

Kontextbasiertes System zur Vermeidung von Kollisionen zwischen Autos und Fußgängern

Dem Fachbereich Elektrotechnik / Informatik der
Universität Kassel
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Dr. – Ing.

Eingereichte Dissertation von

Dipl.-Inf. Alexander Friedrich Leonhard Flach
aus Rotenburg a.d. Fulda

Januar 2012

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Klaus David
Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-rer. nat. Ludwig Brabetz

Tag der Disputation: 11.07.2012

Danksagung

Ich danke für all die Hilfe und Ratschläge, ohne denen es mir nicht möglich gewesen wäre diese Arbeit zu vollenden.

Meine besondere Dankbarkeit richtet sich an Prof. Dr. Ing. Klaus David für seine Unterstützung, Zuspruch und Anregungen. Die konstruktiven Diskussionen, Fragen und Hinweise waren wichtige Elemente zum Erreichen des Ziels.

Ebenso möchte ich Prof. Dr. rer.-nat. Ludwig Brabetz für die Zusage danken als zweiter Gutachter dieser Arbeit zur Verfügung zu stehen. Weiterhin möchte ich mich bei den weiteren Mitgliedern der Prüfungskommission für die Annahme der Einladung bedanken diese Arbeit zu begutachten.

Das Team von ComTec war mir während der Zeit am Lehrstuhl eine große Hilfe und Unterstützung. Ich möchte Dr. Sian Lun Lau für seine Unterstützung und Kooperation während meiner Arbeit, aber auch insbesondere für die Unterstützung in der Endphase meiner Arbeit danken. Weiterhin möchte ich mich bei Abdul Qudoos Memon für die zahlreichen Diskussionen und Unterstützung der Datensammlung bedanken. Ebenso möchte ich mich bei Fabian Hüger und Sebastian Wojtek bedanken, die mit Ihren Messungen für Ad-Hoc und zellulare Netzwerke einen wertvollen Beitrag geleistet haben, ebenso für die Messungen von Özlem Hayat und Meryem Gülsüm.

Weiterhin möchte ich mich bei Dr. Niklas Klein bedanken, der mir durch seine Erfahrung wertvolle Tipps in der Endphase der Arbeit geben konnte und natürlich allen anderen Kollegen, die mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ein besonderer herzlicher Dank gilt natürlich meiner Frau Andrea, meiner Familie und meinen Freunden, die mich durch Ihren Zuspruch, Rat und Geduld unterstützt haben.

Zusammenfassung

Laut dem Statistischen Bundesamts ist die Zahl der im Straßenverkehr getöteten Personen zwar rückläufig, jedoch wurden in 2010 in Deutschland noch immer 3648 Personen bei Unfällen im Straßenverkehr getötet, 476 davon waren Fußgänger. In den letzten Dekaden lag der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten zur Reduzierung der Verkehrstoten besonders im Bereich des Insassenschutzes. Erst in den letzten Jahren rückte die Thematik des Fußgängerschutzes mehr in den Fokus des öffentlichen Interesses und der Automobilhersteller. Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit unterschiedlichen Ansätzen die Folgen einer Kollision zwischen einem Auto und einem Fußgänger zu reduzieren. Hierzu zählen z.B. weiche Aufprallzonen im Frontbereich eines Autos, aufstellende Motorhaube oder auch Fußgängerairbags im Bereich der Frontscheibe. Da passive Ansätze aber nur die Folgen eines Aufpralls am Fahrzeug, nicht aber die Folgen eines Sekundäraufpralls auf dem Boden verringern können, werden parallel Ansätze zur aktiven Kollisionsvermeidung untersucht. Die bisher verfolgten, ebenso wertvollen Ansätze, zeigen jedoch jeweils Schwachpunkte in Ihrer Lösung. So ist der Einsatz der bisherigen bordautonomen Ansätze auf Grund der Anforderungen der verschiedenen Systeme, wie der Notwendigkeit einer direkten, ungestörten Sichtverbindung zwischen Auto und Fußgänger, leider nur eingeschränkt möglich. Kooperative Systeme, die ein zusätzliches, vom Fußgänger mitzuführendes Sende-Empfänger Gerät zur Ermittlung der Fußgängerposition benötigen sind hingegen mit zusätzlichem Aufwand für den Fußgänger verbunden. Auch fehlen den bisher verfolgten Ansätzen Informationen über den Fußgänger, wodurch es schwierig ist, wenn nicht gar manchmal unmöglich, eine Situation korrekt bewerten zu können. Auch sehen diese Systeme keine Warnung des Fußgängers vor. In dieser Arbeit wird ein Verfahren zum Fußgängerschutz betrachtet, welches per Funk ausgetauschte Informationen zur Risikobewertung eines Szenarios nutzt. Hierbei werden neben den vom Auto bekannten Informationen und Parameter, die vom Smartphone des Fußgängers zur Verfügung gestellten Kontextinformationen verwendet. Es werden zum einen die Parameter, Bedingungen und Anforderungen analysiert und die Architektur des Systems betrachtet. Ferner wird das Ergebnis einer Untersuchung zur generellen Umsetzbarkeit mit bereits heute in Smartphone verfügbaren Funktechnologien vorgestellt. Final werden die bereits vielversprechenden Ergebnisse eines ersten Experiments zur Nutzbarkeit von Sensorinformationen des Smartphones im Bereich der Kollisionsvermeidung vorgestellt und diskutiert.

Abstract

Official figures of the German Office of Statistics show a reduction of persons killed in traffic accidents. However, in Germany still 3648 persons were killed in traffic accidents in 2010, 476 of them were pedestrians. During the last decades approaches focused on the reduction of killed persons by improving passenger protection. During the last few years also the topic of pedestrian safety became more important in public and also for car manufacturers. Different research groups worked and still work on several approaches to improve pedestrian safety by reducing the impact of a collision. This is to be achieved by approaches like creating soft impact zones in the front of the car, a rising hood or pedestrian airbags. These passive approaches are only able to reduce the impact of the collision with the car but not the secondary collision with the ground. Therefore also research is done using the approach of active pedestrian protection by avoiding collisions. Approaches presented so far, although of great value, also have some weaknesses. The use of car based approaches for example is limited due to their need of direct line of sight. Approaches based on cooperative systems which need an additional transceiver device carried and checked by the pedestrian need extra effort by the pedestrian. In addition all the different approaches have in common that they have no or only little information available about the pedestrian. Therefore it is sometimes difficult if not impossible to estimate the accident potential of a situation in detail. Furthermore, all the approaches do not provide warnings to the pedestrian. In this thesis a collision avoidance system is presented which uses information about the car and the pedestrian exchanged through radio based communication to estimate the risk of a collision. New to this approach is that it uses the already existing smartphone of the pedestrian to gain, store and exchange a rich set of context information about the pedestrian. In this thesis the parameters, prerequisites and requirements to such a collision avoidance system are analyzed and the architecture of the system is presented. In addition, the results of a first set of experimental measurements is presented to show the feasibility of such a system using already existing communication technologies implemented in a modern smartphone. Finally the promising results of a first set of experiments to analyze the usability of the sensors of a smartphone, in this case the accelerometer, are presented.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aussichten zur Nutzung von Kontextinformationen des Fußgängers.....	2
1.2	Ziele der Arbeit	3
1.3	Beitrag der Arbeit.....	4
1.4	Publikationen.....	5
2	Analyse des Unfallgeschehens	7
2.1	Statistiken: Entwicklung, Zeit und Ortslage	7
2.2	Eigenschaften des Unfallorts.....	12
2.3	Alterszusammensetzung getöteter Fußgänger.....	15
3	Physikalische Analyse eines Unfallszenarios.	19
4	Stand der Technik	30
4.1	Präventiver Fußgängerschutz	30
4.2	Ansätze zur Kollisionsvorhersage	40
4.3	Forschungsprojekte zur Thematik des aktiven Fußgängerschutz	42
4.4	Car2X Kommunikation	43
5	Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung	50
5.1	Systemarchitektur.....	51
5.2	Filter Algorithmus zur Bestimmung der gefährdeten Personen.....	60
5.3	Weitere Aspekte und Systemkomponenten.....	65
6	Performance Messungen verschiedener Funktechnologien	69
6.1	Performance Messungen WLAN basierter Ad-Hoc Netzwerke	69
6.2	Performance Messungen zellularer Funk Standard Technologien.....	77
7	Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen	85
7.1	Ermittlung der Geschwindigkeit mit Hilfe von Positionsdaten	85
7.2	Erkennung der Beschleunigungsänderung mit Hilfe des Beschleunigungssensors des Mobiltelefons und Algorithmen der Aktivitätserkennung.	89
8	Fazit	114

1 Einleitung

Während der letzten Jahrzehnte nahm die Zahl der im Straßenverkehr getöteten und schwer verletzten Personen stetig ab. Dies ist neben anderen Faktoren vor allem auf die Verbesserungen der passiven Sicherheit von Fahrzeugen wie Sicherheitsgurt, Knautschzone, stabile Fahrgastzelle und Airbag zurück zu führen. Aber auch Entwicklungen aktiver Fahrerassistenzsysteme wie ABS und ESP haben hierzu einen entscheidenden Beitrag geleistet. Neue aktive Fahrer-Assistenzsysteme, wie Radar-Abstandswarner, Spurwechselassistent und Bremsassistent, welche gerade in ausgewählten Modellen Einzug halten, sollen die Zahl der Verkehrsoffer weiter zu reduzieren. In den letzten Jahren rückte die Thematik des Fußgängerschutzes auch in den Fokus des öffentlichen Interesses und der Fahrzeughersteller. Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit unterschiedlichen Ansätzen die Folgen einer Kollision zwischen einem Auto und einem Fußgänger zu reduzieren. Hierzu zählen z.B. weiche Aufprallzonen im Frontbereich eines Autos, aufstellende Motorhauben oder auch Fußgängerairbags im Bereich der Frontscheibe. Die Problematik des Sekundäraufpralls, also des Aufpralls des Fußgängers auf der Straße nach der Kollision mit dem Auto, wird mit diesen Ansätzen nicht gelöst. Auf Grund der Tatsache, dass diese passiven Ansätze die Folgen einer Kollision bestenfalls nur mindern können, werden parallel Ansätze untersucht, die sich mit präventiven Schutzmaßnahmen befassen. Mit Hilfe von Warnungen des Fahrers vor einer drohenden Kollision mit dem Fußgänger bis hin zum autonomen Eingriff in die Fahrdynamik des Autos durch Bremsung des Fahrzeugs wird versucht eine Kollision gänzlich zu verhindern. Ist eine gänzliche Vermeidung der Kollision nicht möglich, so wird zumindest eine höchst mögliche Reduzierung der Kollisionsenergie angestrebt. Zur Vermeidung von fehlerhaften Warnungen oder nicht erkannten Gefahrensituationen ist eine zuverlässige Detektion, Klassifizierung, Positionsbestimmung und Einschätzung des Fußgängers unabdingbar. Die bisher intensiv verfolgten und ebenso wertvollen Ansätze im Bereich der Bildverarbeitung, Radar, LIDAR und Sensordatenfusion ermöglichen bereits heute eine umfassende Erfassung des Fahrzeugumfelds, zeigen jedoch jeweils Schwachpunkte in Ihrer Lösung. So ist es auf Grund der Einschränkungen der eingesetzten Systeme leider nicht möglich alle für ein präventives Fußgängerschutzsystem relevanten Szenarien abzudecken. So können solche Systeme zum Beispiel durch partielle oder komplette Verdeckung des Fußgängers nicht mehr zuverlässig arbeiten oder gar nicht mehr in der Lage sein den Fußgänger zu detektieren. Auch Situationen mit schlechten Kontrast-, Licht-, und Sichtbedingungen können zu solchen Problemen führen. Systeme,

1. Einleitung

welche einen vom Fußgänger mitzuführenden Transponder nutzen sind unempfindlich gegen visuelle Störungen, da diese keine Sichtverbindung zwischen dem Auto und Fußgänger benötigen. Diese Systeme benötigen jedoch diese zusätzliche Sende-/ Empfänger-Einheit, welche vom Fußgänger mitzuführen und zu pflegen ist. Ebenso ist in allen genannten Systemen nur wenig Information über den Fußgänger verfügbar, um das Gefahrenpotential spezifischer einschätzen zu können. Um eine spezifischere Einschätzung des Kollisionsrisikos des einzelnen Fußgängers zu erhalten und zur Vermeidung zusätzlich mitzuführender Hardware beschäftigt sich diese Arbeit mit der Nutzung des Mobiltelefons des Fußgängers in einem Kollisionsvermeidungssystem.

1.1 Aussichten zur Nutzung von Kontextinformationen des Fußgängers

Bordautonome Systeme zur Kollisionsvermeidung zwischen Fußgängern und Autos sind auf Grund der eingesetzten Fußgänger Erkennungstechnologie von der Witterung, den Licht- und Sichtverhältnissen, aber auch von der Komplexität der Umgebung abhängig. Partielle oder komplette Sichtverdeckungen, welche bei ca. 30% der in Deutschland auftretenden Unfälle vorliegen, machen es problematisch, bis unmöglich den Fußgänger zu detektieren und eine Klassifizierung durchzuführen. Kooperative Systeme können diese Problematik bereits lösen, benötigen jedoch einen vom Fußgänger mitzuführenden Transponder. Außerdem bieten alle diese Systeme nur geringe Informationen, um eine genaue Einschätzung des Kollisions-Risikopotentials zu berechnen. Meist stehen nur die Basisinformationen, wie Position und Abstand, in weit entwickelten Systemen die Ausrichtung und bei Transponder basierten Systemen der Typ des verletzlichen Verkehrsteilnehmers zur Verfügung. Durch die Nutzung des Mobiltelefons des Fußgängers im Kollisionsvermeidungssystem wird eine Reduktion des Pflegeaufwands durch den Nutzer ermöglicht, da er keinen zusätzlichen Transponder mitführen muss, der kontrolliert und geladen werden muss. Es ist nur der übliche Pflege- und Ladeaufwand am Mobiltelefon benötigt, der jedoch keinen Mehraufwand darstellt, da Mobiltelefone heute sowieso bereits ständige Begleiter im Alltag sind. Dabei geht die Funktionalität weit über einfache Telefonie und das Versenden von Kurzmitteilungen hinaus. Moderne Smartphones sind heute mit leistungsstarker Hardware, diversen Kommunikationsschnittstellen, unterschiedlichen Sensoren, wie Beschleunigungssensor, Gyroskop, Kompass, als auch mit diversen Datenbanken und Applikationen ausgestattet. Im betrachteten Kollisionsvermeidungssystem werden die Informationsquellen des Mobiltelefons des Fußgängers in Kombination mit den zur Verfügung stehenden Informationen des Fahrzeugs genutzt, um eine detailliertere Einschätzung des Kollisionsrisikos

1. Einleitung

des Fußgängers zu bestimmen. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist die Möglichkeit auch den Fußgänger auf eine mögliche Gefahrensituation aufmerksam zu machen. Dieses ist speziell dann einfach durchzuführen, wenn der Fußgänger sein Mobiltelefon gerade nutzt. Ebenso ist eine Optimierung der Kollisionsrisiko Ermittlung bordeigener Systeme möglich. Durch die Nutzung zusätzlicher Informationen über den Fußgänger wird es möglich den Fußgänger bereits im Vorfeld genauer zu beschreiben und Auffälligkeiten mit in die individuelle Bewertung mit aufzunehmen.

1.2 Ziele der Arbeit

Die Ziele der Arbeit ergeben sich aus den Forschungslücken des im Kapitel 2 vorgestellten Fußgängerschutzes auf Basis von Mobilfunktechnologie und der Nutzung des Smartphone des Fußgängers.

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein funkbasiertes System zur Vermeidung von Kollisionen zwischen Autos und Fußgängern. Neben den Informationsquellen des Autos wird in diesem System das vom Fußgänger mitgeführte Mobiltelefon zur Informationsgewinnung, zur Informationsverarbeitung, zum Informationsaustausch und zur Warnung des Fußgängers vor einer drohenden Kollision mit einem Auto genutzt. Die Informationen, die durch das Mobiltelefon ermittelt werden, stellen hierbei zusätzliche Informationen über den Fußgänger zur Verfügung, wodurch eine spezifische Vorhersage des Kollisionsrisikos des einzelnen Fußgängers ermöglicht wird. Ein elementarer Faktor, der für eine erfolgreiche Kollisionsvermeidung eine entscheidende Rolle spielt, ist die verfügbare Zeit. Um einen Eindruck zu erhalten, wie verschiedene Parameter eines Kollisionsvermeidungsszenarios diese Zeit beeinflussen, wird in dieser Arbeit eine analytische Übersicht gegeben. In einem Mobilfunk basierten Kollisionsvermeidungssystem müssen neben Berechnungen und Warnung auch die Übertragung der Informationen durchgeführt werden. Die Latenzzeiten der eingesetzten Funktechnologien sind daher ein entscheidender Faktor die nötigen Informationen im verfügbaren Zeitfenster zu übermitteln. Zur Verifizierung, ob ein erfolgreicher Informationsaustausch innerhalb der durch physikalische Parameter bestimmten Zeitgrenzen eines Unfallszenario möglich ist, wird die Untersuchung der Latenzzeit verschiedener, aktuell verwendeter Kommunikationstechnologien ein Gegenstand dieser Arbeit sein. Durch die potentielle Verbesserung der Einschätzung des Gefahrenpotentials jedes einzelnen Fußgängers können Fehlalarme reduziert werden. Hierbei stellt die Nutzung zusätzlicher Kontextinformationen von im Mobiltelefon integrierten Sensoren, wie Beschleu-

1. Einleitung

nigungssensor, Kompass, etc., eine Möglichkeit dar, eine schnelle Detektion der Änderungen in der Geschwindigkeit, Beschleunigung und Bewegungsrichtung des Fußgängers zu erhalten. Aber auch andere Kontextinformationsquellen können genutzt werden, um das Gefahrenpotential einzelner Fußgänger zu bewerten. So können voreingegebene Daten wie maximale Beschleunigung, maximale Geschwindigkeit, Alter oder andere Eigenschaften des Fußgängers eine genauere Einschätzung ermöglichen. Des Weiteren können an Hand von Informationen wie aktueller Aktivität des Fußgängers, z.B. telefonieren, SMS oder Email lesen/schreiben oder im Internet surfen, Rückschlüsse auf die Aufmerksamkeit des Fußgängers geschlossen werden. Auch an Hand von Informationen des Terminkalender des Fußgängers, welcher z.B. einen Termin aufzeigt, zu dem der Fußgänger zu spät zu kommen droht, wie auch an besonderen Orten, wie in der Nähe von Haltestellen, kann eine Anpassung des Gefahrenpotentials vorgenommen werden. Die Betrachtung des Beschleunigungssensors als Beispiel einer Kontextinformationsquelle und die Möglichkeit, wie dieser in der Betrachtung und Einschätzung einer Situation eingebunden werden kann, ist daher ein weiterer Bestandteil dieser Arbeit.

1.3 Beitrag der Arbeit

Diese Arbeit leistet in unterschiedlicher Weise einen Beitrag zum Thema des Fußgängerschutzes. Es werden die Herausforderungen des Fußgängerschutzes erläutert, insbesondere aber auch die Nutzung neuer technischer Möglichkeiten für dieses Umfeld vorgeschlagen und untersucht.

