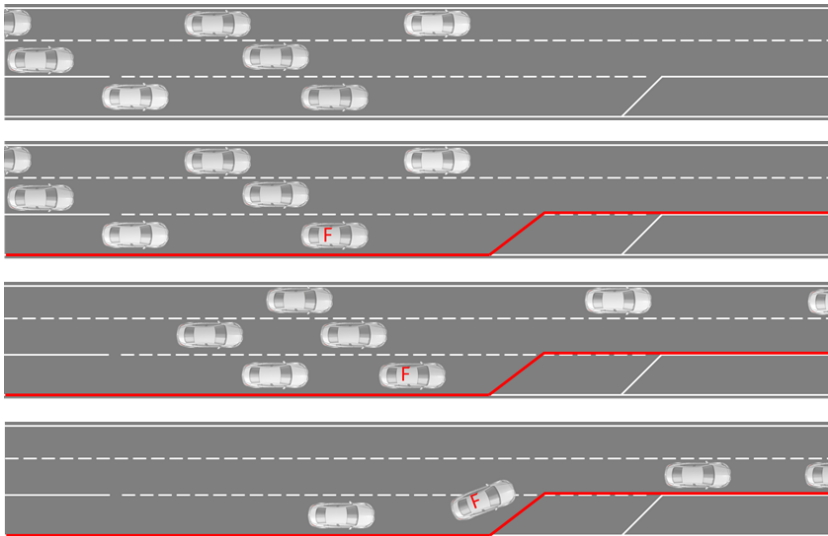


Abbildung 1: Auswirkungen von Kartenfehlern; F: Fahrzeug mit Kartenfehler

Die erste Teilabbildung stellt die Ausgangssituation dar. Im zweiten Teilbild ist ein Fahrzeug (Fahrzeug 1) mit einer fehlerhaften Karte ausgestattet. Der Kartenfehler wird durch die schwarze Linie gekennzeichnet. Alle anderen beteiligten Fahrzeuge besitzen eine korrekte genaue Karte. Das Fahrzeug (Fahrzeug 2) links neben Fahrzeug 1 könnte davon ausgehen, dass Fahrzeug 1 beschleunigt und einfädelt. Um dies zu erleichtern, verzögert Fahrzeug 2, damit

genug Platz für den Einfädelvorgang vorhanden ist. Bedingt durch den Kartenfehler erkennt Fahrzeug 1, dass nicht genug Platz zum Beschleunigen vorhanden ist und verzögert ebenfalls. Aufgrund des aus Fahrzeugsicht 1 unsinnigen Verhaltens von Fahrzeug 2 und umgekehrt, werden beide Systeme die Fahrstrategie ändern. Bis dies jedoch geschieht, vergeht eine gewisse Zeit. Die Fahrzeuge kommen in Teilabbildung 3 nebeneinander annähernd zum Stehen. Je nachdem wie die Fahrstrategie umgesetzt ist, können verschiedene Probleme entstehen.

Im schlimmsten Fall entscheiden sich beide Fahrzeuge gleichzeitig wieder loszufahren. Dadurch könnte ein Unfall entstehen bzw. ein kompletter Stopp beider Fahrzeuge ist die Folge.

Eine weitere Möglichkeit wäre, dass Fahrzeug 1 anhält und Fahrzeug 2 nach einer gewissen Zeit weiter fährt. Fahrzeug 1 kann nach dem Passieren von Fahrzeug 2 und dessen Folgefahrzeug anschließend auf die Autobahn auffahren. Dies hätte einen Stopp von Fahrzeug 1 und dessen Nachfolger zum Resultat. Diese Auflösung des Szenarios ist in Teilabbildung 4 aufgezeigt.

Weiter wäre denkbar, dass der Nachfolger von Fahrzeug 1 einfach ausschert und Fahrzeug 1 überholt. Dadurch könnte wiederum eine gefährliche Situation zwischen diesen beiden Teilnehmern entstehen.

Anhand dieser resultierenden Szenarien erkennt man direkt, dass Kartenfehler im schlimmsten Fall zu Unfällen und in weniger kritischen Fällen zu Verkehrsverzögerungen führen können. Bei starker Verkehrsdichte würden diese Szenarios zu Stauwellen und im Fall eines Unfalls sogar zu einem Stau führen.

