

1. Einleitung

Im Zuge der Globalisierung und der starken Vernetzung weltweit entsteht eine fortwährend steigende Erwartung an die individuelle Mobilität. Zur Erfüllung dieser Erwartung wächst der Bedarf an kostengünstigen, schnellen, individuellen, komfortablen und vor allem sicheren Transportmöglichkeiten von Menschen und Gütern. Die damit verbundene größere Bereitschaft, häufig längere Strecken, z.B. zur Arbeit oder zu Einkaufszentren zurückzulegen, führt unmittelbar zu höheren Verkehrsdichten.

Mit der Zunahme an Mobilität steigt auch das Risiko für Staus und Unfälle. Eine infrastrukturelle Optimierung der Verkehrswege und eine kontinuierliche Verbesserung der Fahrzeugsicherheit steuern diesem Trend entgegen. Trotzdem kamen im Jahr 2009 alleine in Deutschland 401823 Menschen zu Schaden [1]. Erfreulicherweise ist die Zahl der Unfalltoten und -verletzten rückläufig. Zurückzuführen ist diese Entwicklung unter anderem auf verbesserte Rückhaltesysteme für Fahrzeuginsassen, den serienmäßigen Einsatz von Airbags, dem Anti-Blockier-System (ABS) und der Electronic Stability Control (ESC) sowie Strukturoptimierungen an der Fahrzeugkarosserie. Die Entwicklung des innerstädtischen Verkehrsgeschehens ist geprägt durch den hohen Bedarf an individueller Mobilität und den demographischen Wandel. Einerseits wächst in Deutschlands Städten die Anzahl der Verkehrsteilnehmer unaufhaltsam, andererseits wird der durchschnittliche Verkehrsteilnehmer zunehmend älter [2].

Die Verdichtung des städtischen Verkehrs verlangt jungen sowie erfahrenen Fahrern höchste Konzentration ab. Dies ist in einer höheren Anzahl an unmittelbar beteiligten Verkehrsteilnehmern, Schildern und gleichzeitig zu beachtender Verkehrsregeln als in ländlichen Gegenden oder auf der Autobahn begründet. Viele alltägliche Situationen sind dadurch höchst komplex und oft nicht eindeutig. Hinzu kommt, dass die geforderte Aufmerksamkeit von Autofahrern, Motorradfahrern, Fahrradfahrern und Fußgängern zunehmend durch die Nutzung von Mobiltelefonen, Radios oder anderen Infotainmentgeräten sowie durch eine nachlassende Wahrnehmung im

1. Einleitung

Alter gehemmt wird. Um dem daraus resultierenden Unfallpotential entgegen zu wirken, hat die Bundesregierung neue Gesetze zur Nutzung von Mobiltelefonen im Straßenverkehr erlassen, die Sicherheitsrichtlinien für Fahrzeuge hinsichtlich des Fußgängerschutzes verschärft und Forschungsinitiativen zur Entwicklung neuer automobiler Sicherheitssysteme gefördert. Eine besondere Aufmerksamkeit erfährt dabei der Schutz von Fußgängern und Radfahrern, da sie zu den besonders ungeschützten Verkehrsteilnehmern zählen und somit bei Kollisionen deutlich schwerere Folgen als ihre Unfallgegner erleiden. Für sie birgt auch der aktuelle Entwicklungstrend hin zu lautlosen Elektrofahrzeugen ein weiteres Gefahrenpotential, da die akustische Wahrnehmung selbst für ein gutes Gehör in der Stadt nahezu unmöglich ist. In der Vergangenheit wurden zu ihrem Schutz primär passive Sicherheitssysteme entwickelt. Darunter werden alle Maßnahmen, die zeitlich gesehen **nach** einer Kollision mit einem Hindernis oder einem anderen Verkehrsteilnehmer zu einer Steigerung der Sicherheit führen, zusammengefasst. Dies sind zum Beispiel Airbags oder strukturelle Optimierungen der Karosserie, wie weichere Stoßfänger, abgerundete Fahrzeugfronten, versenkte Scheibenwischer und aufspringende Motorhauben. Die heutigen Möglichkeiten der Crash-Simulation bringen diese sogenannten passiven Maßnahmen auf einen hohen Stand an Effektivität. Trotz kontinuierlich rückläufiger Unfallzahlen starben auf Deutschlands Straßen jedoch im Jahr 2009 immer noch 591 Fußgänger und 31632 wurden im Straßenverkehr verletzt [1]. Um diese Unfallzahlen weiter zu senken und neuen Unfallrisiken entgegen wirken zu können, bedarf es einer Evolution der heutigen Fußgängerschutzsysteme, da die intensiven Bemühungen zur Verbesserung der heute konventionellen passiven Sicherheit in absehbarer Zeit im Zuge des Kostendrucks und der angestrebten Gewichtsreduktion an ihre Grenzen stoßen werden.

