

[Kurzfassung]

Semantische Normverhaltensanalyse –
ein Beitrag zur durchgängigen Formalisierung von
Verhaltensnormen für das automatisierte Fahren*

Nayel Fabian Salem[†], Veronica Haber[‡], Hans Nikolaus Beck[§],
Matthias Rauschenbach[¶], Marcus Nolte[†], Jan Reich^{||},
Torben Stolte[†] und Markus Maurer^{**}

Zusammenfassung: Die Absicherung automatisierter Straßenfahrzeuge (SAE Level 3+ [1]) setzt voraus, dass sich Entwickler*innen mit den Herausforderungen des offenen Verkehrskontextes befassen. Daraus ergibt sich die Aufgabe, das Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs für eine nicht vollumfänglich definierbare Menge an Szenarien im Rahmen der Systementwicklung zu spezifizieren. Für die Menge definierter Szenarien wird in diesem Beitrag die *semantische Normverhaltensanalyse* als Ansatz vorgeschlagen, der die durchgängige Formalisierung von Verhaltensnormen für automatisierte Straßenfahrzeuge unterstützt. Normverhalten bezeichnet dabei die Summe szenarienübergreifender Anforderungen an das Verhalten des Fahrzeugs im Straßenverkehr in der gewählten Betriebsumgebung [2]. Auf Basis des Normverhaltens wird das zu implementierende Verhalten in einem Szenario explizit durch ein Regelsystem abgebildet.

Schlüsselwörter: Durchgängigkeit, Verhaltensspezifikation, Wissensrepräsentation

1 Einleitung

Die fortschreitende Automatisierung der Fahraufgabe, für deren korrekte Umsetzung bisher weitestgehend die fahrende Person verantwortlich war, stellt Beteiligte aus Gesetzgebung, Technik und Ethik gleichermaßen vor neue Herausforderungen. Um die mit dem

*Das Projekt „Verifikation und Validierung autonomer Fahrzeuge L4/L5“ ist Teil der VDA Leitinitiative und Teil der PEGASUS Projekt Familie, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi, <http://www.bmwi.de>) gefördert. Web: www.vvm-projekt.de

[†]N. F. Salem, M. Nolte und T. Stolte sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig (Email: {salem, nolte, stolte}@ifr.ing.tu-bs.de).

[‡]V. Haber ist Mitarbeiterin der PROSTEP AG in München (Email: veronica.haber@PROSTEP.com).

[§]H. N. Beck ist Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH in Abstatt (Email: hansnikolaus.beck@de.bosch.com).

[¶]M. Rauschenbach ist Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt (Email: matthias.rauschenbach@lbf.fraunhofer.de).

^{||}J. Reich ist Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE in Kaiserslautern (Email: jan.reich@iese.fraunhofer.de).

^{**}M. Maurer ist Professor und Institutsleiter am Institut für Regelungstechnik der Technischen Universität Braunschweig (Email: maurer@ifr.ing.tu-bs.de).

automatisierten Fahren (SAE Level 3+ [1]) verbundenen Chancen, wie beispielsweise die Erhöhung der Verkehrssicherheit, nutzen zu können, müssen für die Absicherung automatisierter Straßenfahrzeuge Anforderungen an sicheres und regelkonformes Verhalten im Straßenverkehr formuliert und geprüft werden. Institutionen, welche das Fahrzeug auf Basis der Absicherung freigeben, müssen in die Lage versetzt werden, die Risiken, die mit einer Teilnahme am offenen Straßenverkehr assoziiert sind, bewerten und akzeptieren zu können. Eine wesentliche Herausforderung bei der Bewertung dieser Risiken stellt die Verständlichkeit des implementierten Verhaltens dar. Zur Unterstützung der Bewertung ist zu argumentieren, warum sich das Fahrzeug regelkonform und sicher im Straßenverkehr verhalten wird. Zunächst sind für den Beleg Anforderungen an das Verhalten im Straßenverkehr zu formulieren, die im Rahmen eines Absicherungsprozesses erhoben und überprüft werden. Der hier vorgestellte Ansatz ist im Projekt „Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge im urbanen Umfeld“ (VVMethoden) entstanden und wird zukünftig auf seinen Beitrag zur Absicherung automatisierter Straßenfahrzeuge untersucht werden.

Einen Bestandteil der Absicherung und Freigabe automatisierter Straßenfahrzeuge stellt die explizite Repräsentation und Überprüfung getroffener Annahmen dar. Der offene Kontext, in dem ein automatisiertes Fahrzeug agiert, bedingt eine unbegrenzte Anzahl zu beherrschender Szenarien und eine inhärente Unvollständigkeit formulierter Anforderungen an das Verhalten des automatisierten Fahrzeugs im Straßenverkehr [3] (im Folgenden *Verhaltensanforderungen*). Die Unvollständigkeit der Anforderungen bedeutet notwendigerweise, dass Annahmen getroffen werden, die im Rahmen der Sicherheitsargumentation begründet werden müssen. Bei Systemen mit einer Automatisierung auf SAE Level 2- [1] wird der offene Kontext durch die fahrende Person beherrscht und das residuale Risiko, welches sich aus der Teilnahme am Straßenverkehr ergibt, wird von der Gesellschaft akzeptiert. Für den Betrieb automatisierter Straßenfahrzeuge mit SAE Level 3+ [1] existieren im Gegensatz Betriebsbedingungen, unter denen das Fahrzeug ohne Rückgriff auf die fahrende Person im offenen Kontext agieren muss und in denen es unter Umständen zum Schadensfall kommen kann. Insbesondere in diesen Schadensfällen ist die Nachvollziehbarkeit der zugrundeliegenden Verhaltensanforderungen essentiell.