Auch im Fall der Beteiligung von nichtautomatisierten Fahrzeugen lassen sich Szenarien ableiten, die sich negativ auf den Verkehr auswirken. Der Fahrer, der Fahrzeug 1 folgt, könnte durch dessen Verhalten aggressiv reagieren und ein riskantes Überholmanöver auf der Auffahrt durchführen.

3 Allgemeine Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Auswirkungen unterschiedlichen Fahrverhaltens und fehlerhafter Kartendaten auf den Gesamtverkehr untersucht werden. Dazu soll ein generischer Ansatz entwickelt werden, der szenario-unabhängig und übertragbar ist. Die geplante Vorgehensweise ist in Abbildung 2 dargestellt.

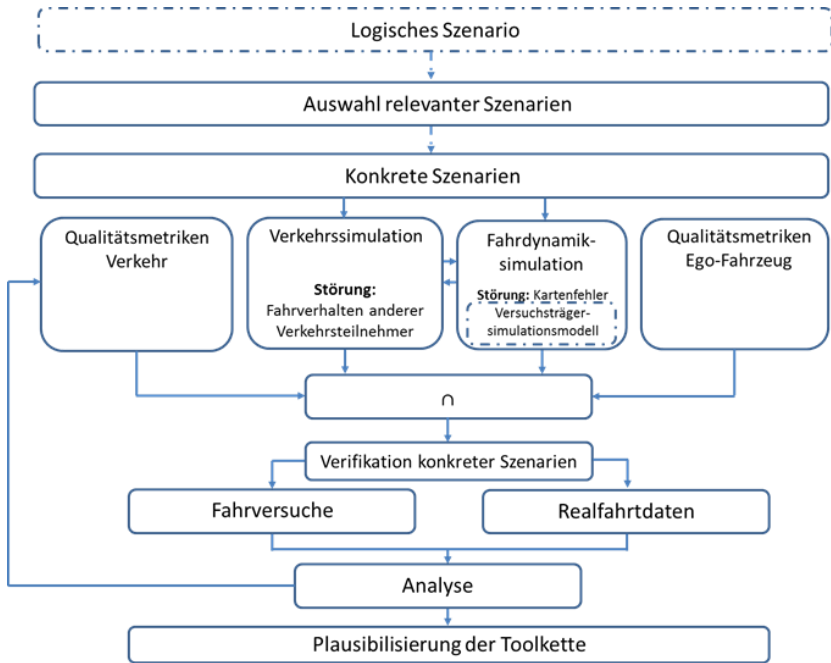


Abbildung 2: Szenariobasierte Vorgehensweise

Die gestrichelten Linien in Abbildung 2 zeigen, dass gewisse Aspekte von der Funktionsentwicklung bzw. Funktionsspezifikation vorgegeben werden müssen. In einer generischen Toolkette sollen von einer spezifizierten Funktion ausgehend, ein Set an logischen Szenarien definiert werden. Ein logisches Szenario [4, S. 13] ist eine parametrierbare Grundbeschreibung eines Szenarios, in der noch keine genaue Trajektorien bzw. Details über den Szenarienablauf definiert sind. Ausgehend hiervon kann eine Priorisierung und somit eine Auswahl an relevanten Szenarien für die Simulationsumgebung erfolgen. Bedingt durch die Auswahl kritischer Szenarien können

konkrete Szenarien [4, S. 12] abgeleitet werden. Bei konkreten Szenarien sind Straßendaten, Trajektorien anderer Verkehrsteilnehmer definiert. Diese dienen als Eingang für die Simulationsumgebung.

Die Kopplung von Verkehrs- und Fahrdynamiksimulation ermöglicht die Einbettung eines kooperativen und hochautomatisierten Fahrzeuges in eine simulierte Verkehrsumgebung. Anhand von Metriken soll eine simulationsbasierte Bewertung der Kritikalität von konkreten Szenarien erfolgen und somit die vorherige Auswahl relevanter konkreter Szenarien verifiziert werden.

Ausgehend von den Simulationsergebnissen können Fahrversuche auf dem Prüffeld und Realfahrttests durchgeführt werden. Dies dient der Plausibilisierung der Simulationsergebnisse und deren Abgleich mit realen Fahrdaten. Eine darauffolgende Analyse bringt Erkenntnisse, die zur Verbesserung der Simulationsumgebung dienen und die gesamte Vorgehensweise plausibilisieren.

