

Definition der Begriffe Szene, Situation und Szenario für das automatisierte Fahren

S. Ulbrich, T. Menzel, A. Reschka, F. Schuldt* und M. Maurer[†]

Zusammenfassung: Für die Entwicklung und den Test von funktionalen Modulen eines automatisierten Fahrzeugs bedarf es der Festlegung von einheitlichen Schnittstellen. Während es auf Seiten der Wahrnehmung bereits etablierte Schnittstellen wie Objektlisten, Punktwolken oder Belegungsgitter gibt, sind diese in den nachfolgenden Modulen der Kontextmodellierung und Verhaltensplanung noch nicht einheitlich spezifiziert. Für die Autoren ist eine *Szene* die zentrale Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Verhaltensplanung. Innerhalb der Verhaltensplanung ist die *Situation* eine zentrale Schnittstelle. Ein *Szenario* wird oft zur funktionalen Beschreibung eines Systems oder zur Spezifikation von Testfällen verwendet. Häufig sind diese Begriffe jedoch nicht eindeutig oder inkonsistent definiert. Zur Klärung der Begriffe werden in diesem Beitrag existierende Definitionen zusammengefasst und für jeden Begriff eine konsistente Definition und eine Beschreibung der Bestandteile einer möglichen Implementierung vorgeschlagen.

Schlüsselwörter: Automatisiertes Fahren, Situation, Szenario, Szene, Terminologie

1 Einleitung

Die Fähigkeiten und Fertigkeiten von automatisierten Fahrzeugen haben sich stetig weiterentwickelt. Damit einher geht eine Zunahme der Komplexität im Sinne der Anzahl und Vernetzung beteiligter Komponenten. Zur Beherrschung dieser Komplexität, ist es notwendig, eindeutige Schnittstellen zu definieren. Für die Autoren ist eine Szene das zentrale Interface zwischen Wahrnehmung und Verhaltensplanung & -ausführung. Eine Situation ist die zentrale Schnittstelle innerhalb der Verhaltensplanung. Es stellen sich somit die Fragen: Was ist eine Szene? Was unterscheidet sie von einer Situation und einem Szenario?

Zu der Weiterentwicklung eines Forschungsgebiets gehört neben funktionalen Innovationen auch einheitliche Begriffsdefinitionen. Eine einheitliche Terminologie verringert den Abstimmungsaufwand bezüglich Begrifflichkeiten in neuen Projektkonsortien und erleichtert domänenübergreifend den wissenschaftlichen Austausch.

Begriffsdefinitionen sind im besonderen Maße abhängig von der gewählten Sprache. In dieser Veröffentlichung definieren die Autoren die Begriffe Szene, Situation und Szenario auf Deutsch. Darüber hinaus werden diese Begriffe in [1] in englischer Sprache definiert.

Die Abschnitte 2, 4 und 6 fassen existierende Begriffsdefinitionen zusammen und präsentieren die von den Autoren vorgeschlagenen Begriffsdefinitionen für den Kontext von automatisiert fahrenden Fahrzeugen. Die Abschnitte 3, 5 und 7 präsentieren jeweils die Bestandteile einer möglichen Implementierung. Zuletzt rundet Abschnitt 8 den Beitrag durch eine Zusammenfassung und einen Ausblick ab.

*S. Ulbrich, T. Menzel, A. Reschka und F. Schuldt sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig (Email: {ulbrich, menzel, reschka, schuldt}@ifr.ing.tu-bs.de).

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

2 Definition des Begriffs „Szene“

In der Literatur finden sich viele Definitionen des häufig verwendeten Begriffs *Szene*, die zum Teil inkonsistent sind. Thomason & Gonzalez [2, S. 26] schlugen bereits 1985 einen Szenenbaum als Szenenrepräsentation vor, in welchem eine Szene in einfachere Elemente zerlegt wird und diese in einer hierarchischen Struktur repräsentiert werden. Maurer [3, S. 63] definiert eine Szene als die „[...] räumlich-zeitliche Anordnung von physikalischen Objekten aus Sicht eines Betrachters [...]“. Geyer et al. [4, S. 185] nutzen zur Definition der Szene eine Analogie zum Theater: Für sie besteht eine Szene aus Szenerie, dynamischen Elementen und optionalen Fahrmanweisungen. Sie beginnt mit dem Ende der vorherigen Szene oder - im Falle der ersten Szene - mit einer vordefinierten Startszene. In einer Startszene sind alle Elemente und ihr Verhalten, sowie die Position des Ego-Fahrzeugs, definiert.

Die Autoren dieses Artikels verstehen Geyer et al. [4] so, dass eine Szene nach deren Definition über eine Zeitspanne andauert. Nach dieser Definition folgt die technische Herausforderung zu identifizieren, wann genau eine Szene, beispielsweise charakterisiert durch ein mehrere Sekunden umfassendes Fahrmanöver, endet und die nächste Szene beginnt. Folglich schlagen wir vor, von der Definition nach [4] abzuweichen, indem eine Szene wie in [3] als Momentaufnahme des Umfelds und der Selbstrepräsentation zu verstehen ist. Das Konzept einer Momentaufnahme schließt nicht aus, zeitliche Aspekte, wie die Zeit seit einem vergangenen Ereignis (z.B. letztes Überholen), in der Szene zu repräsentieren.