- Zunächst werden an Hand aktueller Statistiken Eigenschaften von Unfallsituationen dargestellt, wie Sichtverhältnisse zwischen Fußgänger und Auto, Ortslage, erlaubte Geschwindigkeit, etc. Hierbei werden typische Unfallszenarien identifiziert.
- An Hand eines typischen Unfallszenarios und der beeinflussenden Parameter wird die verfügbare Zeit für ein Kollisionsvermeidungssystem untersucht. Diese Zeit bildet die Basis, auf der die nachfolgenden Messungen von Kommunikationstechnologien bewertet werden können.
- Es werden die unterschiedlichen existierenden Ansätze des präventiven Fußgängerschutz zusammenfassend vorgestellt und diskutiert.
- Ein neues Verfahren zum Fußgängerschutz wird vorgestellt, welches zusätzlich zu den bekannten Bordsensoren die Kontextinformationsquellen des Smartphones des Fußgängers nutzt. Diese Informationen werden in diesem Verfahren mit Hilfe von funkbasierter Daten-

1. Einleitung

kommunikation ausgetauscht. Die möglichen Vorteile eines solchen Systems werden ebenso diskutiert wie die verschiedenen Kommunikationsarchitekturen und damit verbundene Rechenlastverteilung.

- Eine experimentelle Untersuchung zeigt, in wie fern die Kommunikationsschnittstellen und Standards verfügbarer Smartphones für ein System des vorgestellten Verfahrens geeignet sind.
- Abschließend wird die Problematik der Erkennung von Beschleunigungsänderungen unter Verwendung aktueller GPS Implementierungen in Smartphones. Mit Hilfe eines Experiments wird untersucht, ob es möglich ist, die benötigte Zeit zur Erkennung der Änderungen der Beschleunigung des Fußgängers mit Hilfe des Beschleunigungssensors des Smartphones und Algorithmen zur Aktivitätserkennung zu verbessern. Hierbei werden unterschiedliche Algorithmen in Bezug auf Erkennungsgenauigkeit und benötigter Zeit zur Erkennung verglichen.

Die Nutzung der zusätzlichen Sensoren des Smartphones des Fußgängers, wie den Beschleunigungssensor, Kompass, etc., wurde bisher im Bereich des Fußgängerschutzes noch nicht betrachtet. Generell ist daher der Hauptbeitrag dieser Doktorarbeit die Vorstellung des Verfahrens zur Kollisionsvermeidung mit Hilfe von Kontextdaten über den Fußgänger, welche durch dessen Smartphone gesammelt und zur Verfügung gestellt werden.

1.4 Publikationen

Teile der durchgeführten Arbeiten für diese Doktorarbeit wurden bereits veröffentlicht:

- [1] A. Flach, K. David, "A physical analysis of an accident scenario between cars and pedestrians," in Proc. IEEE VTC 2009, Anchorage, Sept. 2009.
- [2] K. David, A. Flach, "CAR-2-X and Pedestrian Safety", in IEEE Vehicular Technology Magazine, IEEE, Volume 5 Issue 1, 2010, pp. 70-76, March 2010.
- [3] A. Flach, K. David, "Combining Radio Transmission with Filters for Pedestrian Safety: Experiments and Simulations", IEEE VTC 6-9 September 2010, Ottawa, Canada

1. Einleitung

- [4] A. Flach, A.Q. Memon, S.L. Lau, K. David, "Pedestrian Movement Recognition for Radio Based Collision Avoidance: A Performance Analysis", IEEE VTC 15-18 May 2011, Budapest, Hungary

- [5] K. David, A. Flach, "Verfahren zur Kollisionsvermeidung", patent application submitted 1.10.2008 (DE 10 2008 049 824.6), PCT Anmeldung 01.10.2009 erfolgt, internationales Veröffentlichungsdatum 08.04.2010 (WO2010037823A1.pdf)

Im ersten, nun folgenden Schritt wird die Analyse der Unfälle gezeigt, bei denen Fußgänger getötet wurden. Dieser Schritt hilft, die Ausgangswerte von Unfallsituationen zu identifizieren und Rückschlüsse für die folgenden Schritte zu entwickeln.

2 Analyse des Unfallgeschehens

2.1 Statistiken: Entwicklung, Zeit und Ortslage

Jeden Tag ereignen sich Tausende von Unfällen in denen Fußgänger involviert sind. Hierbei werden jedes Jahr Tausende von Fußgängern verletzt oder sogar getötet. So weisen die offiziellen Aufzeichnungen [1] von 23 europäischen Staaten von 1999 bis 2008 eine Anzahl ca. 90 000 getöteten Fußgängern aus, wie auch aus Abb. 2.1 und Tab. 2.1 zu entnehmen ist. Die Tendenz der getöteten Fußgänger ist zwar rückläufig, jedoch wurden nach offiziellen Angaben allein europaweit in 2008 noch immer über 7600 Fußgänger in Verkehrsunfällen getötet. Gemessen an der Gesamtzahl in Verkehrsunfällen getöteter Personen stieg der prozentuale Anteil getöteter Fußgänger von 1999 bis 2008 von knapp 20% auf nun etwas über 20%.

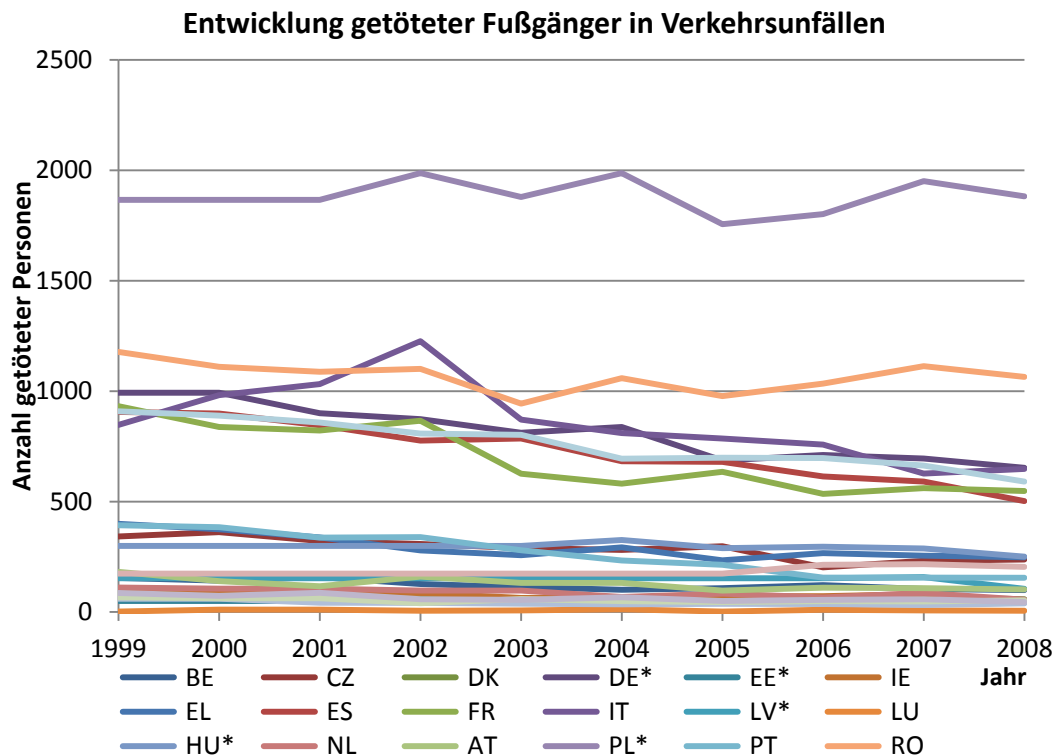


Abb. 2.1: Anzahl getöteter Fußgänger in Verkehrsunfällen von 1999 – 2008 für Europa

2. Analyse des Unfallgeschehens

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
BE	154	142	158	127	113	101	108	122	104	99
CZ	342	362	322	308	290	281	298	202	232	238
DK	82	99	49	63	49	43	44	60	68	58
DE*	993	993	900	873	812	838	686	711	695	653
EE*	50	50	50	50	50	50	50	64	38	41
IE	92	85	89	86	64	66	72	72	81	49
EL	399	375	338	279	257	293	234	267	255	248
ES	906	899	846	776	786	683	680	614	591	502
FR	932	838	822	866	626	581	635	535	561	548
IT	847	982	1032	1226	871	810	786	758	627	648
LV*	153	153	153	153	153	153	153	153	158	105
LU	2	11	11	6	7	12	2	10	7	6
HU*	299	299	299	299	299	326	289	296	288	251
NL	111	106	106	97	97	68	83	66	86	56
AT	182	140	117	160	132	132	97	110	108	102
PL*	1.866	1.866	1.866	1.987	1.879	1.987	1.756	1.802	1.951	1.882
PT	393	384	337	339	280	233	214	156	156	155
RO	1.178	1.110	1.088	1.101	944	1.059	978	1.034	1.113	1.065
SI	60	60	42	41	38	35	37	36	32	39
SK*	174	174	174	174	174	174	174	214	217	204
FI	67	62	62	40	59	49	45	49	48	53
SE	86	73	87	58	55	67	50	55	58	45
UK	909	889	858	808	802	694	699	697	663	591
EU-23	10.278	10.152	9.807	9.917	8.838	8.735	8.170	8.083	8.137	7.638
Yearly Change		-1%	-3%	1%	-11%	-1%	-6%	-1%	1%	-6%

* graue Werte zeigen die nächsten verfügbaren Werte an

Tab. 2.1: Anzahl getöteter Fußgänger in Verkehrsunfällen von 1999 – 2008 für Europa [1]

Zum Verständnis und zur Betrachtung, welche Einfluss- und Umgebungsfaktoren von Bedeutung sind, werden einige dieser Faktoren im Folgenden an Hand von zur Verfügung stehender Beobachtungen analysiert. Der erste zu betrachtende

2. Analyse des Unfallgeschehens

Parameter ist die Verteilung der Verkehrstoten über das Jahr. Die Zahl der getöteten Fußgänger der gelisteten europäischen Staaten, wie in Abb. 2.2 dargestellt, zeigt eine deutliche Erhöhung der getöteten Fußgänger zum Jahresanfang und zum Jahresende.

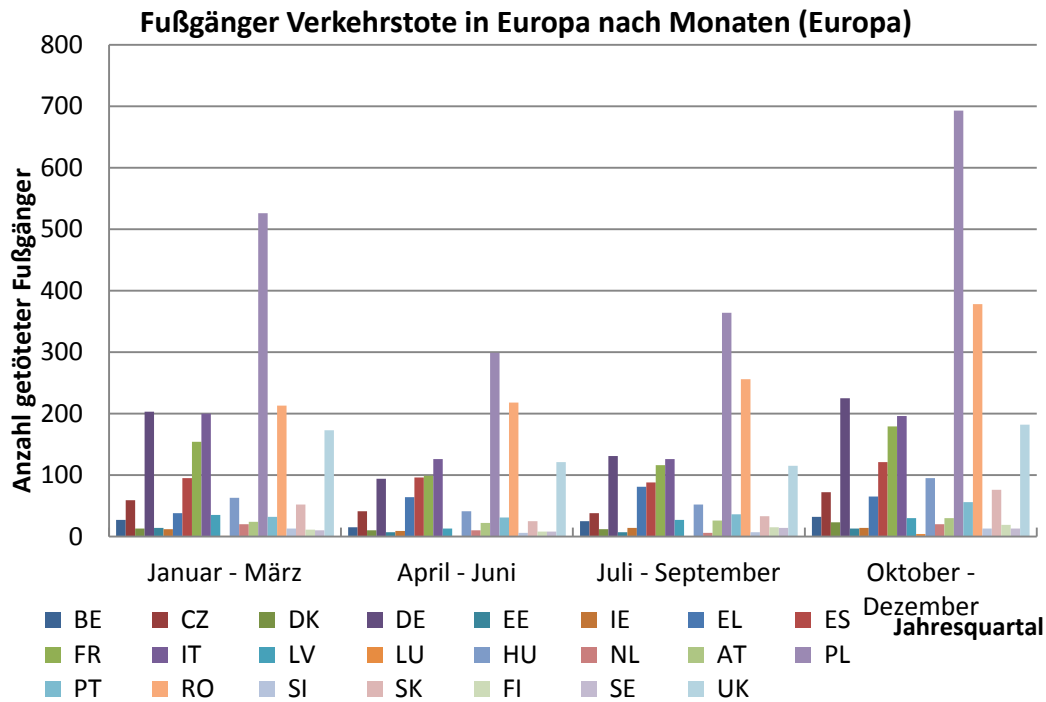


Abb. 2.2: Anzahl der getöteten Fußgänger nach Quartalen, Europa [1]

Eine ähnliche Tendenz ist aus den Zahlen für Deutschland zu entnehmen, welche in Abb. 2.3 dargestellt sind. Diese Zahlen lassen annehmen, dass Licht-, Sicht-, und Kontrastverhältnisse einen Einfluss auf Wahrnehmbarkeit von Fußgängern und Autos haben, da in diesen Monaten die Tage kürzer sind als in den Sommermonaten und tendenziell schlechtere Witterungs- und Kontrastverhältnisse vorherrschen. Außerdem zeigt Abb. 2.3 bereits auf, wie sich das Verhältnis zwischen getöteten Fußgängern innerhalb und außerhalb von Ortschaften abzeichnet. Wie aus Abb. 2.4 zu entnehmen ist, geschehen die häufigsten Unfälle bei denen Fußgänger involviert sind innerhalb von Ortschaften. So geschahen in Deutschland in 2010 über 90% aller Kollisionen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern innerhalb von geschlossenen Ortschaften, wobei bei diesen Unfällen ca. 70% aller getöteten Fußgänger registriert wurden. Ebenso deutlich zeigt sich die Verteilung der leicht- und schwerverletzten Fußgänger nach Ortsslage für Deutschland, was ebenfalls in Abb. 2.4 zu sehen ist. Über 90% aller leicht und schwer verletzten Fußgänger entfällt auf Unfälle im innerörtlichen Bereich.

2. Analyse des Unfallgeschehens

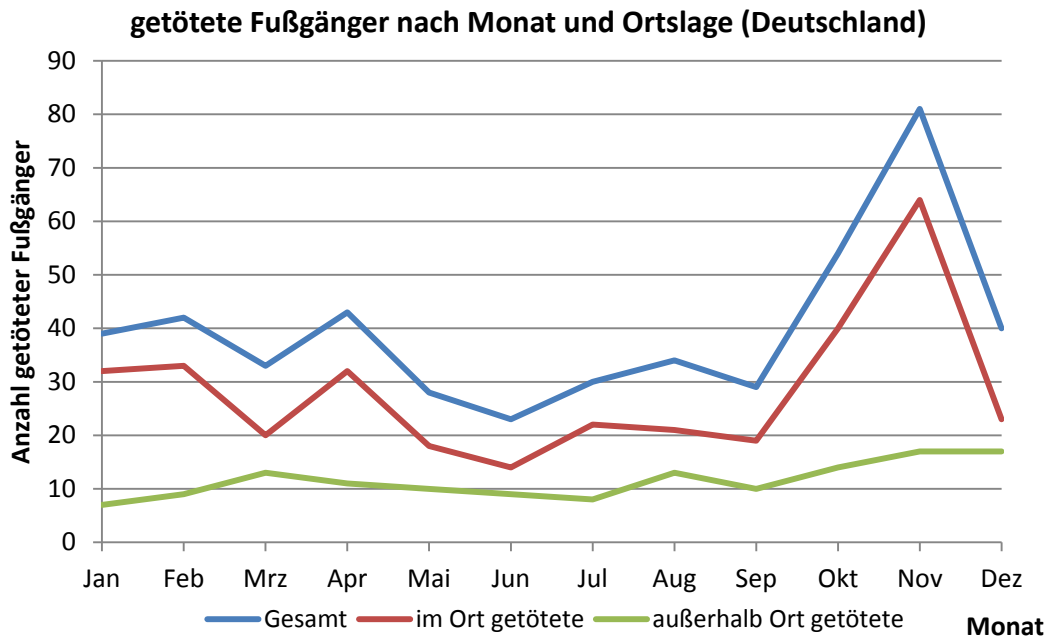


Abb. 2.3: Anzahl der getöteten Fußgänger nach Monaten, Deutschland [2]

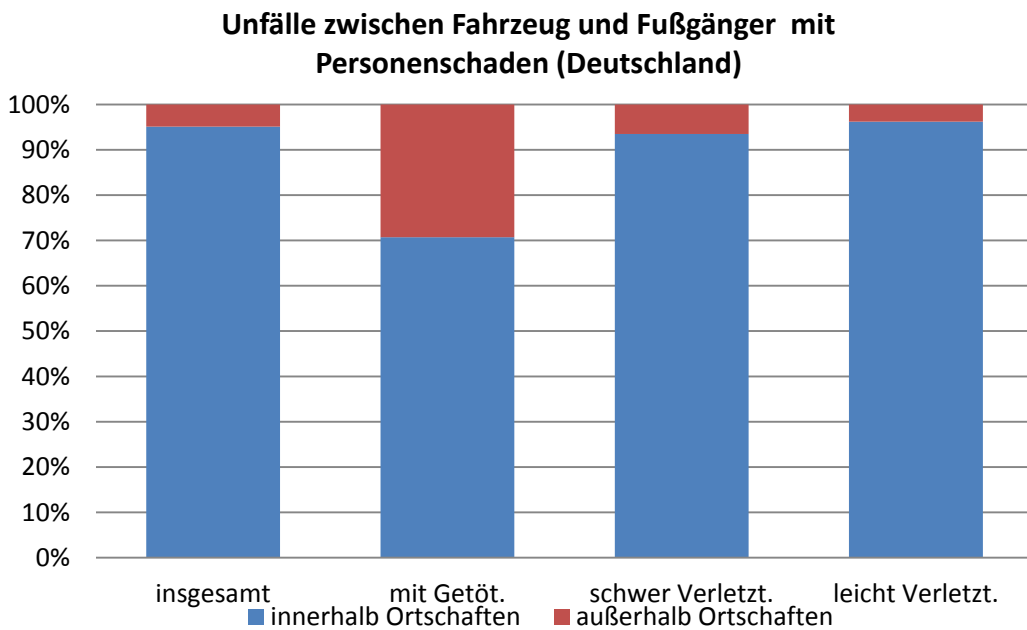


Abb. 2.4: Unfälle zwischen Fahrzeug und Fußgänger nach Ortslage und Art der Verletzung, Deutschland [2]

Die Verteilung ist im europäischen Vergleich ähnlich, wenn auch nicht ganz so stark ausgeprägt. Abb. 2.5 zeigt die Gegenüberstellung der verschiedenen Länder, welche diese Beobachtung widerspiegelt. Entsprechend zeigt sich auch die Verteilung der Unfälle auf die zulässigen Geschwindigkeiten am Ort des Unfalls. Bei

2. Analyse des Unfallgeschehens

78% aller in Deutschland registrierten Unfälle in denen Fußgänger beteiligt sind, war am Ort des Unfalls eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h, in über 14% der Fälle eine Beschränkung auf 30 km/h [3]. Alle weiteren Fälle sind verschwindend gering, wie dies auch aus Abb. 2.6 zu entnehmen ist.