Da bei rein szenariobasierten Ansätzen die Wahrscheinlichkeit hoch ist, verschiedene Szenarien zu übersehen, wird zusätzlich ein rein simulationsbasierter Ansatz zur Ermittlung dieser kritischen Szenarien entworfen. In Abbildung 3 erkennt man, dass sich ein großer Teil des Szenarien-Zustandsraums mit der Kombination beider Methoden abdecken lässt.

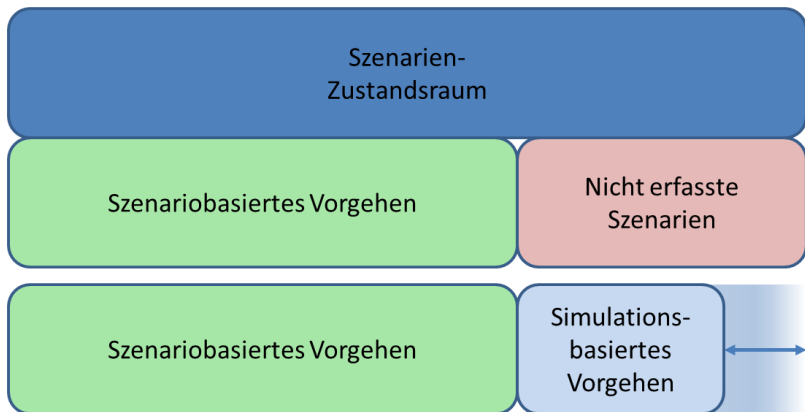


Abbildung 3: Gesamter Szenarien-Zustandsraum

Der Szenarien-Zustandsraum umfasst alle kritischen Szenarien. Durch den szenariobasierten Ansatz kann ein Großteil der Szenarien abgedeckt und durch die Simulation verifiziert werden. Es ist aber auch ersichtlich, dass durch diesen Ansatz Szenarien vorhanden sind, die nicht bedacht oder erfasst werden. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wird das simulationsbasierte Vorgehen dazu genutzt, einen möglichst großen Teil des noch fehlenden Szenarien-Zustandsraums abzudecken. Eine vollständige Abdeckung aller möglichen Szenarien ist durch simulationsbasierte Verfahren nicht umsetzbar, da durch die mathematische Modellierung immer ein Unterschied zur Realität bleibt.

Durch die Parametervariation von logischen Szenarien werden durch Simulationen, die Kartenunterschiede, Kartenfehler und unterschiedliches Fahrverhalten berücksichtigen, kritische konkrete Szenarien ermittelt. Die Bewertung der Kritikalität erfolgt wieder über die schon vorhandenen Metriken. Ausgehend davon können wie im vorherigen Schema Fahrversuche, Realfahrttests, Analyse und Plausibilisierung durchgeführt werden. Abbildung 4 zeigt diese Vorgehensweise dargestellt.

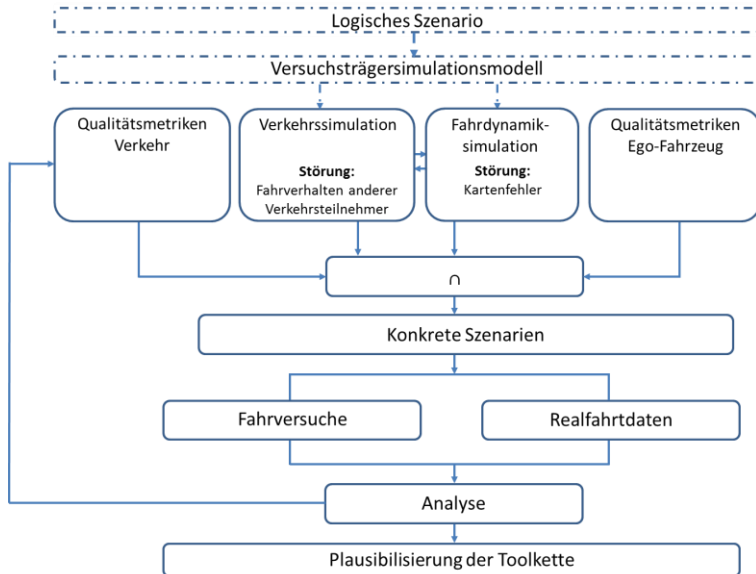


Abbildung 4: Simulationsbasierte Vorgehensweise

Im Folgenden wird jeder Punkt der beiden Vorgehensweisen im Detail beschrieben.

