

Detaillierung einer stichwortbasierten Szenariobeschreibung für die Durchführung in der Simulation am Beispiel von Szenarien auf deutschen Autobahnen

T. Menzel, G. Bagschik,^{*} L. Isensee, A. Schomburg,[†] und M. Maurer[‡]

Zusammenfassung: Szenarienbasierte Entwicklungs- und Testprozesse stellen einen vielversprechenden Ansatz für die Verifikation und Validierung automatisierter Fahrfunktionen dar und sind somit voraussichtlich im Stande, einen Beitrag zur Freigabe automatisierter Fahrzeuge zu leisten. Um diesen Beitrag dokumentieren und bewerten zu können, müssen Szenarien nachverfolgbar entlang des Entwicklungs- und Testprozesses erstellt werden. In den frühen Entwicklungsphasen liegen die Betriebsszenarien des Entwicklungsgegenstandes üblicherweise in einer abstrakten sprachlichen Beschreibungsform vor. Spätestens im Rahmen einer Testfallableitung für den simulativen Test müssen die sprachlich dokumentierten Betriebsszenarien in eine Parameterraumdarstellung überführt und in die Formate für die jeweilige Simulationsumgebung konvertiert werden. Dieser Schritt bedeutet zur Zeit einen hohen manuellen Aufwand. Zudem ist bei einer manuellen Überführung von sprachlich beschriebenen Szenarien in die Formate für die Simulationsdurchführung durch unterschiedliche Bearbeiter nicht sichergestellt, dass eine einheitliche Interpretation und Umsetzung der Szenarien erfolgt. In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur automatisierten Überführung von stichwortbasierten Szenarien in eine Parameterraumdarstellung sowie die Konvertierung in die Formate OpenDRIVE (Beschreibung des Streckennetzes) und OpenSCENARIO (Beschreibung der Verkehrsteilnehmer und Umweltbedingungen) am Beispiel von Szenarien auf deutschen Autobahnen vorgestellt.

Schlüsselwörter: Automatisiertes Fahren, Testprozess, Szenarien, OpenSCENARIO, OpenDRIVE

1 Einleitung

Vor der Einführung automatisierter Fahrzeugführungssysteme muss ein definiertes Sicherheitsniveau der Systeme sichergestellt werden. Bei Fahrerassistenzsystemen erfolgt diese Prüfung nach Stand der Technik über einen streckenbasierten Ansatz. Für Systeme höherer Automatisierungsgrade sagen Wachenfeld und Winner [1] bei einem streckenbasierten Ansatz mehrere Milliarden notwendige Testkilometer voraus. Schuldt [2] folgert daraus, dass ein streckenbasierter Ansatz für die Freigabe von Systemen höherer Auto-

^{*}T. Menzel und G. Bagschik sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig (Email: {menzel, bagschik}@ifr.ing.tu-bs.de).

[†]L. Isensee und A. Schomburg sind Masterstudenten an der Technischen Universität Braunschweig.

[‡]M. Maurer ist Professor und Institutsleiter an selbigem Institut (Email: maurer@ifr.ing.tu-bs.de).

matisierungsgrade ökonomisch nicht vertretbar ist und schlägt einen szenarienbasierten Ansatz als vielversprechende Alternative vor.

Bei szenarienbasierten Ansätzen stellt die Szenariengenerierung einen sensiblen Schritt für die Sicherheitsargumentation und somit die Freigabe des Systems dar. Die Szenarien müssen daher systematisch und nachverfolgbar entlang des Entwicklungsprozesses generiert und dokumentiert werden. Hierzu stellen Bagschik et al. [3] die drei Abstraktionsgrade der *funktionalen, logischen* und *konkreten Szenarien* vor. Diese Abstraktionsgrade unterstützen die Aktivitäten in der Konzept-, Systementwurfs- und Testphase eines V-Modell-basierten Entwicklungsprozesses und bilden so die Grundlage für eine strukturierte Generierung sowie Verwendung von Szenarien.

Zur automatisierten Erstellung von funktionalen Szenarien stellen Bagschik et al. [4] einen wissensbasierten Ansatz vor. Die generierten Szenarien nutzen ein definiertes Vokabular, um die Strecke sowie die Verkehrsteilnehmer sprachlich zu beschreiben. Dabei besteht jedes Szenario aus einer Start- und einer Endszene. Für die Überführung der funktionalen Szenarien zu logischen Szenarien muss die stichwortbasierte Notation mithilfe einer Parameterraumdarstellung detailliert und in die Formate für die Simulationsdurchführung konvertiert werden. Dieser Schritt beinhaltet im Hinblick auf eine Simulationssteuerung zudem die Spezifikation der zeitlichen Abläufe der Fahrzeuginteraktionen zwischen der Start- und der Endszene. Damit die Strecke und die zeitlichen Abläufe der Fahrzeuginteraktionen in den Datenformaten konsistent modelliert werden, müssen verschiedene Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Szenarioelementen und -parametern berücksichtigt werden.