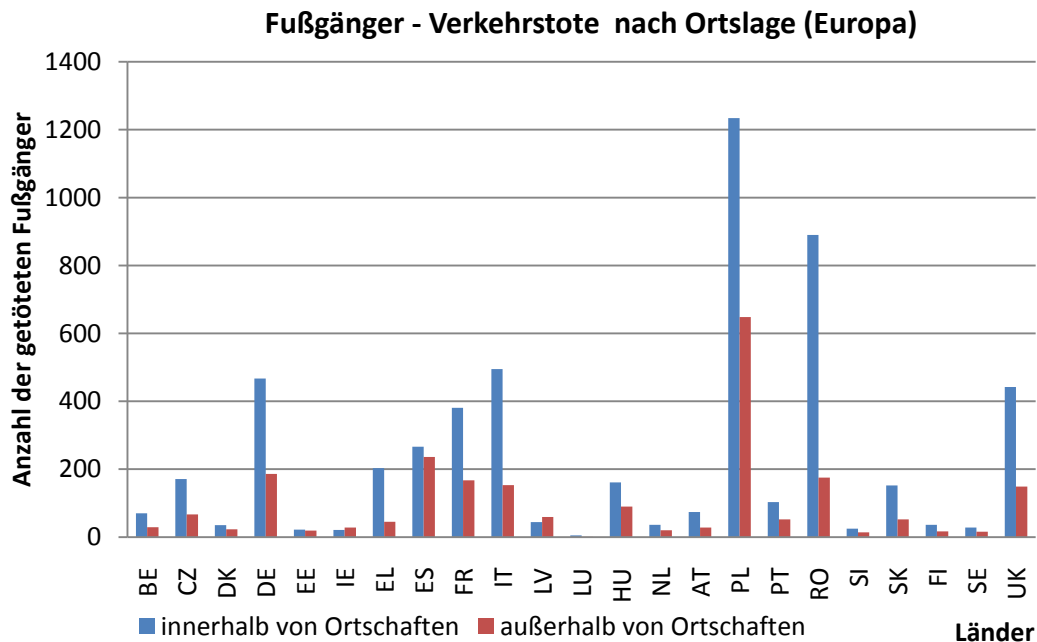


Abb. 2.5: Anzahl getöteter Fußgänger nach Ortslage pro Land, Europa [1]

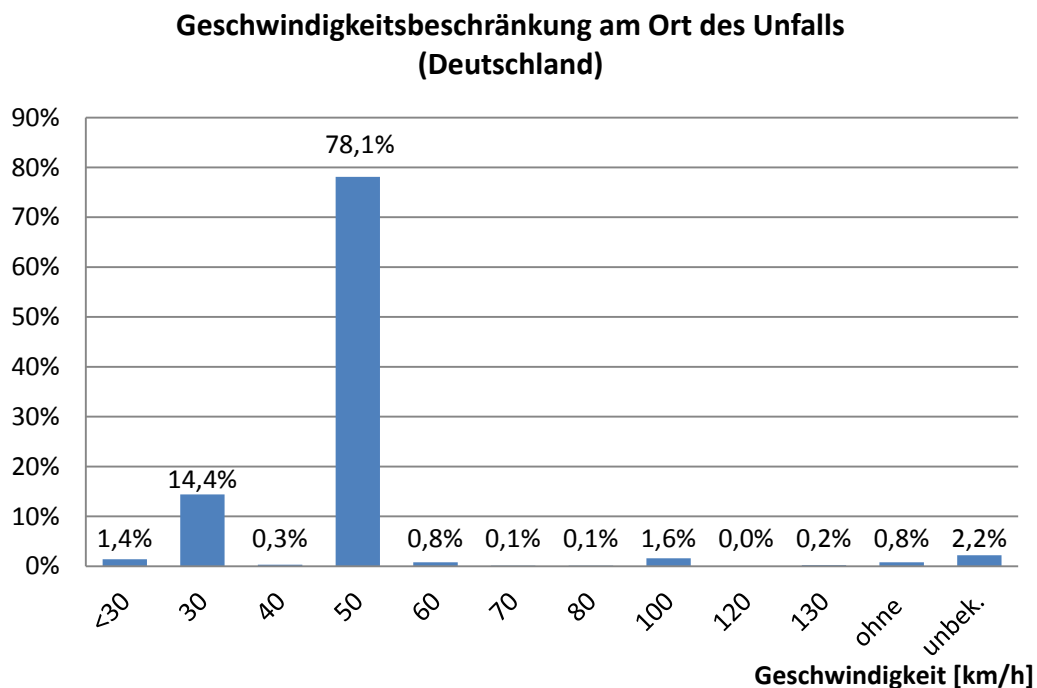


Abb. 2.6: zulässige Geschwindigkeitsbeschränkungen am Unfallort, Deutschland [3]

2.2 Eigenschaften des Unfallorts

Wie aus den bisherigen Betrachtungen bekannt, geschehen die meisten Unfälle innerhalb von Ortschaften. An den Orten der Unfälle ist in über 92% aller Fälle eine Geschwindigkeitsbeschränkung von nicht mehr als 50km/h vorgegeben. Die Anzahl, mit der verschiedene Unfallszenarien auftreten, gibt wiederum Aufschluss über die Relevanz eines Unfallszenarios. Wie gut vorstellbar ist, kann gibt es viele unterschiedliche Szenarien und kaum ein Unfall gleicht einem anderen. Jedoch können an Hand von verschiedenen Kernmerkmalen die Unfallszenarien in Typen von Szenarien klassifiziert werden. So kann nach Merkmalen wie, Sichtsituation zwischen Fahrzeug und Fußgänger vor dem Unfall und der Aktivität des Fahrers, z.B. einem Abbiegevorgang, unterschieden werden. So ist es möglich die Anzahl aller Unfallszenarien auf die folgenden relevanten Typen reduzieren:

Szenario Typ 1: Überschreiten der Fahrbahn mit möglichem Sichtkontakt

Das Szenario vom Typ 1 beschreibt Unfallszenarien, in denen eine freie Sicht zwischen Fußgänger und Fahrzeug gegeben sind, wie in Abb. 2.7 dargestellt.

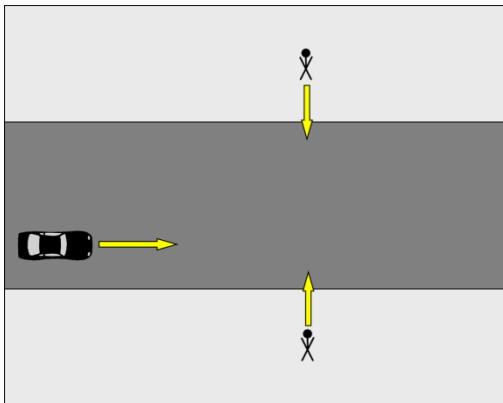


Abb. 2.7 Unfall Szenario Typ 1 [4]

Der Fußgänger tritt auf die Straße und wird vom Fahrzeug erfasst. Dieses Szenario ist, für Deutschland gesehen, das häufigste Unfallszenario [3], [4]. Hierbei kann es eine Vielzahl unterschiedlicher Gründe geben, die zu einem solchen Unfallszenario führen. Zum einen sind hier die von Fußgängern verursachten Unfälle zu nennen, zum anderen aber auch die vom Fahrzeugführer verursachten Unfälle. Zu den Faktoren von Fußgängern verursachter Unfälle zählt die falsche Einschätzung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs beim Überqueren der Straße. Fußgänger, die die Straße überqueren möchten schätzen die Geschwindigkeit des herannahenden Fahrzeugs falsch ein und schaffen es nicht mehr rechtzeitig aus dem Gefah-

2. Analyse des Unfallgeschehens

renbereich zu entkommen, weder durch Rückkehr auf die zuvor betretene Straßenseite, noch auf die gegenüberliegende Straßenseite. Gründe für Fehleinschätzungen können unter Anderem fehlende Erfahrung, wie bei Kindern, aber auch perzeptive und sensorische Einschränkung von Menschen sein. Weiterhin ist es möglich, dass der Fußgänger das herannahende Fahrzeug gar nicht wahrnimmt, sei es durch übersehen des Fahrzeugs, durch Blendung anderer Lichtquellen oder durch Ablenkung. Auch neue Antriebstechnologien, wie Hybrid oder Elektroantriebe, erschweren die Wahrnehmung und Einschätzung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen auf Grund der stark verringerten Geräuschemission. Des Weiteren treten manche Fußgänger auf die Straße ohne auf den Verkehr zu achten. Gerade in Bereichen von Haltestellen ist eine besondere Achtsamkeit geboten. Fußgänger, die sich darauf konzentrieren einen bereits wartenden Bus oder Bahn zu erreichen, achten evtl. nicht mehr auf den Verkehr und treten dann unachtsam auf die Straße, obwohl Fahrzeuge herannahen. Weitere Gründe sind Einschränkungen der Wahrnehmungsfähigkeit bzw. des Einschätzungs- und Reaktionsvermögens des Fußgängers durch Einnahme von Medikamenten, Alkohol oder Drogen. Gefahren werden nicht rechtzeitig oder gar nicht mehr erkannt, bzw. eine Reaktion wird verlangsamt oder gänzlich verhindert. Es treten aber auch unterschiedliche Szenarien, auf in denen der Fahrer des Fahrzeugs das Vorrecht des Fußgängers nicht gewährt, wie z.B. an einem Zebrastreifen. In einem solchen Szenario erkennt der Fahrer des Fahrzeugs den Fußgänger zu spät, um dessen Vorhaben des Überquerens der Straße zu erkennen. Ein schlichtes Übersehen des Fußgängers ist auch möglich. Nicht beachten von Ampelanlagen an Fußgängerfurten stellt einen weiteren Grund von Unfällen dar, der von Fahrzeugführern verschuldet wird.

Szenario Typ 2: Überschreiten der Fahrbahn ohne vorherigen, möglichen Sichtkontakt

Das Szenario vom Typ 2 beschreibt Unfallszenarien, in denen keine freie Sicht zwischen Fußgänger und Fahrzeug gegeben sind, wie in Abb. 2.8 dargestellt. Der Fußgänger tritt aus der Verdeckung auf die Fahrbahn und wird vom Fahrzeug erfasst. Gründe für Unfallszenarien diesen Typs können sich ähnlich gestalten wie die des Unfallszenario Typ 1. Der wesentliche Unterschied ist, dass in diesen Fällen sich der Fahrzeugführer und der Fußgänger im Vorfeld nicht sehen können. Der hauptsächliche Verursacher dieses Unfalltyps ist in diesen Fällen der Fußgänger, welcher entweder ungeachtet, in Fehleinschätzung, bzw. durch fehlende Einsehbarkeit des Verkehrs auf die Straße tritt.

2. Analyse des Unfallgeschehens

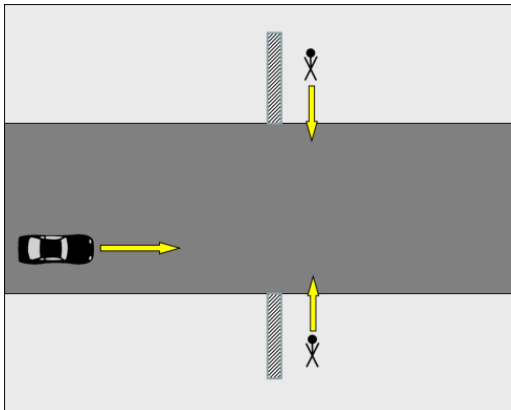


Abb. 2.8: Unfall Szenario Typ 2, [4]

Szenario Typ 3: Fußgänger wird beim Abbiegevorgang des Autos erfasst

Das Szenario vom Typ 3 beschreibt Unfallszenarien, in denen der Fahrer des Fahrzeugs in eine andere Straße oder in ein Grundstück abbiegt, wobei eine freie Sicht zwischen Fußgänger und Fahrzeug gegeben sein kann, wie in Abb. 2.9 dargestellt. Der Fahrzeugführer beachtet dabei den Fußgänger nicht, bzw. übersieht diesen, der gerade auf dem Gehweg läuft bzw. gerade die Straße überquert. In diesem Typ von Szenarien sind auch die Fälle eingeschlossen, in denen der Sichtkontakt zwischen Fahrzeugführer und Fußgänger verdeckt war, es sich aber um einen Abbiegeunfall handelt. In allen Fällen wäre dem Fußgänger der Vorrang zu gewähren.

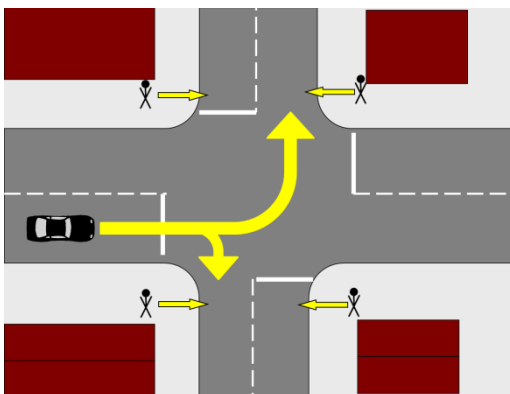


Abb. 2.9: Unfall Szenario Typ 3, [4]

Aus [4], [5] kann entnommen werden, dass für Deutschland diese drei, hier aufgezeigten Szenario Typen über 93% aller Unfallszenarien beinhalten, wobei 59% auf Szenarien des Typ 1 entfallen, ca. 27% auf Szenarien des Typ 2 und ca. 7% auf Szenarien des Typ 3. In mehr als 70% aller Fälle waren dabei die Straßenverhältnisse trocken, in ca. 25% der Fälle war die Fahrbahn feucht bzw. nass. Schnee und

2. Analyse des Unfallgeschehens

Eisglätte sind in verschwindend geringer Anzahl der Fälle vorzufinden, wie auch in Abb. 2.10 zu sehen ist. Diese Zahlen deuten darauf hin, dass an regenfreien Tagen mehr Fußgänger unterwegs sind als an regnerischen Tagen, dass Fußgänger an regnerischen Tagen eher nicht gewillt sind die Straßenseite zu wechseln oder, dass Fußgänger als auch Autofahrer mehr auf den Straßenverkehr achten.

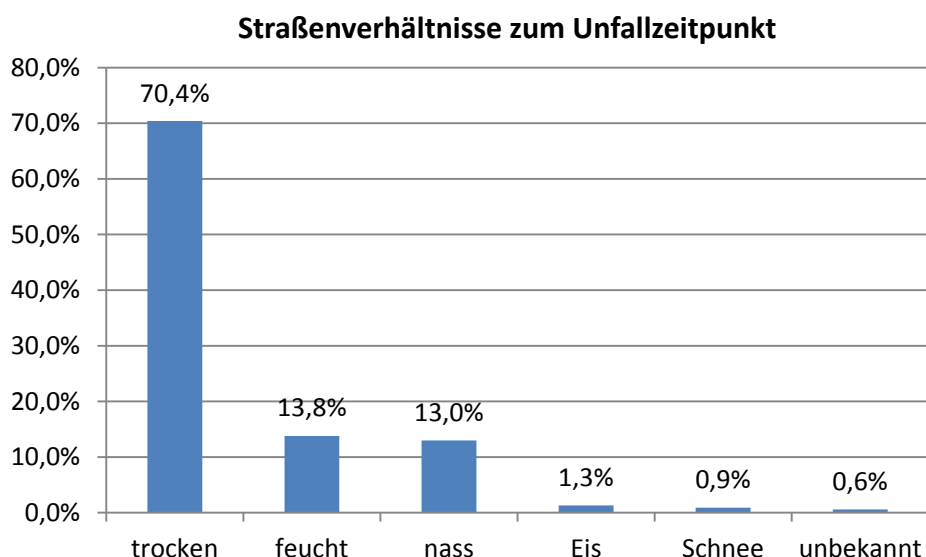


Abb. 2.10: Straßenverhältnisse bei Unfällen, Deutschland [3]

2.3 Alterszusammensetzung getöteter Fußgänger

Ein ebenso interessanter Aspekt ist die Altersstruktur tödlich verunglückter Fußgänger. Kinder bis zu einem gewissen Alter sind noch nicht in der Lage Geschwindigkeiten korrekt einzuschätzen, da Erfahrungswerte fehlen. Ältere Menschen wiederum neigen durch die Verschlechterung der sensorischen und perceptiven Fähigkeiten, wie Schwerhörigkeit und/ oder Sehschwäche, Fahrzeuge nicht mehr richtig wahrnehmen zu können bzw. deren Geschwindigkeit nicht mehr korrekt einschätzen zu können. Diese Bedingungen lassen höhere Zahlen von getöteten Fußgängern im Bereich von Kindern und älteren Personen vermuten. Wie in Abb. 2.11 und Abb. 2.12 zu sehen, werden die Zahlen für die Gruppe der Älteren Fußgänger durch die Statistiken gestärkt, die Gruppe der 0-15 Jährigen zeigt jedoch im Vergleich zu den anderen Altersgruppen keine erhöhten Anteil der getöteten Fußgänger.