Die Begriffe des Norm- und Sollverhaltens sind im Kontext dieses Beitrags zentral und werden definiert als:

Das **Normverhalten** ist das aus gesetzlichen, gesellschaftlichen und ethischen Regeln sowie Sicherheitsmechanismen resultierende Verhalten eines Akteurs in einer szenarienübergreifenden **Betriebsumgebung**.

Das **Sollverhalten** ist das sich aus gesetzlichen, gesellschaftlichen und ethischen Regeln sowie Sicherheitsmechanismen abgeleitete, umzusetzende Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs in einem **Szenario**.

Beide Begriffe unterstützen den Prozess der durchgängigen Formalisierung von Verhaltensnormen. Allgemeine Verhaltensnormen werden im Folgenden in Summe als Normverhalten, konkrete Verhaltensregeln als Sollverhalten bezeichnet (Abbildung 1). Die Berücksichtigung ggf. konfliktärer Verhaltensnormen in einer Betriebsumgebung [2] (Normverhalten) erfordert bei der Formulierung von Verhaltensregeln in einem gegebenen Szenario [4] (Sollverhalten) sowohl eine kontextspezifische Interpretation als auch eine Auflösung und

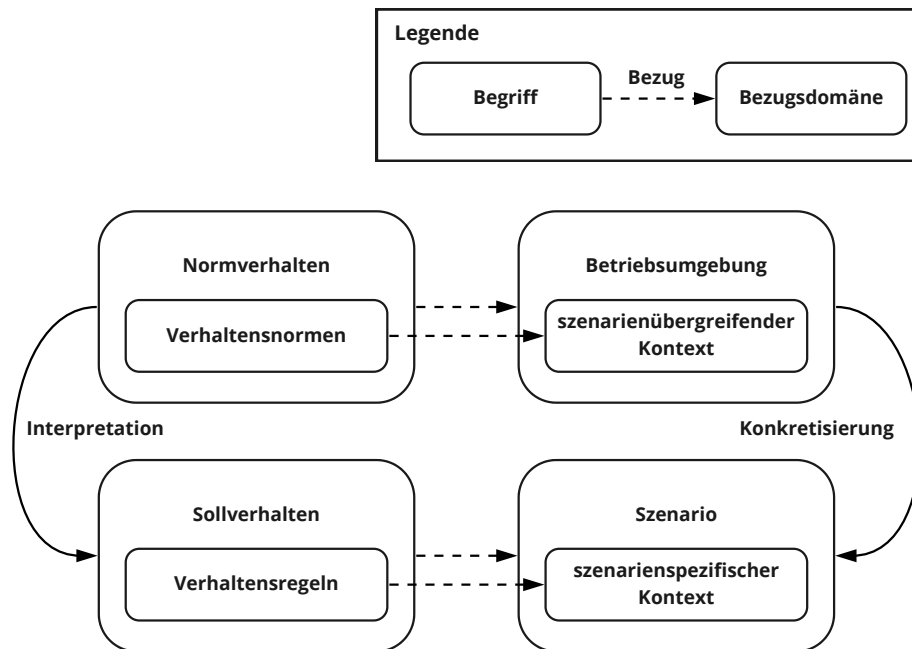


Abbildung 1: Im Rahmen dieses Beitrags zur semantischen Normverhaltensanalyse werden die Begriffe *Normverhalten* und *Sollverhalten* sowie *Verhaltensnormen* und *Verhaltensregeln* eingeführt und der Zusammenhang mit den jeweiligen Bezugsdomänen beschrieben.

damit verbundene Abwägung von Zielkonflikten. Die Repräsentation dieser mit der Verhaltensspezifikation verbundenen Abwägungen ist insbesondere notwendig, um eine Argumentationsgrundlage zu besitzen, falls unsicheres oder nicht regelkonformes Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs beobachtet wird. Die Konkretisierung abstrakter Verhaltensanforderungen erfordert eine durchgängige Dokumentation der Anforderungen, da freigebende Institutionen dadurch bei der Bewertung des zu implementierenden Verhaltens unterstützt werden.

