1 Einleitung

Der Trend der Fahrzeugsicherheit bewegt sich in Richtung eines integralen Ansatzes. Durch diese Strategie erfolgt eine übergreifende Betrachtung fahrzeugseitiger Schutzmaßnahmen im gesamten Unfallverlauf. Hierzu zählen beispielsweise die Erhaltung der Konditionssicherheit des Fahrers durch Assistenz- und Informationssysteme, Ausgabe von Warnungen zur Verdeutlichung kritischer Fahrzustände, autonome Systemeingriffe zur positiven Beeinflussung einer bevorstehenden Unfallsituation, der Einsatz von passiven Maßnahmen zur Minderung der Unfallfolgen oder ein automatisches Alarmieren der Rettungsleitstelle [*WIDMANN 2008*]. Die Analyse veröffentlichter Bewertungsmethoden, welche auf einer Einzelfallanalyse basieren, ergab, dass keines der existierenden Verfahren eine Bewertung integraler Sicherheitssysteme zum Fußgängerschutz mit den geforderten Ansprüchen an Realitätsnähe bzw. einem Einsatz im Entwicklungsprozess ermöglicht. Aus diesem Grund wurde die Bewertungsmethode PreEffect-iFGS entwickelt. Durch diese erfolgt eine Berechnung der Feldeffektivität integraler Sicherheitssysteme zum Fußgängerschutz. Der Fokus lag dabei auf einer Methodenintegration in den Funktionsentwicklungsprozess, so dass eine Bewertung, angefangen von den ersten Systemideen bis hinzu ausgereiften und erprobten Funktionskonzepten, und folglich eine Auslegung von integralen Systemen nach deren Feldeffektivität durchgeführt werden kann.

1.1 Motivation

Unter dem Begriff der Fahrzeugsicherheit wurde bis vor wenigen Jahren im Besonderen der Schutz von Fahrzeuginsassen als größte Gruppe an verletzten und getöteten Unfallbeteiligten verstanden. Die Anstrengungen auf diesem Gebiet führten zu einem sehr hohen Sicherheitsniveau für die Insassen moderner Automobile. Die Reduktion von Unfallopfern seitens der ungeschützten Verkehrsteilnehmer resultierte vor allem aus den Entwicklungen in den Bereichen Infrastruktur, Verkehrserziehung und Rettungswesen [*KÜHN 2007, S. 3*]. In den letzten Jahren gewann der Fußgängerschutz sowohl in Europa als auch weltweit immer mehr an Bedeutung. Dies begründet sich vor allem durch die europäische Verkehrspolitik, welche eine Halbierung der Verkehrstoten bis zum Jahre 2010, basierend auf der Anzahl tödlich verletzter Personen aus dem Jahr 2001, anstrebt [*EUROPÄISCHE KOMMISSION 2001*]. Der Fußgänger stellt in Deutschland die drittgrößte und in der EU-19 die zweitgrößte Gruppe tödlich verletzter Verkehrsteilnehmer nach den Fahrzeuginsassen bzw. Motorradfahrern dar [*DESTATIS 2009B, S. 6f.*], [*SAFETYNET 2008*]. Daher wurde vom Europäischen Parlament und dem Rat der Europäischen Union im Jahr 2003 eine erste Gesetzesphase erlassen, welche die Gestaltung der Fahrzeugfront, bezüglich deren Kompatibilität bei einem Fußgängeranprall, bewertet [*EUROPÄISCHE UNION 2009*]. Hierfür wird diese an unterschiedlichen Stellen

mit Impaktoren zur Nachbildung des Kopf-, Hüft- und Beinaufpralls beschossen und biomechanische Messgrößen aufgezeichnet. Diese dürfen definierte Grenzwerte nicht überschreiten, um die EU-Typgenehmigung für ein Fahrzeugmodell zu erhalten. In den Testverfahren von Verbraucherschutzorganisationen, wie zum Beispiel dem EuroNCAP [*EuroNCAP 2009*], wird der fahrzeugseitige Fußgängerschutz ebenfalls mitbewertet. Die Testverfahren des EuroNCAP entsprechen in etwa den gesetzlichen Prüfvorschriften.