Die Schritte der Szenariendetaillierung und -konvertierung bedeuten aktuell einen hohen manuellen Zeitaufwand. Zudem sind insbesondere bei unterschiedlichen Bearbeitern keine einheitliche Interpretation der sprachlichen Szenarien und keine konsistente Modellierung in den Formaten für die Simulation sichergestellt. In diesem Beitrag wird daher ein Ansatz zur automatisierten Überführung einer stichwortbasierten Szenariobeschreibung in eine Parameterraumdarstellung sowie die Konvertierung in die Formate für die Simulationsdurchführung am Beispiel von Szenarien auf deutschen Autobahnen vorgestellt. Innerhalb der Parameterraumdarstellung werden Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen den Elementen und Parametern des Szenarios modelliert. Dies ist notwendig, um die zeitlichen Abläufe der Fahrzeuginteraktionen in der Simulation entsprechend der Vorgaben der funktionalen Szenarien aufzulösen und eine konsistente Umsetzung der Szenarien in den Datenformaten sicherzustellen. Als Format für die Streckenbeschreibung wird OpenDRIVE verwendet. Als Format für die Beschreibung der Verkehrsteilnehmer und der Umwelt wird OpenSCENARIO genutzt.

2 Stand der Technik und verwandte Arbeiten

Schuldt et al. [5] schlagen einen szenarienbasierten Testansatz sowie eine Strukturierung von Szenarien in einem 4-Ebenen-Modell vor. Ulbrich et al. [6] definieren die Begriffe Szene, Situation und Szenario. Bagschik et al. [3] motivieren unterschiedliche Darstellungsformen von Szenarien entlang des Entwicklungsprozesses am Beispiel der ISO 26262 [7] und schlagen die Abstraktionsgrade funktionale Szenarien, logische Szenarien und konkrete Szenarien vor. Dieser Beitrag verwendet die Begriffe entsprechend der Definitionen von Ulbrich et al. [6] und Bagschik et al. [3].

Waymo LLC [8] stellt einen Testansatz vor, mit dem Ausschnitte durchgeführter Versuchsfahrten in der Simulation reproduziert und Parameter der Verkehrsteilnehmer und der Leitinfrastruktur variiert werden können. Neben den Messdaten der Realfahrten wird für diesen Ansatz eine hochdetaillierte Karte des realen Streckennetzes benötigt. Dieser Ansatz konvertiert somit Messdaten in konkrete Szenarien, die in der Simulation ausführbar sind, und verallgemeinert diese konkreten Szenarien für eine nachträgliche Variation der Parameter zu logischen Szenarien. Eine Generierung synthetischer Strecken und Szenarien auf Basis von formalisiertem Wissen wird nicht beschrieben.

Bach et al. [9] motivieren eine modellbasierte Darstellung von Szenarien. Des Weiteren beschreiben sie ein Konzept und eine prototypische Umsetzung zur abstrakten Modellierung von konkreten Szenarien insbesondere der Handlungsabläufe der Verkehrsteilnehmer. Das Konzept basiert auf der Unterteilung eines Szenarios in unterschiedliche Akte und Events und setzt somit eine ähnliche Strukturierung der Handlungsabläufe wie das Format OpenSCENARIO um. Xiong [10] stellt eine Orchestrierung von Szenarien für die Simulation auf Grundlage einer Wissensbasis vor. Hierzu beschreibt Xiong den Ablauf eines Szenarios in der Simulation mithilfe einer Ontologie. In der Ontologie sind sowohl die Bestandteile der Strecke und die Interaktionen der Verkehrsteilnehmer als auch die einzusetzenden Fahrermodelle detailliert modelliert. Das Szenario wird von einer Ablaufsteuerung in der Simulation umgesetzt und gegebenenfalls zur Laufzeit an das Verhalten der Fahrfunktion angepasst. Dieser Ansatz legt somit explizit ein Fahrzeug als Testobjekt fest und steuert die übrigen Verkehrsteilnehmer mithilfe des in der Ontologie modellierten Wissens, sodass definierte Szenen im Szenario erreicht werden. Nach der Terminologie von Bagschik et al. [3] beschreibt Xiong aufgrund der Definition eines Testobjektes keine Szenarien sondern Testfälle. Bach et al. und Xiong stellen somit Notationen für konkrete Szenarien bzw. Testfälle vor. Die Generierung aller möglichen funktionalen Szenarien in Bezug auf eine Wissensbasis und eine Überführung unterschiedlicher Darstellungsformen von Szenarien innerhalb des Entwicklungs- und Testprozesses werden weder von Bach et al. noch von Xiong näher beschrieben. Beide Arbeiten können aber zu der Modellierung von konkreten Szenarien sowie Testfällen beitragen.

Bagschik et al. [11] stellen ein Konzept für die wissensbasierte Generierung von Startszenen mithilfe einer Ontologie vor. Für die Strukturierung des Wissens innerhalb der Ontologie nutzen Bagschik et al. [11] ein 5-Ebenen-Modell basierend auf dem 4-Ebenen-Modell nach Schuldt et al. [5]. In einer späteren Veröffentlichung erweitern Bagschik et al. [4] das Konzept der wissensbasierten Generierung von Startszenen und stellen eine Umsetzung für die wissensbasierte Generierung von Betriebsszenarien auf deutschen Autobahnen vor. Die Betriebsszenarien enthalten jeweils eine Start- und eine Endszene und werden im Rahmen von funktionalen Szenarien sprachlich auf semantischer Ebene beschrieben und mithilfe der Web Ontology Language (OWL) modelliert. Die in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten nutzen die von Bagschik et al. [4] generierten funktionalen Szenarien als Ausgangsbasis für die Szenariendetaillierung und Überführung in die Formate für die Simulationsdurchführung.