Annahmen sind bei der Formulierung von Verhaltensanforderungen explizit zu repräsentieren, da die Dekomposition des offenen Kontextes in Form eines Szenarienkatalogs eine Vereinfachung des Problemraums darstellt. Die hier vorgestellte *semantische Normverhaltensanalyse* unterstützt den Prozess der expliziten Dokumentation von Annahmen und getroffenen Entwurfsentscheidungen bei der Spezifikation von zu implementierendem Verhalten im Straßenverkehr. Die Vollständigkeit der resultierenden Verhaltensspezifikation in Bezug auf den offenen Kontext ist weiterhin inhärent unvollständig, da die Analyse sich auf einen (idealerweise repräsentativen) Szenarienkatalog bezieht. Der Beitrag der semantischen Normverhaltensanalyse besteht in der Rückverfolgbarkeit und Erklärbarkeit der Verhaltensanforderungen, welche mithilfe einer durchgängigen Formalisierung von Verhaltensnormen ermöglicht wird.

Die Formulierung von Verhaltensanforderungen für einen Szenarienkatalog ist mit dem

Treffen von Annahmen in Bezug auf die Betriebsumgebung verbunden, da die Betrachtung einzelner Szenarien kontextspezifische Interpretationen bedingt. Um eine durchgängige Dokumentation zu ermöglichen, wird im Rahmen des in diesem Beitrag vorgestellten Ansatzes vorgeschlagen, allgemeine Verhaltensnormen innerhalb einer Betriebsumgebung zu analysieren und diese für einen beherrschbaren Szenarienkatalog in Form von Verhaltensregeln zu konkretisieren. Dabei erfolgt durch die kontextspezifische Formulierung eine Interpretation der analysierten Regeln. Verhaltensnormen innerhalb einer Betriebsumgebung werden in diesem Beitrag als Abstraktion konkreter Verhaltensregeln in mehreren Szenarien verstanden. Als Verhaltensnorm könnte beispielsweise formuliert werden, dass durchgezogene Fahrstreifenmarkierungen im Allgemeinen nicht zu überfahren sind. In einem Szenario, in dem der eigene Fahrstreifen belegt und der benachbarte Fahrstreifen frei ist, könnte dagegen die Entwurfsentscheidung getroffen werden, eine Verhaltensregel zu formulieren, welche das Überfahren der durchgezogenen Markierung (z.B. aufgrund eines Notstands) begründet. Die Legitimität der Begründung wird (insbesondere im Schadensfall) ex post durch entsprechende Institutionen festzustellen sein.

In dieser Arbeit wird ein Beitrag zur Analyse von Verhaltensnormen und zur Ableitung von formal repräsentiertem Sollverhalten vorgestellt. Der Prozess der Analyse und Formalisierung dieser Verhaltensanforderungen wird in dieser Arbeit als *Semantische Normverhaltensanalyse* bezeichnet. Ziele der expliziten Beschreibung des Norm- und Sollverhaltens sind sowohl die Erklärbarkeit von Annahmen, Anforderungen und Entwurfsentscheidungen als auch die explizite Rückverfolgbarkeit von im Betrieb beobachtetem Verhalten über das zu implementierende Sollverhalten bis zum analysierten Normverhalten. Zusätzlich ermöglicht die explizite Dokumentation des Norm- und Sollverhaltens eine Anpassung auf Basis neuer Erkenntnisse innerhalb des Produktlebenszyklus, wie sie z.B. aus der aktuellen Rechtsprechung oder Unfalluntersuchungen gewonnen werden können. Diese können anschließend explizit in die Weiterentwicklung des automatisierten Fahrzeugs einbezogen werden.

Im folgenden Abschnitt werden in der finalen Fassung des Manuskripts existierende Ansätze zur Formalisierung von Verhaltensregeln vorgestellt und zum vorgeschlagenen Ansatz abgegrenzt. Anschließend wird der methodische Ansatz erläutert und anhand eines Fallbeispiels seine Anwendung demonstriert. Als erstes Anwendungsbeispiel der vorgeschlagenen Methode wird eine semantische Normverhaltensanalyse eines Auszugs der Straßenverkehrsordnung (StVO¹) vorgestellt und die durchgängige Formalisierung eines Regelwerks von Verhaltensanforderungen als Sollverhalten in Form zweier betrachteter Szenarien veranschaulicht. An die beispielhafte Demonstration schließt sich eine Evaluation an, in der Grenzen des Ansatzes diskutiert und geplante zukünftige Arbeiten zur semantischen Normverhaltensanalyse skizziert werden.

2 Verwandte Arbeiten

Methoden zur Herleitung und Beschreibung von Sollverhalten sind Gegenstand vergangener und aktueller Forschung. Im finalen Manuskript dieses Beitrags werden existierende Ansätze zur durchgängigen Formalisierung von Verhaltensregeln diskutiert und zur semantischen Normverhaltensanalyse abgegrenzt.

¹https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/BJNR036710013.html

Im Unterschied zu den in diesem Abschnitt betrachteten Veröffentlichungen wird in dieser Arbeit ein Prozess zur durchgängigen Ableitung einer formalen Sollverhaltensbeschreibung vorgeschlagen. Der Prozess der semantischen Normverhaltensanalyse hat das Ziel, zu einem Rahmenwerk für die explizite Modellierung von Verhaltensregeln automatisierter Fahrzeuge beizutragen. Hierbei liegt der Fokus zunächst auf der Verwendbarkeit für die Absicherung während der Entwicklung eines automatisierten Fahrzeugs.