In der Zukunft werden zunehmend aktive Sicherheitstechnologien Einzug in die Fahrzeuge finden [*Widmann 2008*], [*Wyman 2007*]. Dabei handelt es sich um Systeme, welche bereits vor der eigentlichen Kollision in die Fahrsituation eingreifen, mit dem Ziel den Unfall zu vermeiden bzw. dessen Schwere zu mindern. Eine von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebene Studie hat gezeigt, dass sich der Fußgängerschutz durch eine Kombination von aktiven und passiven Schutzmaßnahmen erheblich verbessern lässt, so dass der Einbau von Bremsassistenzsystemen im Rahmen der zweiten Phase zur Fußgängerschutzgesetzgebung vorgeschrieben wird. Diese sollen die Systeme der passiven Sicherheit nicht ersetzen, sondern vielmehr ergänzen [*Europäische Union 2009*]. Der oben beschriebene Trend in Richtung aktiver Sicherheitstechnologien wird ebenfalls in der zweiten Phase zur Fußgängerschutzgesetzgebung berücksichtigt. Darin wird in Aussicht gestellt, dass für Fahrzeuge, welche mit einem Kollisionsvermeidungssystem ausgestattet sind, die Möglichkeit besteht eine Typzulassung zu erhalten, ohne dass ein Erfüllen der passiven Prüfanforderungen notwendig ist. Hierfür ist der Nachweis zu erbringen, dass die vorgeschlagenen aktiven Maßnahmen eine Schutzwirkung gewährleisten, welche äquivalent zu den passiven Prüfanforderungen ist [*Europäische Union 2009*].

Derzeit existieren sowohl in den gesetzlichen Testverfahren als auch in denen des EuroNCAP nur Methoden, um die passive Schutzwirkung eines Fahrzeugs zu bewerten. Dies erfolgt nicht anhand der tatsächlichen Feldeffektivität im Unfallgeschehen, also der Reduktion verletzter Fußgänger, sondern auf Basis biomechanischer Belastungskennwerte, wie dem Head-Injury-Criterion (HIC). Aus diesem Grund wurde die Bewertungsmethode PreEffect-iFGS entwickelt, um die Feldeffektivität, ausgedrückt durch die Reduktion verletzter Fußgänger infolge der Wirkung integraler Sicherheitssysteme, berechnen zu können. Durch das Verfahren erfolgt somit eine Quantifizierung der Leistungsfähigkeit integraler Systemstrategien zum Fußgängerschutz im Realunfallgeschehen und nicht auf Basis von biomechanischen Kennwerten. Die Methode PreEffect-iFGS und die Anwendung des Verfahrens an ausgewählten Bewertungsfällen werden in der nachfolgenden Arbeit dargelegt.

1.2 Zielsetzung

Die fortschreitende Entwicklung der Fahrzeugsicherheit in Richtung einer integralen Betrachtung der Unfallsituation erfordert neue Bewertungsmethoden, um diese Sicherheitssysteme bezüglich deren Leistungsfähigkeit im Realunfallgeschehen bewerten zu können. Diesbezüglich reicht es nicht aus, die Feldeffektivität retrospektiv zu bestimmen, also die Veränderungen in den Unfalldaten Jahre nach der Markteinführung zu analysieren, um auf das Potential des Systems zu schließen. Vielmehr besteht die Herausforderung darin, eine Auslegung der integralen Sicherheitsfunktionen zum Fußgängerschutz nach deren Feldeffektivität bereits im Entwicklungsprozess und somit vor Markteinführung vorzunehmen. Nur auf diese Weise ist auch im Realunfallgeschehen eine hohe Schutzwirkung der Systeme zu erwarten. Es ist daher erforderlich eine prospektive Bewertung des Gesamtsystems in verschiedenen Abstraktionsstufen durchzuführen, um Aussagen zur Feldeffektivität von den ersten Systemideen bis hinzu ausgereiften Gesamtfunktionalitäten treffen zu können.

Neben der Anforderung einer realitätsnahen Prognose der Feldeffektivität im Entwicklungsprozess besteht ein weiteres Ziel der Arbeit darin, unterschiedliche Systemstrategien zum Fußgängerschutz nach deren Feldeffektivität vergleichend bewerten zu können und folglich die Ableitung von Testverfahren für integrale Fußgängerschutzsysteme in Aussicht zu stellen. Dieser Anwendungsfall leitet sich unter anderem aus dem Inhalt der zweiten Phase zur europäischen Fußgängerschutzgesetzgebung ab [*Europäische Union 2009*]. Das Ziel war folglich die Entwicklung einer wissenschaftlich fundierten Bewertungsmethode, welche die oben dargelegten Anforderungen erfüllt und die Möglichkeit schafft, sowohl eine entwicklungsbegleitende als auch gegenüber Prüfinstitutionen argumentativ haltbare Funktionsbewertung durchzuführen. Das Bewertungsverfahren trägt den Namen PreEffect-iFGS, welcher sich aus einer Prognose der Feldeffektivität integraler Fußgängerschutzsysteme ableitet.