Im Gegensatz zu passiven Sicherheitssystemen zielen System der *aktiven Sicherheit* darauf ab, schon **vor** der Kollision den Fahrer zu warnen oder Unfallfolgen mindernd bzw. Unfall vermeidend in das Fahrgeschehen einzugreifen. Typischerweise überwachen hierzu vorausschauende Sensoren das Fahrzeugumfeld und intelligente Verarbeitungsalgorithmen lösen daraufhin Aktionen, wie z.B. ein Warnsignal oder einen Eingriff in das Bremssystem aus. Die Kombination von passiver und aktiver Sicherheit wird *integrale Sicherheit* genannt. Integrale Sicherheitssysteme nutzen Informationen aus den aktiven Systemen, wie z.B. die Masse des Unfallgeg-

ners oder den Anprallort am Fahrzeug zur Vorkonditionierung passiver Systeme. Dies kann zum Beispiel eine Motorhaube sein, die sich rechtzeitig vor einem Fußgängerunfall aufstellt.

Im Bereich der Fußgängersicherheit hat die Evolution der Sicherheitssysteme erst begonnen [3]. Somit gibt es heute erste aktive Fußgängerschutzsysteme, die den Fahrer vor allem in nächtlichen Situationen vor Fußgängern warnen oder Systeme, die sogar aktiv in das Fahrgeschehen eingreifen und das Fahrzeug abbremsten. Diese Systeme stellen aktuell die größten Anforderungen an die vorausschauende Sensorik und die nachgelagerte Interpretation einer Situation. Das Ziel ist es, mit Hilfe solcher Systeme Unfälle mit Fußgängern zu erkennen bevor es tatsächlich zum Zusammenprall kommt, um Maßnahmen einzuleiten, die den Fußgänger schützen. Generell gilt, je früher das System ein Unfallrisiko detektiert, desto vielfältiger sind die Möglichkeiten zum Schutz des Fußgängers. Wird beispielsweise eine mögliche Kollision mit einem Fußgänger wenige Sekunden zuvor sicher erkannt, so kann der Fahrer noch gewarnt werden und selbstständig reagieren. Ist diese Erkennung aber erst wenige hundert Millisekunden vor der Kollision möglich, so bleibt nur noch ein autonomer Eingriff, um noch ein Optimum an Schutz für den Fußgänger zu bieten.

1.1. Problemstellung

Die Verfahren für die heutigen aktiven Fußgängerschutzsysteme kommen meist aus dem Bereich der Fahrerassistenz. Der Arbeitsbereich dieser Abstandshaltesysteme, Spurhaltesysteme, Spurwechselunterstützungen und Lichtführungssysteme liegt jedoch außerhalb der Stadtzentren auf Landstraßen und Autobahnen. Da, wie bereits eingangs erwähnt, in der Innenstadt die Dichte von Verkehrsteilnehmern deutlich höher ist und die Situationen deutlich vielfältiger und komplexer sind, gilt für alle dieser Systeme, dass sie bisher nur sehr eingeschränkt in urbaner Umgebung funktionieren. Im Rückschluss bedeutet dies für die heutigen aktiven Fußgängerschutzsysteme starke Einschränkungen.