Logisches Szenario [4, S. 13]

Das logische Szenario ist ein parametrierbares Szenario, das Attribute wie z.B. Straßendaten, Umgebungseinflüsse und Versuchsträgerfunktionen enthält.

Versuchsträgersimulationsmodell

Dieses Modell wird von der Funktionsentwicklung bereitgestellt. Es enthält die Spezifikationen des Versuchsträgers. Die Eigenschaften hängen maßgeblich von den funktionalen Anforderungen des Versuchsträgers ab.

Auswahl relevanter Szenarien

Auf Basis der Versuchsträgerspezifikationen werden relevante Szenarien ausgewählt. Die Spezifikationen der Versuchsträgerfunktionen werden von den Funktionsentwicklern erstellt. Diese sind notwendig um relevante Szenarien ableiten zu können. Nach welchen Kriterien diese ausgewählt werden können, wird zu einem späteren Zeitpunkt detailliert erläutert.

Konkrete Szenarien [4, S. 12]

Konkrete Szenarien werden in der szenariobasierten Vorgehensweise als Eingang für die Simulationsumgebung genutzt. Anhand dieser Darstellung können die Szenarien simuliert werden. Das Ziel bei der simulationsbasierten Vorgehensweise ist die Ermittlung konkreter Szenarien. Die ermittelten Szenarien werden in diesem Fall durch die Simulation und den entwickelten Metriken ausgewählt. Die Parameter des logischen Szenarios sind beim konkreten Szenario festgelegt. Auch die Trajektorien aller Verkehrsteilnehmer sind definiert.

Qualitätsmetriken Verkehr

Hier soll ein Bewertungsmaß für Verkehrsqualität erarbeitet werden. Dieses dient dazu, ein simuliertes konkretes Szenario zu bewerten und die Kritikalität einzustufen.

Qualitätsmetriken Ego-Fahrzeug-Ebene

Die Ego-Fahrzeug-Ebene beschreibt explizit den Versuchsträger selbst, wobei Auswirkungen auf die Umgebung vernachlässigt werden. Ein Beispiel für diese Metriken wäre z.B. der Komfort des Versuchsträgers für den Fahrer oder die vorausschauende und sichere Fahrweise des kooperativen und hochautomatisierten Fahrzeugs.

Verkehrssimulation

Die Verkehrssimulation enthält eine Vielzahl an Verkehrsteilnehmern und einen im Vergleich zur Fahrdynamik großen Umgebungsausschnitt. Die Verkehrssimulation dient der Evaluierung des Verkehrssystems, in welcher sich das kooperative hochautomatisierte Fahrzeug bewegt. Das Fahrverhalten anderer Verkehrsteilnehmer wird in dieser Simulationsumgebung berücksichtigt.

Fahrdynamiksimulation

Hierzu gehören unter anderem Fahrdynamik, Regelung, Sensorik, Kooperationslevel, Umfelderkennung, Trajektorienplanung, etc. Zusätzlich enthält die Simulation eine möglichst realitätsnahe Fahrzeugumgebung. In dieser Simulationsumgebung werden die Kartenfehler berücksichtigt.

Die Kopplung beider Simulationsumgebungen ermöglicht die Inklusion des kooperativen hochautomatisierten Versuchsträgers mit Kartenfehlern in die Verkehrssimulation, die das Fahrverhalten anderer Teilnehmer berücksichtigt. In der Fahrdynamiksimulation wird ein Ausschnitt der Verkehrssimulation detailliert aufgebaut. Die Infrastrukturdaten müssen in diesem Abschnitt übereinstimmen. Alle dynamischen Teile der Simulation werden ausgetauscht.

Fahrversuche

Abgeleitete konkrete Szenarien können durch Fahrversuche geprüft werden. Dadurch wird eine Plausibilisierung der Simulation erreicht. Fahrversuche werden hier auf das Prüffeld beschränkt. Dort können die Szenarien nachgestellt und mit den Simulationsdaten verglichen werden.

Realfahrtdaten

Der Abgleich der Simulationsergebnisse mit Realfahrtdaten ist ein weiterer Schritt, der die Plausibilität der ermittelten Szenarien

sicherstellen soll. Abgleiche mit Fahrdaten aus dem Straßenverkehr sind hilfreich, um Simulationsergebnisse zu überprüfen.