2. Analyse des Unfallgeschehens

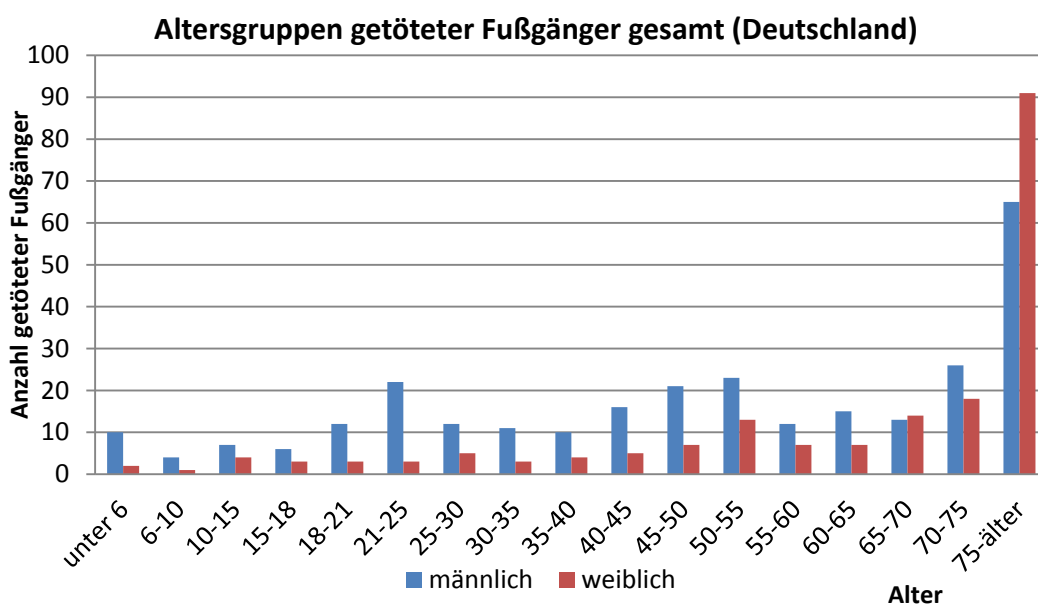


Abb. 2.11: Altersverteilung getöteter Fußgänger, Deutschland [2]

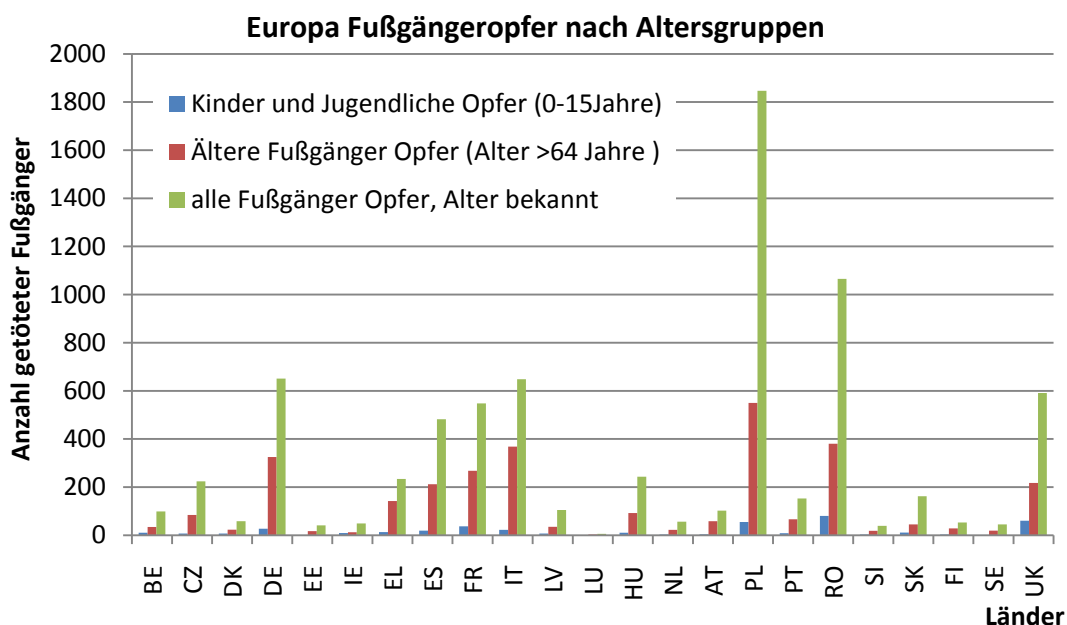


Abb. 2.12: Altersverteilung getöteter Fußgänger, Europa [1]

Die Verteilung der Altersgruppen im Bezug zur Ortslage zeigt im Gebiet Deutschlands für Unfälle außerhalb von Ortschaften sogar noch ein anderes Bild. Hier ist die Gruppe der männlichen Erwachsenen im Alter von 21-25 Jahren mit erhöhtem Anteil vertreten, hingegen die Gruppe der älteren Personen (über 65 Jahre) im Durchschnitt vergleichbar mit der Gruppe der 25-64 Jährigen. 0-18 Jährige sind hier sogar nur in sehr geringer Zahl vorzufinden, wie in Abb. 2.13 zu sehen.

2. Analyse des Unfallgeschehens

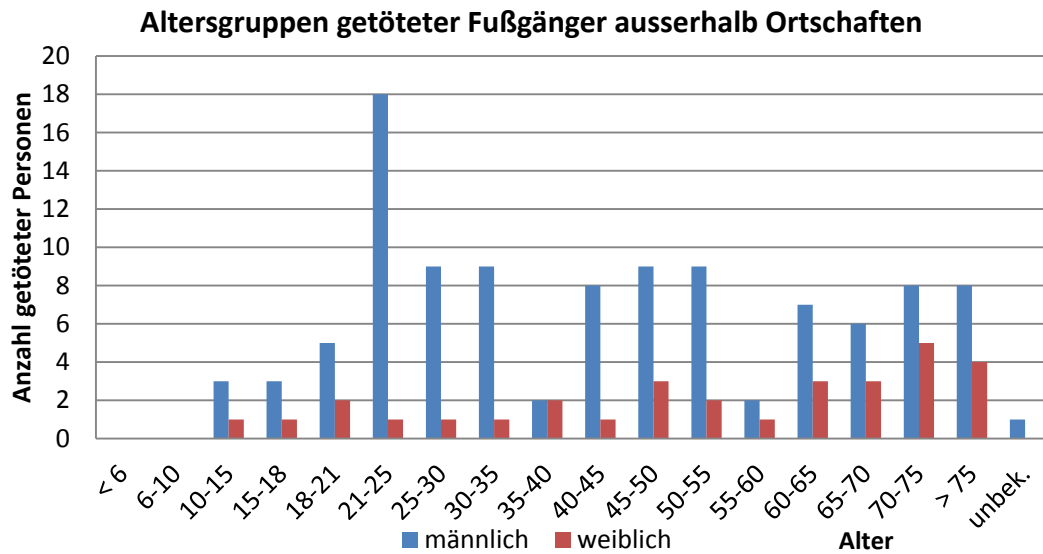


Abb. 2.13: Altersverteilung getöteter Fußgänger außerhalb Ortschaften, Deutschland [2]

Für Unfälle innerhalb von Ortschaften zeigt sich eine deutlich andere Verteilung, wie die Zahlen in Abb. 2.14 verdeutlichen. Hier ist der Anteil der älteren Personen (> 65 Jahre), wie bereits oben erwähnt, deutlich höher als die der anderen Altersgruppen. Besonders Personen im Alter über 75 Jahre sind hier stark betroffen. Aber auch im Bereich der 35-64 Jährigen zeigt sich eine erhöhte Zahl getöteter Fußgänger, verglichen zu den Altersgruppen der 0-35 Jahre alten Fußgänger.

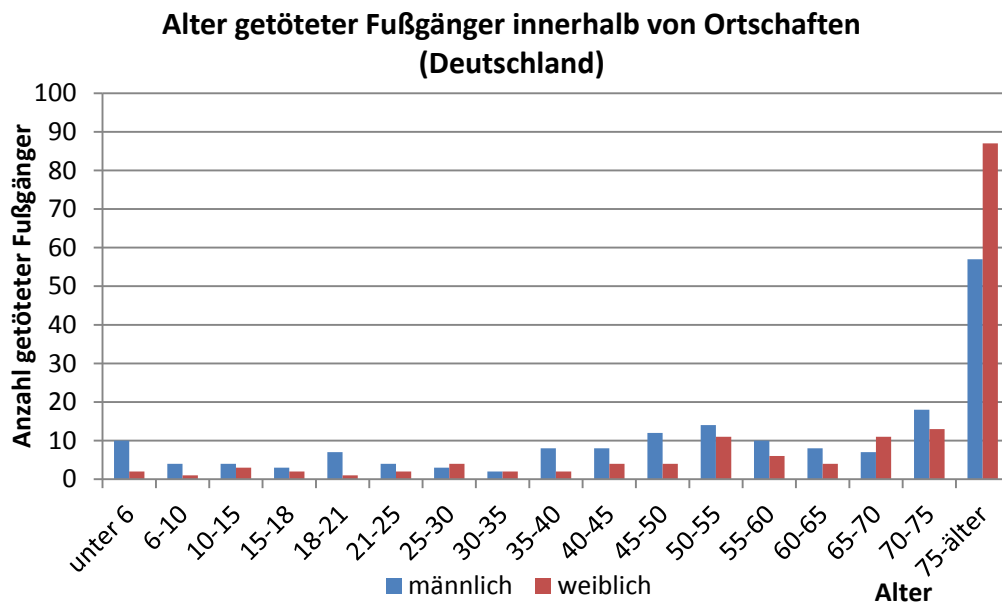


Abb. 2.14: Altersverteilung getöteter Fußgänger innerhalb von Ortschaften, Deutschland [2]

2. Analyse des Unfallgeschehens

Resümierend aus den betrachteten Statistiken sind die folgenden Beobachtungen zu ziehen: Die Zahl, der in Verkehrsunfällen getöteten Fußgänger ist zwar in den letzten Jahren in ganz Europa rückläufig, jedoch ist der prozentuale Anteil von Fußgängern im Verhältnis zu allen bei Verkehrsunfällen getöteten Personen leicht gestiegen auf über 20%. Vermehrt passieren Unfälle zwischen Fußgängern und Fahrzeugen in den ersten oder letzten Monaten des Jahres, wobei die Straßenverhältnisse zum Zeitpunkt des Unfalls in über 70% der Fälle trocken sind. Alle Unfallszenarien lassen sich auf drei wesentliche Szenario Typen reduzieren, welche zumindest für Deutschland, über 92% aller Unfallszenarien abdeckt. Die meisten Unfälle zwischen Fahrzeugen und Fußgängern passieren innerhalb von Ortschaften und zu über 93% an Orten, an denen eine Geschwindigkeitsbeschränkung von nicht mehr als 50km/h vorgeschrieben ist. Auf Grund der höheren Zahl von Unfällen zwischen Autos und Fußgängern innerhalb von Ortschaften werden auch dort die meisten bei Verkehrsunfällen leicht und schwer Verletzten bzw. getöteten Fußgänger registriert. Die Altersgruppe der am häufigsten in tödliche Zusammenstöße verwickelten Fußgänger ist mit großem Abstand im Alter von über 64 Jahren, gefolgt von Fußgängern der Altersgruppe 30-64 Jahre. Eine gewisse Auffälligkeit bietet noch die Gruppe der 21-25 jährigen, männlichen Fußgänger, die im Bereich der außerhalb von Ortschaften getöteter Fußgänger einen hohen Anteil einnimmt.

Referenzen:

- [1] CARE Database, online verfügbar: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/care_reports_graphics/index_en.htm EU Zahlen, zuletzt angesehen 31.12.2011
- [2] Statistisches Bundesamt, „Verkehr, Verkehrsunfälle, Bericht 2010“, Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Fachserie 8 Reihe 7, Artikelnummer: 2080700107004, Juli 2011
- [3] Prof. Dr.-Ing. Lars Wolf, „Überlegungen zur Verbesserung des Fußgängerschutzes durch Nutzung der Car-to-X-Technologie“, Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund TU Braunschweig, 2009, aus GIDAS Datenbank
- [4] Forschungsprojekt aktiv-AS, „Unfallanalyse und Funktionsspezifikation“, Bericht AP1000 AKTIV-SFR_V1.10.doc, Seite 12ff
- [5] Dr. Ing. W. Ziegler, „Assistenzsysteme für sicheres und komfortables Fahren“, Aachener PLT-Kolloquium, 04. Dezember 2009

3 Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

Die folgende Analyse, die auf [1] basiert, zeigt die diversen Parameter, die die Erfolgsaussichten eines Kollisionsvermeidungssystems bestimmen. Die verfügbare Zeit ist hierbei einer der wesentlich entscheidenden Faktoren. Nur wenn alle Schritte rechtzeitig abgearbeitet werden können, ist eine Kollision zu vermeiden. Wird ein Kollisionsvermeidungsszenario betrachtet, so besteht die verfügbare Zeit, um eine Kollision zu vermeiden aus den drei in Abb. 3.1 dargestellten Zeitabschnitten, welche im Folgenden erläutert werden. Diese Zeitabschnitte starten zum Zeitpunkt der möglichen Erkennung eines Fußgängers und enden zum Zeitpunkt des vollständigen Stopps des Fahrzeugs vor dem Fußgänger.

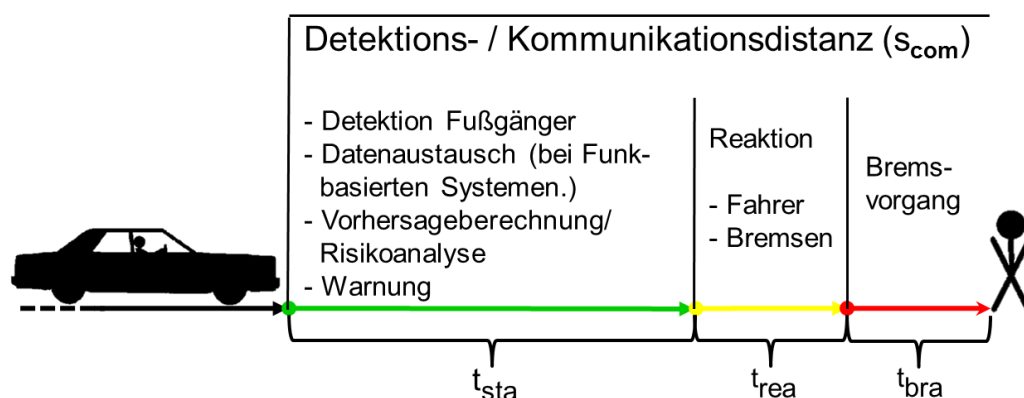


Abb. 3.1: Zeitabschnitte eines Kollisionsvermeidungsszenarios, analog zu [1]

Die drei sich ergebenden Zeitabschnitte definieren sich wie folgt:

1. $t_{system-time-available(sta)}$: Die verfügbare Zeit für das Kollisionsvermeidungssystem

Dieser Zeitabschnitt beschreibt die Zeit, die dem Kollisionsvermeidungssystem (KVS) zur Verfügung steht und wird somit in dieser Arbeit auch verfügbare Systemzeit genannt. Dieser Zeitabschnitt beginnt zu dem Zeitpunkt, an dem eine Erkennung des Fußgängers möglich ist. Innerhalb dieses Zeitabschnitts müssen neben der Detektion und Beobachtung des Fußgängers auch alle nötigen Berechnungen durchgeführt werden, um eine Vorhersage zum Kollisionsrisiko zu

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

machen. Wird ein funkbasiertes Kollisionsvermeidungssystem eingesetzt, so müssen auch alle Durchgänge zum Informationsaustausch zwischen den möglichen Kommunikationsentitäten durchgeführt werden. Die verfügbare Zeit für diesen Zeitabschnitt ist von diversen Parametern abhängig, deren Zusammensetzung in der Formel (1) wiedergegeben ist.

$$t_{sta} = \frac{\left(s_{com} - \left(\frac{v_{car}^2}{2 * a_{car}} \right) \right)}{v_{car}} - t_{rea} \quad (1)$$

Neben den Parameter t_{rea} , der als nachfolgender Zeitabschnitt erläutert wird, beinhaltet diese Formel folgende Parameter:

s_{com} : Der maximale Abstand, in dem ein Fußgänger detektiert werden kann. Für Kollisionsvermeidungssysteme beschreibt der Parameter den max. Kommunikationsabstand, in dem eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und dem Kommunikationsgerät des Fußgängers ausgeführt werden kann.

v_{car} : Die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs und

a_{car} : Die maximale Bremsverzögerung, die ein Fahrzeug durchschnittlich aufbringen kann.

Der Zeitabschnitt t_{sta} endet mit dem senden der Warnung und dem Beginn des nachfolgenden Zeitabschnitts

2. $t_{reaction(rea)}$: Der Zeitabschnitt der Reaktion

Dieser Zeitabschnitt beinhaltet die Zeit, in der der Fahrer und nachfolgend das Fahrzeug, im speziellen die Bremsen, reagieren müssen. Die Ermittlung der Reaktionszeit eines Fahrers wurde im Rahmen eines Experiments Anfang der achtziger Jahre von einem Studenten der TU Karlsruhe im Rahmen seiner Diplomarbeit in 3846 Einzelmessungen mit 41 Personen gemessen. Hierbei wurde die Zeit zwischen dem Aufleuchten einer Bremsleuchte und der Betätigung des Bremspedals durch den Fahrer des nachfolgenden Fahrzeugs gemessen. Statistische Auswertungen der Ergebnisse dieses Experiments wurden von Burckhardt [2] und Hugemann [3] durchgeführt. Hierbei zeigte sich eine mittlere Reaktionszeit der Probanden von 0,63s. Wie erwähnt muss zu diesem Wert noch die Zeit addiert werden, die die Bremsanlage eines Fahrzeugs benötigt, bis die Brems-

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

anlage des Fahrzeugs die Bremsbacken gegen die Bremsscheibe presst und eine tatsächliche Geschwindigkeitsreduzierung beginnt. Die benötigte Zeit zwischen der Betätigung des Bremspedals und dem Beginn der Geschwindigkeitsreduzierung begründet sich darin, dass einerseits der Bremsdruck aufgebaut werden muss und andererseits die Bremsbeläge einen gewissen Abstand zur Bremsscheibe/Bremstrommel haben. Dieser Weg des Bremsklotzes muss bei Initiierung des Bremsvorgangs noch zurückgelegt werden bevor das Fahrzeug abgebremst wird. Die Bremsenansprechzeit wird mit 0,2s angenommen. Moderne Fahrzeuge mit Brems-Assistenzsystemen haben eine reduzierte Bremsenansprechzeit, denn hier wird bei Gefahrenerkennung bereits die Bremse auf eine Vollbremsung vorbereitet. Diese Vorbereitung beinhaltet den Aufbau des Bremsdrucks und das Anlegen der Bremsklötze an die Bremsscheibe/ Bremstrommel. Durch diese Bremsenvorbereitung wird zwar nur ein wenig Zeit gewonnen, diese kann jedoch entscheidend durch eine Verkürzung des Bremswegs auswirken.

Für die Gesamtreaktionszeit des Fahrers von 0,63s und der Bremsenansprechzeit von 0,2s ergibt sich somit die Dauer von 0,83s.

3. $t_{\text{braking(bra)}}$: **Der Zeitabschnitt der tatsächlichen Geschwindigkeitsreduzierung**

Innerhalb dieses Zeitabschnitts muss das Fahrzeug rechtzeitig von der aktuellen Geschwindigkeit zum Stillstand gebracht werden. Einfluss auf die Länge dieses Zeitabschnitts haben maßgeblich die Geschwindigkeit und die maximale Bremsverzögerung des Autos. Die benötigte Zeit für diesen Zeitabschnitt berechnet sich aus $t_{\text{bra}} = \frac{v_{\text{car}}}{a_{\text{car}}}$. Den Einfluss der einzelnen Parameter auf die Dauer dieses Zeitabschnitts und somit auch auf den Zeitabschnitt t_{sta} wird im weiteren Text erläutert.

Zur Veranschaulichung des Einflusses der einzelnen physikalischen Parameter wird die Analyse an Hand eines typischen Unfallszenarios durchgeführt. Hierbei gelten folgende Parameterwerte, wenn nicht anders vorgegeben. Es wird ein Szenario gewählt, welches innerhalb einer Ortschaft ist. Es ist eine maximal erlaubte Geschwindigkeit von 50km/h gegeben, somit wird diese Geschwindigkeit für v_{car} gewählt. Die Detektionsdistanz bzw. Kommunikationsdistanz s_{com} soll im Szenario 50m betragen, wie in Abb. 3.2 dargestellt ist.