Somit können diese Systeme bisher nur in einfachen Situationen mit stark reduzierter Geschwindigkeit Unfälle nachhaltig vermeiden. Der Grund hierfür ist die zu späte und sichere Erkennung von Unfallsituationen mit Fußgängern. Da jedoch das große Verletzungsrisiko für Fußgänger bei ho-

1. Einleitung

hen Fahrzeuggeschwindigkeiten liegt, stellt dies einen wesentlichen Mangel heutiger aktiver Systeme dar. Auch von uns Menschen verlangt die korrekte Einordnung von Situationen in der Innenstadt deutlich mehr ab als außerhalb. So ist es oftmals nur die bekannte Situation in der wir einem Fußgänger begegnen oder intuitives Verhalten auf Grund unserer Erfahrung was eine Verkehrssituation eindeutig macht und so ein in der Regel unfallfreies Fahren ermöglicht.

Aktuelle aktive Fußgängerschutzsysteme verfügen jedoch über ein sehr stark eingeschränktes Wissen über ihr Umfeld. So erkennt ein Radarsensor nur Metall, welches die ausgesendeten Frequenzen gut reflektiert oder ein Spurerkennungssystem sucht ausschließlich nach weißen Linien in einem Videobild. Fehlen jedoch Teile der Fahrbahnmarkierung oder ein parkendes Auto verdeckt die Spurbegrenzungen, so fällt das System aus. Der Mensch hingegen interpretiert zum Beispiel auch eine Reihe parkender Autos als Fahrbahnbegrenzung und orientiert sich daran. Gleiches gilt für die Erkennung von Fußgängern. Ein Mensch erkennt einen Fußgänger auch, wenn er nur dessen Arm sieht und er aufmerksam ist, weil an dieser Stelle häufig Fußgänger die Straßenseite wechseln.

Die große Herausforderung ist neben der Erkennung, aber auch die Vorhersage des Fußgängerverhaltens. Sollte die im Fahrzeug verbaute Sensorik den Fußgänger rechtzeitig erfasst haben, so schließt sich unmittelbar die Frage „Was wird der Fußgänger machen?“ an. Die theoretischen Bewegungsmöglichkeiten sind hier mindestens so mannigfaltig wie sein Erscheinungsbild. Im Vergleich der dynamischen Möglichkeiten von Fahrzeug und Fußgänger ergibt sich, dass ein Unfall oft aus Sicht des Fahrzeugs oder des Fahrers nicht mehr zu vermeiden ist, aber sehr wohl durch einen beherzten Schritt des Fußgängers zur Seite [4]. Trotzdem ist es für einen aufmerksamen Fahrer möglich sein Fahrzeug durch die Stadt zu steuern ohne in eine kritische Situation mit einem Fußgänger zu kommen. Der Mensch kann also das Verhalten von Fußgängern im Straßenverkehr besser vorhersagen als derzeit verfügbare Assistenzsysteme.

Im Rahmen dieser Arbeit soll deshalb untersucht werden, wie sich

1. die Effektivität im Schutz von Fußgänger durch aktive Systeme weiter erhöhen lässt und wie sich
2. die theoretischen Bewegungsmöglichkeiten von Fußgängern rechtzeitig auf wenige, für eine Vorhersage besonders wahrscheinliche Optionen reduzieren lassen.

1.2. Lösungskonzept

Aus der Problemstellung ergibt sich die Notwendigkeit ein neues aktives Fußgängerschutzsystem zu konzipieren, dessen Aktionskonzept auch bei höheren Geschwindigkeiten als heute für diese Systeme üblich, den Schutz von Fußgängern verbessert und möglichst viele Unfälle ganz vermeidet.

Hinsichtlich dieses neuen aktiven Fußgängerschutzsystems muss deshalb untersucht werden, ob

1. die heute verfügbare Sensorik zur Erkennung des Fußgängers ausreichend
2. die Bewegung des erkannten Fußgängers mit klassischen Vorhersageverfahren präzise genug, für die sich aus dem Aktionskonzept ergebende, Vorhersagedauer geschätzt werden kann
3. das neue Aktionskonzept eine Steigerung des Fußgängerschutzes zur Folge hat

Es ist zu erwarten, dass die Bewegungsvorhersage des Fußgängers über die notwendige Vorhersagedauer, die sich aus dem neuen Aktionskonzept aufgrund des früheren Eingriffs bei höheren Geschwindigkeiten ergibt, nicht präzise genug ist. Daher ist ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit ein neues Konzept zur Bewegungsvorhersage von Fußgängern. Die Lösungsfindung ist stark durch folgende These beeinflusst:

Fußgänger werden in ihrem Bewegungspfad durch die Umgebung beeinflusst und folgen somit gleichen Situationen häufig sehr ähnlichen Bewegungsmustern.

