1. Einleitung

Moderne Kraftfahrzeuge werden zunehmend mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet, die nicht nur den Bewegungszustand des Eigenfahrzeuges zur Vermeidung oder Minderung von Unfällen heranziehen, sondern ebenfalls das Fahrzeugumfeld in eine Regelstrategie mit einbeziehen.

So vermeidet z.B. eine adaptive Geschwindigkeitsregelung durch rechtzeitige Verzögerung des Eigenfahrzeuges einen Auffahrunfall. Das Fahrzeugumfeld wird dazu mit einem Radar- oder Lidar-Sensor erfasst und das vorausfahrende Fahrzeug zur Berechnung des Bremseingriffs beobachtet. Ermöglicht wird dieser Bremseingriff durch die vorhandene Steuerelektronik automatischer Blockierverhinderer oder Stabilitätsregelsysteme, die durch die Vernetzung der elektronischen Fahrzeugkomponenten Sollwerte für die Verzögerung des Fahrzeuges entgegen nehmen können.

Am Beispiel der adaptiven Geschwindigkeitsregelung wird deutlich, daß hohe Anforderungen bezüglich der Verkehrs- und Betriebssicherheit an solche Steuergeräte gestellt werden müssen, da diese den Fahrer bei der Fahrzeugführung auch in sicherheitsrelevanten Situationen entlasten sollen.

Die Herstellung eines Fahrerassistenzsystems, das das Eigenfahrzeug als Bestandteil bzw. als Komponente in einem Verkehrsfluß betrachtet, stellt einen Zulieferer bereits bei der Entwicklung vor neue Herausforderungen. Konnte für Assistenzsysteme zur Traktionskontrolle die Funktionalität durch ausreichend genaue Fahrdynamiksimulationen validiert werden, erfordern Assistenzsysteme, die die Fahrt des Eigenfahrzeuges im Verkehrsfluß regeln, bereits eine ungleich aufwendigere Systemumgebung.

Die Systemumgebung eines solchen Assistenzsystem besteht i.d.R. aus den drei Komponenten Verkehrsumfeld, Sensorik und Eigenfahrzeug.

1. Das Verkehrsumfeld des Eigenfahrzeuges bedingt sowohl einen Ruhe- als auch einen Reglerbetrieb des Assistenzsystems.

   Im Ruhebetrieb beobachtet das Assistenzsystem den Verkehrsfluß und überlässt dem Fahrer die alleinige Führung des Fahrzeuges, da keine Bedrohung für einen Verkehrsteilnehmer besteht.

Wird durch fortlaufende Beobachtung eine Gefahrensituation erkannt, greift das Assistenzsystem durch einen Regeleingriff, z.B. eine Verzögerung in die Fahrzeugführung ein.

2. Durch eine geeignete Sensorik erfasst das Assistenzsystem das unmittelbare Verkehrsumfeld des Eigenfahrzeuges. Die aufbereiteten Meßdaten werden der Reglerfunktion zur Verfügung gestellt, um die momentane Verkehrssituation hinsichtlich eines Regeleingriffs zu bewerten.

3. Die Ausgabe der Stellgröße, z.B. eines Lenk- oder Bremseingriffs, wirkt sich auf die Dynamik des Eigenfahrzeuges aus und verändert somit die Position des Eigenfahrzeuges relativ zum Fremdverkehr. Es entsteht u.U. eine Rückkopplung mit dem Verkehrsfluß.

Während der Entwicklung solcher Assistenzsysteme ist es für einen Zulieferer wünschenswert bereits die Integration in die oben beschriebene Systemumgebung zu berücksichtigen, um durch gezielte Testfälle die Dynamik des Assistenzsystems im Zusammenspiel mit dem Eigenfahrzeug auch in Grenzsituationen sicherzustellen. Dies ist insbesondere durch die bereits erwähnte Sicherheitsrelevanz solcher Systeme erforderlich.

Ein Automobilhersteller, für den dieses Assistenzsystem nur eine Teilkomponente seines Produktes darstellt, beschäftigt sich eher mit der Integration dieser Komponente in seine Fahrzeugflotte. Dazu zählt die Systemapplikation, d.h. die Anpassung der Komponente an die verschiedenen Fahrzeugkonzepte, aber auch die Bewältigung der Komponentenvielfalt unterschiedlicher Funktionen, z.B. einem Bremsensteuergerät verschiedener Hersteller. Bei einem Automobilhersteller wird ein Test der beschriebenen Assistenzsysteme in der Prozeßverfolgung als Funktions- und Integrationstest umgesetzt.