Als mögliche Beschreibungsform von Sollverhalten wird das Phänomen-Signal-Modell (PSM) [5] im Projekt VVMethoden entwickelt. Dem PSM liegt die phänomenologische Untersuchung von Wahrnehmung und Kommunikation nach Husserl [6] zugrunde. In der Phänomenologie werden Informationsflüsse zwischen Subjekten und deren Vorerleben als Grundlage des Erkenntnisgewinns verstanden. Die Klassifikation als Subjekt erfordert also das Vorhandensein von Bewusstsein. Im Rahmen des PSM wird der phänomenologische Ansatz auf das Verhalten eines Fahrzeugs im Verkehr und dessen Interaktionen mit seiner Umwelt angewendet (ohne, dass dieses als Subjekt verstanden wird). Die symbolische Formalisierung der PSM-Bestandteile dient der Algorithmisierung und der damit verbundenen automatisierten Überprüfbarkeit des Verhaltens auf der phänomenologischen Ebene. Um das Sollverhalten eines Fahrzeugs wie in dem von Beck u. a. [5] beschriebenen Formalismus des PSM modellieren zu können, werden logische Regeln benötigt, welche die im Formalismus verwendeten Symbole in Form eines Modells verknüpfen. Für die Erklärbarkeit eines PSM müssen diese Regeln mit Konzepten verknüpft sein, denen eine explizite, semantische Bedeutung zugewiesen wird. Ziel des Ansatzes der semantischen Normverhaltensanalyse ist es, Regeln zu generieren und dabei die Rückverfolgbarkeit der verwendeten Konzepte und getroffener Entwurfsentscheidungen aufrecht zu erhalten. Die Anschlussfähigkeit an das PSM stellt dabei eine gegebene Rahmenbedingung im Projekt VVMethoden dar und wurde in der Anwendung des Ansatzes berücksichtigt.

3 Ansatz zur semantischen Normverhaltensanalyse

Für die Argumentation regelkonformen und sicheren Verhaltens sind Annahmen und Entwurfsentscheidungen bei der Verhaltensspezifikation explizit zu dokumentieren. Im letzten Abschnitt des finalen Manuskripts wird erläutert werden, inwiefern die betrachteten Ansätze zur Ableitung von Verhaltensregeln nicht die notwendige Erklärbarkeit und Rückverfolgbarkeit des zu implementierenden Sollverhaltens bieten.

Auf Basis einer Analyse und expliziten Beschreibung von Verhaltensnormen in einer Betriebsumgebung erfolgt im vorgestellten Ansatz eine explizite Ableitung dieses Normverhaltens zu maschinenlesbaren Verhaltensregeln in einem Szenario. Daher ist ein Teilziel des Ansatzes, Wissen in Bezug auf das Sollverhalten eines Fahrzeugs im Straßenverkehr auf Basis von Normverhalten semantisch zu formalisieren. Die Überprüfung der Verhaltensregeln kann für einen Satz von Szenarien durchgeführt werden. In Bezug auf die Absicherung eines im Anschluss entwickelten, automatisierten Fahrzeugs innerhalb einer Operational Design Domain (ODD) [7] und unter Berücksichtigung des offenen Kontexts hängt die Validität des formulierten Sollverhaltens maßgeblich von der Repräsentativität des Szenarienkatalogs ab. Die im Rahmen des Ansatzes formalisierten Verhaltensnormen beschränken sich zunächst explizit auf den betrachteten Szenarienkatalog. Im Rahmen einer Absicherung wird zu zeigen sein, inwiefern Schlussfolgerungen für die gesamte Betriebsumgebung getroffen werden können.

Im ersten Schritt des Ansatzes werden die einzubeziehenden Wissensquellen für die Analyse des Normverhaltens gewählt (Abbildung 2). Diese Wissensquellen können sowohl Informationen zu Konzepten und Regeln als auch Methoden zum Umgang mit den gewählten Wissensquellen beinhalten. Wissensquellen sind im Kontext der Betriebsumgebung auszuwählen und zu analysieren. Die Betriebsumgebung wird hier verstanden als Summe von Bedingungen, unter denen ein automatisiertes Fahrzeug erwartbar und zulässig betrieben wird.

Um ein Modell des Norm- und Sollverhaltens erstellen zu können, müssen zunächst die Elemente, die für die Beschreibung der Verhaltensregeln notwendig sind, aus den Wissensquellen herausgearbeitet werden. Während in den meist natürlich-sprachlich dokumentierten Quellen teilweise implizites Wissen enthalten ist, kann mit Hilfe expliziter Konzepte erklärbar und rückverfolgbar geschlussfolgert werden. Zum Beispiel verwendet die StVO Konzepte wie Fahrstreifen. Dabei ist ein Fahrstreifen immer Bestandteil einer Fahrbahn. Das Wissen darüber, dass das Befahren eines Fahrstreifens einer Fahrbahn immer auch das Befahren der Fahrbahn bedingt, erscheint zunächst trivial, kann aber bei der formalen Beschreibung eine wesentliche Schlussfolgerung sein.