Geyer et al. [4] verstehen optionale Fahrmanweisungen als Teil der Szene. Dem gegenüber schlagen Wershofen & Graefe [5] vor, die Ziele eines Roboters als Teil der Situation zu verstehen. Ebenso grenzen Haag [6] und Krüger [7] eine Szene gegenüber einer Situation durch den Aspekt der Handlungen und Handlungsalternativen ab. Damit verbunden sollte der Aspekt der Selbstrepräsentation wie von Maurer [3], Bergmiller [8] und Reschka et al. [9] Berücksichtigung finden. Für das automatisierte Fahren schlagen die Autoren vor, *zielspezifische Fahrmanweisungen* als Teil der Situation zu verstehen und die von Geyer angesprochenen Fahrmanweisungen als Information und Teil der Selbstrepräsentation innerhalb einer Szene anzusehen. Als Resultat schlagen die Autoren folgende Definition vor:

Eine Szene beschreibt eine Momentaufnahme des Umfelds, welche die Szenerie, dynamische Elemente, die Selbstrepräsentation aller Akteure und Beobachter wie auch die Verknüpfung dieser Entitäten umfasst. Einzig eine Szenenrepräsentation in einer simulierten Welt kann allumfassend sein (objektive Szene, Ground Truth). In der realen Welt ist sie immer unvollständig, fehlerbehaftet, unsicherheitsbehaftet und aus der Perspektive eines oder mehrerer Beobachter (subjektive Szene).

Ein Akteur ist in dieser Definition ein selbst handelndes Element. Ein Beobachter ist ein wahrnehmendes Element innerhalb der Szene oder eines, dass die Szene als ganzes betrachtet. Ein Element kann gleichzeitig Beobachter und Akteur sein (vgl. Abschnitt 3). Dynamische Elemente bewegen sich oder haben zumindest die Fähigkeit sich zu bewegen. Die Szenerie umfasst alle räumlich stationären Elemente (vgl. Abschnitt 3).

Eine in der Realität wahrgenommene Szene ist immer eine subjektive Sicht auf die Welt. Selbst wenn viele Beobachter ihre Informationen teilen, entsteht keine objektive Szene, sondern nur eine subjektive Szene aus der Perspektive mehrerer Beobachter. Einzig in der Simulation kann eine objektive Szene (vollständig, nicht-fehlerbehaftet, frei von Unsicherheiten) durch einen allwissenden Beobachter bereitgestellt werden.

Eine Szene dient als universelle Schnittstelle zwischen Wahrnehmungsmodulen und den anwendungs- und missionsspezifischen Modulen. Eine Folge von Szenen kann genutzt werden, um die zeitliche Entwicklung in einem Szenario (vgl. Abschnitt 6) darzustellen.

3 Bestandteile einer „Szene“

Nachdem eine Definition für den Begriff *Szene* gegeben wurde, beschreibt der folgende Abschnitt die Bestandteile einer Szene, wie sie auch im Rahmen des Projektes Stadtpilot der TU Braunschweig (vgl. Ulbrich et al. [10]) verwendet werden. Abbildung 1 illustriert die Komponenten einer Szene. Sie besteht aus der Szenerie, dynamischen Elementen und einer Selbstrepräsentation aller Akteure und Beobachter.

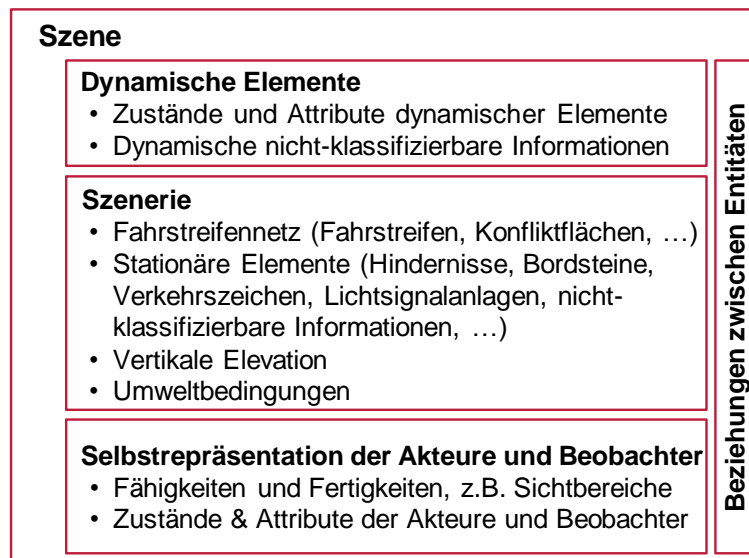


Abbildung 1: Beispiel einer (subjektiven) Szenenrepräsentation der realen Welt

Abweichend von der Definition der dynamischen Elemente in Geyer [4] wird hier angenommen, dass dynamische Elemente sich durch kinetische Energie bewegen oder sich durch zur Bewegung vorhandene Energie oder Fähigkeiten bewegen könnten. Vorangegangene Bewegung eines Elements, z.B. das Anhalten an einer Ampel, sind ein starkes Indiz für die Annahme einer solchen möglichen Bewegung. Derzeit sind die Wahrnehmungsfähigkeiten oft noch nicht hinreichend, um stehende Elemente als dynamisch zu klassifizieren. Daher ist es aktuell noch nicht möglich, eine fest mit dem Boden verbundene Statue von einem gerade stehenden Fußgänger zu unterscheiden.

Alle von Dickmanns [11] als „Subjekte“ bezeichneten, handelnden Elemente sind damit Teil der dynamischen Elemente. In diesem Artikel wird jedoch darauf verzichtet, einen von Dickmanns als Beispiel für ein „Objekt“ vorgeschlagenen, herumfliegenden Müllsack von einem aktiv handelnden Element zu unterscheiden. Eine solche Klassifikation sollte nach Auffassung der Autoren erst später in einer Situationsbewertung erfolgen, da es einen Übergang „vom Signal zum Sinn“ darstellt (vgl. Eco [12], Abschnitt 4).

Ebenso wie Matthaei [13] subsumiert Abbildung 1 aus Sicht eines Fahrzeugs quasi-stationäre Wetter- und Lichtbedingungen als Teil der Szenerie. Auch zeitlich veränderliche Zustände von Lichtsignalanlagen und Wechselverkehrszeichen werden, da sie Attribute räumlich stationärer Elemente sind, als Teil der Szenerie verstanden.