Analyse

Auswertung und Analyse der Ergebnisse von Fahrversuchen und Realfahrdaten dienen dem Erkenntnisgewinn und der Verbesserung der Simulationsumgebung. Die gewonnenen Resultate können direkt genutzt werden, um Fehler in der Simulationsumgebung zu korrigieren. Es ist jedoch klar, dass durch die mathematische Modellierung immer eine Abweichung zur Realität bleiben wird.

Plausibilisierung der Toolkette

Die Plausibilität der Toolkette soll anhand eines durchgeführten Beispiels gezeigt werden. Der Nachweis der Anwendbarkeit und Funktionalität der Toolkette wird hiermit bewiesen.

4 Prinzipielle Umsetzung

Zur Umsetzung der Methodik ist es wichtig, sich einen Überblick über alle prinzipiell benötigten Aspekte zu schaffen, unabhängig davon, ob diese in der Praxis zur Verfügung stehen. Angefangen beim logischen Szenario müssten alle parametrierbaren Eigenschaften bekannt sein. Das Versuchsträgersimulationsmodell müsste validiert und im optimalen Fall bei allen Umwelteinflüssen adaptierbar sein. Die Simulationsumgebung müsste insgesamt validiert sein und das reale Verkehrsverhalten sowie die Fahrdynamik exakt abbilden. Um eine Bewertung mit Metriken durchzuführen, ergibt sich der Zwang valide Daten zu erzeugen. Dies hängt wieder von der Validität der Simulationsumgebungen ab. Die Ableitung relevanter Szenarien würde die Erfassung aller Szenarien erfordern, ohne gewisse Szenarien zu übersehen. Die konkreten Szenarien müssten alle Aspekte genau beschreiben, um Simulationen, Fahrversuche und Realfahrttests durchführen zu können. Bei der Analyse ist es erforderlich, Ground-Truth-Daten auszuwerten. Dies ist insbesondere bei Fahrten im realen Verkehr schwierig, da es dazu ein Verkehrsüberwachungssystem benötigt. Auch bei Fahrversuchen auf dem Prüffeld kann es schwierig sein, Ground-Truth zu erzeugen. Oft liegen nur die Daten des Versuchsträgers vor. Es ist offensichtlich, dass diese Aspekte in der Realität nicht alle vorhanden sind. Deshalb ist es notwendig, eine Priorisierung und Abgrenzung durchzuführen. Dabei werden die

verschiedenen Aspekte beleuchtet und entschieden, welche Aspekte wirklich benötigt werden, bzw. wo evtl. auch eine Black-Box-Betrachtung ausreicht.

5 Ableitung von relevanten Szenarien

Um relevante Szenarien abzuleiten ist es wichtig, eine Priorisierung der Methodik durchzuführen. Des Weiteren entstehen bei der Entwicklung der Anforderungen Korrelationen, die berücksichtigt werden müssen. Besonders im Bereich der funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen entstehen Widersprüche und Zielkonflikte. Abbildung 5 verdeutlicht den Zielkonflikt zwischen Verkehrseffizienz und Komfort.

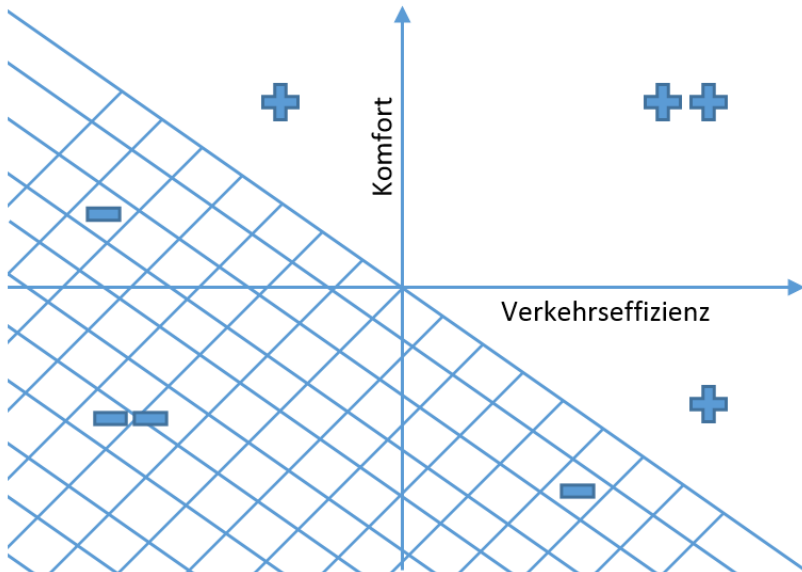


Abbildung 5: Zielkonflikte von Anforderungen

Im Optimalfall sollen der Komfort und die Verkehrseffizienz hoch sein. Es kann auch Fälle geben, in denen aufgrund von Verkehrseffizienz auf einen gewissen Komfort verzichtet wird, z.B. das Beachten des Reißverschlussverfahrens bei Stau. Dort wird der