Für den simulativen Test von automatisierten Fahrfunktionen steht ein breites Angebot an Simulationsumgebungen wie ASM Traffic¹ von der dSPACE GmbH, CarMa-

¹https://www.dspace.com/de/gmb/home/products/sw/automotive_simulation_models/produkte_asm/asm_traffic.cfm, abgerufen am 13.04.2018

ker² von der IPG Automotive GmbH oder Virtual Test Drive³ von der VIRES Simulationstechnologie GmbH zur Verfügung. Die verschiedenen Simulationsumgebungen nutzen unterschiedliche Formate für die Spezifikation von Szenarien. Das in diesem Beitrag beschriebene Werkzeug überführt funktionale Szenarien in die Formate für die simulative Durchführung mithilfe der Simulationsumgebung Virtual Test Drive. Virtual Test Drive fordert für die Beschreibung des Straßennetzes das Format OpenDRIVE⁴. Für die Beschreibung der Interaktionen der Verkehrsteilnehmer sowie der Umweltbedingungen nutzt Virtual Test Drive zukünftig das Format OpenSCENARIO⁵.

3 Detaillierung einer stichwortbasierten Szenariobeschreibung für die Durchführung in der Simulation

Die Überführung einer stichwortbasierten Szenariobeschreibung in die Formate für die Simulationsdurchführung erfolgt, wie in Abbildung 1 dargestellt, in zwei Schritten. Die funktionalen Szenarien liegen als semantische, stichwortbasierte Beschreibungen vor und sind mithilfe der Web Ontology Language modelliert. Die Generierung der funktionalen Szenarien wird von Bagschik et al. [4] beschrieben.

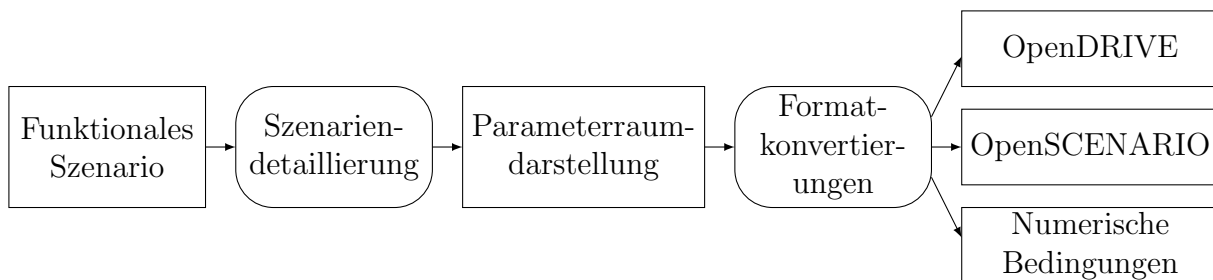


Abbildung 1: Prozessübersicht der Szenarienüberführung. Rechtecke stellen Arbeitsergebnisse, abgerundete Ecken stellen Prozessschritte dar.

Im Rahmen der Szenariendetaillierung werden die funktionalen Szenarien eingelesen und in eine Parameterraumdarstellung überführt. Hierzu werden jeder Vokabel der funktionalen Szenarien Parameter zugeordnet, die für die Definition des jeweiligen Elementes in den Formaten für die Simulationsdurchführung gefordert werden. Zusätzlich werden Abhängigkeiten der Parameter sowie einzuhaltende Rahmenbedingungen für die Wahl und Kombination von Parameterwerten modelliert. Diese Abhängigkeiten und Rahmenbedingungen ergeben sich zum einen aus physikalischen Zusammenhängen der Parameter und zum anderen auf Basis der in den funktionalen Szenarien spezifizierten Interaktionen der Verkehrsteilnehmer sowie den Anforderungen durch die Formate für die Simulationsdurchführung.

²<https://ipg-automotive.com/products-services/simulation-software/carmaker/>, abgerufen am 13.04.2018

³<https://vires.com/vtd-vires-virtual-test-drive/>, abgerufen am 13.04.2018

⁴<http://www.opendrive.org/>, abgerufen am 13.04.2018

⁵<http://www.openscenario.org/>, abgerufen am 13.04.2018

Im Rahmen der Formatkonvertierungen werden die für die einzelnen Formate benötigten Informationen aus der Parameterraumdarstellung extrahiert und in die Struktur des jeweiligen Formats überführt. Zudem werden die bei der Wahl der Parameterwerte einzuhaltenden Bedingungen in einer zusätzlichen Datei als Regelwerk dokumentiert, um in späteren Prozessschritten (beispielsweise im Rahmen einer Testfallerstellung) nur gültige Wertekombinationen zu erzeugen. Anschließend wird für jeden Parameter ein Standardwert entsprechend des dokumentierten Regelwerks gewählt. Die extrahierten Szenarien spezifizieren somit die variierbaren Parameter mithilfe der Formate OpenDRIVE und OpenSCENARIO, formalisieren ihre Bedeutung für die Simulationsdurchführung und geben einen entsprechend eines dokumentierten Regelwerkes gültigen Standardparameter an. Damit stellen die extrahierten Szenarien die Grundlage für logische Szenarien nach der Definition von Bagschik et al. [3] bereit. Die Generierung einer repräsentativen Stichprobe konkreter Szenarien für jedes logische Szenario entsprechend eines definierten Testkonzeptes ist nicht Teil dieses Beitrags.