Die Szenerie beschreibt somit alle räumlich stationären Aspekte einer Szene. Diese sind metrische, semantische und topologische Informationen, z.B. Fahrstreifen, Fahrstreifenmarkierungen, Fahrbahnoberflächen oder der Typ der Verkehrsdomäne. Darüber hinaus umfasst die Szenerie Informationen über Konfliktflächen zwischen Fahrstreifen und deren Verknüpfung untereinander, z.B. an Kreuzungen.

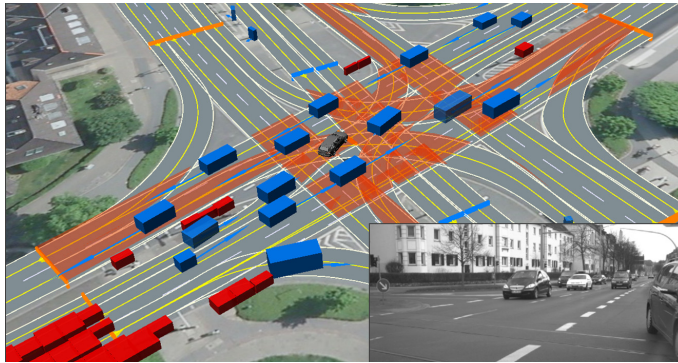


Abbildung 2: Illustration einer (subjektiven) Szenenrepräsentation

Für stationäre und dynamische Elemente in der Szenerie müssen auch Informationen über nicht modellkonforme Elemente repräsentiert werden. Dies können Informationen über nicht klassifizierbare, nicht verfolgbare oder nicht segmentierbare Messungen bzw. schlicht nicht zum Entwicklungszeitpunkt bedachte Objektklassen sein. Das Vorhandensein solcher Elemente kann aus Sicht der funktionalen Sicherheit relevant für die Bewertung einer aus der Szene extrahierten Situation sein.

Die Szenenrepräsentation wird komplettiert durch eine Selbstrepräsentation der Akteure und Beobachter. Diese kann das aktuelle Fertigkeiten-Level wie auch generelle Systemfähigkeiten und Fertigkeiten umfassen (vgl. Reschka et al. [9]). Solch eine Selbstrepräsentation kann im einfachsten Fall aus Time-out-Signalen einzelner Komponenten oder Sichtbereichen und Verdeckungen bestehen. Diese Selbstrepräsentation könnte in einem Fähigkeiten- und Fertigkeiten-Graph wie in Reschka et al. [9] aggregiert werden.

Abbildung 2 zeigt eine beispielhafte Repräsentation einer Szene für ein automatisiertes Fahrzeug. Ähnliche Kontextmodelle bzw. Welt-Modelle wurden bereits von Homeier et al. [14], Ulbrich et al. [10] und Schmidt et al. [15] präsentiert.

4 Definition des Begriffs „Situation“

Für den Begriff der Situation gibt es in der Literatur analog zur Szene ebenfalls unterschiedliche Verwendungen. Wershofen & Graefe [5, S. 3] zitiert von Maurer [3] verstehen unter einer „Situation die Gesamtheit der Umstände, die vom Roboter bei der Auswahl eines in dem jeweiligen Moment geeigneten Verhaltensmusters zu berücksichtigen sind.“

In der Psychologie definiert Wirtz [16, S. 1430] als Situation die „Gesamtsachlage, aus der ein bestimmtes Verhalten des Menschen folgert.“ Er nutzt den Begriff der Situation für eine Person inklusive ihrer psychologischen Umgebung.

Reichardt [17, S. 35] definiert eine Situation als die Vereinigung von den Untermengen der internen und externen Situation. Die interne Situation besteht aus den Submengen zur Beschreibung des Fahrzeugzustands und einer Benutzereingabe. Die externe Situation besteht aus Umfeldinformationen, welche die Straße, Hindernisse und Verkehrszeichen

beschreiben. Er beschränkt seine Situationsdefinition auf die von ihm sogenannte Diskurswelt eines automatisierten Fahrzeugs als Untermenge der realen Welt.

Gemäß Haag [6] zitiert von Pellkofer [18] ist der Unterschied zwischen einer Szene und einer Situation der Handlungsaspekt. Krüger [7], der ebenfalls von Pellkofer [18] zitiert wird, definiert eine Situation als erweiterten Zustand, bei dem Akteure nicht nur als physikalische Gegenstände (Objekte) betrachtet werden, sondern zusätzlich deren Handlungen und Handlungsalternativen, um so die zeitliche Entwicklung der Situation abzuschätzen. Diese Akteure werden von Pellkofer [18] basierend auf [11] als Subjekte bezeichnet.

Pellkofer [18, S. 4] definiert eine Situation als „die Summe der für die Verhaltensentscheidungen relevanten Sachverhalte. Relevant für die Verhaltensentscheidung sind die aktuelle Szene, die Intentionen und Aktionen aller Subjekte in der Szene (einschließlich des Eigenfahrzeugs) und die Fähigkeiten des Eigenfahrzeugs, welche die Entscheidungsalternativen darstellen.“ Dem gegenüber verstehen die Autoren dieses Artikels die Fähigkeiten nicht als Entscheidungsalternativen, sondern als Eingangsgröße für einen Entscheidungsfindungsprozess, um Entscheidungsalternativen abzuleiten.

Für Mock-Hecker [19, S. 4] ist „eine Verkehrssituation [...] dabei der zu einem bestimmten Zeitpunkt existierende Zustand des erfassten Ausschnitts der Verkehrswelt, der [...] durch bestimmte physikalische Zustandsgrößen der involvierten Fahrzeuge, den zu diesem Zeitpunkt von den Fahrzeugen durchgeführten Aktionen und den erwarteten Plänen der Agenten beschrieben wird. Die aus dieser Definition resultierende Beschreibung einer Verkehrssituation schließt nicht nur den aktuellen Zustand der Verkehrswelt in einer bestimmten Verkehrssituation ein, sondern auch deren wahrscheinliche weitere Entwicklung.“ Damit umfasst für Mock-Hecker eine Situation nicht nur den aktuellen Zeitpunkt sondern auch die erwartete zukünftige Entwicklung.