Für die Formalisierung von Wissen können Ontologien (oder semantische Netze) genutzt werden. In einer Ontologie (im informationstechnischen Sinn [8]) werden Konzepte in Form von Entitäten und Beziehungen modelliert und damit relativ zueinander und nicht absolut definiert. Regeln dienen der Verarbeitung des modellierten Wissens und ermöglichen explizite Inferenzen. Als Konzepte können z.B. ein Fahrzeug, ein Fahrstreifen und eine Straße verstanden werden. Wenn ein Fahrzeug sich auf einem Fahrstreifen befindet und der Fahrstreifen Bestandteil einer Straße ist, kann inferiert werden, dass das Fahrzeug sich auf der Straße befindet. Für diese Schlussfolgerung ist explizit eine Regel zu definieren. Im Projekt VVMethoden wird an Ontologien zur Repräsentation von Domänenwissen zu Szenarien gearbeitet [9], die auf Beiträgen im Kontext des Projekts PEGASUS aufsetzen [10–12]. Die Konzeptualisierung der zu beschreibenden Domäne ist, entsprechend existierender Referenzprozesse zur Entwicklung von Ontologien, der erste Schritt im Anschluss an die Auswahl der Domäne, für die Wissen repräsentiert werden soll [13, 14]. In der semantischen Normverhaltensanalyse bilden die Konzeptualisierung von Entitäten und Beziehungen sowie die Konstruktion von Regeln einen iterativen Prozess, da Konzepte in teilweise implizit repräsentiertem Wissen erst bei der Regelkonstruktion identifiziert werden können (Abbildung 2).

Wissen über Konzepte und Regeln stammt häufig aus Wissensquellen, die Expertenwissen zur semantischen Interpretation voraussetzen. Daher sind zusätzlich Wissensquellen notwendig, die den methodisch vorgesehenen Umgang mit ersteren Wissensquellen beschreiben. Diese Methoden werden genutzt, um die Wissensquellen systematisch auf enthaltenes Wissen zu untersuchen und die Konzepte und Regeln zu formalisieren. Methodisches sowie domänenbezogenes Expertenwissen und damit verbundene semantische Interpretationen sind teilweise notwendig, da Entitäten, Relationen und Regeln häufig nicht explizit dokumentiert sind. Ohne Interpretation impliziter zu expliziten Konzepten wäre eine formale Repräsentation semantischer Beziehungen nicht möglich. Das in Abschnitt 4 folgende Beispiel erfordert etwa die Repräsentation des Konzepts von „erkennbar querenden zu Fuß Gehenden“. Die herangezogene Wissensquelle (die StVO) gibt keinen unmittelbaren Aufschluss darüber, welche Bedingungen an dieses Konzept geknüpft sind. Domänenexperten könnten hier z.B. Gerichtsurteile heranziehen, um eine Interpretation