3.1 Szenariendetaillierung

Als Ausgangsbasis für die Szenariendetaillierung wird eine semantische Beschreibung von Szenarien verwendet, die im OWL-Format vorliegt. Diese funktionalen Szenarien nutzen ein definiertes Vokabular sowie semantische Beziehungen zwischen den Begriffen des Vokabulars zur Beschreibung der Straßenebene, der Straßenausstattung, der beweglichen Objekte und der Umweltbedingungen. Das Vokabular der Straßenebene und Straßenausstattung wurde von Bagschik et al. [4] in Anlehnung an die Richtlinien zur Anlage von Autobahnen [12] erstellt. Für die Beschreibung der Interaktionen der Verkehrsteilnehmer verwenden Bagschik et al. [4] die Manöver nach Reschka [13] basierend auf Tölle [14] und Nagel und Enkelmann [15].

Im ersten Schritt der Szenariendetaillierung werden, wie in Abbildung 2 dargestellt, die zur Beschreibung des funktionalen Szenarios genutzten Vokabeln in das 5-Ebenen-Modell [11] eingeordnet und um Parameter, die die einzelnen Elemente spezifizieren, erweitert. Die zur Beschreibung der einzelnen Elemente notwendigen Parameter sind von den Formaten für die Simulationsdurchführung abhängig. Im Rahmen der in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten wurden die Parameter daher aus den Spezifikationen der Simulationsformate OpenDRIVE [16] und OpenSCENARIO [17] abgeleitet. Das Format OpenDRIVE beschreibt das Straßennetz und somit die Elemente der ersten bis dritten Ebene des 5-Ebenen-Modells. Das Format OpenSCENARIO beschreibt die Interaktionen der Verkehrsteilnehmer sowie die Umweltbedingungen und somit die vierte und fünfte Ebene des 5-Ebenen-Modells.

Die Bewegungen der Fahrzeuge werden in OpenSCENARIO mithilfe von Aktionen (Manöver und weitere Befehle zur Simulationssteuerung) und Events (Ereignisse, bei denen eine Aktion ausgelöst wird) beschrieben. In den funktionalen Szenarien werden die Bewegungen eines Fahrzeuges durch seine relative Position zu den übrigen Verkehrsteilnehmern in der Start- und Endszene sowie das auszuführende Manöver beschrieben. Damit die in den funktionalen Szenarien definierten Manöver mithilfe von Parametern aus OpenSCENARIO darstellbar sind, müssen die Interaktionen der Verkehrsteilnehmer, wie in Abbildung 3 dargestellt, zunächst in eine eventbasierte Darstellung überführt werden. Hierzu werden die Manöver der funktionalen Szenarien durch zusätzliche Beschreibungselemente, wie Aktionen und Events, detailliert.

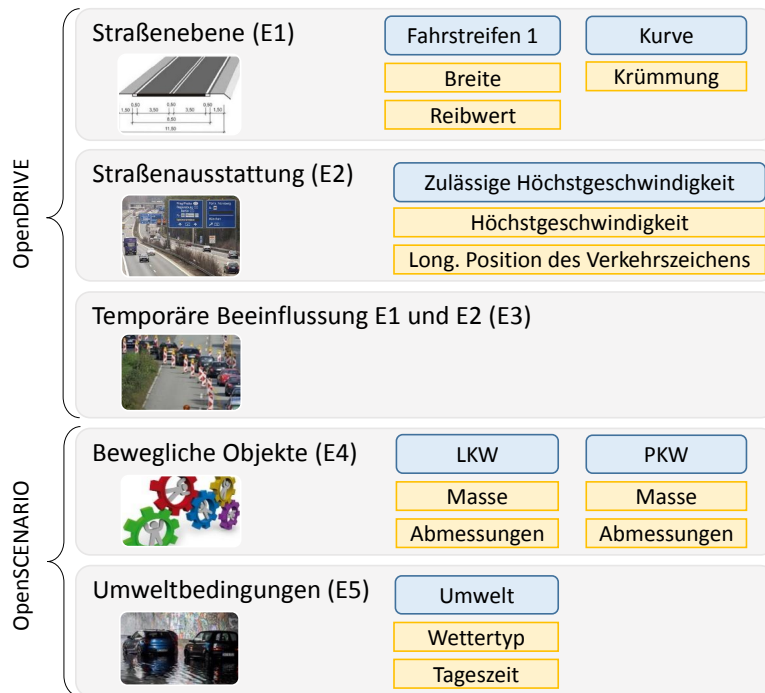


Abbildung 2: 5-Ebenen-Modell zur Strukturierung von Szenarien nach Bagschik et al. [11] auf Basis von Schuldt [2]. Die blauen Kästen symbolisieren beispielhaft Vokabeln aus den funktionalen Szenarien. Die gelben Kästen symbolisieren beispielhaft aus den Formatspezifikationen abgeleitete Parameter.

Im zweiten Schritt der Szenariendetaillierung werden die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Elementen und Parametern der Elemente modelliert. Hierbei wurden, wie in Abbildung 4 dargestellt, drei Arten von Beziehungen identifiziert und modelliert: Anordnungsbeziehungen, Objektabhängigkeiten und Parameterabhängigkeiten. Die drei Beziehungsebenen sind unabhängig voneinander und haben unterschiedlichen Aussagencharakter.