Auch für die Wahl einer Situationsdefinition spielt ihre technische Umsetzbarkeit eine große Rolle. Die Autoren empfehlen ebenso wie für eine Szene, eine Situation, wie in Mock-Hecker [19, S. 4], als *Momentaufnahme* der Gesamtheit an Umständen zu verstehen, die vom Roboter (Akteur) bei der Auswahl eines in dem jeweiligen Moment geeigneten Verhaltensmusters zu berücksichtigen sind. Dadurch kann einmal mehr die technische Herausforderung vermieden werden, Anfang und Ende einer länger andauernden Situation klar definieren zu müssen.

Eine weitere Herausforderung zur Definition des Begriffs *Situation* ergibt sich aus den häufig in Architekturen für automatisiert fahrende Fahrzeuge vorkommenden Modulen zur *Situationsbewertung* oder *Situationsanalyse*. Eine Situationsanalyse nutzt eine Situation als Eingangsgröße und interpretiert bestimmte Aspekte davon. Folglich kann das Resultat einer Situationsbewertung als Augmentierung der anfänglichen Situation bezüglich bestimmter Aspekte angesehen werden. Reichel [20, 21] und Siedersberger [22] haben hierfür den Begriff von *Situationsaspekten* geprägt.

Eco [12, S. 65] zitiert von Maurer [3, S. 95] versteht den Übergang vom Signal zum Sinn als zentralen Signifikationsprozess beim Menschen. Gemäß Maurer [3, S. 95], kann eine Situationsbewertung als ein solcher Signifikationsprozess in einem technischen System angesehen werden.

Geyer et al. [4] definieren eine Situation als eine Menge an Kriterien, welche eingehalten werden müssen, um eine assoziierte Aktion auszuführen. Genauso wie für ihre Szenendefinition wird das Ende einer Situation durch die Änderung solcher Kriterien definiert. Die Autoren stimmen Geyer et al. [4] zu, dass abhängig von Handlungen und Handlungsalter-

nativen die selbe Szene in verschiedene Situationen resultieren kann. Die Illustration der in Geyer et al. [4, S. 185] postulierten Ontologie scheint hingegen die Szene vollständig als Teil der Situation zu verstehen. Die Situation sollte Resultat einer Auswahl und Augmentierung von Szeneninformationen sein. Sie basiert auf transienten oder permanenten (vgl. Wershofen & Graefe [5]) Zielen und Werten.

Angenendt [23, S. VIII] nimmt an, dass eine „Situation mehr als nur eine Momentaufnahme des Verkehrsgeschehens mit Hilfe von [verkehrs]anlage- und umfelderfassenden Kenngrößen ist.“ Darüber hinaus sollte eine Situation Informationen bezüglich des Verhaltens von Verkehrsteilnehmern und den daraus resultierenden informellen Verhaltensregeln umfassen. Er nutzt das Konzept eines Verhaltenskontexts (behavior setting), um die informell befolgten Regeln abzubilden [23, S. 22 ff.]. Die Autoren stimmen zu, dass dieser Verhaltenskontext integraler Bestandteil einer Situation ist und schlagen vor ihn als Teil der Ziele und Werte in einer Situation zu repräsentieren.

Von Benda [24, S. 1] definiert die Verkehrssituation als beschränkten Ausschnitt aus dem gesamten Verkehrsgeschehen, der durch den Fahrer wahrgenommen wird. Damit führt sie den Aspekt der *Sicht* bzw. Betrachtungsperspektive (point of view) ein.

Dickmanns [25, S. 448] definiert eine Situation als die Sammlung aller umweltbezogenen und übrigen Umstände, welche einen *Einfluss auf die Wahl geeigneter Entscheidungen* im Missionskontext haben. Die Autoren stimmen hier Dickmanns Kriterium der Fahrfunktionsrelevanz zu.

Schmidt [15] unterscheidet zwischen einem wahren Weltmodell (*true world model*), einer wahren Situation (*true situation*) für einen individuellen Beobachter und einer subjektiven Situation als Sicht eines Beobachters. Während in diesem Beitrag die Möglichkeit einer wahren Situation in einer perfekt simulierten Welt nicht ausgeschlossen wird, ist eine Situationsrepräsentation in der realen Welt in einem technischen System immer unvollständig, unsicher und aus einer subjektiven Perspektive (vgl. Abschnitt 2).

Anhand der genannten Quellen ist festzustellen, dass die Festlegung einer generellen und allgemein gültigen Definition des Begriffs *Situation* eine Herausforderung darstellt. Dennoch wird von den Autoren folgende Definition vorgeschlagen:

Eine Situation beschreibt die Gesamtheit der Umstände, die für die Auswahl geeigneter Verhaltensmuster zu einem bestimmten Zeitpunkt zu berücksichtigen sind¹. Sie umfasst alle relevanten Bedingungen, Möglichkeiten und Determinanten von Handlungen². Eine Situation wird aus der Szene durch einen Prozess der Informationsauswahl und -augmentierung abgeleitet, basierend auf transienten (z.B. missionspezifischen) wie auch permanenten Zielen und Werten. Folglich ist eine Situation immer subjektiv, indem sie die Sicht eines Elements repräsentiert.

Eine Situation besteht aus zahlreichen Situationsaspekten, welche von einer Situationsbewertung interpretiert und analysiert werden. Eine Situation ist zugleich Eingangsgröße und Resultat eines solchen Moduls.

Entsprechend der Situationsdefinition der Autoren, kann eine Situation vollständig aus einer Szene und den Zielen und Werten eines Systems abgeleitet werden. Dies wird durch das Venn-Diagramm in Abbildung 3 illustriert. Es gibt eine große Schnittmenge

¹Vgl. Wershofen & Gräfe [5].

²Vgl. Meyer [26]. Determinanten verstanden als Beeinflussungsfaktoren bzw. bestimmende Faktoren.