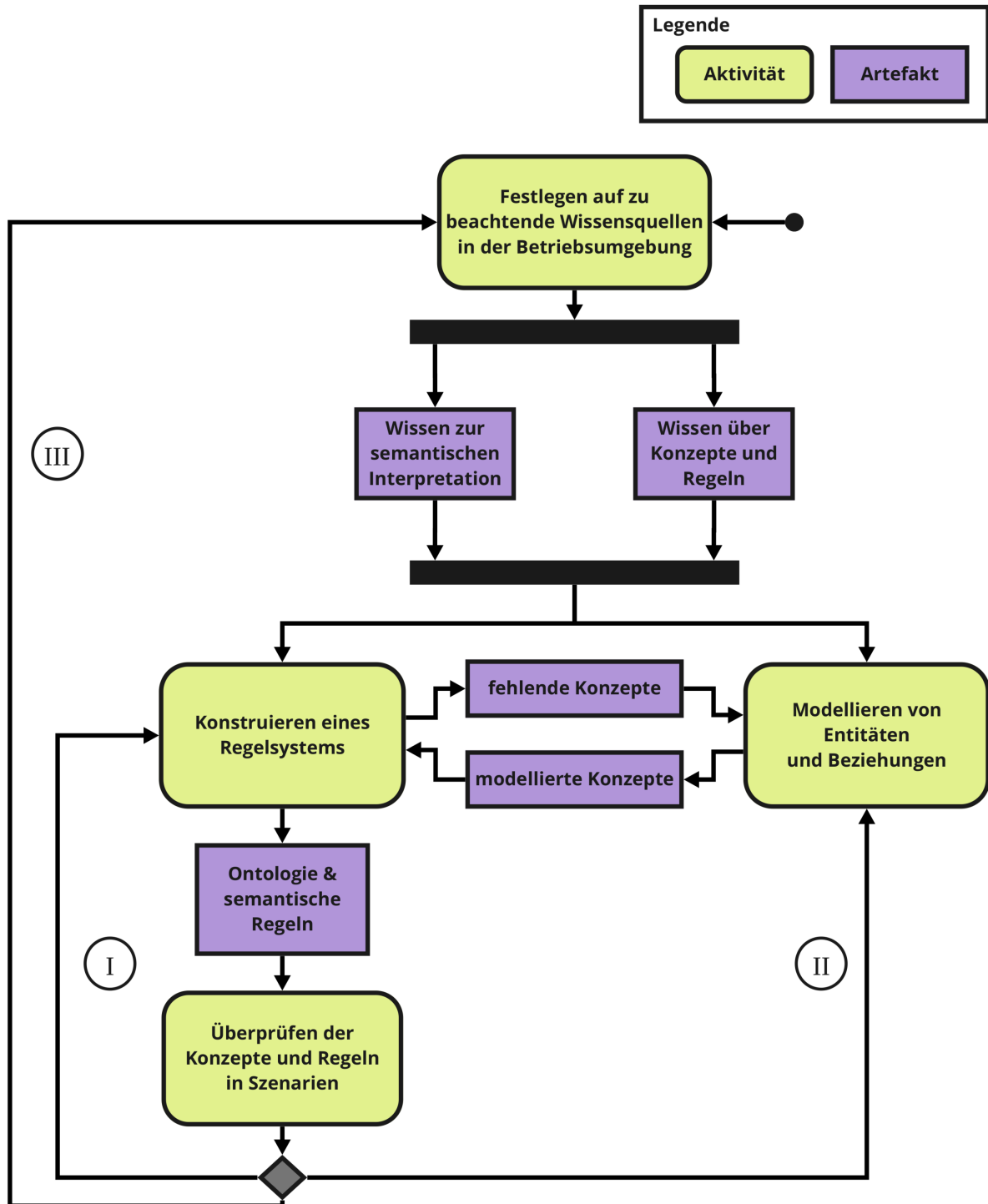


Abbildung 2: Die Methode der semantischen Normverhaltensanalyse beginnt mit der Auswahl von Wissensquellen, die für die Beschreibung des Normverhaltens in einer Betriebsumgebung genutzt werden. Nach der semantischen Interpretation und Analyse des Normverhaltens ergibt sich ein Regelsystem, welches in ausgewählten Szenarien als modelliertes Sollverhalten überprüft werden kann.

zu stützen.

Eine Anbindung der Wissensmodellierung an existierendes Domänenwissen durch die flexible Wahl der Wissensquellen sowie der Methoden zur semantischen Interpretation ist ein wesentliches Ziel des Ansatzes zur Normverhaltensanalyse. Der hier vorgestellte Ansatz stellt daher die Anforderung an Domänen-Expert*innen, die Wissensquellen bezüglich enthaltener Konzepte und Regeln zu trennen. Die Strukturierung von Konzepten und Regeln ermöglicht eine formale Überprüfbarkeit der modellierten Verhaltensanforderungen hinsichtlich ihrer Konsistenz. Ob und an welche Domänen eine Anschlussfähigkeit gegeben ist, wird die zukünftige Nutzung der semantischen Normverhaltensanalyse zeigen.

Verifiziert wird der erzeugte Regelkatalog in einem letzten Analyseschritt, in dem die Regeln auf alle betrachteten Szenarien angewendet werden. Dieser Schritt kann z.B. mithilfe eines PSM, wie von Beck u. a. [5] vorgestellt, durchgeführt werden. In der Methode werden für drei unterschiedliche Arten von Fehlerfällen drei entsprechende Iterationsschleifen vorgeschlagen. Die erste Iteration (Abbildung 2) wird bedingt durch einen Fehlerfall, der sich aus unzureichend definierten Regeln ergibt. Unzureichend bedeutet hier widersprüchlich oder nicht ausreichend detailliert. Ziel dieser Schleife ist die Erzeugung eines konsistenten Regelkatalogs. Der Eintritt in die zweite Iterationsschleife wird durch fehlende Konzepte ausgelöst. Diese Schleife ist notwendig, da selbst in einem konsistenten Regelkatalog festgestellt werden kann, dass die Konzeptualisierung für ein Szenario nicht hinreichend vollständig ist. Das Ziel der Schleife ist die Korrektheit des Regelkatalogs in Bezug auf die untersuchten Szenarien. In der dritten und äußersten Schleife kann eine in Bezug auf die Szenarien und Wissensquellen hinreichend vollständige Ontologie der Konzepte und ein widerspruchsfreier Regelkatalog vorliegen. Falls dennoch in Frage steht, ob das geschlussfolgerte, regelkonforme Verhalten dem tatsächlich gewünschten Sollverhalten entspricht, kann die Wissensbasis geprüft und es können neue Quellen hinzugezogen werden.

Da Szenarien für die Ableitung von Verhaltensnormen auf Sollverhaltensregeln genutzt werden, ist die Repräsentativität des Szenarienkatalogs maßgeblich verantwortlich für die Validität des formalisierten Sollverhaltens innerhalb einer Betriebsumgebung. Hierbei ist zu beachten, dass in der Betriebsumgebung im Gegensatz zur ODD keine Annahmen zu den Fähigkeiten des automatisierten Fahrzeugs enthalten sind. Das bedeutet, dass ein valides Sollverhalten in allen betrachteten Szenarien nicht auf die Fähigkeiten des Fahrzeugs, dieses Sollverhalten umzusetzen, schließen lässt.