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

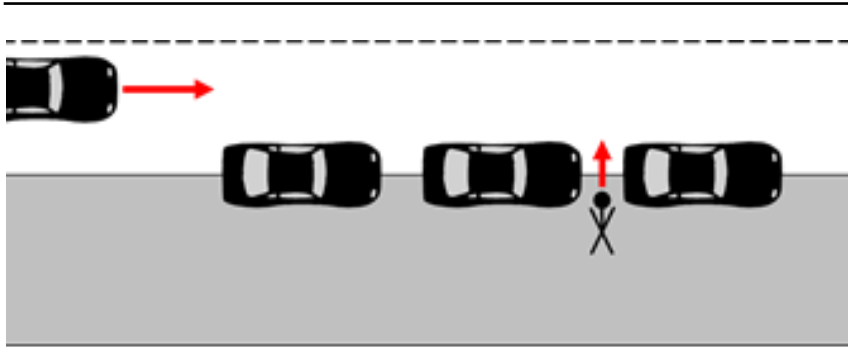


Abb. 3.2: Typisches Unfallszenario [1]

Die maximale Bremsverzögerung a_{car} ist mit $10,4 \text{ m/s}^2$ gegeben. Mit Hilfe dieses Werts kann nun an Hand der Formel (1) der Wert für die verfügbare Zeit des Kollisionsvermeidungssystems $t_{\text{sta}} = 2.1 \text{ s}$ berechnet werden. Der Wert für die hier angenommene maximale Bremsverzögerung ist ein Durchschnittswert. Die Festlegung des Werts und den Einfluss, den eine Änderung der Parameterwerte auf die verfügbare Zeit des Kollisionsvermeidungssystems t_{sta} hat, wird nun erläutert.

Die maximale Bremsverzögerung des Fahrzeugs a_{car}

Nachdem der Fahrer auf ein Ereignis mit einer Notbremsung reagiert hat, ist es äußerst wichtig innerhalb kürzester Zeit zum Stillstand zu kommen. Fahrzeughersteller und Zulieferer arbeiten daher auch ständig an der der Bremsen-, Reifen- und Fahrwerksoptimierung. Um die maximale Bremsverzögerung eines Fahrzeugs zu bestimmen wird in diversen Tests, wie z.B. vom ADAC [4], das Bremsverhalten von Fahrzeugen untersucht. Hierzu wird das jeweilige Auto von einer Anfangsgeschwindigkeit bis zum Stillstand mit voller Bremswirkung abgebremst und der benötigte Weg gemessen. Dabei wird darauf geachtet, dass alle Umgebungsparameter, wie Untergrund, Feuchtigkeit, Temperatur, etc. so identisch wie möglich sind, um eine Vergleichbarkeit der Messwerte zu gewährleisten. Bei den betrachteten Tests wurden Bremswege aus Geschwindigkeit von 100 km/h gemessen. Ein Beispiel von den in 2007 am häufigsten neu zugelassenen Fahrzeugen und deren Bremswegen von 100 auf 0 km/h ist in Tabelle 3.1 gelistet.

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

Rang Neuzulassungen	Modell		Bremsweg [m] von 100 auf 0 km/h
1	VW Golf	1.4 TSI Comfortline	38
2	VW Passat	2.0 FSI Sportline	38,5
3	Mercedes C-Klasse	C180 Kompressor Elegance	36,5
4	Opel Astra	1.6 Twinport Elegance	38
5	Audi A4	1.8 TFSI Ambition	34
6	BMW 3er	320d (DPF)	36
7	VW Polo	1.6 Trendline	38
8	BMW 1er	120i	37
9	Mercedes A-Klasse	A 170 Classic	37,5
10	Opel Corsa	1.0 Twinport Edition	37,5
Mittelwert			37,1

Tab. 3.1: Bremswege von Fahrzeugen der Top 10 in Deutschland 2007 [4]

Zur Betrachtung der Tendenz für die Annahmen in dieser Arbeit wird der Mittelwert über alle Bremswege berechnet. Mit Hilfe des Werts kann nun die maximale Bremsverzögerung wie folgt errechnet werden:

$$s = \frac{v^2}{2a} \quad (2) \quad \rightarrow \quad a = \frac{v^2}{2s} \quad (3)$$

mit a = Verzögerung, s = Bremsweg, v = Geschwindigkeit

Daraus ergibt sich für den oben genannten Mittelwert:

$$a_{car} = \frac{v^2}{2s} = \frac{\left(100 \frac{km}{h}\right)^2}{2 \cdot 37,1 m} = 10,399 \frac{m}{s^2}$$

Die durchschnittliche maximale Bremsverzögerung beträgt somit $a_{car} = 10,4 \frac{m}{s^2}$. Für die festgelegte Geschwindigkeit des Szenarios von $v_{car} = 50km/h$ ($13,9m/s$) berechnet sich nun der Bremsweg

$$s = \frac{\left(13,9 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 10,4 \frac{m}{s^2}} = 9,27m$$

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

und die benötigte Bremszeit:

$$t = \frac{v_{car}}{a} = \frac{13,9 \frac{m}{s}}{10,4 \frac{m}{s^2}} = 1,336 \text{ s.}$$

Für die Zeit t_{sta} ergibt sich somit:

$$t_{sta} = \frac{\left(50m - \left(\frac{(13,9 \frac{m}{s})^2}{2 * 10,4 \frac{m}{s^2}} \right) \right)}{13,9 \frac{m}{s}} - 0,83s = 2,1s$$

Um die Auswirkungen von Änderungen der maximalen Bremsverzögerung a_{car} auf den Bremsweg zu bestimmen als auch auf die verfügbare Zeit t_{sta} , werden nun die Bremswege und Werte t_{sta} für Werte von a_{car} zwischen $8 \frac{m}{s^2}$ und $11 \frac{m}{s^2}$ berechnet. Dieses Wertespektrum deckt die Mehrzahl aller modernen Automobile ab. Abb. 3.3 zeigt die resultierenden Ergebnisse für die Bremswege, Abb. 3.4 die Werte für die resultierende Zeit t_{sta} .

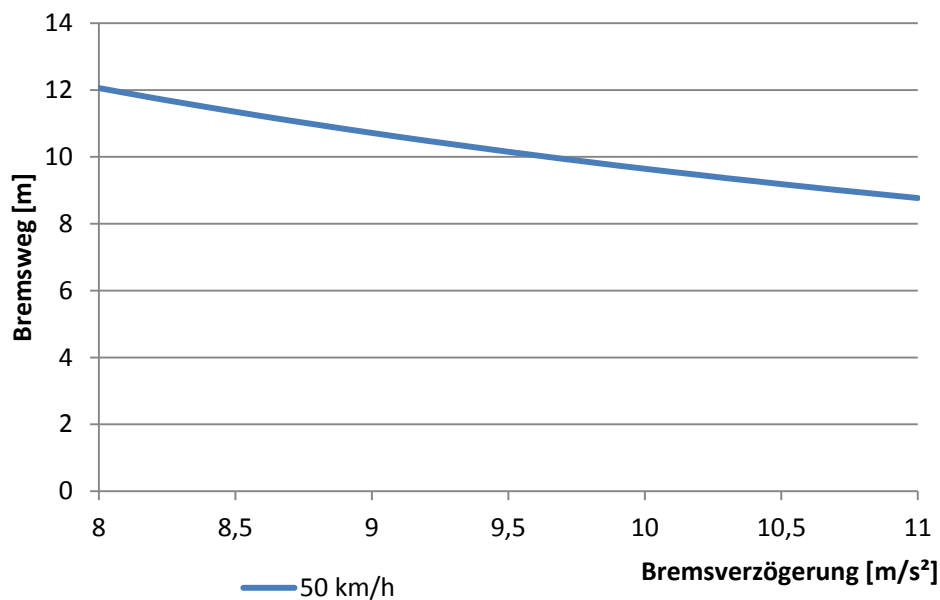


Abb. 3.3: Bremsweg in Abhängigkeit zur maximalen Bremsverzögerung, $v = 50\text{km/h}$, [1]

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

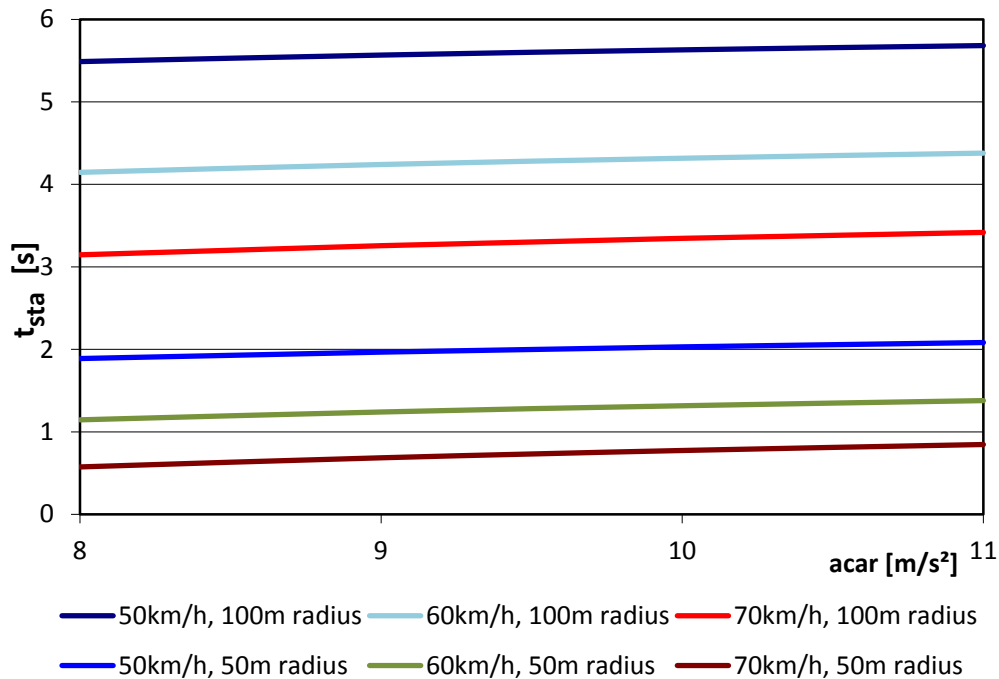


Abb. 3.4: Die verfügbare Systemzeit (t_{sta}) in Abhängigkeit zur maximalen Bremsverzögerung (a_{car}) [1]

Es zeigt sich, dass sich die Bremswege bei $a_{car} = 8\text{m/s}^2$ und $a_{car} = 11\text{m/s}^2$ um 3,3m differenzieren, des Weiteren berechnen sich die $t_{sta} = 1,89\text{s}$ für die Werte $a_{car} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und $t_{sta} = 2,13\text{s}$ für $a_{car} = 11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Auch wenn die Differenz der Werte für t_{sta} sehr gering erscheinen mag, so kann doch diese kleine Differenz entscheidend sein, ob eine Kollision vermieden werden kann oder nicht.

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

Der maximale Detektionsabstand bzw. der Kommunikationsradius s_{com}

Der maximale Detektionsabstand s_{com} definiert den größten Abstand zu dem ein Fußgänger detektiert werden kann. Dieser ist durch physikalische Gegebenheiten wie Straßenverlauf, Auflösung der Kamera, Lichtverhältnisse, etc. teilweise stark eingeschränkt. Beim Einsatz eines funkbasierten Kollisionsvermeidungssystems können diese Einschränkungen zum Teil aufgehoben werden, abhängig von der eingesetzten Funktechnologie. So haben ad-hoc Netzwerke eine eingeschränkte Reichweite, zellulare Netze hingegen können auch über weite Entfernungen hinweg Daten übertragen. In einem Kollisionsvermeidungsszenario ist eine Distanz über mehrere hundert Meter im innerörtlichen Bereich bereits unnötig hoch, da aus der Menge aller Fußgänger, welche im Kommunikationsbereich sind, die Menge an Personen herausgefiltert werden muss, die ein hohes Kollisionspotential aufweisen. Auch ist ein Fußgänger in seinen Bewegungen sehr dynamisch, daher sinkt bei längerem Vorhersagezeitraum die Zuverlässigkeit von Vorhersagen. Auf der anderen Seite bedeutet ein größerer Kommunikationsradius eine erhöhte verfügbare Zeit für das Kollisionsvermeidungssystem. Die verfügbaren Zeiten, die sich für die unterschiedlichen Kommunikationsradien und die oben genannten Szenarien – Parameterwerte ergeben sind in Abb. 3.5 dargestellt. Es zeigt sich, dass die verfügbare Zeit t_{sta} linear abhängig ist vom Kommunikationsradius. Dies ergründet sich aus der Tatsache, dass die Strecke, um die der Kommunikationsradius erweitert wird, mit konstanter Geschwindigkeit durchfahren wird.

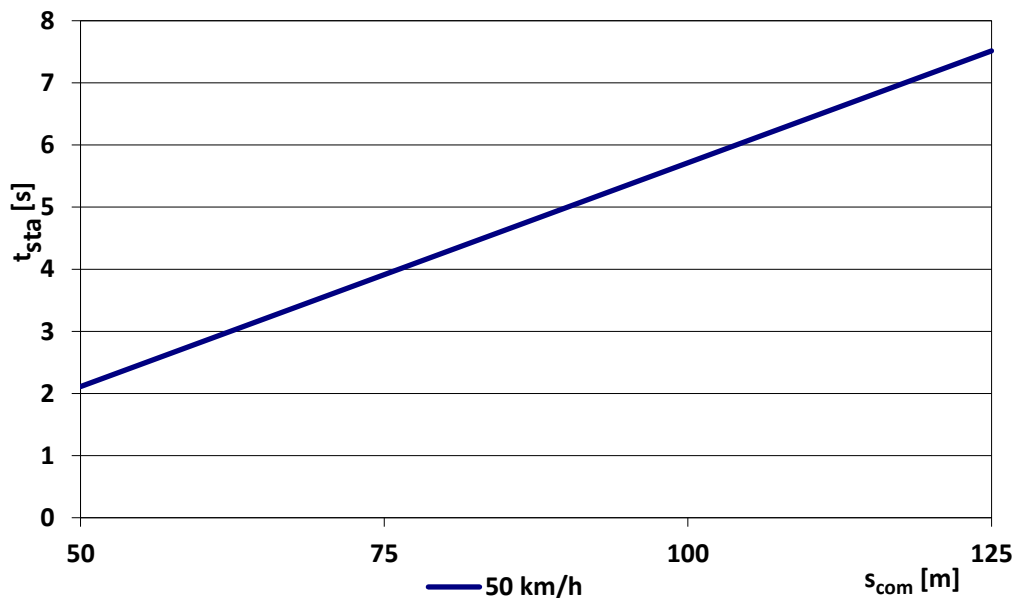


Abb. 3.5: Verfügbare Systemzeit (t_{sta}) in Abhängigkeit zum Kommunikationsradius (s_{com}) [1]

Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs v_{car}

Die Geschwindigkeit v_{car} definiert die Geschwindigkeit mit der sich das Fahrzeug bewegt. Diese beeinflusst t_{sta} zweifach. Zum einen wird die Dauer, die benötigt wird, um die Distanz zwischen Eintritt in die Detektionsdistanz und bis zum Punkt, an dem das tatsächliche Abbremsen des Fahrzeugs erfolgen muss bestimmt. Die Zeitabschnitte, die diese Dauer überspannen sind t_{sta} und t_{rea} . Die Dauer berechnet sich aus der zur Verfügung stehenden Strecke und der Geschwindigkeit: $t = \frac{s}{v}$ (ergibt sich aus $s = v * t$). Die benötigte Zeit zum Zurücklegen der Strecke ist daher linear abhängig von der Geschwindigkeit. Zusätzlich hat die Geschwindigkeit des Fahrzeugs jedoch auch noch einen Einfluss auf den Bremsweg bzw. die benötigte Bremszeit t_{bra} . Hier fließt die Geschwindigkeit zum Quadrat ein, sodass auch die verfügbare Zeit für das Kollisionsvermeidungssystem t_{sta} entsprechend zum Quadrat von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs v_{car} beeinflusst wird. Eine Dopplung der Geschwindigkeit ergibt somit die vierfach benötigte Bremszeit bzw. Bremsweg. In Kombination mit der Strecke s_{com} wird somit auch der Einsatz eines Kollisionsvermeidungssystems durch die Geschwindigkeit eingeschränkt. Reduziert sich die verfügbare Zeit t_{sta} so weit, dass ein System nicht mehr in der Lage ist alle Detektions-, Berechnungs- und Kommunikationsschritte in der verfügbaren Zeit durchzuführen, so kann auch keine Warnung mehr rechtzeitig an den Fahrer ausgegeben werden. In Abb. 3.6 sind die resultierenden Zeiten für t_{sta} in Abhängigkeit zu v_{car} aufgeführt.

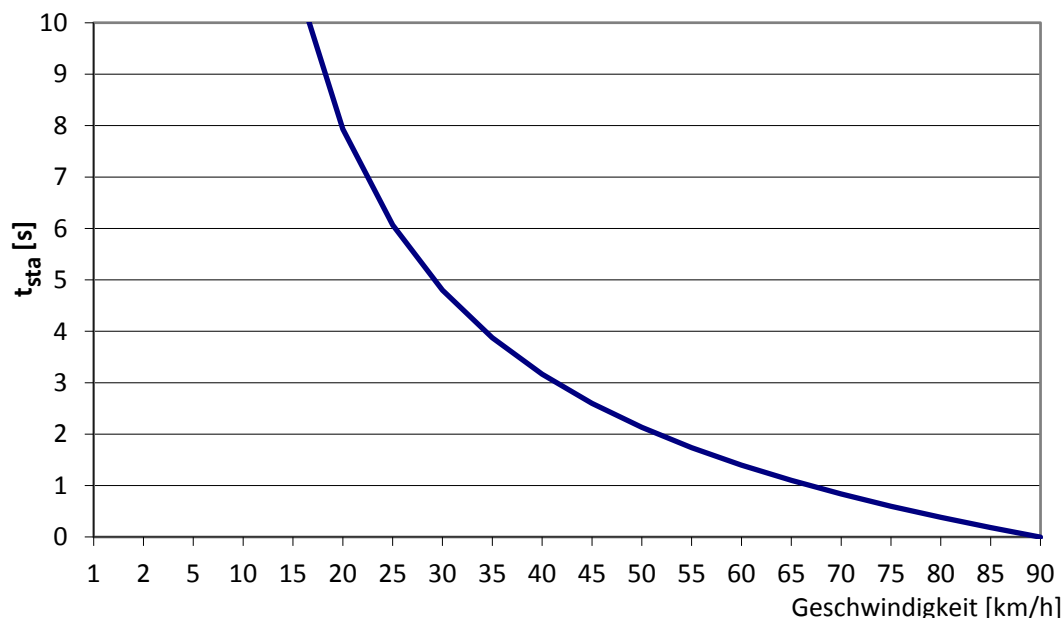


Abb. 3.6: Verfügbare Systemzeit (t_{sta}) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (v_{car}) [1]

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

Zur Darstellung, wie sich eine Kombination aus geänderten Werten von a_{car} und v_{car} auf t_{sta} auswirken ist in Abb. 3.7 ein solcher Zusammenhang dargestellt. Es zeigt sich, dass bei geringerer Bremsverzögerung a_{car} die mögliche Geschwindigkeit etwas reduziert wird, jedoch eine erhöhte Geschwindigkeit nicht einfach durch bessere Bremsverzögerung ausgeglichen werden kann.