Deshalb wird eine Methode entwickelt, mit der Erfahrung über das Verhalten von Fußgängern in konkreten Verkehrssituationen gesammelt und analysiert werden kann. Hierdurch wird anhand verschiedener Szenarios versucht eine Antwort auf die folgenden Fragen zu finden:

- Verhalten sich Fußgänger in einer Situation bei der Planung ihres Wegs ähnlich?

1. Einleitung

- Wird die Planung des Wegs durch die Umgebung beeinflusst?
- Gibt es in ähnlichen Szenarios Gemeinsamkeiten im Bewegungsverhalten?
- Wie lange muss ein Szenario beobachtet werden, damit alle wesentlichen Bewegungsmuster erkennbar sind?

Weiter soll ein Konzept erarbeitet werden, wie ein solches situatives Wissen in einem aktiven Fußgängerschutzsystem nutzbar gemacht werden kann. Hierzu soll untersucht werden,

1. ob mit dem neuen Konzept eine präzisere Vorhersage von Fußgängern möglich ist
2. welche Voraussetzungen für die Nutzung des Konzepts notwendig sind

Abschließend soll aufgrund mangelnder etablierter Verfahren eine Testmethodik entwickelt werden, mit der aktive Fußgängerschutzsysteme in Unfallsituationen getestet werden können, ohne das Leben von Menschen zu gefährden.

1.3. Gliederung der Arbeit

Im Anschluss an die Einleitung gibt Kapitel 2 einen Überblick über häufige Unfallsituation und bisherige Aktivitäten zur Reduktion der Zahl der Verletzten durch aktive Fußgängerschutzsysteme. Es wird gezeigt, dass heute im Markt befindliche aktive Fußgängerschutzsysteme Systemgrenzen aufweisen, die keine weitere Steigerung des Schutzes von Fußgängern zulassen. Die Überwindung dieser Grenzen motiviert die Entwicklung eines neuen Systemkonzepts in Kapitel 3. Einzigartig an diesem Konzept ist die Nutzung von beobachtetem Fußgängerbewegungsverhalten bei der Interpretation von Verkehrssituationen im Fahrzeug. Anhand der vorgestellten Systemstruktur beschreiben die sich anschließenden Kapitel die Umsetzung der einzelnen Module und die Erzeugung der für die Vorhersage notwendigen Wissensdatenbank.

In Kapitel 4 wird die im Versuchsfahrzeug eingesetzte Sensorik zur Wahrnehmung des Fahrzeugumfelds beschrieben. Für die Erkennung von Fußgängern kommt eine aktive Entfernungsbildkamera zum Einsatz. Weitere Kontextinformationen wie der Straßenverlauf werden von einer passiven Entfernungsbildkamera zur Verfügung gestellt. Aufbauend auf den Rohdaten der vorausschauenden Sensoren beschreibt das Umfeldmodell aus Kapitel 5 die Umwelt in einzelnen Elementen und lässt diese durch die Einzelobjektinterpretation mit weiteren Attributen versehen. Ein Attribut für ein Umfeldelement könnte zum Beispiel die Klasse eines Verkehrsteilnehmers sein, um zu kennzeichnen, dass es sich um einen Fußgänger oder ein anderes Fahrzeug handelt.

In Kapitel 6 wird die Methodik zur Untersuchung des situativen Bewegungsverhaltens von Fußgängern und deren Umsetzung beschrieben. Das hieraus gewonnene Wissen wird anschließend in Kapitel 7 zur Interpretation der Situation und mit einem neuen Verfahren zur Vorhersage des Fußgängers genutzt. Die Vorhersage für Fußgänger wird jedoch so umgesetzt, dass auch eine Grundfunktionalität gegeben ist, wenn diese erweiterten Informationen über eine Situation nicht vorliegen damit ein Basisschutz für Fußgänger immer gewährleistet ist.