Es wird darauf hingewiesen, dass das Ziel dieser Arbeit nicht darin bestand, ein integrales Sicherheitssystem zum Fußgängerschutz zu entwickeln oder auszulegen, sondern eine Bewertungsmethode bereitzustellen, durch welche unterschiedliche Systemkonfigurationen bewertet werden können und die daraus resultierenden Erkenntnisse entweder in die Komponentenentwicklung einfließen oder zum Nachweis einer äquivalenten Feldeffektivität Einsatz finden. Ebenso wird in dieser Arbeit kein konkretes Testverfahren zur Berücksichtigung integraler Sicherheitssysteme im Prozess der Typzulassung oder in Verbraucherschutztests vorgeschlagen, sondern die Anwendung von PreEffect-iFGS für diese Fragestellung exemplarisch vorgestellt.

1.3 Struktur der Arbeit

In Kapitel 2 erfolgt eine Darstellung unterschiedlicher Datenbanken zum Fußgängerunfallgeschehen. Die Intention dieses Kapitels besteht in der Identifikation einer geeigneten Erhebung, aus welcher das Abbild der realen Fußgängerunfallwelt entnommen und in PreEffect-iFGS integriert wird. Darüber hinaus erfolgte eine Plausibilisierung, Strukturierung und Analyse der Fußgängerunfalldaten als Vorbereitung für die weitere Methodenentwicklung. Der Inhalt von Kapitel 3 gibt einen Überblick zu aktuellen prospektiven Bewertungsmethoden für unterschiedliche Sicherheitssysteme, welche auf Realunfalldaten basieren und nach der Methode einer Einzelfallanalyse durchgeführt werden.

In Kapitel 4 wird die Bewertungsmethode PreEffect-iFGS erläutert. Darin werden unter anderem die Kenngröße der Feldeffektivität und deren Berechnungsvorschrift festgelegt. Weiter erfolgt eine Erläuterung der Vorgehensweise zur automatisierten Erzeugung der Simulationsdatenbasis als Abbild der realen Unfallwelt, auf welcher die Systembewertungen durchgeführt wurden. Die Berücksichtigung aktiver Teilsystemkomponenten integraler Sicherheitssysteme, repräsentiert durch Sensorik, Funktionsalgorithmus und Aktorik, erfordert einen Modellbildungsprozess, um die einzelnen Bausteine in den Bewertungsprozess einzubinden. Im Zuge dessen wird für jede Komponente auch erläutert, wie Erkenntnisse aus der realitätsnahen Erprobung berücksichtigt wurden. Die Berechnung der veränderten Unfallsituationen infolge der aktiven Teilsystemkomponenten erfolgt durch ein Softwareprogramm, welches sich als Standardlösung im Bereich der Unfallforschung durchgesetzt hat. Dieses wurde in zwei übergeordnete Simulationsverfahren, bezeichnet als PreEffect-Open-Loop und -Closed-Loop eingebunden. In diese werden zum einen die Modelle der aktiven Teilsystemkomponenten integriert. Zum anderen erfolgt darüber die Ansteuerung des obengenannten Softwareprogramms. Basierend auf den daraus resultierenden veränderten Kollisionssituationen werden die neuen Verletzungsschweren der Fußgänger berechnet. Hierfür erfolgt der Einsatz von Verletzungsrisikofunktionen, durch welche zugleich die fahrzeugseitigen passiven Fußgängerschutzmaßnahmen modelliert werden. Deren Güte wird durch Testergebnisse nach dem Fußgängerschutz-Testprotokoll des EuroNCAP quantifiziert.

In Kapitel 5 wird der Einsatz von PreEffect-iFGS für die beiden in Kapitel 1.2 beschriebenen Anwendungsfälle aufgezeigt. Im ersten Schritt erfolgt eine Berechnung der Feldeffektivität für exemplarische Systemausprägungen analog einem Einsatz im Entwicklungsprozess. Im zweiten Schritt wird verdeutlicht, wie die entwickelte Bewertungsmethode für eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Systemstrategien zum Fußgängerschutz und eine Ableitung von Testverfahren für integrale Systeme verwendet werden kann.