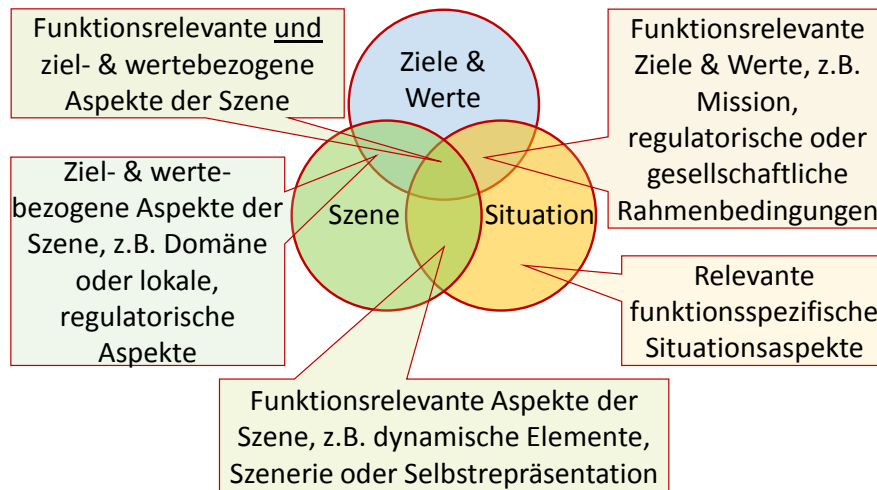


Abbildung 3: Venn-Diagramm von Szene, Situation und Zielen & Werten eines Elements

zwischen einer Szene und einer Situation, um alle *relevanten* Aspekte der Szenerie, alle *relevanten* dynamischen Elemente und alle *relevanten* Aspekte der Selbstrepräsentation zu symbolisieren. Diese Überlappung zeigt den Informationsselektionsprozess, welcher hilft, die Situationsrepräsentation gegenüber der Szene zu vereinfachen. Darüber hinaus wird eine Situation implizit oder explizit beispielsweise durch Ziele und Werte *augmentiert*. Beispiele hierfür sind das explizite Bewerten der Nützlichkeit eines Fahrstreifens, um das Missionsziel zu erreichen, oder die Bewertung der Relevanz eines am Straßenrand spielenden Kindes gegenüber einer über die Straße fliegenden Plastikverpackung. Der verbleibende Teil im Venn-Diagramm, welcher weder mit der Szene noch den Zielen und Werten überlappt, repräsentiert Informationen aus Situationsaspekten, welche durch eine Situationsbewertung evaluiert und angereichert wurden.

5 Bestandteile einer „Situation“

Die Anzahl der Elemente einer Situationsrepräsentation weicht von denen der Szene durch die zuvor bereits vorgestellte ziel- und wertspezifische Informationsselektion und die Augmentierung ab. Entsprechend Abbildung 3 gibt es einen großen Überlappungsbereich zwischen Szene und Situation bezüglich der beinhalteten Informationen. Der wesentliche Unterschied ist, dass nur funktionsrelevante Informationen Teil der Situation sind. Abbildung 4 zeigt die Elemente einer Situationsrepräsentation.

Ein einfaches Beispiel in Abbildung 5 verdeutlicht den Unterschied: Ein automatisiert fahrendes Fahrzeug nähert sich einer Kreuzung mit einem in die gleiche Richtung fahrenden Fahrrad auf einem baulich getrennten Radweg. Wenn die Mission von dem automatisiert fahrenden Fahrzeug (blau) verlangt gerade über die Kreuzung zu fahren und das Fahrrad physikalisch keine Möglichkeit hat, den Radweg zu verlassen, so könnte es für die Fahrfunktion irrelevant sein. Damit wäre es nicht Teil der Situation. Wenn hingegen die Mission des automatisiert fahrenden Fahrzeugs verlangt an der Kreuzung rechts abzubiegen und damit den Radweg zu kreuzen, so wäre derselbe Radfahrer in derselben Szene höchst relevant für die Fahrfunktion und damit ein Teil der Situationsrepräsentation. Es wird deutlich, dass der Radfahrer zu jeder Zeit Teil der *Szene* sein muss, aber abhängig von

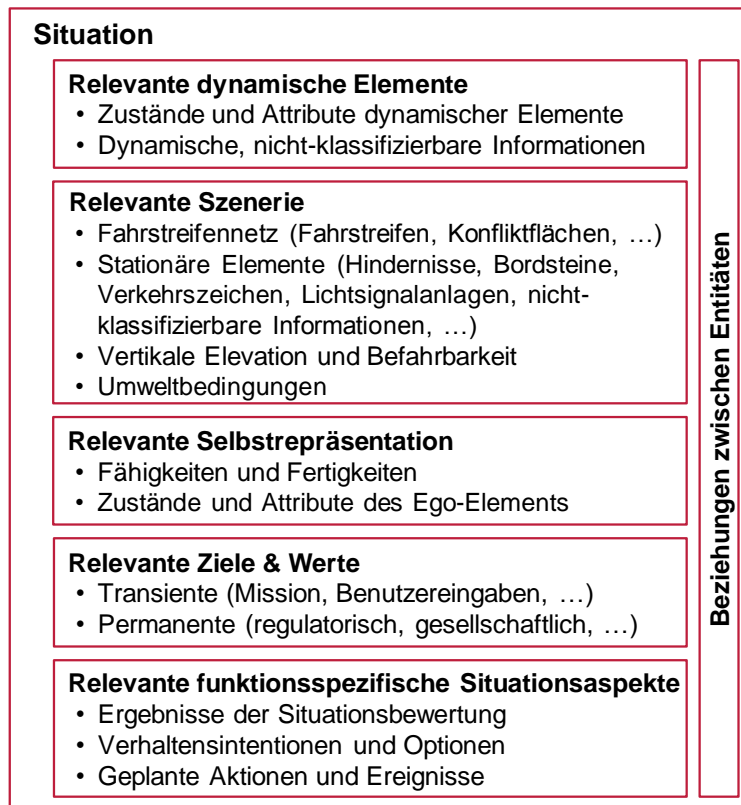


Abbildung 4: Beispiel einer Situationsrepräsentation

den Zielen und Werten des automatisiert fahrenden Fahrzeugs nicht Teil jeder *Situation* sein muss.