An der Universität Kassel wurde eine Entwicklungsplattform geschaffen, die eine Funktionsentwicklung und einen Funktionstest von Fahrerassistenzsystemen, die auf obige Systemumgebung angewiesen sind, unterstützen soll.

Basis der Entwicklungsplattform ist ein *HiL*-Simulator, an den das Assistenzsystem als Echtteil angeschlossen wird, s. Abbildung 1.1. Verschiedene Software-Module des Simulators bilden die Systemumgebung des Assistenzsystems nach.

Assistenzsysteme erwarten für einen funktionsgerechten Betrieb Informationen über das Fahrzeugumfeld. Diese Informationen bestehen i.d.R. aus Objektlisten, die durch Verarbeitung und Fusionierung der Meßergebnisse verschiedener Umfeldsensoren generiert werden. Jedem Objekt, das einem

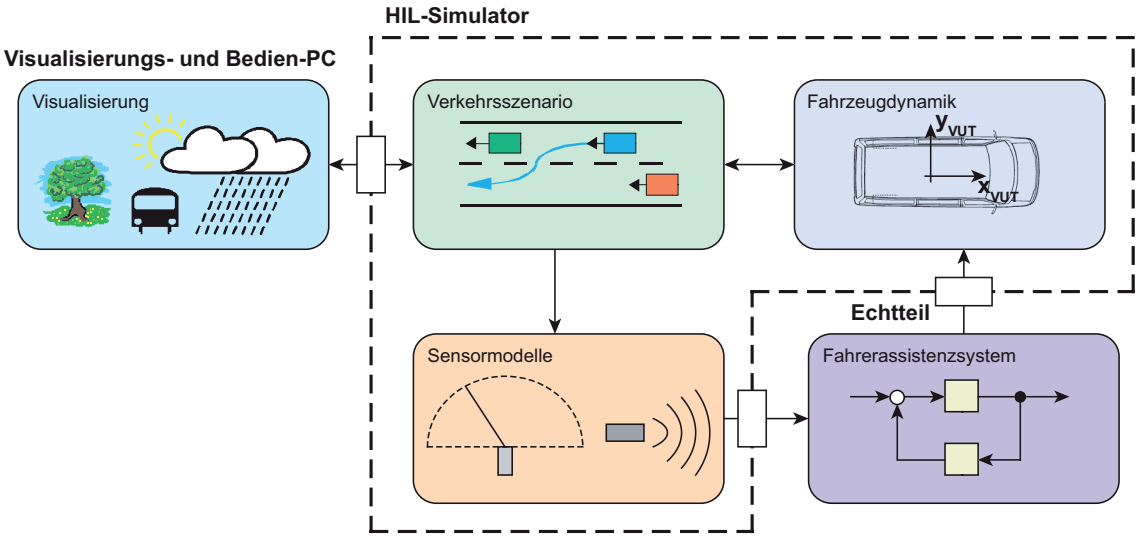

Abbildung 1.1.: Struktur der Entwicklungsplattform.

Fahrzeug des Verkehrsumfeldes entspricht, wird dabei der geschätzte Bewegungszustand relativ zum Eigenfahrzeug zugeordnet, so daß ein Assistenzsystem die aktuelle Verkehrssituation bzgl. ihres Gefahrenpotentials bewerten und ggf. einen Regeleingriff vornehmen kann.

Die Entwicklungsplattform bildet die Umfeldsensorik durch sog. Sensormodelle nach, die aus dem simulierten Verkehrsumfeld anhand des Bewegungszustandes und der Geometrie eines Verkehrsteilnehmers die erforderlichen Informationen für das Assistenzsystem zur Verfügung stellen. Benötigt ein Assistenzsystem Informationen mehrerer Sensoren werden deren Modelle parallel auf dem Echtzeitsimulator berechnet. Die Informationen werden dann einzeln oder durch eine vorausgehende Datenfusion an das Assistenzsystem übertragen.

Um die Systemumgebung des Assistenzsystems realitätsnah nachzubilden, simuliert ein weiteres Software-Modul den Fremdverkehr, in dem sich auch das Eigenfahrzeug des Assistenzsystems gewegt. Der Verkehrsfluß ist i.d.R. für die Verkehrsteilnehmer unkritisch, so daß kein Regeleingriff erforderlich ist. Um jedoch eine Reaktion des Assistenzsystems zu provozieren, wird beliebigen Verkehrsteilnehmern eine Bewegungstrajektorie aufgeprägt, die zu einer für das Eigenfahrzeug kritischen Verkehrssituation führt.