Die Anordnungsbeziehungen charakterisieren die topologischen Lagebeziehungen der Objekte zueinander. Hierzu werden alle im Szenario modellierten Objekte als Knoten in einen Graphen eingetragen. Benachbarte oder im Szenario miteinander interagierende Objekte werden über die Kanten des Graphen in Relation gesetzt. Die Anordnungsbeziehungen beinhalten unter anderem die Zuordnung von Fahrstreifen zu Streckenabschnitten, die Anordnung von Fahrstreifen innerhalb eines Streckenabschnittes, die Positionen der Verkehrsteilnehmer auf der Strecke sowie die Lagebeziehungen der Verkehrsteilnehmer zueinander. Die Anordnungsbeziehungen werden mithilfe von Vokabeln bereits in den funktionalen Szenarien beschrieben und können somit direkt modelliert werden.

Die Objektabhängigkeiten beschreiben die Abhängigkeiten zwischen den Objekten des Szenarios. Jede Objektabhängigkeit umfasst einen Regelsatz, der einzuhaltende Bedingungen zwischen den Parametern der verknüpften Objekte beschreibt. Diese Bedingungen sind notwendig, um Vorgaben aus den funktionalen Szenarien oder Anforderungen durch die Formate zu berücksichtigen. Beispielsweise werden in den funktionalen Szenarien nach Bagschik et al. [4] die Interaktionen der Verkehrsteilnehmer auf semantischer Ebene mithilfe von Manövern beschrieben. Aus dem Manöver *Annähern* resultiert auf Pa-

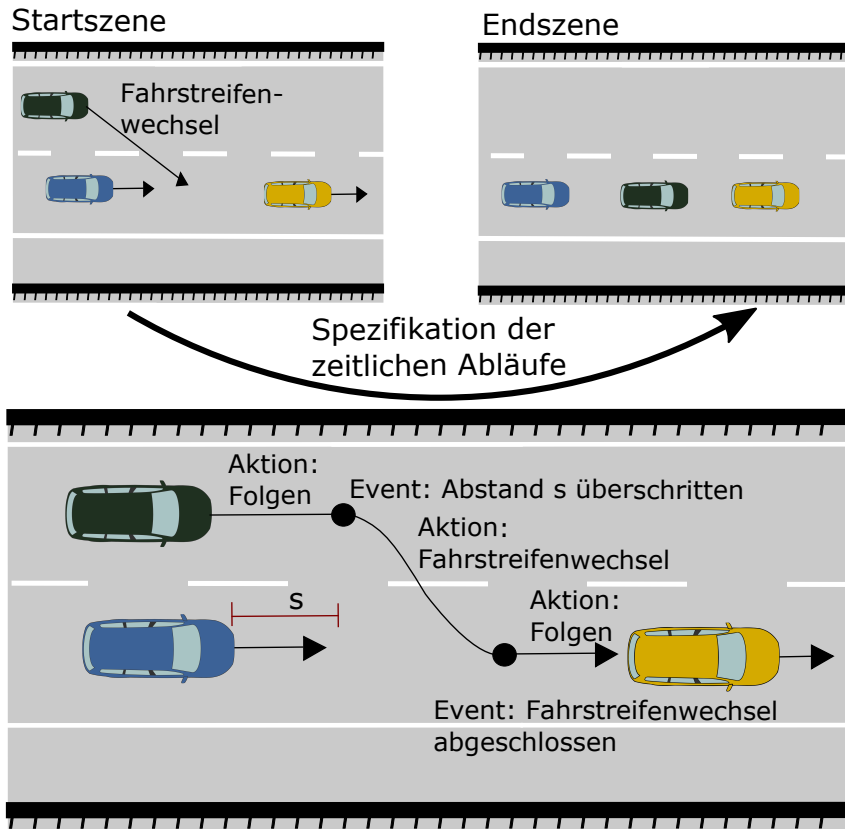


Abbildung 3: Spezifikation der zeitlichen Abläufe mithilfe einer eventbasierten Darstellung

ramerebene die Bedingung, dass die Geschwindigkeit des sich annähernden Fahrzeuges größer sein muss als die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeuges. In OpenDRIVE werden verschiedene Fahrstreifen mithilfe von Streckenabschnitten gegliedert und zu einem Straßennetz zusammengesetzt. Aus diesem Aufbau resultiert die Bedingung, dass aufeinanderfolgenden Fahrstreifen an den Schnittstellen die gleiche Fahrstreifenbreite zugeordnet sein muss.

Die Parameterabhängigkeiten beschreiben die Abhängigkeiten zwischen den Parametern eines Objekts. Dabei können auf einen Parameter ein oder mehrere andere Parameter desselben Objektes Einfluss nehmen. Die Parameterabhängigkeiten berücksichtigen Vorgaben bei der Wahl von Parameterwerten durch Normen und Richtlinien oder physikalische Zusammenhänge. Beispielsweise wird in den funktionalen Szenarien nach Bagnoli et al. [4] das Höhenprofil der Strecke mithilfe von Entwurfs-elementen aus der Richtlinie zur Anlage von Autobahnen [12], wie planarer Höhenplan, Kuppe oder Wanne, beschrieben. Die Länge einer Kuppe darf dabei nicht unabhängig von der Anfangs- und Endneigung gewählt werden, sondern muss, wie in Abbildung 4 dargestellt, auf Basis einer Formel aus der Richtlinie zur Anlage von Autobahnen berechnet werden. Mithilfe der Parameterabhängigkeiten werden die Parameterwerte einzelner Objekte somit konsistent im Sinne regulatorischer Vorgaben oder physikalischer Zusammenhänge gewählt.