Kapitel 8 beschreibt die Erkennung von Unfallsituationen und die Entscheidung zur Ausführung des neuen Aktionskonzepts. Hier wird die verbesserte Vorhersage, falls vorhanden, berücksichtigt und dadurch drohende Unfallsituationen häufig früher erkannt. Dies geschieht durch ein effizientes Verfahren, welches mit jeder neuen Messung der Sensoren prüft, ob eine Kollision mit einem Fußgänger bevorsteht. Wird ein möglicher Zusammenstoß erkannt, so wird gemäß einem, sich situativ anpassenden, Aktionskonzept die Lenkung oder die Bremse angesteuert, um den Unfall zu vermeiden. Wird die Unfallsituation erst zu spät erkannt, so wird noch so viel Geschwindigkeit wie möglich abgebaut, um den Fußgänger bestmöglich zu schützen.

In Kapitel 9 wird die neue Testmethodik für aktive Fußgängerschutzsysteme beschrieben und eine ausführliche Bewertung der einzelnen Systemmodule vorgenommen. Hervorzuheben ist die Schwierigkeit zum einen Fußgängerschutzsysteme in realen Unfallsituationen zu testen und zum anderen hierbei kein Menschenleben zu gefährden. Die hier umgesetzte Testmethodik und das zugehörige Equipment ist einmalig und entspricht dem aktuellsten Stand der Technik zur Bewertung von aktiven Fußgänger-

1. Einleitung

schutzsystem in Fahrzeugen. Auf den Ergebnissen dieser Tests aufbauend kann objektiv der Nutzen des Systems für den Schutz von Fußgängern bewertet werden.

Abschließend fasst Kapitel 10 die in der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick für anknüpfende Arbeiten.

2. Heutiger Fußgängerschutz

Die heutigen Maßnahmen zur Steigerung der Sicherheit von ungeschützten Verkehrsteilnehmern, wie beispielsweise Fußgänger, Radfahrer, Motorroller und Skater sind vielfältig und mit Sicherheit nicht auf das Automobil beschränkt. Besonders infrastrukturelle Maßnahmen wie die Trennung von motorisierten und nicht motorisierten Teilnehmern auf unterschiedliche Bereiche der Straße haben erst die Grundlage für einen geregelten Verkehr und somit für den Einsatz von intelligenten Systemen im Fahrzeug geschaffen.

In diesem Kapitel werden zunächst mit Hilfe eines kurzen Überblicks über die Entwicklung des Unfallgeschehens in den letzten Jahrzehnten und einer Analyse der aktuellen Statistik die heutigen Unfallursachen herausgearbeitet. Weiter wird eine Unfalldatenbank beschrieben und untersucht, in der seit Mitte 1999 detaillierte Beschreibungen von Unfällen abgelegt werden. Aufgrund dieser Beschreibung können konkrete Szenarios herausgearbeitet werden, in denen Unfälle mit Fußgängern besonders häufig auftreten.

Anschließend werden die heutigen Ansätze zur Steigerung des Fußgängerschutzes strukturiert und der Fokus auf vorausschauende Systeme im Fahrzeug gelegt. Daran anknüpfend wird grob die Funktionsweise eines vorausschauenden Systems beschrieben und ein Überblick über heute am Markt verfügbare sowie sich in der Forschung befindliche Schutzsysteme gegeben.

Die Kenntnis über Unfallursachen, Häufigkeiten und Grenzen heutiger Systeme werden im Anschluss in Kapitel 3 genutzt, um ein neues, zukunftsfähiges und hinsichtlich des Fußgängerschutzes effektives Konzept für ein vorausschauendes Fußgängerschutzsystem im Fahrzeug herzuleiten.