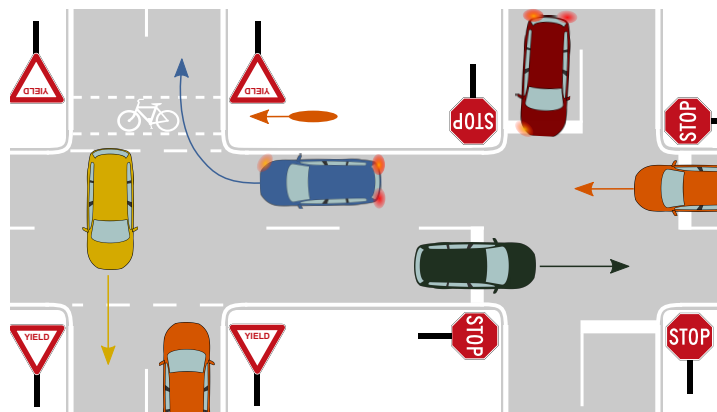


Abbildung 5: Illustration einer Situationsrepräsentation

Unabhängig von den bereits für eine Szene diskutierten Elementen, umfasst eine Situation zusätzlich die funktionsrelevanten *Ziele und Werte*. Dies können transiente Ziele und Werte sein, wie die aktuelle Mission, Fahrmanöveranweisungen oder Verhaltenspräferenzen des Operators eines automatisierten Fahrzeugs. Bei einer teilautomatisierten Fahrfunktion können dies beispielsweise Fahrmanöveranweisungen zur Durchführung von Fahrstreifenwechseln oder das Verändern einer Ziel-Zeitlücke in einer Folgefahrt sein. Solche Ziele und Werte können auch permanent sein, wie regulatorische oder gesellschaftliche

Rahmenbedingungen. Aus Gründen der Laufzeiteffizienz kann es sinnvoll sein, nicht etwa jeden Paragraph einer Straßenverkehrsordnung alle paar Millisekunden in der Situation zu inkludieren, sondern diese Informationen in Form des aktuellen Landes und der Verkehrsdomäne (Autobahn, Landstraße, Stadt) zu abstrahieren.

6 Definition des Begriffs „Szenario“

Der Begriff „Szenario“ wird häufig im Kontext von Simulation und Test oder bei der funktionalen Beschreibung eines Systems verwendet.

Gemäß Jarke et al. [27] gibt es drei Disziplinen, in welchen häufig von Szenarien gesprochen wird. Diese drei Disziplinen sind das strategische Management, die Mensch-Computer-Interaktion und die Software- und Systementwicklung, um aktuelle und zukünftige Realitäten zu beschreiben.

Go & Carroll [28] merken an, dass sich die Verwendung des Szenariobegriffs in verschiedenen Themengebieten unterscheidet, sich die Elemente eines Szenarios jedoch ähneln. Nach [28] enthält ein Szenario: (1) Akteure, (2) Hintergrundinformationen über die Akteure und deren Umgebung, (3) Ziele und (4) eine Folge von Aktionen und Ereignissen.

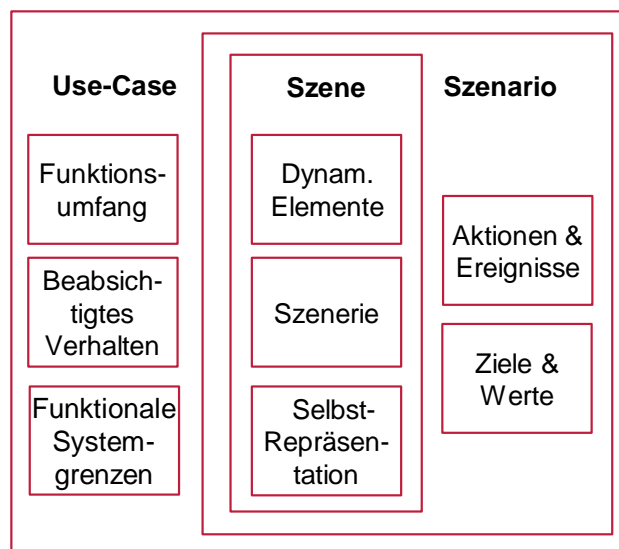


Abbildung 6: Szene, Szenario und Use-Case

Das Oxford Wörterbuch [29] definiert ein Szenario als geforderte Folge oder Entwicklung von Ereignissen bzw. den niedergeschriebenen Abriss eines Films, einer Novelle oder eines Bühnenstücks, welche Details über die Handlung und individuelle Szenen beinhaltet.

Geyer et al. [4] definieren, dass ein Szenario zumindest eine Situation innerhalb einer Szene beinhaltet. Zusätzlich beinhaltet ein Szenario die andauernden Aktivitäten von einem oder beiden (mehreren) Akteuren. Entsprechend der zuvor vorgestellten Film- bzw. Theatermetapher wird der Begriff eines Szenarios als ein Handlungsstrang (storyline) verstanden, welcher jedoch nicht jede Aktion in allen Details umfasst.

Gemäß Abbildung 6 umfasst ein Szenario Szenen, Aktionen & Ereignisse sowie Ziele & Werte. In diesem Beitrag wird daher die folgende Definition vorgeschlagen:

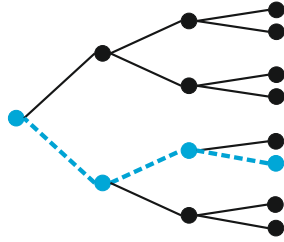


Abbildung 7: Ein Szenario (blau gestrichelt) als zeitliche Abfolge von Aktionen/Ereignissen (Kanten) und Szenen (Knoten)

Ein Szenario beschreibt die zeitliche Entwicklung von Szenenelementen innerhalb einer Folge von Szenen, welche mit einer Startszene beginnt. Aktionen und Ereignisse ebenso wie Ziele und Werte können spezifiziert werden, um diese zeitliche Entwicklung in einem Szenario festzulegen. Im Gegensatz zu Szenen decken Szenarien eine gewisse Zeitspanne ab.