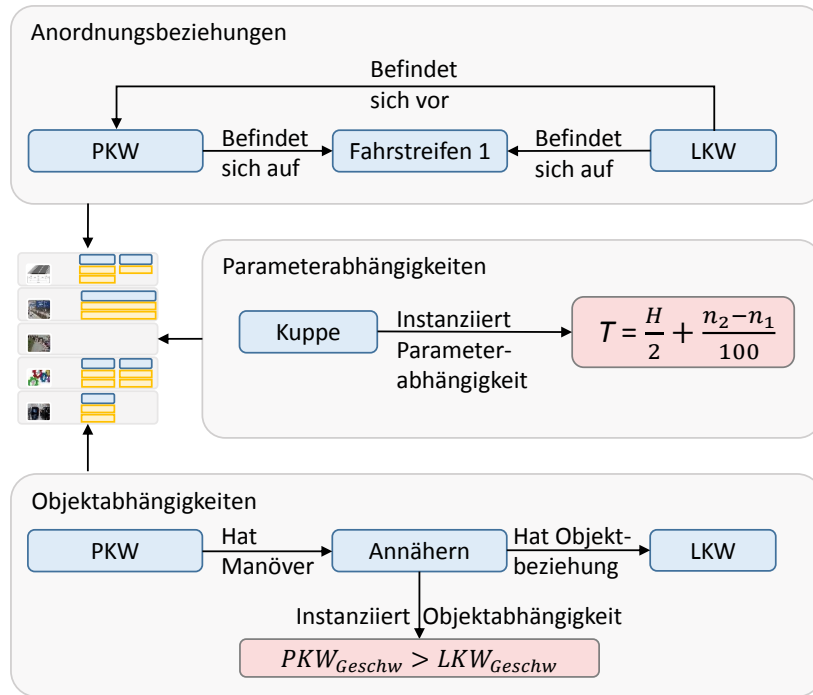


Abbildung 4: Erweiterung des Parameterraumes um Anordnungsbeziehungen sowie Objekt- und Parameterabhängigkeiten. Die Länge T einer Kuppe wird mithilfe des Halbmessers H sowie der Anfangsneigung n_1 und Endneigung n_2 berechnet.

3.2 Export der Formate

Im Rahmen der Formatkonvertierungen werden die in der Parameterraumdarstellung modellierten Informationen in die Formate OpenDRIVE und OpenSCENARIO überführt.

Im ersten Schritt erfolgt die Erstellung der Straßenbeschreibung im OpenDRIVE-Format. Hierzu werden die Elemente der ersten bis dritten Ebene des 5-Ebenen-Modells in die Syntax des Formats OpenDRIVE übersetzt. Dabei werden den Parametern gültige Werte zugewiesen, die auf Basis der modellierten Abhängigkeiten und Bedingungen berechnet werden.

Im zweiten Schritt erfolgt die Erstellung der Verkehrsteilnehmer sowie der Umweltbedingungen im OpenSCENARIO-Format. Hierzu werden die Elemente der vierten und fünften Ebene des 5-Ebenen-Modells in die Syntax des Formats OpenSCENARIO überführt und mit gültigen Parameterwerten initialisiert. Die im vorherigen Schritt erstellte OpenDRIVE-Datei wird dabei als Referenz für die Straßenbeschreibung angegeben. Weiterhin wird das Regelwerk, das für die Ableitung der Standardwerte der Parameter herangezogen wurde, in einer zusätzlichen Datei dokumentiert und so für eine Parametervariation in nachfolgenden Prozessschritten zugänglich gemacht.

4 Evaluierung

In diesem Kapitel erfolgt eine Evaluierung der erzeugten OpenDRIVE- und OpenSCENARIO-Dateien. Hierzu werden funktionale Szenarien mit dem von Bagschik et al. [4] beschriebenen wissensbasierten Ansatz generiert und mit dem in diesem Beitrag vorge-

stellten Ansatz in eine Parameterraumdarstellung überführt sowie in die Formate OpenDRIVE und OpenSCENARIO konvertiert. Die Auswahl der Testszenarios und die Evaluierung erfolgen für beide Formate separat.

4.1 OpenDRIVE

Das Vokabular der funktionalen Szenarien für die Streckenbeschreibung umfasst mehrere Ausprägungen von Höhenplänen (wie Anstieg und Gefälle), Lageplänen (wie Gerade oder Kreisbogen) und Fahrstreifentypen (wie Seitenstreifen oder Böschung). Des Weiteren werden unterschiedliche Elemente der Leitinfrastruktur (wie Verkehrszeichen und Rückhaltesysteme) beschrieben. Durch die Kombination dieser Elemente werden viele unterschiedliche Ausprägungen von Streckenabschnitten ermöglicht. In der aktuellen Umsetzung der wissensbasierten Szenariengenerierung nach Bagschik et al. [4] besteht die Straßenebene jedes funktionalen Szenarios aus nur einem Streckenabschnitt. Eine Kombination aufeinanderfolgender Abschnitte zu längeren Strecken ist in der aktuellen Implementierung nicht umgesetzt und begrenzt somit den Umfang der Eingangsdaten für die Evaluierung.