Das aktuelle Verkehrsszenario als Resultat der Verkehrssimulation und der Erzeugung kritischer Verkehrssituationen wird von den Sensormodellen zur Stimulation des Assistenzsystems verarbeitet.

Die Reaktion des Assistenzsystems wird von einer Fahrdynamiksimulation verarbeitet, deren Ergebnisse wiederum an die Verkehrsflußsimulation weitergegeben werden. Von den Sensormodellen wird der aktualisierte Bewegungszustand benötigt, um die Relativbewegung des Fremdverkehrs zum Eigenfahrzeug zu bestimmen.

Eine Anpassung der Entwicklungsplattform an weitere Assistenzsysteme, Sensoren oder Versuchsfahrzeuge ist durch Anpassung der entsprechenden Software-Module möglich. Zur Adaption des Echtzeitsimulators an ein anderes Versuchsfahrzeug ist nur die Positionierung der Sensoren in den Sensormodellen und die Parametrierung des Fahrzeuges in der Fahrdynamiksimulation anzupassen.

Der modulare Aufbau der Entwicklungsplattform gestattet darüber hinaus die Integration bereits existierender Lösungen zum Betrieb weiterer Steuergeräte am Echtzeitsimulator. Eine Erweiterung des Simulators bis hin zu einer Gesamtfahrzeugsimulation ist somit realisierbar.

1.1. Stand der Technik

Der naheliegendste Ansatz zum Funktionstest eines Fahrerassistenzsystems besteht in der Durchführung von Fahrversuchen, die durch Einsatz der realen Systemumgebung das Zusammenspiel zwischen der Umfeldsensorik, dem Assistenzsystem und dem Eigenfahrzeug exakt nachbilden. Der Verkehrsfluß muß dabei durch mehrere Fremdfahrzeuge nachgebildet werden.

Eine Reaktion des Assistenzsystems wird vor allem durch Verkehrssituationen mit hohem Gefahrenpotential provoziert, wie sie bei Kolonnenfahrten oder Spurwechseln entstehen können. Solche Situationen müssen vom Testpersonal durch das Zusammenspiel zwischen Eigenfahrzeug und Fremdfahrzeugen erzeugt werden. Dabei werden Personal und Versuchsfahrzeuge einem hohen Risiko ausgesetzt. Darüber hinaus können solche Fahrmanöver nicht exakt durch menschlichen Einsatz reproduziert werden, was für eine Validierung der Funktionalität des Assistenzsystems erforderlich ist.

Um bei einem Funktionstest eines Fahrerassistenzsystems das Risiko für das Testpersonal und das Versuchsfahrzeug zu minimieren, kann das Testfahrzeug in eine *HiL*-ähnliche Umgebung integriert werden, so daß auf Testfahrten im Straßenverkehr und eine reale Erzeugung kritischer Verkehrssituationen verzichtet werden kann. Dieser Ansatz wird dann als *Vehicle-in-the-Loop* bezeichnet.

[Verburg u. a. 2002] betreiben dazu das Versuchsfahrzeug auf einem Rollenprüfstand. Der Fremdverkehr wird durch Trägerplattformen nachgebildet, die die Karosserie eines realen Fahrzeuges in longitudinaler und lateraler Richtung zum Rollenprüfstand transportieren können.

Der Betrieb des Testfahrzeuges auf einem Rollenprüfstand erlaubt es die Fremdfahrzeuge nunmehr mit der gewünschten Relativgeschwindigkeit zum Testfahrzeug zu bewegen. Verkehrsszenarien können durch Messung der Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeuges und Einprägung von Trajektorien auf die Trägerplattformen erzeugt werden. Da reale Karosserieteile durch diese Trägerplattformen bewegt werden, erzeugen die Umfeldsensoren des Assistenzsystems reale Meßwerte. Die Rückkopplung des Gesamtsystems wird nach Abbildung 1.1 zwischen dem Eigenfahrzeug und seiner Bewegung im Verkehrsfluß aufgetrennt.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen [Bock u. a. 2005]. Hier wird jedoch das Gesamtsystem zwischen der Umfeldsensorik und dem Assistenzsystem aufgetrennt, s. Abbildung 1.1.

Das Versuchsfahrzeug mit einem Assistenzsystem bewegt sich dabei auf einer Freifläche. Der Bewegungszustand wird durch geeignete Meßverfahren aufgenommen und an eine Verkehrssimulation übergeben. Diese Verkehrssimulation berechnet durch ein Sensormodell die vom Assistenzsystem benötigten Eingangswerte, die über die Schnittstelle des Assistenzsystems zum Antriebsstrang des Versuchsfahrzeuges entgegen genommen werden.