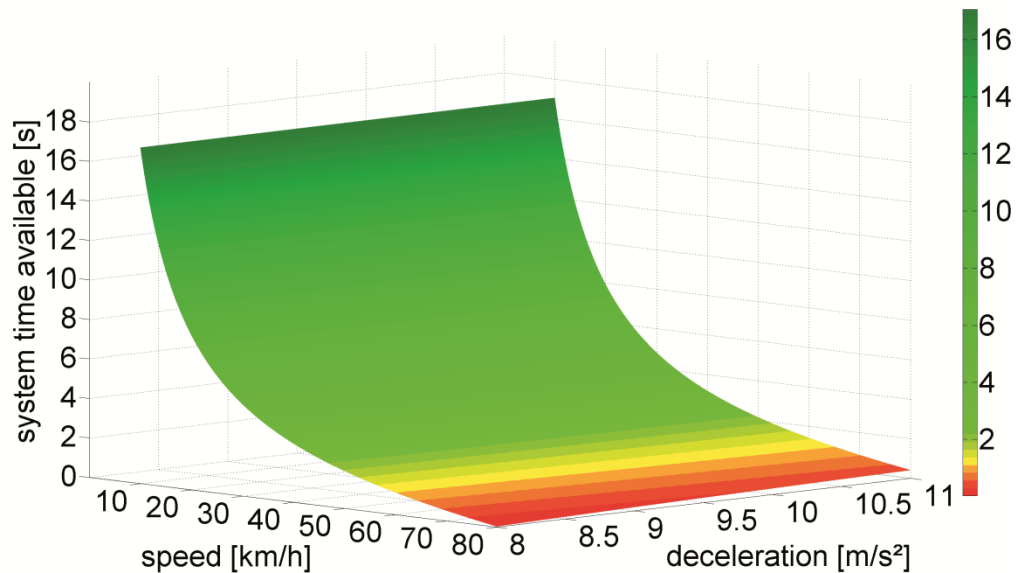


Abb. 3.7: Verfügbare Systemzeit (t_{sta}) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (v_{car}) und maximaler Bremsverzögerung (a_{car}) [1]

In diesem Kapitel wurde die Analyse des Einflusses der physikalischen Parameter Geschwindigkeit des Autos v_{car} , maximale Bremsverzögerung a_{car} , Reaktionszeit t_{rea} , Bremszeit t_{bra} und Kommunikationsdistanz s_{com} auf die verfügbare Zeit für ein Kollisionsvermeidungssystem t_{sta} vorgestellt. Es wurde gezeigt, wie sich die verfügbare Zeit t_{sta} für bestimmte Wertebereiche der verschiedenen Parameter ändert. Hierbei wurde an Hand der Werte $a_{\text{car}} = 10,4\text{m/s}^2$, $t_{\text{rea}} = 0,83\text{s}$, $s_{\text{com}} = 50\text{m}$ und der Geschwindigkeit eines typischen Unfallvermeidungsszenarios Innerorts $v_{\text{car}} = 50\text{km/h}$ als verfügbare Zeit für ein Kollisionsvermeidungssystem $t_{\text{sta}} = 2.1\text{s}$ berechnet. Dieser Wert dient als Basis für die Umsetzbarkeit und Erfolgsaussichten eines Kollisionsvermeidungssystems.

3. Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

Referenzen:

- [1] A. Flach, K. David, "A physical analysis of an accident scenario between cars and pedestrians," in Proc. IEEE VTC 2009, Anchorage, Sept. 2009
- [2] Burckhardt, M., „Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen“, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1985
- [3] Hugemann, W. "Driver Reaction Times in Road Traffic, EVU Jahrestagung, Portoz, Slovenia 2002.
- [4] The ADAC website: <http://www.adac.de/infotestrat/tests/auto-test/>, last checked 11.07.11

4 Stand der Technik

4.1 Präventiver Fußgängerschutz

Im Bereich des präventiven Fußgängerschutzes werden unterschiedliche Ansätze zur Kollisionsvermeidung zwischen Fußgängern und Autos verfolgt. Die unterschiedlichen Technologien, die hierfür verwendet werden bieten eine erste Möglichkeit zur Klassifizierung in

- bordautonome Systeme,
- kooperative Systeme, unter Verwendung absoluter Positionierung.

Allen Systemen ist dabei die in Abb. 4.1 dargestellte Prozesskette gemein, wie sie in [1] vorgestellt wird.

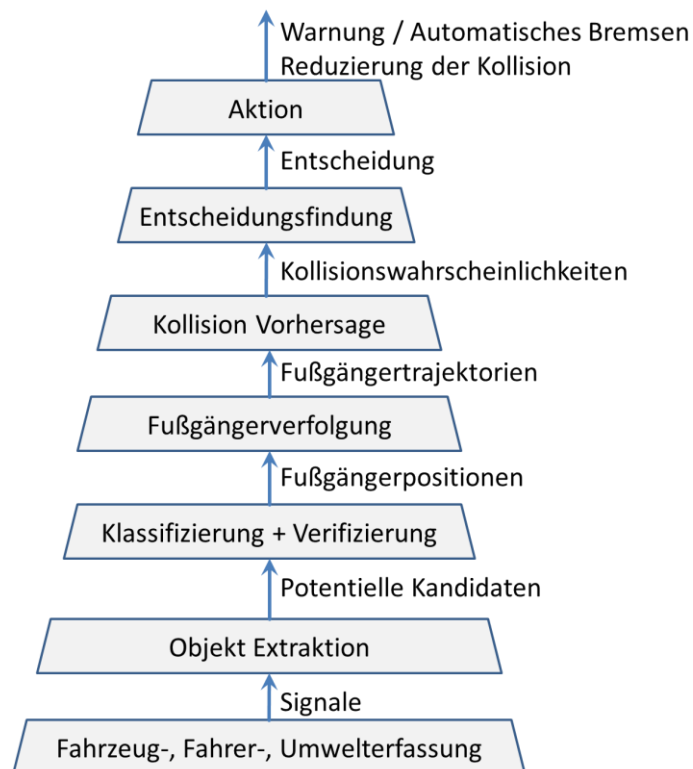


Abb. 4.1: Prozesskette eines Fußgänger – Kollisionsvermeidungssystems, Nachzeichnung basierend auf [1]

Kooperative Systeme, also Systeme die auf absoluter Positionierung oder auf relativer Positionierung mit Hilfe eines Transponders basieren, fassen jedoch einzelne Schritte zusammen. Die zusammengefassten Schritte ergeben sich aus der bereits verfügbaren Information, die solche Systeme durch die vom Fußgänger mitgeführten Geräte bereits implizit zur Verfügung stellen. So sind bei diesen Ansätzen die Schritte der Erfassung, Extraktion und Klassifizierung in einem Schritt zusammengefasst. Dies ist möglich, da bereits bekannt ist, dass es sich bei dem Objekt um einen Fußgänger handelt und durch die Positionierung auch bekannt ist, wo sich dieser aufhält.

Im Folgenden soll kurz erläutert werden, welche Technologien im Einzelnen eingesetzt werden und welche besonderen Eigenschaften diese besitzen.

4.1.1 Bordautonome Systeme

Bordautonome Systeme bieten ein breites Spektrum an verfügbaren Detektionstechnologien und Ansätzen, wie diese Detektionstechnologien zum Fußgänger-schutz eingesetzt werden können. Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über die genutzten Technologien gegeben werden und ein kurzer Einblick über die Schritte, die diese Ansätze beinhalten.

4.1.1.1 Kamera basierte Systeme des sichtbaren Spektrums

Die Ansätze dieser Gruppe nutzen am Fahrzeug angebrachte Kameras, entweder eine Kamera für Mono Sicht oder zwei Kameras für Stereo Sicht. Um eine zuverlässige Fußgängererfassung zu erzielen ist bereits die Erfassung der Umwelt entscheidend. Eine Anpassung und Kalibrierung der Kamera als auch die Erkennung der Lage ist daher entscheidend für das Ergebnis der nachfolgenden Schritte. Jedoch sind durch schnelle Wechsel der Umgebung und Lichtverhältnisse, Anpassungen von Belichtung und Dynamikbereich in Echtzeit eine entscheidende Herausforderung dieser Systeme. Auf Grund enger Straßen, hoher Häuser, kurzen Tunneln und Alleen und den resultierenden schnellen Wechseln zwischen Licht und Schatten, ist besonders im innerstädtischen Bereich die Gefahr von Über-, oder Unterbelichteten Aufnahmen hoch. Auch eine Unter- bzw. Übersättigung der Aufnahmen kann hierbei entstehen.

Des Weiteren ist eine Kalibrierung der Kamera notwendig, um die intrinsischen und extrinsischen Parameter zu bestimmen und zu berücksichtigen. Intrinsische Parameter, wie Brennweite, Pixelgröße, etc. werden hierbei einmalig bestimmt und wiederverwendet. Extrinsische Parameter, welche Position und Orientierung

der Kamera definieren, werden stetig neu berechnet. Dieser Vorgang wird auch Kamera Positionsabschätzung bezeichnet.

Zur Kalibrierung werden bei Systemen basierend auf einer Kamera hauptsächlich visuelle Merkmale genutzt. So wird z. B. in [2] und [3] eine Korrektur der vertikalen Bildposition durch Erkennung von Schwingungen von horizontalen Kanten vorgeschlagen. In diesem Ansatz wird der Horizont mit Hilfe den vorherigen Aufnahmen bestimmt. In [4] wird ein Vergleich der Positionsbestimmung unterschiedlicher Ein-Kamera Systeme vorgestellt. Ebenso existieren für stereobasierte Positionsbestimmung unterschiedliche Systeme. So verwendet eine Gruppe von Ansätzen den Unterschied der Aufnahmen beider Kameras, um die Neigung zu bestimmen. Des Weiteren wird der Unterschied genutzt, um die Existenz von vertikalen Objekten zu bestimmen. Hierzu wird geprüft, wie in [5] und [6] dargestellt, ob der aufgerechnete Unterschied einer Reihe eines Bildes sich sehr von denen der Nachbarreihen unterscheidet.

Nach der Aufzeichnung müssen nun im nächsten Schritt die Regionen bestimmt werden, die für die weitere Betrachtung von besonderem Interesse sind. Dabei besteht die Herausforderung darin, die Anzahl der möglichen Kandidaten zu reduzieren, aber auch ein Absuchen irrelevanter Regionen, wie den Himmel, zu vermeiden. Sollten in diesem Schritt Fußgänger in der Erkennung „verloren“ werden, so können auch die nachfolgenden Schritte diesen Fehler nicht wieder korrigieren. Zur Erkennung von Fußgängern wurde daher ein Modell entwickelt, welches im Englischen „*pedestrian size constraint*“ genannt wird, übersetzt „*Fußgänger Größen Bedingung*“. Dieses Modell beschreibt die Parameter, die eine Region erfüllen muss, um in Erwägung gezogen zu werden, dass ein Fußgänger in dieser Region ist. Die genutzten Parameter beziehen sich auf das Streckungsverhältnis, Größe und Position und der Annahme, dass eine Person eine bestimmte Größe hat. Damit die Größe der Person nicht zu sehr eingeschränkt ist, wird hier eine gewisse Standardabweichung dieses Parameters angenommen. Um nun die Regionen zu bestimmen gibt es einfache Ansätze, wie der sogenannte „*Sliding Windows*“-Algorithmus, auch exzessives Suchverfahren genannt, bei dem ein Fenster einer festgelegten Größe von Pixeln über das Bild bewegt wird. Bei diesem, wie in [7] und [8] vorgestellt, wird dann die jeweilig überdeckte Fläche auf Regionen von Interesse untersucht. Ist ein Durchgang durchgeführt, wird das Fenster verkleinert und ein weiterer Durchlauf gestartet. Obwohl dieser Algorithmus ein einfacher Algorithmus ist, so zeigt er auch Nachteile auf. Diese zeigen sich im Durchsuchen irrelevanter Bereiche und einer großen Anzahl möglicher Kandidaten, wodurch es schwierig sein kann die Anforderungen der Echtzeitanwendungen gerecht zu werden. Andere Ansätze, wie die in [9] und [10] präsentierten, nutzen z.B. Farbe, In-

intensität und abfallende Ausrichtung von Pixeln. Wiederum andere Ansätze nutzen vertikale Symmetrien, wie sie in [11] und [12] vorgestellt werden.

Stereo basierte Ansätze, wie die in [13], [14], [15] vorgestellten, nutzen unterschiedliche Disparität-Methoden, um den Boden und vertikale Objekte zu identifizieren. Mit Hilfe des oben genannten Fußgänger Größen Bedingungsmodells werden dann die erkannten Objekte analysiert, ob es sich um einen Fußgänger oder anderes Objekt handelt.

Für den nachfolgenden Schritt, der Klassifizierung der gefundenen Objekte in Fußgänger und nicht Fußgänger Objekte, werden zweidimensionale Ansätze verwendet. Diese lassen sich grob in Silhouetten- und Erscheinungserkennung (engl. appearance detection) trennen. Ansätze, die Silhouetten Abgleich nutzen, verwenden unterschiedliche Algorithmen und Körperformen, um Übereinstimmungen in den vorher festgelegten Interessenregionen zu finden. So werden z.B. beim sog. *multiscale template matching* (dt. maßstabübergreifenden Muster Übereinstimmung) Entfernungstransformierte Regionen auf Basis einer hierarchischen Musterklassifizierung abgeglichen. Dies geschieht nach einem grob zu fein Muster.

In der Gruppe der erscheinungsbasierten Ansätze ist die allgemeine Vorgehensweise, dass ein Raum von Bildeigenschaften definiert und ein Klassifikator an Hand der Interessenregionen trainiert wird. Diese Definition und das Training wird an den Regionen mit Personen als auch den Gegenbeispielen der Regionen ohne Personen durchgeführt. Innerhalb dieser Gruppe wird auch nach Ansätzen unterschieden, die das Zielobjekt als Ganzes erkennen und den Ansätzen, die das Zielobjekt durch die Erkennung von Kombinationen unterschiedlicher Teile erkennen, wie z.B. Kopf und Arme oder Kopf und Beine. Generell werden in den Ansätzen, die Fußgänger als Ganzes erkennen und in den Ansätzen, die Fußgänger als eine Kombination von Teilelementen erkennen, die gleichen diversen Lernalgorithmen verwendet. Jedoch unterscheiden sich die Ansätze in den unterschiedlichen Annahmen, Segmenten und Merkmalen, die zur Erkennung genutzt werden.

Weiterentwickelte Systeme erkennen Fußgänger nicht nur, sondern verfolgen dessen Trajektorie auch über einen gewissen Zeitraum. Dieser Schritt nutzt anderen Schritten, wie der Bereitstellung von möglichen Fußgängerkandidaten des nächsten Erkennungsschritts und zur Vermeidung von falschen Erkennungen im Gesamttablauf. Ebenso können für den Schritt der eigentlichen Kollisionsvermeidung nutzbare Folgerungen für die Vorhersage der Bewegungstrajektorie des Fußgängers gewonnen werden. Eine wesentliche Herausforderung ist hierbei unter anderem die Eigenbewegung des Fahrzeugs von der Bewegung des Fußgängers zu trennen.

4.1.1.2 Kamera basierte Systeme des Infrarot Spektrums

In Situationen, in denen nur wenig Licht des sichtbaren Spektrums zur Verfügung steht können Kamera basierte Systeme, die im sichtbaren Spektrum arbeiten nur schlecht oder gar nicht arbeiten. Die Nutzung von Infrarot Kameras stellt eine Lösung bereit diese Herausforderung zu lösen. Grundsätzlich existieren zwei unterschiedliche Systeme, die im Infrarotspektrum arbeiten.

Fern Infrarot Kamera basierte Systeme (Wärmebildkamera)

Fern-Infrarot (Abk. FIR, engl. Far Infrared, auch Thermal-Infrarot) basierte Systeme nutzen Kameras, die in der Lage sind die Wärmeabstrahlung eines Objekts aufzuzeichnen. Die erfassten Wärmeabstrahlungsmuster werden dann in einem Bild dargestellt, welches die Formen der Objekte und deren Temperaturen wiedergibt. Auch diese Bilder werden mit Hilfe von Bildanalyse Algorithmen analysiert. Da diese Systeme unabhängig vom Licht des sichtbaren Spektrums sind, werden diese im speziellen für Ansätze zur Unterstützung des Fahrers in der Dämmerung oder Nacht eingesetzt. Hierbei kann auch ein verlängerter Sichthorizont zum normalen Fahrlicht ermöglicht werden und somit Gefahren früher erkannt werden. Einige Automobilhersteller bieten solche Systeme bereits in ausgewählten Modellen Ihrer Fahrzeuge an. So bieten zum Beispiel BMW in Ihrem System „BMW Night Vision mit Fußgänger Erkennung“ [16], Audi im „Night Vision Assist [17]“ oder auch Honda im „Intelligent Night Vision“ Systeme an, die diese Technologie nutzen. Das aufgezeichnete Bild wird dem Fahrer auf einem Display angezeigt und der Fahrer wird auf mögliche Gefahren aufmerksam gemacht. Abb. 4.2 zeigt ein Beispiel eines solchen Systems, welches in diesem Fall auf einen Fußgänger aufmerksam macht.



Abb. 4.2: Audi Nachsicht Assistent [18]

Nah-Infrarot Kamera basierte Systeme

Nah-Infrarot Kamera (Abk. NIR, engl. Near Infrared) basierte Systeme nutzen ebenso wie FIR Kamera basierte Systeme das nicht sichtbare Spektrum im Bereich des Infrarot Lichts, jedoch in einem anderen Spektralbereich. Diese Systeme zeichnen keine Wärmestrahlung auf, sondern leuchten die Umgebung mit Hilfe von Infrarot (IR) Emitttern aus und nehmen das reflektierte Licht mit Hilfe von IR sensitiven Kameras des NIR Spektrums auf. Die Information der NIR Kamera wird dann ebenso als Graustufen Bild mit Hilfe von Bildanalyse auf mögliche Gefahren ausgewertet. Wie bei FIR Kamera basierten Systemen wird auch hier das Bild als Graustufen-Bild dem Fahrer auf einem Display angezeigt und dieser auf mögliche Gefahren aufmerksam gemacht. Wie FIR Kamera basierte Systeme werden auch bereits NIR Kamera basierte System von Autoherstellern wie Mercedes Benz im „Nachtsicht Assistenz Plus“ [19] oder in Toyotas „Night View“ [20] in ausgewählten Modellen angeboten. Auch hier kann ein verlängerter Sicht-horizont im Vergleich zum Fahren mit Abblendlicht ermöglicht werden, da die Leuchtweite des NIR Emitters auf Grund der Blendungsfreiheit nicht reduziert werden muss. In Abb. 4.3 ist das Ergebnis eines solchen Systems zu sehen. Klar zu erkennen ist hier der Unterschied der sichtbaren Strukturen des vom normalen Fahrlicht beleuchteten Bereichs und des vom IR Emitter ausgeleuchteten und sichtbar gemachten Bereich.