Innerhalb des OpenDRIVE-Formates existieren ausschließlich Abhängigkeiten zwischen aufeinanderfolgenden Streckenabschnitten und Fahrstreifen. Die Entwurfselemente eines Streckenabschnittes, wie der Lageplan, der Höhenplan und der Fahrstreifenbereich, können unabhängig voneinander spezifiziert werden. Da die generierten Strecken der funktionalen Szenarien nur einen Streckenabschnitt beinhalten, müssen nicht alle Kombinationsmöglichkeiten der Vokabeln getestet werden. Für die Evaluierung muss lediglich geprüft werden, ob jede Vokabel im einzelnen korrekt (entsprechend der im OpenDRIVE-Format vorgesehenen Klasse und Attribute) auf das OpenDRIVE-Format abgebildet wird. Für die Evaluierung wurden somit insgesamt fünf funktionale Szenarien ausgewählt, die das Vokabular für die Streckenbeschreibung vollständig nutzen.

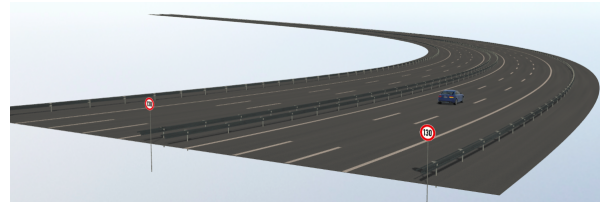
Die Bewertung der OpenDRIVE-Dateien erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurden die Strecken im OpenDRIVE-Viewer (siehe Abbildung 5a) auf korrekte Umsetzung entsprechend der Vorgaben aus den funktionalen Szenarien und normgerechter Parametrierung untersucht. Hierbei wurde über den Koordinatenverlauf der Strecke beispielsweise die Geometrie (Längs- und Höhenverlauf) bewertet. Anschließend wurden die Strecken in Virtual Test Drive (siehe Abbildung 5b) geladen und geprüft, ob alle 3D-Grafiken angezeigt werden und die Fahrstreifen korrekt miteinander verknüpft sind. Hierzu wurde ein virtuelles Fahrzeug definiert, dass die jeweilige Strecke komplett durchfahren musste. Mit diesem Vorgehen konnte gezeigt werden, dass die Straßenbeschreibung entsprechend der Vorgaben des jeweiligen funktionalen Szenarios sowie der geltenden Normen spezifiziert und korrekt in das Datenformat OpenDRIVE konvertiert wird.

4.2 OpenSCENARIO

Das Vokabular der funktionalen Szenarien für die Beschreibung der Verkehrsteilnehmer umfasst verschiedene Fahrzeugklassen (wie PKW oder LKW) und Fahrmanöver (wie Fahrstreifenwechsel oder Annähern). Die Positionen der Fahrzeuge werden über ein fahrstreifenrelatives Positionsgitter miteinander verknüpft. Des Weiteren werden unterschiedliche Umwelteigenschaften mithilfe von verschiedenen Wetterbedingungen (wie Regen oder klarer Himmel) und verschiedenen Tageszeiten (wie Morgens oder Mittags) beschrieben.



(a) OpenDRIVE-Strecke im OpenDRIVE-Viewer



(b) OpenDRIVE-Strecke in Virtual Test Drive

Abbildung 5: Darstellung einer dreistreifigen Autobahn in einer Kurve mit Gefälle, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und nachgiebigem Rückhaltesystem im OpenDrive-Viewer (a) und in Virtual Test Drive (b)

Die Bewertung der OpenSCENARIO-Dateien erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt erfolgt ein statischer Test mithilfe einer Schema-Datei. Hierbei wird die Struktur der erstellten OpenSCENARIO-Datei mit den Vorgaben des Formates verglichen. Auf diese Weise können fehlende Attribute oder Elemente identifiziert werden. Für die Überprüfung der OpenSCENARIO-Dateien mit der Schema-Datei wurden sechs Szenarien ausgewählt, die zusammen alle Entwurfs Elemente von OpenSCENARIO beinhalten, die für die Umsetzung des Vokabulars benötigt werden. Durch die Überprüfung dieser Szenarien mithilfe der Schema-Datei wurde gezeigt, dass die funktionalen Szenarien auf Grundlage des definierten Vokabulars in OpenSCENARIO-Dateien konvertiert werden, die den Formatvorgaben entsprechen. Dieser statische Test erlaubt allerdings noch keine Aussage, ob alle Elemente der funktionalen Szenarien umgesetzt und mit validen Parameterwerten initialisiert werden.

Im zweiten Schritt erfolgt daher eine Ausführung der OpenSCENARIO-Dateien in der Simulation. Hierbei wird geprüft, ob die mithilfe von OpenSCENARIO modellierten Szenarien in der Simulation so ablaufen, wie in den funktionalen Szenarien spezifiziert. Zentrale Fragen während der Tests sind:

- Starten alle Fahrzeuge auf der in der Startszene definierten Position?
- Entspricht das Verhalten aller Fahrzeuge den in der Startszene definierten Manövern?
- Starten und enden die Manöver zum richtigen Zeitpunkt, sodass keine Kollisionen verursacht werden?
- Befinden sich alle Fahrzeuge nach den Manöverausführungen auf den in der Endszene definierten Positionen?

Da nicht alle erstellten funktionalen Szenarien manuell geprüft werden können, wurden basierend auf den Erfahrungen der Autoren relevante Testfälle ausgewählt. Hierzu wurden neun Testziele definiert. Jedes Testziel beschreibt einen Programmteil der Szenariendetaillierung und -konvertierung (beispielsweise die Berechnung der Startgeschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer), der explizit geprüft werden soll. Zusätzlich definiert jedes Testziel eine Testskizze, in der der grobe Aufbau und Ablauf der Szenarien beschrieben wird, die zur Prüfung des Testzieles eingesetzt werden können. Insgesamt wurden 30 Szenarien entsprechend der Testskizzen ausgewählt und korrekt (wie in den funktionalen Szenarien spezifiziert) in der Simulation mit Virtual Test Drive ausgeführt.