2. Heutiger Fußgängerschutz

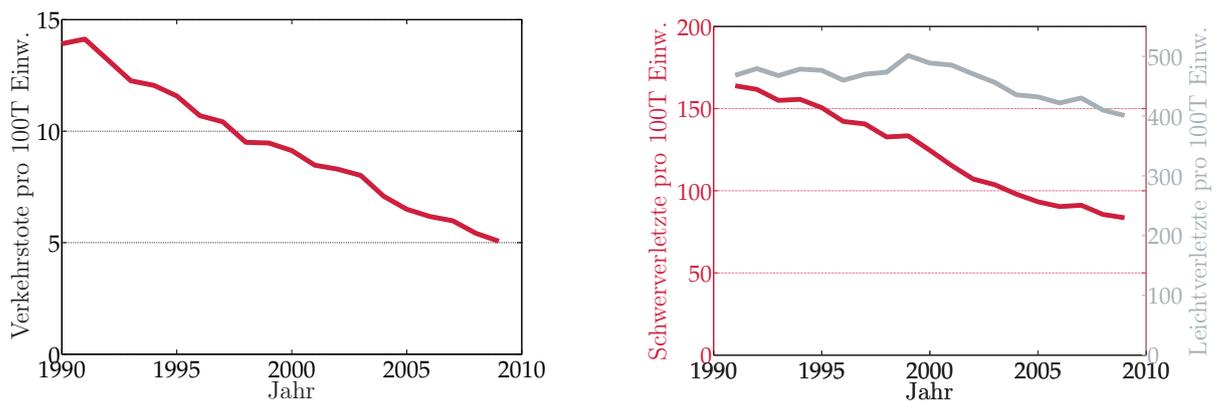


Abbildung 2.1.: Entwicklung der Unfalltote in Deutschland (links) und die Entwicklung der Anzahl der Verletzten bei Verkehrsunfällen in Deutschland (rechts) [5]

2.1. Fußgänger-Unfallstatistik

Unfallstatistiken sind wichtige Indikatoren, um die Entwicklung der Verkehrssicherheit über Jahre hinweg bewerten zu können. Ebenso lassen sich Trends erkennen, die auf Veränderungen der Gesellschaft oder technische Innovationen zurückzuführen sind. Diese Trends können, ausgelöst durch neue Sicherheitsmaßnahmen, einen Rückgang der Verunfallten prognostizieren oder beispielsweise durch höhere Verkehrsdichten ein steigendes Unfallrisiko vorhersagen. Für die Entwicklung von Sicherheitssystemen ist es wichtig, neue Risikopotentiale frühzeitig zu erkennen und sie durch entsprechende Gegenmaßnahmen zu kompensieren.

Deutschland hatte im Jahr 2009 noch 4154 Verkehrstote zu beklagen, konnte jedoch den starken Abwärtstrend der letzten zwei Jahrzehnte weiter fortsetzen [5]. Der Vergleich der aktuell fünf Verkehrstoten pro 100 000 Einwohner aus Abbildung 2.1 links mit dem derzeitigen Durchschnitt der Europäischen Union (EU) (8,3) bescheinigt Deutschland einen hohen Sicherheitsstandard.

Auch die Anzahl der verletzten Verkehrsteilnehmer ist, wie Abbildung 2.1 rechts zeigt, rückläufig. Trotzdem hat Deutschland laut [6] den größten Anteil an Verkehrsunfällen mit verletzten Personen in ganz Europa. Zurückzuführen ist dies nicht zuletzt auf die täglich zunehmende Ver-