Ein Szenario *verknüpft* Szenen durch Aktionen und Ereignisse. Gemäß Abbildung 7 ist ein Szenario ein einzelner Pfad in der zeitlichen Folge von Aktionen & Ereignissen (Kanten) sowie Szenen (Knoten) innerhalb des Baumes, welcher die Gesamtheit aller möglichen zukünftigen Szenarien für eine gegebene Ausgangsszene darstellt. Ein Szenario umfasst *mindestens* eine anfängliche Szene sowie Aktionen & Ereignissen um einen Pfad in Abbildung 7 vollständig zu beschreiben. Es ist jedoch auch möglich, ein Szenario durch eine vollständige Menge von aufeinanderfolgenden Szenen zu spezifizieren. Dabei spezifizieren die Aktionen & Ereignisse dann nur noch das Verstreichen von Zeit bis zur nächsten Szene.

Entsprechend der Theatermetapher wird ein Szenario typischerweise durch *mehrere* Szenen mit dazwischen vorgegebenen Aktionen & Ereignissen spezifiziert. In der Realität sind alle Aktionen & Ereignisse zu einem gewissen Grad mit Unsicherheiten bei deren Ausführung behaftet. Folglich passen menschliche Akteure ihr Verhalten an, um bestimmte Schlüsselszenen in einem Theaterspiel zu erreichen. Ebenso kann ein Verkehrsszenario solche Schlüsselszenen, wie eine eng definierte Durchfahrtreihenfolge in einem Kreuzungsszenario, enthalten. Im Extremfall ist ein Szenario durch ein Storyboard wie bei einem Zeichentrickfilm beschrieben, welches jedes kleinste Detail spezifiziert. Im Gegensatz dazu kann ein Szenario auch einzig durch eine Startszene und dem Kommando an alle Akteure, ihre individuellen Ziele und Werte zu verfolgen, beschrieben sein, ohne dass weitere Szenen vorgegeben werden. Hierbei können jedoch möglicherweise vorherrschende stochastische Prozesse bei der Verhaltensausführung bereits nach wenigen Sekunden in einem komplett offenen Ausgang des Szenarios resultieren. Sind keine Formen von Unsicherheiten erlaubt, so resultieren beide Beschreibungsformen exakt in dem *gleichen* Szenario.

Für Simulation und Test eines automatisiert fahrenden Fahrzeugs oder dessen Modulen werden häufig Testfälle spezifiziert. Jeder Testfall umfasst Pass-Fail-Kriterien, um das Ergebnis des Testfalls zu evaluieren. Darüber hinaus bedarf es der Definition von Use-Cases für die funktionale Systembeschreibung in einer frühen Phase der Systementwicklung entsprechend des V-Modells, z.B. gemäß des ISO 26262 Standard-Entwicklungsprozesses [30, Part 3]. Ein Use-Case umfasst die Beschreibung des Funktionsumfangs, die Beschreibung des beabsichtigten Verhaltens, die Spezifikation von Systemgrenzen sowie die Definition von einem oder mehreren Anwendungsszenarien. Anfänglich mögen solche Szenariobeschreibungen grob und unvollständig sein. Später im Entwicklungsprozess können diese

präziser ausdetailliert werden, um schlussendlich daraus durchführbare Testfälle ableiten zu können.

7 Bestandteile eines „Szenarios“

Abbildung 6 zeigt die Komponenten einer Szenarioimplementierung. Ein Szenario besteht aus mindestens einer Szene, Aktionen & Ereignissen sowie Zielen & Werten. Abbildung 8 zeigt eine anfängliche (vereinfachte) Szene für einen Fahrstreifenwechsel auf einer zweistreifigen Autobahn. Die Ziele & Werte des automatisierten Fahrzeugs (blau) sind das kollisionsfreie Erreichen des linken Fahrstreifens, symbolisiert durch die karierte Flagge. Die Startszene wird durch die Draufsicht ganz links illustriert. Aktionen & Ereignisse sind durch die Film-Klappe dargestellt. Dies sind in diesem Beispiel: (1) das Aktivieren des Fahrtrichtungsanzeigers, (2) das Wechseln des Fahrstreifens und (3) das Rezentrieren/Folgen des Fahrstreifenverlaufs des linken Fahrstreifens. In Simulationsumgebungen wie Virtual Test Drive (VTD)³ existieren bereits Werkzeuge zur Spezifikation solcher Szenarien.

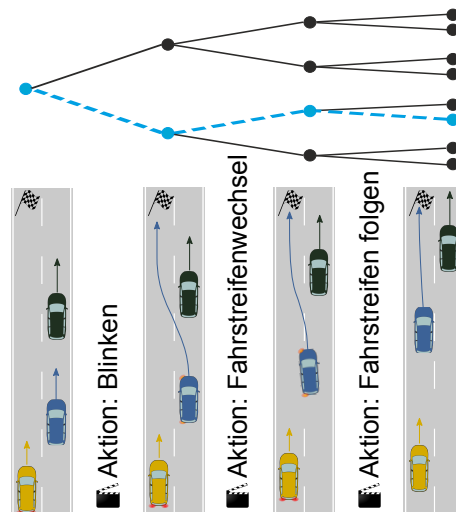


Abbildung 8: Illustration einer Szenariorepräsentation

8 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Definitionen für die Begriffe Szene, Situation und Szenario aus der Literatur zusammengefasst. Basierend auf den Anforderungen des automatisierten Fahrens wurde von den Autoren eine Begriffsdefinition für jeden der Begriffe vorgeschlagen. Darüber hinaus wurden jeweils die Elemente vorgestellt, die eine Szene und Situation beschreiben.