5 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Ansatz vorgestellt, mit dem eine stichwortbasierte Szenarienschreibung in die Formate für die Simulation überführt wird. Hierzu werden die stichwortbasierten Szenarien zunächst durch eine Parameterraumdarstellung detailliert und anschließend in die Formate OpenDRIVE und OpenSCENARIO konvertiert. Die automatisch erstellten Szenarien wurden evaluiert und laufen den Vorgaben der funktionalen Szenarien entsprechend in der Simulation ab.

Aufbauend auf den vorgestellten Ansätzen sind weitere Arbeiten notwendig, um Szenarien entlang der von Bagschik et al. [3] beschriebenen Abstraktionsgrade zu generieren. Sowohl in den funktionalen Szenarien als auch in den erstellten Formaten für die Simulation werden aktuell nur Fahrzeuge beschrieben, die durch die Simulation gesteuert werden. Die Definition eines Fahrzeuges, dass durch eine automatisierte Fahrfunktion geregelt wird, muss im Rahmen einer Testfallerstellung zukünftig ergänzt werden. Der durch das undefinierte Verhalten der Automation im Szenario entstehende Freiheitsgrad könnte zu ungewolltem Verhalten im Szenarioablauf führen. Der Übergang zu Testfällen sowie die Anwendung der erstellten Formate im Rahmen einer Testfallbeschreibung müssen daher in nachfolgenden Arbeiten untersucht werden.

Literatur

- [1] W. Wachenfeld und H. Winner. “Die Freigabe des autonomen Fahrens”. In: *Autonomes Fahren*. Hrsg. von M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz und H. Winner. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2015, S. 439–464.
- [2] F. Schuldt. “Ein Beitrag für den methodischen Test von automatisierten Fahrfunktionen mit Hilfe von virtuellen Umgebungen”. Diss. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2017.
- [3] G. Bagschik, T. Menzel, A. Reschka und M. Maurer. “Szenarien für Entwicklung, Absicherung und Test von automatisierten Fahrzeugen”. In: *Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren*. Bd. 11. Walting im Altmühltal: Uni-DAS e.V., 2017, S. 125–135.
- [4] G. Bagschik, T. Menzel, C. Körner und M. Maurer. “Wissensbasierte Szenariengenerierung für Betriebsszenarien auf deutschen Autobahnen”. In: *Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren*. Bd. 12. Walting im Altmühltal: Uni-DAS e.V., 2018. angenommen zur Veröffentlichung.
- [5] F. Schuldt, F. Saust, B. Lichte und M. Maurer. “Effiziente systematische Testgenerierung für Fahrerassistenzsysteme in virtuellen Umgebungen”. In: *AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*. Braunschweig, 2013, S. 114–134.
- [6] S. Ulbrich, T. Menzel, A. Reschka, F. Schuldt und M. Maurer. “Definition der Begriffe Szene, Situation und Szenario für das automatisierte Fahren”. In: *Workshop Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren*. Bd. 10. Walting im Altmühltal: Uni-DAS e.V., 2015, S. 105–117.

- [7] International Organization for Standardization. *ISO 26262: Road vehicles – Functional Safety*. 2011.
- [8] Waymo LLC. *Waymo Safety Report*. 2017. URL: <https://waymo.com/safetyreport/> (abgerufen am 13.04.2018).
- [9] J. Bach, S. Otten und E. Sax. “Model based scenario specification for development and test of automated driving functions”. In: *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2016, S. 1149–1155.
- [10] Z. Xiong. “Creating a Computing Environment in a Driving Simulator to Orchestrate Scenarios with Autonomous Vehicles”. Diss. Leeds: University of Leeds, 2013.
- [11] G. Bagschik, T. Menzel und M. Maurer. “Ontology based Scene Creation for the Development of Automated Vehicles”. In: *2018 IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV)*. Changshu, 2018.
- [12] *Richtlinie für die Anlage von Autobahnen*. Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen, 2009.
- [13] A. Reschka. “Fertigkeiten- und Fähigkeitengraphen als Grundlage für den sicheren Betrieb von automatisierten Fahrzeugen in städtischer Umgebung”. Diss. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2017.
- [14] W. Töle. *Ein Fahrmanöverkonzept für einen maschinellen Kopiloten*. Fortschritt-Berichte VDI. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996.
- [15] H.-H. Nagel und W. Enkelmann. “Generic road traffic situations and driver support systems”. In: *Proceedings of the 5th PROMETHEUS Workshop*. München, Germany, 1991.
- [16] VIRES Simulationstechnologie GmbH. *OpenDRIVE V 1.4 Format Specification, Revision H*. 2015. URL: <http://www.opendrive.org/docs/OpenDRIVEFormatSpecRev1.4H.pdf> (abgerufen am 14.04.2018).
- [17] VIRES Simulationstechnologie GmbH. *OpenSCENARIO v0.9 XML Schema*. 2017. URL: http://www.openscenario.org/docs/OpenSCENARIO_v0.9_schemata.zip (abgerufen am 14.04.2018).