2.1. Fußgänger-Unfallstatistik

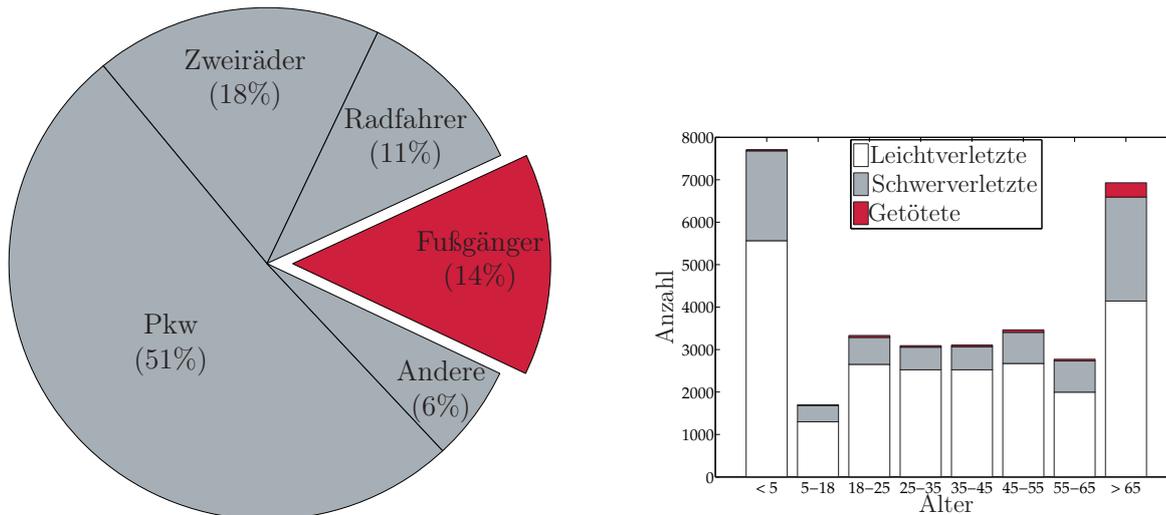


Abbildung 2.2.: Verteilung der Unfalltoten nach Art der Verkehrsteilnahme (links) und die Altersverteilung der Verunfallten (rechts) [5]

kehrsdichte. Vor allem in deutschen Innenstädten sorgt diese Entwicklung für eine große Gefahr durch den Straßenverkehr, von der besonders stark Fußgänger und andere ungeschützte Verkehrsteilnehmer betroffen sind. Abbildung 2.2 links zeigt, dass diese Gruppe von Verkehrsteilnehmern im Jahr 2009 rund ein Viertel der Verkehrstoten ausmachte. 74% der tödlichen und sogar 94% der Unfälle mit verletzten Fußgängern ereigneten sich dabei in der Innenstadt.

Im rechten Teil von Abbildung 2.2 ist die Verteilung der leicht- und schwerverletzten sowie der getöteten Fußgänger über ihr Alter aufgetragen. Besonders markant ist hier der hohe Anteil von getöteten Fußgängern über 65 Jahre. Aus dieser Altersklasse stammen 57% der im Verkehr gestorbenen Fußgänger. Hier liegt die Vermutung nahe, dass aufgrund der nachlassenden Leistung der Sinnesorgane im Alter herannahende Fahrzeuge häufig überhört oder Entfernungen falsch eingeschätzt werden. Dieses Problem wird sich mit der Einführung von geräuscharmen Elektrofahrzeugen deutlich verschärfen, da im Alter die Trennfähigkeit von Fahrzeuggeräuschen aus dem Grundrauschen im Straßenverkehr nachlässt.

Aber auch die nachlassende Sehfähigkeit älterer Fahrer stellt ein Problem in der Verkehrssicherheit dar. Gemeint ist hiermit nicht nur die all-

2. Heutiger Fußgängerschutz

gemein bekannte Sehschwäche, die durch das Tragen einer Brille wieder ausgeglichen werden kann, sondern vielmehr die Einschränkung des Sichtfelds. In [7] schreibt Karlene Ball

„... it was confirmed that the useful field of view is a good predictor of crash frequency.“ (S. 44, Abs. 7 in [7])

und bestätigt also, dass die Einschränkung des Sichtfelds sogar einen direkten Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit hat. Da sich Fußgänger zunächst oft am Rand des Sichtfelds bewegen, bevor sie die Straße queren, stellt dies für den Fußgängerschutz ein relevantes Problem dar. Da das Durchschnittsalter der Neuwagenkäufer in Deutschland derzeit bei 50 Jahren liegt, würden neue aktive Sicherheitssysteme im Fahrzeug dahingehend schnell Wirkung zeigen.