Abb. 4.3: Nachtsichtassistent NIR [19]

4.1.1.3 Laserscanner basierte Systeme

Laserscanner basierte Systeme, auch bekannt als LIDAR (engl. light detection and ranging) senden mit Hilfe eines Laseremitter und einem rotierenden mehrseitigem Spiegel einen pulsierenden Laserstrahl aus. Die Reflexionen des Laserstrahls werden erfasst und an Hand der Flugdauer des Lichts die Entfernung zum Reflexionspunkt bestimmt, wodurch eine Tiefeninformation zur Verfügung steht. Der Winkel, in dem der Laserstrahl ausgesendet wurde und die Reflexion empfangen wurde, bestimmt die Information der Position des gemessenen Punkts. Aus diesen Tiefeninformationen wird ein Bild erstellt. Die weiteren Schritte zur Erkennung von Fußgängern sind analog zu Kamera basierten Systemen. An Hand der Schritte Separierung, Klassifizierung und Objektverfolgung werden nach Fußgänger und nicht Fußgängerobjekten gescannt und mögliche Fußgänger verfolgt. Durch die Verfügbarkeit der Tiefeninformationen ist auch eine präzise Abstandsinformation vorhanden. In [21] und [22] werden Beispiele solcher Laserscanner Systeme gezeigt. Auch werden Laserscanner Systeme in so genannten Sensor Fusion Ansätze zur Redundanz und Abstandsmessung eingesetzt. Sensor Fusion Ansätze werden in einem der folgenden Abschnitte erläutert.

4.1.1.4 RADAR basierte Systeme

RADAR (engl. Radio Detection And Ranging) basierte Systeme messen den Abstand, den Richtungswinkel und die radiale Geschwindigkeit von Objekten. Radar Systeme des Automobilbereichs senden dazu eine pulsierende elektromagnetische Welle im 24 GHz [23] oder 79 GHz Band [24] aus und erfassen die Reflexionen. Auf Grund der Charakteristik der Reflexion, wie dem Muster und der Stärke der Reflexion wird der Typ des Gegenstands bestimmt. Die Bewegung eines Objekts wird mit Hilfe von Frequenzänderungen des erfassten Signals ermittelt, wie dies auch in [25] beschrieben wird. Analog zu LIDAR basierten Systemen werden Radar basierte Systeme auch in Sensor Fusion basierten Systemen eingesetzt.

4.1.1.5 Systeme basierend auf Sensor Fusion

In Sensor Fusion basierten Systemen werden unterschiedliche Technologien zur Fußgängererkennung kombiniert, um die Vorteile der einzelnen Teilsysteme zu nutzen. Durch diese Kombination soll ein System kreiert werden, welches leistungsfähiger und zuverlässiger ist. So können z.B. bei einer Kombination von Kamera und Radar basierten Systemen die visuellen Möglichkeiten der Kamera mit den genauen Abstandsmessungen eines Radars ein verbessertes System hervorbringen. Ein solches System wird z.B. beim Automobilhersteller Volvo im

4. Stand der Technik

„City Safety“ System [26] eingesetzt, wie auch in Abb. 4.4 zu sehen. Dieses System erkennt nicht nur Fußgänger, sondern greift auch aktiv bremsend in das Fahrgeschehen ein, wenn der Fahrer nicht rechtzeitig reagiert. Aber auch andere Kombinationen von Kamera basierten Systemen des sichtbaren Spektrums und von Systemen des IR Spektrums, sowohl NIR, als auch FIR, werden eingesetzt. Ebenso werden auch Ansätze mit einer Kombination von mehr als zwei Systemen erforscht [27].

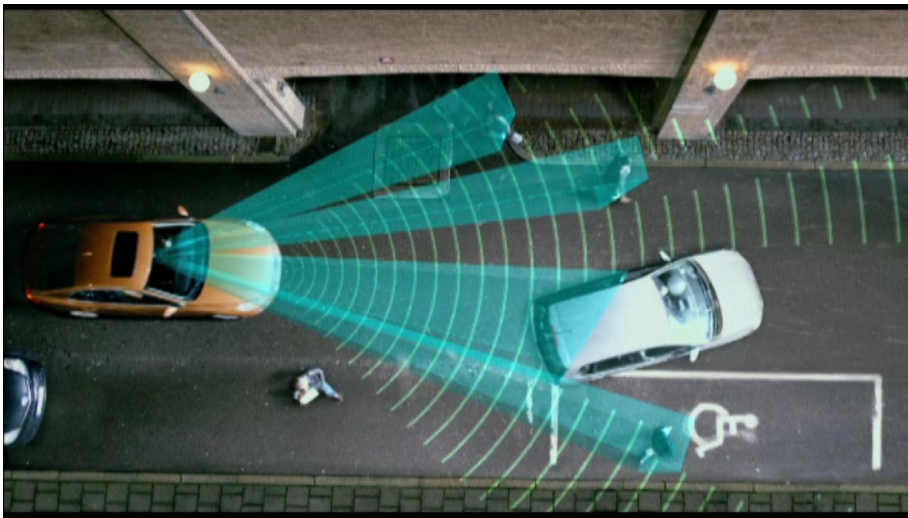


Abb. 4.4: Volvos City Safety System basierend auf Kamera und Radar [28]

Ein ausführlicher Überblick über Kamera, Laserscanner und Radar basierten Ansätzen, als auch zu Ansätzen der Sensor Fusion ist in [1] zu finden. Dort sind auch die in den einzelnen Schritten genutzten Algorithmen näher erläutert.

Ein Nachteil der oben genannten Ansätze ist jedoch die Notwendigkeit einer Sichtverbindung zwischen den Erkennungsgeräten und dem Fußgänger. Schlechte Wetterverhältnisse, wie Schnee, Nebel, starker Regen, als auch schlechte Licht- und Kontrastverhältnisse können dazu führen, dass ein System nur noch schlecht oder gar nicht mehr arbeitet. Ebenso kann es zu Problemen führen, wenn die Sicht zwischen dem Erkennungsgerät und dem Fußgänger durch ein Objekt, wie Mauern, Hecken oder parkende Autos versperrt ist. Eine solche Beispielsituation ist in Abb. 4.5 dargestellt. Eine teilweise Verdeckung des Fußgängers mag von einigen Systemen noch zu lösen sein, jedoch können diese Systeme auf Grund Ihrer physikalischen Grundlage Fußgänger bei vollständiger Verdeckung gar nicht erkennen. Diese Systeme sind im Fall der vollständigen Überdeckung somit unwirksam.

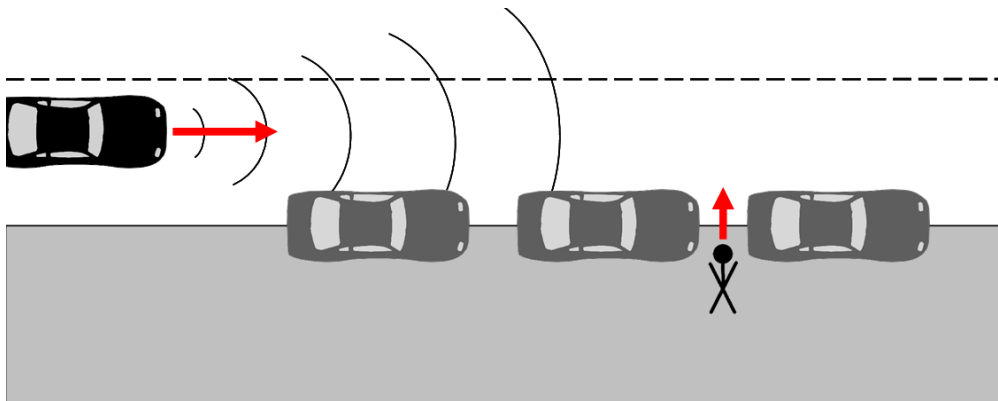


Abb. 4.5: Beispiel einer Überdeckung eines Fußgängers durch parkende Autos [29]

4.1.2 Kooperative Systeme

Unter dem Begriff kooperative Systeme werden alle Systeme zusammengefasst, die nicht unter alleiniger Verwendung bordautonomer Systeme arbeiten. In der folgenden Erläuterung ist der Begriff kooperative Systeme eingeschränkt auf die Systeme, bei denen der Fußgänger ein Gerät mit sich führen muss. Es wird in dieser Arbeit in kooperative Systeme unterschieden, die auf relativer Positionierung arbeiten, welche einen vom Fußgänger mitzuführenden Transponders nutzen und den Systemen, die mit Hilfe absoluter Positionierung arbeiten. Diese Ansätze werden nun erläutert.

4.1.2.1 Transponder basierte Ansätze

Transponder (auch engl. Tag oder Transceiver) basierte Systeme gehören zu der Gruppe der kooperativen Systeme, welche immer ein Systemteil beinhalten, der nicht an Bord des Fahrzeugs ist. Transponder basierte Systeme bestehen aus mindestens zwei Hardware Elementen: Das Sende-/Empfänger Modul im Fahrzeug ist und der Transponder der vom Fußgänger mitgeführt wird. Einfache Systeme funktionieren dabei wie folgt: der Transponder des Fußgängers sendet stetig ein Signal aus. Sobald das Fahrzeug in den Empfangsbereich kommt, ist dem System durch den Empfang des Signals bekannt, dass ein Fußgänger im Empfangsbereich ist. Ein solches einfaches System ist jedoch zu ungenau, um erfolgreich in einem Kollisionsvermeidungssystem eingesetzt zu werden, da ohne weitere Information keine Risikoanalyse berechnet werden kann. In weiterentwickelten Systemen, wie das im Projekt AMULETT [30], [31] verwendete System, wird daher eine Antennenanordnung am Fahrzeug genutzt. Dieses System sendet nun ein Signal aus, auf das alle Transponder in Reichweite mit einem vorher festgelegten Paket antworten. Der Winkel des Antwortsignals (engl. angle of arrival) ergibt sich aus der Zeitdifferenz des Empfangs an den einzelnen Antennen, die Entfernung aus der

Signallaufzeit (engl. time of arrival). Mit Hilfe dieser Information kann eine genauere Position des Fußgängers bestimmt werden. Mit wiederholten Durchläufen kann das System somit die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung des Fußgängers bestimmen als auch eine gewisse Bewegungstrajektorie aufzeichnen. Hierbei ist es den höchstentwickelten Systemen möglich den Fußgänger bis auf Dezimeter Genauigkeit zu orten, unabhängig vom Wetter und ohne eine Sichtverbindung zu benötigen. Jedoch haben Transponder basierte Systeme Nachteile. Einerseits wird ein zusätzliches Hardwareelement benötigt, welches der Fußgänger mitführen und auch auf dessen Ladestand kontrollieren muss. Tut dies der Fußgänger nicht, so fällt dieses System komplett aus. Andererseits steht bei einer kurzen Reichweite auch nur eine kurze Wegstrecke bereit in der die Geschwindigkeit und Richtung des Fußgängers bestimmt werden kann und somit eine Risikoanalyse durchgeführt werden kann.

4.1.2.2 Systeme, die auf absoluter Positionierung basieren

In Systemen, welche auf absoluter Positionierung basieren, hier nachfolgend stellvertretend das Global Positioning System (GPS), werden die Position des Autos und des Fußgängers jeweils mit einem GPS Empfänger bestimmt. Zur Positionsbestimmung des Fußgängers kann dieses z.B. ein im Mobiltelefon integriertes Gerät sein, wie im Ansatz [33] beschrieben. In diesem Ansatz werden die Positionen des Fußgängers als auch die des Fahrzeugs an eine zentrale Entität mit Hilfe Infrastruktur basierter Funkübertragung gesendet. Sobald die übermittelten Positionen ein Annähern des Fahrzeugs und des Fußgängers aufweisen, bauen die Kommunikationsgeräte eine Ad-Hoc Verbindung auf und übertragen die ermittelten Positionen direkt. Durch Kombination der bekannten Informationen des Autos wie Geschwindigkeit, Richtung, Beschleunigung, etc. berechnet die Recheneinheit des Fahrzeugs dann das Kollisionsrisiko zwischen Auto und Fußgänger. Allerdings haben derzeitige GPS Implementierungen eine unzureichende Geschwindigkeit, um zuverlässige Berechnungen zum Kollisionsrisiko zu machen. So bieten aktuelle GPS Implementierungen laut Hersteller SiRF eine maximale Aktualisierungsrate von 1Hz, also einem kumulativen Messwert pro Sekunde, schnelle Richtungs- bzw. Geschwindigkeitsänderungen sind somit nicht sofort erkennbar. Dies kann zu Fehlinterpretationen von Situationen führen, da für die Risikoanalyse ein falscher Bewegungsvektor angenommen wird. So kann es sein, dass ein Fußgänger bereits gestoppt hat oder sich in eine andere Richtung bewegt und somit keine Gefahr mehr vorhanden ist. Es kann aber auch sein, dass ein Fußgänger als nicht gefährdet eingestuft wird, obwohl dieser soeben seine Bewegungsrichtung in Richtung auf die Straße zu geändert hat oder in Richtung Straße

beschleunigt. Zudem ist GPS basierte Positionierung nicht immer verfügbar, jedoch kann eine Verbesserung der Verfügbarkeit von absoluter Positionierung durch eine Kombination von mehreren Systemen, wie GLONASS [34] oder zukünftig auch Galileo [35], bringen.

4.2 Ansätze zur Kollisionsvorhersage

Die Entscheidungsfindung, ob weitere Aktionen wie Warnung, Bremsung, etc. durchgeführt werden müssen, ist das letzte Glied der Kette eines Kollisionsvermeidungssystems. Ebenso wie in den Schritten zuvor gibt es auch hier unterschiedliche Ansätze, die vorgeschlagen wurden. So gibt es zum einen die deterministischen Methoden der Kollisionsvorhersage. Diese bilden an Hand geometrischer Berechnungen die aktuellen Trajektorien des Autos und des Fußgängers so in die Zukunft ab, wie sich diese bis zum Zeitpunkt der Vorhersageberechnung gezeigt haben. Viele dieser deterministischen Ansätze gehen von einer konstanten Geschwindigkeit und Richtung des Fußgängers und Autos aus. Dieses Modell kann auch bei Autos mit hoher Geschwindigkeit angenommen werden, da die Zeit zu einer möglichen Kollision zu kurz ist, als dass eine Änderung der Geschwindigkeit des Fußgängers einen entscheidenden Unterschied hervorrufen würde. Allerdings, wenn die Szenarien mit geringen Geschwindigkeiten betrachtet werden, wie z.B. an Kreuzungen oder Fußgängerüberwegen, dann kann eine Geschwindigkeitsänderung des Fußgängers schon wichtig werden. Des Weiteren sind Fußgänger, im Gegensatz zu Autos, in der Lage plötzliche Änderungen der Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung durchzuführen. Daher werden auch stochastische Ansätze genutzt, um die Dynamik von Fußgängern zu modellieren und eine Kollisionswahrscheinlichkeit zu bestimmen. Ein Beispiel für einen Ansatz ist die Nutzung so genannter Monte Carlo Simulationen, um eine Anzahl unterschiedlicher Trajektorien zu generieren [36]. Die Kollisionswahrscheinlichkeit wird dann an Hand der Trajektorien bestimmt, die eine mögliche Kollision zwischen Auto und Fußgänger aufzeigen. Die Nutzung von sequentiellen Monte Carlo Methoden, auch bekannt unter dem Begriff Partikel Filter, ist ein typisches Framework, welches zum simultanen Verfolgen des Fußgängers und zur Vorhersage der Kollisionswahrscheinlichkeit genutzt wird. Ein solcher Ansatz wird in [37] vorgestellt. Weiterhin werden auch Modelle untersucht, die sich mit den Bewegungsmöglichkeiten und Bewegungswahrscheinlichkeiten eines Fußgängers befassen. In dem als „1G Modell“ bekannten Ansatz [38] wird angenommen, dass ein Fußgänger im Stande ist ein Beschleunigungsvermögen von 1G in alle Richtungen in allen Bewegungssituationen aufzubringen. Für die verbleibende Zeit zwischen der Erkennung und dem möglichen Zeitpunkt eines Unfalls ist der Auf-

4. Stand der Technik

enthaltbereich des Fußgängers definiert. In dieser Konfiguration werden alle Positionen als gleich wahrscheinlich angenommen. Abb. 4.7, welche angelehnt aus [38] erzeugt wurde, zeigt die Situation für zwei unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten. Jeder Kreis ist äquivalent zu einer definierten Dauer.

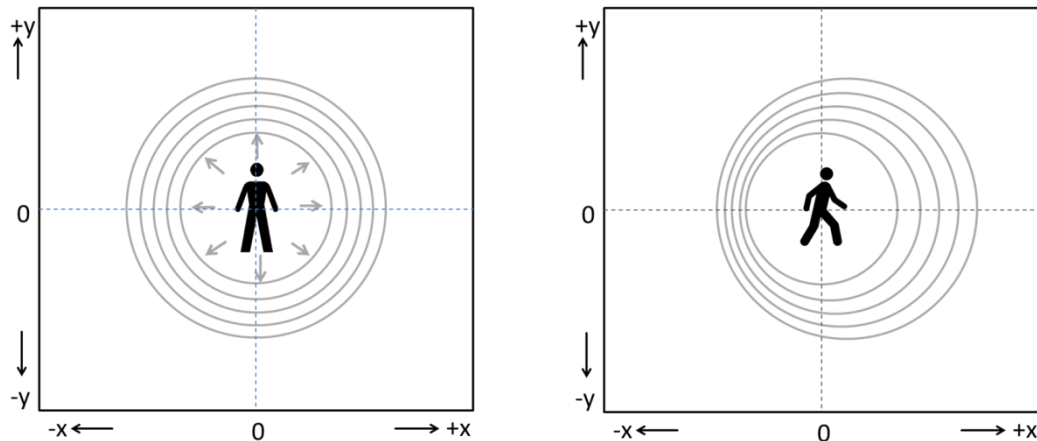


Abb. 4.6: Das 1G Modell, adaptiert aus [38]

Ein weiterentwickeltes Modell ist das physiologische Modell, welches in [39] vorgestellt wird. Dieses neue Modell basiert auf empirischen Messdaten und analytischer Modellierung. Es begründet sich auf der Annahme, dass ein Fußgänger auf Grund seiner Physiologie nicht in der Lage ist sich in alle Richtungen in gleicher Weise zu bewegen. An Hand einer Serie von Experimenten wurden unterschiedliche Fußgänger und deren Beschleunigungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Situationen gemessen daraus ein Modell entwickelt. Auf Grund der Einschränkungen auf realistische Bewegungen ist es möglich mit Hilfe dieses Modells realistischere Vorhersagen zu treffen. Eine wichtige Beschränkung ist es hierbei, dass der Fußgänger nicht in einem Schritt in die eine Richtung und im nächsten Schritt in die entgegengesetzte Richtung geht, sondern zwischen diesen Schritten erst stoppen muss, die Richtung ändern muss und wieder beschleunigen muss. In Abb. 4.8, angelehnt an [39], ist ein Vergleich der zwei Modelle zu sehen, in dem der deutlich eingeschränkte mögliche Aufenthaltsbereich des Fußgängers durch die Reduzierung seiner möglichen Bewegungsmöglichkeiten zu sehen ist.