Es verbleibt, diese Definitionen im Kontext von Multi-Agenten-Umgebungen sowie von Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation zu überprüfen und ggf. weiter zu entwickeln. Darüber hinaus möchten die Autoren eine Diskussion innerhalb des Themenfelds anregen, um so eine konsistente Nomenklatur zu erreichen.

³<http://www.vires.com/>

Literatur

- [1] 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 International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Angenommen. 2015.
- [2] M. Thomason und R. Gonzalez. „Data Structures and Databases in Digital Scene Analysis“. In: *Advances in Information Systems Science*. Hrsg. von J. Tou. Springer US, 1985, S. 1–47.
- [3] M. Maurer. „EMS-vision: knowledge representation for flexible automation of land vehicles“. In: *2000 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2000, S. 575–580.
- [4] S. Geyer, M. Baltzer, B. Franz, S. Hakuli, M. Kauer, M. Kienle, S. Meier, T. Weissgerber, K. Bengler, R. Bruder, F. Flemisch und H. Winner. „Concept and development of a unified ontology for generating test and use-case catalogues for assisted and automated vehicle guidance“. In: *IET Intelligent Transport Systems* 8.3 (2014), S. 183–189.
- [5] K. Wershofen und V. Graefe. „Situationserkennung als Grundlage der Verhaltenssteuerung eines mobilen Roboters“. In: *Autonome Mobile Systeme 1996*. Hrsg. von G. Schmidt und F. Freyberger. Informatik aktuell. Springer Berlin Heidelberg, 1996, S. 170–179.
- [6] M. Haag. „Bildfolgenauswertung zur Erkennung der Absichten von Strassenverkehrsteilnehmern“. Diss. Universität Karlsruhe, 1998.
- [7] W. Krüger. *Situationsmodellierung in der Bildfolgenauswertung*. KI - Informatik Fachberichte. Springer Berlin Heidelberg, 1991.
- [8] P. J. Bergmiller. *Towards Functional Safety in Drive-by-Wire Vehicles*. Springer International Publishing, 2015.
- [9] A. Reschka, G. Bagschik, S. Ulbrich, M. Nolte und M. Maurer. „The ability and skill graphs for system modeling, online monitoring, and decision support for vehicle guidance systems“. In: *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. Angenommen. 2015.
- [10] S. Ulbrich, T. Nothdurft, M. Maurer und P. Hecker. „Graph-Based Context Representation, Environment Modeling and Information Aggregation for Automated Driving“. In: *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*. 2014, S. 541–547.
- [11] E. Dickmans. „Subject-object discrimination in 4D dynamic scene interpretation for machine vision“. In: *Proceedings of Workshop on Visual Motion*. 1989, S. 298–304.
- [12] U. Eco. *Einführung in die Semiotik*. Übers. von J. Trabant. 9. Aufl. München: Wilhelm Fink, 1972, S. 474.
- [13] R. Matthaei. „Wahrnehmungsgestützte Lokalisierung in fahrstreifengenauen Karten für Fahrerassistenzsysteme und automatisches Fahren in urbaner Umgebung“. Im Druck. Diss. Technische Universität Braunschweig, 2015.
- [14] K. Homeier und L. Wolf. „RoadGraph: High level sensor data fusion between objects and street network“. In: *2011 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2011, S. 1380–1385.

- [15] M. T. Schmidt, U. Hoffmann und M. E. Bouzouraa. „A Novel Goal Oriented Concept for Situation Representation for ADAS and Automated Driving“. In: *2014 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2014, S. 886–893.
- [16] M. A. Wirtz. *Dorsch - Lexikon der Psychologie*. Hrsg. von M. A. Wirtz. 16. Bern, Switzerland: Verlag Hans Huber, 2013.
- [17] D. Reichardt. „Kontinuierliche Verhaltenssteuerung eines autonomen Fahrzeugs in dynamischer Umgebung“. Diss. Universität Kaiserslautern, 1996.
- [18] M. Pellkofer. „Verhaltensentscheidung für autonome Fahrzeuge mit Blickrichtungssteuerung“. Diss. Universität der Bundeswehr München, 2003.
- [19] R. Mock-Hecker. *Wissensbasierte Erkennung kritischer Verkehrssituationen: Erkennung von Plankonflikten*. VDI Verlag, 1994.
- [20] M. Reichel, M. Botsch, R. Rauschecker, K. Siedersberger und M. Maurer. „Situation aspect modelling and classification using the Scenario Based Random Forest algorithm for convoy merging situations“. In: *2010 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 2010, S. 360–366.
- [21] M. Reichel. „Situationsanalyse für fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme“. Diss. TU Braunschweig, 2013.
- [22] K.-H. Siedersberger. „Komponenten zur automatischen Fahrzeugführung in sehenden (semi-)autonomen Fahrzeugen“. Diss. Universität der Bundeswehr München, 2003.
- [23] W. Angenendt. *Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Strassenverkehr*. 18. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bereich Unfallforschung, 1987.
- [24] H. Von Benda. *Die Häufigkeit von Verkehrssituationen*. 116. Bergisch Gladbach, Germany: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bereich Unfallforschung, 1985.
- [25] E. D. Dickmanns. *Dynamic Vision for Perception and Control of Motion*. Springer-Verlag London Limited, 2007.
- [26] Bibliographisches Institut. *Situation*. Meyers enzyklopädisches Lexikon 21. Bibliographisches Institut AG, Mannheim, 1977.
- [27] M. Jarke, X. T. Bui und J. M. Carroll. „Scenario management: An interdisciplinary approach“. In: *Requirements Engineering* 3.3-4 (1998), S. 155–173.
- [28] K. Go und J. M. Carroll. „The blind men and the elephant: Views of scenario-based system design“. In: *ACM Interactions* 11.6 (2004), S. 44–53.
- [29] Oxford. *Scenario*. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/scenario>. Oxford University Press, Apr. 2015.
- [30] International Organization for Standardization (ISO). *ISO 26262:2011 Road vehicles - Functional safety*. Geneva, Switzerland, 2011.