Weiter lässt sich aus Abbildung 2.2 eindeutig ableiten, dass Kinder unter fünf Jahren und Erwachsene über 65 Jahren auf Grund der absoluten Unfallhäufigkeit im Fokus des Fußgängerschutzes stehen sollten. Allerdings sollte die Gruppe mittleren Alters nicht außer Acht gelassen werden, da Verletzungen bei diesem Personenkreis zu einem besonders hohen wirtschaftlichen Schaden führen. So kosteten alleine die Maßnahmen zur Heilung und Unterstützung von im Straßenverkehr verunglückten Personen im Jahr 2007 jeden deutschen Bürger 409€ [6].

Für die niedrige Fußgängersicherheit in der Innenstadt ist das Zusammenspiel dreier gesellschaftlicher Entwicklungen verantwortlich. Auf der einen Seite steigt die innerstädtische Verkehrsdichte im Zuge der fortschreitenden Suburbanisierung und damit verbundenem Individualverkehr täglich an. Dies macht den Verkehr komplexer und fordert von allen Verkehrsteilnehmern ein steigendes Maß an Aufmerksamkeit und schneller Reaktion. Auf der anderen Seite verringert sich die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer, getrieben durch die demografische Entwicklung [8, 9] und die zunehmende Ablenkung durch mobile Infotainment- und Kommunikationsgeräte. Besonders im Alter ab 40 Jahren nimmt die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit ab und somit die Reaktionszeit zu [10, 8]. Somit lässt sich das Fehlverhalten des Fahrers bei Fußgängerunfällen oft auf Überforderung oder zu geringe Aufmerksamkeit des Fahrers oder des Unfallgegners zurückführen [11]. Dies unterstreicht die Erkenntnis von [12], dass 50% der Fahrzeuge bei einem Pkw-Fußgängerunfall überhaupt nicht abgebremst wurden.

2.2. Identifikation relevanter Unfallszenarios

Zusammenfassend lassen sich folgende Defizite als Unfallursachen festhalten:

- Zu geringe Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmer
- Reduktion der Leistungen der Sinnesorgane mit zunehmendem Alter
- Altersbedingter Anstieg der Reaktionszeit auf Grund nachlassender kognitiver Fähigkeiten

Diese Ursachen weisen auf Seiten des Fahrzeugs, besonders für Fahrerassistenz und aktive Sicherheitssysteme, ein großes Potential aus. Das Ziel neuer Systeme sollte es sein, den Fahrer rechtzeitig vor Unfällen zu warnen oder den Unfall durch autonomes Eingreifen zu vermeiden. Damit würden die menschlichen Defizite des Fahrers kompensiert und das Verletzungsrisiko für Fußgänger reduziert.

2.2. Identifikation relevanter Unfallszenarios

Für eine zielgerichtete Entwicklung von vorausschauenden Fußgängerschutzfunktionen ist es hilfreich, die Verkehrsszenarios, in denen Pkw-Fußgänger-Unfälle häufig geschehen, zu kennen. Diese Kenntnis ist nicht nur für die Konzeption, Optimierung und Auslegung der Funktion interessant, sondern unterstützt auch bei einer sinnvollen Definition von Testverfahren. Diese Testverfahren sind notwendig, um dem System eine bestimmte Effektivität zum Schutz von Fußgängern bescheinigen zu können. Deshalb werden im Folgenden verfügbare Datenerhebungen vorgestellt. Von ihnen wird anschließend diejenige ausgewählt und analysiert, die möglichst viel Aufschluss über relevante Unfallszenarios liefert.

Abbildung 2.3 zeigt einen Überblick über die bekanntesten Datenerhebungen. In dieser Darstellung wird deutlich, dass sich die Datensammlungen hinsichtlich Aussagefähigkeit und Repräsentativität stark unterscheiden. Die deutsche Bundesstatistik beispielsweise, aus der auch schon in Abschnitt 2.1 zitiert wurde, erfasst alle Unfälle in Deutschland. Zu jedem Unfall werden allerdings im Vergleich zur German In-Depth Accident Study (GIDAS) nur wenige Informationen hinterlegt. Es werden aus den Verkehrsunfallanzeigen der Polizei