eigene Komfort zugunsten der Stauauflösung hinten angestellt. Es kann auch passieren, dass die Verkehrseffizienz sich aufgrund des Fahrerkomforts verschlechtert. Die Verschlechterung der Verkehrseffizienz zugunsten des Fahrerkomforts könnte aus OEM-Sicht in folgendem Szenario akzeptierbar sein. Es könnte im hochautomatisierten Fahrzeug Fahrdynamikeinstellungen geben, bei denen der Fahrer einen ruhigen und langsamen Fahrstil einstellen kann. In den meisten Fällen führt langsames Fahren zur Verschlechterung der Verkehrseffizienz.

Ab einer gewissen Grenze, dargestellt durch den schraffierten Bereich in Abbildung 5, werden gewisse Anforderungen so weit unterschritten, dass die Etablierung des Gesamtsystems in Frage gestellt werden muss.

5.1 Priorisierung und Abgrenzung

Die Priorisierung lässt sich folgendermaßen angehen. Zuerst müssen alle wichtigen Aspekte und Anforderungen zu erfasst und sinnvoll zugeordnet werden. Dazu wird von einem Grundscenario, das eine allgemeine Anforderungsbeschreibung und Einstufung des Automatisierungsgrades gemäß SAE-Level [5] besitzt, ausgegangen. Als Beispiel dient der Autobahn-Chauffeur [3]. Es handelt sich bei diesem System um eine Level-3-Funktion. Bei diesem Level dient der Fahrer in kritischen Situationen noch als Rückfallebene.

Ausgehend davon können logische Szenarien abgeleitet werden. Ein Beispiel für ein resultierendes logisches Szenario beim Autobahn-Chauffeur könnte das Szenario „Auffahren mit Verkehr“ sein. Dieses logische Szenario enthält die folgenden, in Abbildung 6 dargestellten, parametrierbaren Eigenschaften.

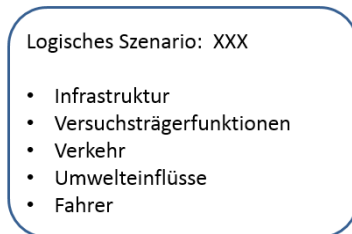


Abbildung 6: Logisches Szenario

Mögliche Parameter werden im Folgenden beispielhaft aufgelistet.

Infrastruktur

- Anzahl von Fahrstreifen
- Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Aufbau des Straßennetzes
- Fahrstreifenbeschaffenheit

Versuchsträgerfunktionen

- Physikalische Grenzen
- Sensor und Aktorgrenzen
- Kooperationslevel
- Kartenbasiertes System

Verkehr

- Anzahl von Verkehrsteilnehmern
- Arten von Verkehrsteilnehmern
- Anfangspositionen
- Anfangsgeschwindigkeit
- Fahrverhalten

Umwelteinflüsse

- Nebel
- Temperatur
- Regenstärke
- Reibwertänderungen der Fahrbahn

Fahrer

- Zustand des Fahrers
- Fahrerverhalten
- Belastung des Fahrers

Da die Auswirkungen des automatisierten Systems auf den Verkehr untersucht werden soll und zudem sich das Fahrerverhalten von Fahrer zu Fahrer unterscheidet, wird der Fahrer des Ego-Fahrzeuges im Folgenden vernachlässigt.

Um die Prioritäten des logischen Szenarios festzulegen wird das Einholen von Expertenmeinungen notwendig sein. Zusätzlich kann

eine Priorisierung über eine Literaturrecherche und den zusätzlichen Ausschluss von nicht mess- und erfassbaren Größen erfolgen.

5.2 Korrelationen von Eigenschaften

Ein weiterer wichtiger Faktor ist das Erfassen der Korrelationen zwischen den Eigenschaften des logischen Szenarios. Diese sind in Abbildung 7 dargestellt.