Die Überprüfung der Übertragbarkeit formalisierter Konzepte und Regeln von den analysierten Szenarien auf den offenen Kontext ist nicht Bestandteil des vorgeschlagenen Ansatzes. Als Voraussetzung für die Anwendbarkeit der semantischen Normverhaltensanalyse wird ein Szenarienkatalog benötigt. In Bezug auf die Absicherung eines automatisierten Fahrzeugs stellt diese Voraussetzung eine Grenze der Argumentierbarkeit sicheren und regelkonformen Sollverhaltens in einer Betriebsumgebung dar. Eine Limitation der Validität des formulierten Sollverhaltens in Bezug auf den betrachteten Szenarienkatalog ergibt sich aus der Akzeptanz genutzter Wissensquellen für die Analyse von Verhaltensnormen. Da das Sollverhalten das analysierte Normverhalten innerhalb der Szenarien abbildet, ist die Validität der für die Normverhaltensanalyse genutzten Quellen bei der Argumentation des Sollverhaltens innerhalb eines Szenarienkatalogs zu berücksichtigen.

4 Anwendung des Ansatzes an einem Beispiel

In diesem Abschnitt wird in der finalen Fassung des Manuskripts die semantische Normverhaltensanalyse anhand zweier Szenarien beispielhaft demonstriert. Zunächst werden die Szenarien eingeführt und ihre Unterschiede beschrieben. Für die Demonstration des Ansatzes zur semantischen Normverhaltensanalyse werden die zwei ausgewählten Szenarien beispielhaft auf Verhaltensnormen analysiert. Hierbei wird als Beispiel einer Wissensquelle ein Abschnitt der StVO verwendet. Anschließend wird das Sollverhalten auf Basis des analysierten Normverhaltens formalisiert.

Die formulierten Regeln werden im folgenden Abschnitt exemplarisch auf die zwei betrachteten Szenarien angewendet und das Ergebnis in Bezug auf das inferierte Sollverhalten auf Regelkonformität hin untersucht.

5 Evaluierung des Anwendungsfalls

Dieser Beitrag betrachtet (in der finalen Fassung des Manuskripts) beispielhaft zwei funktionale Szenarien. Das Szenario, welches eine direkte Einsicht des Ego-Fahrzeugs in den Einlaufbereich des Fußgängerüberwegs ermöglicht, wird innerhalb der Bottom-up Konzeptualisierung herangezogen. Im Gegensatz dazu wird das Szenario, welches eine Verdeckung des Einlaufbereichs beinhaltet, nicht bei der Konzeptualisierung betrachtet. Im letzten Schritt der semantischen Normverhaltensanalyse wird das formalisierte Wissen in Form von Konzepten und Regeln in einem Szenarienkatalog geprüft. In der finalen Version dieses Abschnitts wird der formalisierte Regelsatz und daraus resultierende Schlussfolgerungen für das Sollverhalten in den beiden gewählten Szenarien evaluiert.

Da eine automatisierte Prüfung fehlenden Wissens bisher nicht Teil des Ansatzes ist, bleibt die expertenbasierte Überprüfung aller Szenarien als notwendiger Schritt bestehen. Automatisiert können ausschließlich logische Fehler in der Ontologie und im Regelkatalog festgestellt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde zunächst argumentiert, dass eine explizite Repräsentation des Norm- und Sollverhaltens einen Beitrag zur Absicherung automatisierter Straßenfahrzeuge leisten kann. Auf Basis der Anforderung eines erklärbaren und rückverfolgbaren Verhaltens während des gesamten Lebenszyklus eines automatisierten Fahrzeugs wurde ein Ansatz zur semantischen Normverhaltensanalyse vorgestellt und zu existierenden Ansätzen in der Literatur abgegrenzt.

Die vorgestellte Analyse ist hierbei als Fallbeispiel zu verstehen und soll keine Auslegung der StVO voraussetzen. Im Rahmen der Arbeit wurde ein methodischer Vorschlag erarbeitet, um Expert*innen verschiedener Domänen eine Schnittstelle bereitzustellen, damit Interpretationen von Wissensquellen wie der StVO sinngemäß, formal repräsentiert werden können.

Ein Vorteil des Ansatzes ist, dass die Bewertung des inferierten Sollverhaltens durch Expert*innen explizit in den iterativen Entwicklungsprozess einbezogen werden kann. Da die szenarienbezogene Bewertung als Stärke von Analysen durch den Menschen verstanden

wird, kann der Ansatz zur semantischen Normverhaltensanalyse als Unterstützungsmittel zur Herleitung von Verhaltensregeln gesehen werden. Die Stärke der formalen Repräsentation der Verhaltensregeln lässt sich insbesondere unter Berücksichtigung eines umfangreichen Szenarienkatalogs und der damit verbundenen Überprüfung von Widersprüchen im Sollverhalten prognostizieren.