Beide vorgestellten Ansätze reduzieren das Risiko für das Personal und das Versuchsfahrzeug auf ein Minimum, benötigen zur Realisierung jedoch ein Versuchsfahrzeug mit integriertem Assistenzsystem. Der erste Ansatz benötigt zudem noch einen Rollenprüfstand und bewegliche Trägerplattformen zur Nachbildung des Fremdverkehrs. Die Reproduzierbarkeit der Testszenarien zur Stimulation eines Assistenzsystems ist bei beiden Ansätzen gegeben.

Die in dieser Arbeit vorgestellte Entwicklungsplattform ist hingegen auf einem *HiL*-Simulator verfügbar, der ohne weitere Fahrzeugkomponenten auskommt. Kapitel 5 zeigt weiterhin, daß die Entwicklungsplattform ebenfalls als *SiL*-Umgebung eingesetzt werden kann. Dadurch ist ein Funktionstest nicht erst durch einen funktionalen Prototypen möglich, sondern kann bereits während der Modellbildung in systemrelevanter Umgebung erfolgen.

1.2. Ziele der Arbeit

Die Entwicklungsplattform ist durch die Zusammenarbeit mehrerer Mitarbeiter der Universität Kassel entstanden.

[Tellmann 2011] beschreibt die Entwicklung parametrierbarer Sensormodelle zur Nachbildung der Umfeldsensorik eines Assistenzsystems sowie die Entwicklung einer angepassten Verkehrssimulation, die zur Stimulation des Assistenzsystems durch die Sensormodelle verarbeitet wird.

Die Erzeugung reproduzierbarer für das Eigenfahrzeug kritischer Testszenarien beschreibt [Schmidt 2010]. Dabei wird insbesondere die *Kritikalität* zur Bemessung des Gefahrenpotentials der Bewegung mehrerer Verkehrsteilnehmer zueinander definiert. Die *Kritikalität* ist dabei abhängig von der Funktion des Assistenzsystems, der Umfeldsensorik und den möglich Stellgrößen des Regeleingriffs, z.B. der maximal möglichen Verzögerung des Eigenfahrzeuges.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer dreidimensionalen Visualisierung des Fahrzeugumfeldes und einer Simulationsumgebung zur Konfiguration der verschiedenen Software-Module der Entwicklungsplattform.

Kapitel 2 erläutert das verwendete Straßenmodell, das die Basis zur Positionierung der Verkehrsteilnehmer durch die verschiedenen Software-Module bildet. Die in diesem Kapitel vorgestellten Koordinatensysteme werden von allen Software-Modulen zur Interaktion mit den Verkehrsteilnehmern verwendet.

Die vorhandene Verkehrssimulation macht eine Visualisierung des Verkehrsszenarios erforderlich, da der Bewegungszustand vieler Verkehrsteilnehmer nur schwer anhand ihrer Zustandstrajektorien beurteilt werden kann. Die Visualisierung ist dazu mit der Bedienung des *HiL*-Simulators zu koppeln, um die Simulationsergebnisse möglichst in Echtzeit verarbeiten zu können. In Kapitel 3 werden die eingesetzten Algorithmen zur Visualisierung des Fahrzeugumfeldes erläutert und die Verarbeitung der Geometriedaten durch das eingesetzte Graphiksystem beschrieben.

Um einem Entwicklungsingenieur eine konsistente Versuchsbeschreibung zu ermöglichen, lädt jedes Software-Modul eine Simulationsumgebung, die den momentan durchgeführten Versuch des zu untersuchenden Assistenzsystems konfiguriert. Die Komponenten dieser Simulationsumgebung werden in Kapitel 4 beschrieben. Die Simulationsumgebung abstrahiert bewußt von den in Kapitel 2 und Kapitel 3 gelegten Grundlagen, um einem Anwender der Entwicklungsplattform einen einfachen Zugang zur Konfiguration des Versuchsaufbaus zu ermöglichen.

Erste Erfahrungen über die Anwendung der Visualisierung und der Simulationsumgebung zum Test des Prototypen eines Assistenzsystems werden in Kapitel 5 geschildert. Dieser Prototyp wurde innerhalb eines Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit mehreren Automobilzulieferern entwickelt und konnte durch offengelegte Schnittstellen als Testsystem verwendet werden.