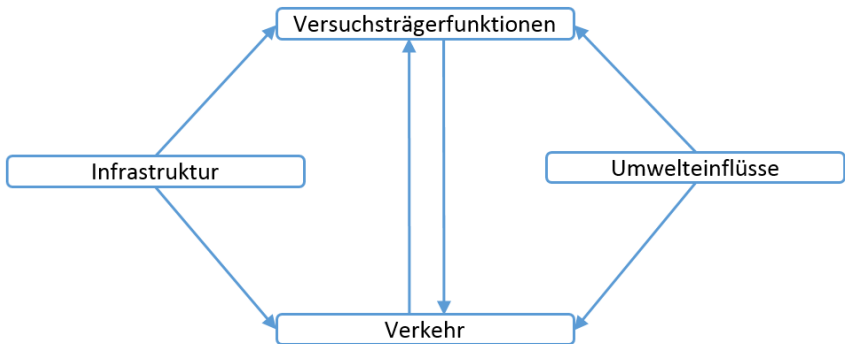


Abbildung 7: Korrelation der Eigenschaften des logischen Szenarios

Es ist ersichtlich, dass im Normalfall die Infrastruktur und die Umwelteinflüsse nicht vom Verkehr und den Versuchsträgerfunktionen beeinflusst werden. Eine Ausnahme wäre es, wenn durch höhere Kooperationslevel die dynamischen Eigenschaften der Infrastruktur beeinflusst werden. Mit der Infrastruktur sind in diesem Fall eher die statischen Eigenschaften gemeint. Sich verändernde Geschwindigkeitsbeschränkungen werden nicht betrachtet. Die Versuchsträgerfunktionen und der Verkehr stehen in direkter Wechselwirkung. Das ist nicht weiter überraschend, da die Untersuchung dieser Korrelation die Motivation für den Entwurf der gesamten Toolkette darstellt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag werden erste Ansätze einer generischen Toolkette gezeigt, welche zur Untersuchung der Auswirkungen von

kooperativen hochautomatisierten Fahrzeugen auf die Verkehrsqualität ermöglicht. Dazu werden zwei Vorgehensweisen vorgestellt. Durch szenariobasierte und simulationsbasierte Methoden sollen konkrete Szenarien ermittelt bzw. verifiziert werden. Ausgehend von einer Beschreibung, welche Aspekte idealerweise zur Umsetzung der Toolkette notwendig wären, wird eine Ableitung von relevanten Szenarien vorgestellt. Hierzu wird eine erste Priorisierung und Abgrenzung vorgestellt. Dazu werden alle parametrierbaren Eigenschaften eines logischen Szenarios sinnvoll geordnet und die Korrelationen zwischen diesen aufgezeigt.

Das weitere Vorgehen beinhaltet die Fertigstellung der Priorisierung und Abgrenzung. Dazu soll ein Abgleich mit Expertenwissen, Literatur und Machbarkeit durchgeführt werden. Daraufhin können die Auswahl relevanter und die Ableitung konkreter Szenarien erfolgen. Um die Verifikation von konkreten Szenarien durchzuführen, werden Simulationsumgebung und Bewertungsmetriken benötigt. Die Bewertungsszenarien werden nachfolgend entworfen. Danach erfolgt die Kopplung von Verkehrs- und Fahrdynamiksimulation. Darauf basierend können im Anschluss weitere Schritte unternommen werden, um die simulationsbasierten Vorgehensweisen weiter zu entwickeln und anschließend die Toolkette vollständig aufzubauen.

7 Literatur

- [1] Maurer M., Gerdes J.C., Lenz B., Winner H. : Autonomes Fahren – Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte - Teil 4 Sicherheit. Springer Verlag GmbH, Berlin Heidelberg. 2015
- [2] Köster F., Form T., Lemmer K., Plättner J. : AAET 2016 – Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel - Wie gut müssen automatisierte Fahrzeuge fahren – PEGASUS. ITS automotive nord e.V., Braunschweig. 2016.
- [3] Bartels A., Eberle U., Knapp A. : Deliverable D2.1. System Classification and Glossary. Adaptive Consortium, Wolfsburg. 2015.
- [4] Themann P., Pütz A., Schmitt H. : Vortrag: Absicherung hochautomatisierter Fahrfunktionen. Erarbeitung von Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien im Gemeinschaftsprojekt PEGASUS. VDI-Tagung E/E im PKW 2016 ELIV-Marketplace. Baden-Baden. 20.10.2016.

[5] SAE-International - Global Ground Vehicle Standards: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Automated Motor Vehicles," SAE document J3016. 2014-01-16