Grenzen des Ansatzes ergeben sich insbesondere beim Übergang zwischen der nicht-formalen und formalen Beschreibung von Verhalten. Die Interpretation von Verhaltensnormen und die Ableitung von Sollverhalten stellt eine Fehlerquelle dar. Die explizite Dokumentation von Interpretation an diesem Übergang ist wesentlich für die Argumentierbarkeit getroffener Entwurfsentscheidungen. Eine Herausforderung des offenen Kontextes, die der Ansatz nur eingeschränkt adressiert, ist die notwendigerweise getroffene Vereinfachung bei der Erstellung eines Szenarienkatalogs. Die Formulierung von Verhaltensnormen kann zur Argumentierbarkeit von Annahmen in beobachteten kritischen Grenzfällen beitragen, das Treffen der Annahmen selbst aber nicht ausschließen.

Ein wesentlicher, ausstehender technischer Integrationsschritt mit dem im Projekt VVMethoden entwickelten PSM [5] steht aus, ist aber in der Konzeption des vorgestellten Ansatzes berücksichtigt. Darüber hinaus bestehen offene Herausforderungen bei der Skalierung des Ansatzes auf weitere Szenarien und Verhaltensregeln z.B. aus der StVO. Zusätzlich müssen weitere Wissenquellen einbezogen werden, um Verhaltensnormen einer Betriebsumgebung valide abdecken zu können. Hierbei ist zukünftig zu untersuchen, inwieweit sich hier beispielhaft angewendete semantische Interpretationen auf andere Rechtsquellen und Rechtskontexte anwenden lassen. Im Zusammenhang der semantischen Kompatibilität und damit verbundenen Interoperabilität der gezeigten und beispielhaft angenommenen Wissensrepräsentation ist eine Harmonisierung mit bestehenden Ontologien ebenfalls Gegenstand zukünftiger Arbeiten.

Danksagung

Diese Forschungsarbeiten wurden zum Teil im Rahmen des Projekts „VVMethoden“ durchgeführt. Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung des Projekts durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wir bedanken uns zudem bei unseren Kollegen im Projektkonsortium von VVMethoden und insbesondere bei Christian Lalitsch-Schneider und Dr.-Ing. Christoph Höhmann für die anregenden Diskussionen, sowie bei Prof. Dr. rer. nat. Markus Brandstätter für viel hilfreiches Feedback. Für die Übernahme des Lektorats danken wir Kim Steinkirchner.

Literatur

- [1] SAE, *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*, 2021.
- [2] INCOSE, *Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. New Jersey, USA: John Wiley und Sons, Inc, 2015, Bd. 4.0.
- [3] M. Nolte, S. Ernst, J. Richelmann und M. Maurer, „Representing the Unknown – Impact of Uncertainty on the Interaction between Decision Making and Trajectory Generation,“ in *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2018, S. 2412–2418. DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569490.
- [4] S. Ulbrich, T. Menzel, A. Reschka, F. Schuldt und M. Maurer, „Defining and substantiating the terms scene, situation, and scenario for automated driving,“ in *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Gran Canaria, Spain: IEEE, 2015, S. 982–988. DOI: 10.1109/ITSC.2015.164.
- [5] H. N. Beck, N. F. Salem, V. Haber, M. Rauschenbach und J. Reich, „Phänomen-Signal-Modell: Formalismus, Graph und Anwendung,“ *arXiv:2108.00252 [physics]*, 2021.
- [6] E. Husserl, *Logische Untersuchungen*, textgleich zu Husserliana 1975/1984. Hamburg: Felix Meiner Verlag GmbH, 2009.
- [7] *ISO/DIS 21448 Road vehicles — Safety of the intended functionality*, 2021.
- [8] N. Guarino, D. Oberle und S. Staab, „What Is an Ontology?“ In *Handbook on Ontologies*, S. Staab und R. Studer, Hrsg., Type: 10.1007/978-3-540-92673-3_0, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, S. 1–17.
- [9] M. Scholtes u. a., „6-Layer Model for a Structured Description and Categorization of Urban Traffic and Environment,“ *IEEE Access*, Jg. 9, S. 59 131–59 147, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3072739.
- [10] G. Bagschik, T. Menzel und M. Maurer, „Ontology based Scene Creation for the Development of Automated Vehicles,“ in *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2018, S. 1813–1820. DOI: 10.1109/IVS.2018.8500632.
- [11] G. Bagschik, T. Menzel, A. Reschka und M. Maurer, „Szenarien für Entwicklung, Absicherung und Test von automatisierten Fahrzeugen,“ in *11. Workshop Fahrerassistenzsysteme. Hrsg. von Uni-DAS e.V.*, 2017, S. 125–135.
- [12] T. Menzel, G. Bagschik und M. Maurer, „Scenarios for Development, Test and Validation of Automated Vehicles,“ in *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2018, S. 1821–1827. DOI: 10.1109/IVS.2018.8500406.
- [13] R. de Almeida Falbo, „SABiO: Systematic Approach for Building Ontologies,“ in *ONTO. COM/ODISE@ FOIS*, 2014.
- [14] N. Noy und D. L. McGuinness, „Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology,“ *Knowledge Systems Laboratory, Stanford University*, Jg. 2001, 2001.