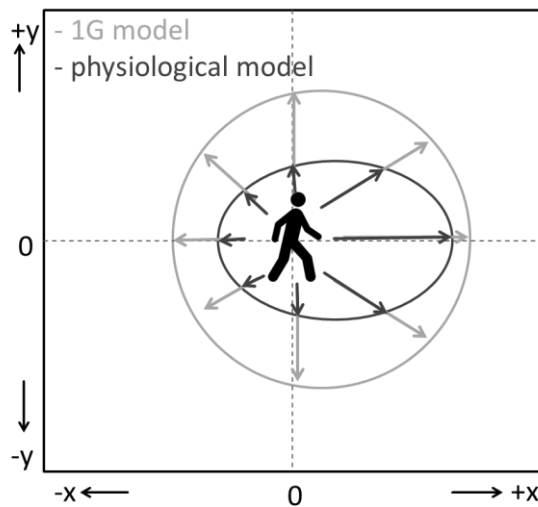


Abb. 4.7: Vergleich des 1G und Physiologischen Modell adaptiert aus [39]

4.3 Forschungsprojekte zur Thematik des aktiven Fußgängerschutz

Um die Aktivitäten, Erfahrungen und Resultate der Forschung zu kombinieren und besser voran zu bringen, wurden und werden unterschiedliche nationale und internationale Projekte zu dieser Thematik durchgeführt. Hierbei wurden und werden der Einsatz der unterschiedlichen Fußgänger Erkennungsmethoden untersucht und an Hand von Prototypen verifiziert. Die Ergebnisse des Projekts PROTECTOR [40], dem ersten europäischen Projekt zum Fußgängerschutz, legte mit einem Kamera basierten System die Grundlage für alle nachfolgenden Projekte. Hierbei sind auf europäischer Ebene die Projekte SAVE-U [27] und PREVENT [41] zu nennen, welche unterschiedliche, am Fahrzeug montierte Fußgänger-Erkennungsgeräte zum Fußgängerschutz nutzen. Europäische Forschung im Bereich kooperativer Fußgängerschutzsysteme startete mit dem Projekt SAFESPOT [42], welches kooperative Sensor-Fusion und Daten-Fusion nutzt. Es wurden in diesem Ansatz im Kreuzungsbereich Laserscanner installiert und in Kombination von Fahrzeug zu Fahrzeug und Fahrzeug zu Infrastruktur basierter Kommunikation die Daten mit denen am Auto angebauten Erfassungsgeräten fusioniert. In WATCHOVER [43], einem ebenfalls europäischen Projekt, wurde zusätzlich zu Radar und Kamera ein Transponder basiertes System kombiniert. Rein Transponder basierte Systeme sind Forschungsmittelpunkte der deutschen Projekte AMULETT [44] und im KoFAS Subprojekt KoTAG [45]. AKTIV [46], ein weiteres deutsches Projekt, befasst sich in Teilaspekten mit dem Thema Fußgängerschutz unter der Nutzung von Kamera und Radar basierten Systemen. Aber auch ein erstes Projekt unter Nutzung von GPS Daten wurde durchgeführt. Der im SKY Projekt [47], als Unterprojekt des Intelligent Transport System (Abk. ITS) in Ja-

pan, verfolgte Ansatz verwendet das im Mobiltelefon des Fußgängers integrierte GPS Modul, um einen solchen Ansatz zu testen. Hierbei setzten die Forscher für die Datenkommunikation über lange Strecken zellulare und für kurze Strecken Ad-Hoc Funkübertragung ein.

Eine Eigenschaft haben all die vorgestellten Ansätze gemeinsam: es ist nur wenig oder gar keine Information über den Fußgänger bekannt. Nutzvolle Kontext Information können somit nicht zur Verbesserung der Einschätzung des Risikopotentials beitragen, was zu einer größeren Anfälligkeit von Fehlinterpretationen von Situationen führen kann.

4.4 Car2X Kommunikation

Informationsaustausch zwischen dem Fahrzeug und der Umwelt ist ein Forschungsgebiet, welches älter ist, als vermutet werden mag. Bereits 1981-1983 wurde im Forschungsprojekt *Wolfsburger Welle* ein erster Ansatz untersucht, wie mit Hilfe von drahtloser Datenkommunikation der Verkehrsfluss in einer Stadt effektiver gesteuert werden kann. Zum Einsatz kamen hierbei an Ampeln angebrachte Infrarot Kommunikationseinheiten mit Pendant im Auto. Zur besseren Nutzung von „grünen Wellen“ wurde so die Information an das Auto übermittelt in welcher Geschwindigkeit es sich bewegen muss, um in der „grünen Welle“ zu bleiben. Das Anwendungsgebiet blieb jedoch sehr eingeschränkt. Im Forschungsprojekt PROMETHEUS (1986-1991) wurden erste Untersuchungen zur Car2Car Kommunikation unternommen, jedoch war die Funkübertragungstechnik zu diesem Zeitpunkt noch nicht weit genug vorangeschritten, um die Ergebnisse der Untersuchungen tatsächlich in Prototypen zu untersuchen. Durch die Fortschritte im Bereich der drahtlosen Datenkommunikation der letzten Dekade jedoch stehen die technischen Möglichkeiten zur Verfügung, Autos „kommunizieren“ zu lassen. Hier eröffnet sich ein breites Spektrum an Anwendungsfeldern, die sich von Sicherheitsrelevanten Anwendungen über Verkehrsplanung, Automobilservice bis hin zum Entertainment erstreckt. Eine Kommunikation des Autos ist hierbei mit unterschiedlichen Gegenstellen möglich, wonach dann auch die Kommunikationsarten benannt sind. So wird unter anderem unterschieden:

Car-to-Car (dt. “Auto zu Auto”, Car2Car)

Diese Art der Kommunikation bezeichnet den Informationsaustausch zwischen zwei Fahrzeugen. Zur lokalen Gefahrenwarnung sollen Informationen übertragen werden, die u.a. die Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung und örtliche Gefah-

4. Stand der Technik

rensituationen wie Unfälle, detektierte Glätte, liegengebliebene Fahrzeuge, etc. beinhalten. Die Positionierung der Fahrzeuge geschieht hierbei mit Hilfe von GPS. Diese Position wird dann auf einer digitaler Karten abgebildet, sodass eine Gefahrenwarnung oder Information entsprechend der befahrenen Route übermittelt werden kann.

Car-to-Infrastructure (dt. “Auto zu Infrastruktur”, Car2I)

Bei dieser Art von Kommunikation werden Informationen zwischen einem Fahrzeug und einer Infrastruktur, z.B. Ampel und andere Verkehrsregelanlagen ausgetauscht. Dieser Informationsaustausch kann unterschiedlichen Zwecken dienen. Einerseits können Informationen über Rotlichtphasen Informationen bieten, die eine Start-/ Stop Automatik zur Steuerung unterstützt, aber auch Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer auf eine rote Ampel aufmerksam machen.

Car-to-Home (dt. “Auto zu Heim”, Car2H)

Diese Art stellt die Kommunikation zwischen dem Auto und einer Kommunikationseinrichtung am Heimatpunkt des Fahrzeugs dar. Hierbei können Informationen wie Routenplanung am heimischen PC durchgeführt werden und dann ans Auto übertragen werden.

Car-to-Personal Equipment (dt. “Auto zu persönlicher Ausrüstung”, Car2PE).

Diese Art der Kommunikation bezeichnet die Kommunikation vom Auto mit persönlichen Kommunikationsgeräten. Ein Beispiel hierfür ist die Bluetooth Koppelung von Handy und Auto, durch die die im Auto verbaute Freisprecheinrichtung des Autos genutzt werden kann, bzw. das Auto auf die eingelegte SIM Karte des Smartphones zugreifen kann.

Car-to-Enterprise (dt. “Auto zu Unternehmen”, Car2E)

Diese Art der Kommunikation bezeichnet den Datenaustausch des Autos mit unterschiedlichen Unternehmen. Diese Kommunikation kann ein Datenaustausch mit der Partnerwerkstatt sein, um auf Fehler, notwendige Reparaturen, Inspektionen oder auch über Angebote hinzuweisen. Auch andere unterstützende Aktionen, wie der Schutz vor Falschbetankung an einer Tankstelle durch Hilfestellung an der Zapfsäule, sind möglich.

Car-to-Pedestrian (dt. “Auto zu Fußgänger”, Car2P)

Diese Art der Kommunikation bezeichnet den Datenaustausch mit einem Gerät, welches der Fußgänger mit sich führt. Hierbei steht der Austausch von sicherheitsrelevanten Daten im Vordergrund, wie Position, Richtung und Geschwindigkeit von Auto und Fußgänger.

Übergreifend werden auch alle Kommunikationsarten als „Car-to-X (auch Car2X) Kommunikation“ bezeichnet. Um einen gemeinsamen Standard zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen zu entwickeln, wurde eigens für die Car-to-Car Kommunikation ein Konsortium gegründet, welches einen auf WLAN basierenden Kommunikationsstandard erarbeitete, der unter dem Namen IEEE 802.11p Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) [48] bekannt ist. Diverse Forschungsprojekte beschäftigen sich seither mit der Technik, den Anwendungen und der Erprobung von Car2X Kommunikation. Als Beispiele großer, stellvertretender Projekte seien hier die deutschen Projekte sim^{TD} [49], aktiv [46] und das US amerikanische CAMP Projekt [50] genannt.

Referenzen

- [1] Tarak Gandhi, Mohan Munabhai Trivedi, "Pedestrian Protection Systems: Issues, Survey and challenges", IEEE Transactions on intelligent Transportation systems, vol. 8, no. 3, pp413-430, Sept 2007
- [2] M. Bertozzi, A. Broggi, M. Carletti, A. Fascioli, T. Graf, P. Grisleri, and M.-M. Meinecke, "IR Pedestrian Detection for Advanced Driver Assistance Systems," Proc. Pattern Recognition Symp., pp. 582-590, 2003.
- [3] A. Broggi, P. Grisleri, T. Graf, and M.-M. Meinecke, "A Software Video Stabilization System for Automotive Oriented Applications," Proc. Vehicular Technology Conf., vol. 5, pp. 2760-2764, 2005
- [4] L. Bombini, P. Cerri, P. Grisleri, S. Scaffardi, and P. Zani, "An Evaluation of Monocular Image Stabilization Algorithms for Automotive Applications," Proc. IEEE Int'l Conf. Intelligent Transportation Systems, pp. 1562-1567, 2006
- [5] R. Labayrade, D. Aubert, and J. Tarel, "Real Time Obstacle Detection in Stereovision on Non Flat Road Geometry through 'v-Disparity' Representation," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., vol. 2, pp. 17-21, 2002.
- [6] Z. Hu and K. Uchimura, "U-V-Disparity: An Efficient Algorithm for Stereovision Based Scene Analysis," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., pp. 48-54, 2005
- [7] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection," Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 886-893, 2005
- [8] 16C. Papageorgiou and T. Poggio, "A Trainable System for Object Detection," Int'l J. Computer Vision, vol. 38, no. 1, pp. 15-33, 2000
- [9] 17 F. Miau, C. Papageorgiou, and L. Itti, "Neuromorphic Algorithms for Computer Vision and Attention," Proc. Int'l Symp. Optical Science and Technology, pp. 12-23, 2001.
- [10] 18 L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, "A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 20, no. 11, pp. 1254-1259, Nov. 1998.
- [11] 19A. Broggi, A. Fascioli, I. Fedriga, A. Tibaldi, and M.D. Rose, "Stereo-Based Preprocessing for Human Shape Localization in Unstructured Environments," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., pp. 410-415, 2003.
- [12] 20A. Broggi, M. Bertozzi, A. Fascioli, and M. Sechi, "Shape-Based Pedestrian Detection," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., pp. 215-220, 2000.

4. Stand der Technik

- [13] 23U. Franke and I. Kutzbach, "Fast Stereo Based Object Detection for Stop & Go Traffic," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., pp. 339- 344, 1996.
- [14] 24U. Franke, D. Gavrila, S. Görzig, F. Lindner, F. Paetzold, and C. Wöhler, "Autonomous Driving Goes Downtown," IEEE Intelligent Systems, vol. 13, no. 6, pp. 40-48, Nov./Dec. 1999.
- [15] 25G. Grubb, A. Zelinsky, L. Nilsson, and M. Rilbe, "3D Vision Sensing for Improved Pedestrian Safety," Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symp., pp. 19-24, 2004.IEEE P802.11p Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)
- [16] http://www.bmw.de/de/de/newvehicles/7series/sedan/2010/showroom/safety/night_vision.html, online verfügbar, zuletzt angesehen: 11.07.2011
- [17] <http://www.audi.co.uk/new-cars/a8/a8/driver-assistants/night-vision.html>, online verfügbar, zuletzt angesehen: 11.07.2011
- [18] Quelle: Audi AG
- [19] <http://www.daimler.com/technologie-und-innovation/sicherheitstechnologien> online verfügbar, zuletzt angesehen: 11.07.2011
- [20] https://www.toyota-global.com/innovation/safety_technology_quality/safety_technology/technology_file/active/night_view.html, online verfügbar, zuletzt angesehen:11.07.2011
- [21] K. Kidono, T. Miyasaka, A. Watanabe, T. Naito and J. Miura," Pedestrian Recognition Using High-definition LIDAR", 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp. 405-410, 2011, Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011
- [22] L. Oliveira, U. Nunes, "Context-aware Pedestrian Detection Using LIDAR", 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 773-778, University of California, San Diego, CA, USA, June 21-24, 2010
- [23] „Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Benutzung durch die Allgemeinheit für Kraftfahrzeug-Kurzstreckenradare im Frequenzbereich 21,65-26,65 GHz“, Vfg 40/2005, Bundesnetzagentur, 2005
- [24] „Allgemeinzuteilung von Frequenzen für die Benutzung durch die Allgemeinheit für Kraftfahrzeug- Kurzstreckenradar im Frequenzbereich 77 – 81 GHz“, Vfg 59/2004, Bundesnetzagentur, 2004
- [25] H. Rohling; S.Heuel,; H. Ritter, „Pedestrian detection procedure integrated into an 24 GHz automotive radar“, Radar Conference, 2010 IEEE, Washington D.C., 10-14 May 2010, pp. 1229 – 1232
- [26] <http://www.volvocars.com/at/explore/Pages/pedestrian-detection.aspx>, online verfügbar, zuletzt angesehen: 11.07.2011

4. Stand der Technik

- [27] SAVE-U Project: online verfügbar: <http://www.save-u.org/>, last checked 11.07.11
- [28] Quelle: VOLVO Car Germany Pressezentrum
- [29] A. Flach, K. David, "A physical analysis of an accident scenario between cars and pedestrians," in Proc. IEEE VTC 2009, Anchorage, Sept. 2009
- [30] AMULETT Project: online verfügbar: <http://www.projekt-amulett.de>, zuletzt angesehen 11.07.11
- [31] R. H. Rasshofer, D. Schwarz, E. Biebl, C. Morhart, O. Scherf, S. Zecha, R. Grünert, and H. Frühauf, "Pedestrian protection systems using cooperative sensor technology", in Proc. Advanced Microsystems for Automotive Applications AMMA, 2007, vol. 2, New York: Springer-Verlag, pp. 135–145.
- [32] [http://www.innomotion-fahrzeugtechnik.de/text/96/de/info_detail,122\\$tab,208/forschung-und-entwicklung.html#content-208](http://www.innomotion-fahrzeugtechnik.de/text/96/de/info_detail,122$tab,208/forschung-und-entwicklung.html#content-208), online verfügbar, zuletzt angesehen: 15.01.2012
- [33] C. Sugimoto, Y. Nakamura, and T. Hashimoto, "Prototype of pedestrian-to-vehicle communication system for the prevention of pedestrian accidents using both 3G wireless and WLAN communication", in Proc. Int. Symp. Wireless Pervasive Computing, May 2008, pp. 764–767
- [34] GLONASS, Globalnaja Nawigazionnaja Sputnikowaja Sistema, übersetzt: Globales Satellitennavigationssystem, online verfügbar: <http://www.glonass-center.ru/en/>, zuletzt angesehen: 30.12.2011
- [35] GALILEO, online verfügbar: <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>, zuletzt angesehen: 30.12.2011
- [36] B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon: "Beyond the Kalman Filter - Particle Filters for Tracking Applications" Artech House, 2004
- [37] Y. Abramson and B. Steux, "Hardware-friendly pedestrian detection and impact prediction," in Proc. IEEE Intell. Veh. Symp., Jun. 2004, pp. 590
- [38] D. Schwarz, „Fußgängerschutz durch kooperative Sensorik“, Shaker Verlag Aachen, 2010, Seite 74 ff. –595
- [39] S. Zecha, O.Scherf, W.Bauer, S. Bauer, „Optimaler Fußgängerschutz durch situationsgerechte Einschätzung der Fußgängerbewegung“, 24. VDI/VW Gemeinschaftstagung Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, Wolfsburg, 2008, VDI Wissensforum GmbH
- [40] D. Gavrilla, M. Kunert, and U. Lages, "A multi-sensor approach for the protection of vulnerable traffic participants - the PROTECTOR project", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, Hungary, May 21-23. 2001, S. 2044 f

4. Stand der Technik

- [41] PreVENT Project: online verfügbar: <http://www.prevent-ip.org/>, zuletzt angesehen 11.07.2011
- [42] SAFESPOT Project: online verfügbar: <http://www.safespot-eu.org/>, zuletzt angesehen: 11.07.2011
- [43] WATCH-OVER Project: online verfügbar: <http://www.watchover-eu.org/>, zuletzt angesehen 11.07.11
- [44] AMULETT Project: online verfügbar: <http://www.projekt-amulett.de>, zuletzt angesehen 11.07.11
- [45] Ko-TAG Project: online verfügbar: <http://www.kofas.de/ko-tag.html>, zuletzt angesehen: 11.07.11
- [46] Aktiv Project: online verfügbar: <http://www.aktiv-online.org/> , zuletzt angesehen 11.07.11
- [47] SKY Project: online verfügbar: <http://www.nissan-global.com/EN/ENVIRONMENT/SOCIAL/ITS/> , zuletzt angesehen 11.07.11
- [48] IEEE 802.11p Standard, online verfügbar: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11p-2010.pdf>, zuletzt angesehen 30.12.2011
- [49] Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland (SIM – TD) online verfügbar: <http://www.sim-td.de/>, zuletzt angesehen: 30.12.2011
- [50] Crash Avoidance Metrics Partnership (CAMP), online verfügbar: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/CAMPS.pdf> zuletzt angesehen: 30.12.2011
- [51] T. Gandhi and M. M. Trivedi, "Pedestrian protection systems: Issues, survey and challenges", IEEE Trans. Intell. Transport Syst., vol. 8, no. 3, pp. 413–430, Sept. 2007

5 Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

Mobiltelefone sind heute nicht mehr nur ein Mittel der Sprachkommunikation, des Austauschs von Kurzmitteilungen und des Kalendermanagements, sondern intelligente Geräte mit vielen Funktionen. Besonders in den letzten Jahren wurden viele neue Funktionen in Mobiltelefone implementiert. So dient das Mobiltelefon heute zusätzlich unter anderem zur Navigation, als mobiles elektronisches Büro, mobiles Internet-Device, Kontaktzentrale zu sozialen Netzwerken, mobile Spielekonsole, Multimediaplayer, etc. Mit neuen und für neue Funktionen wurden ebenso eine Anzahl neuer Sensoren und Kommunikationsschnittstellen integriert. So sind in solchen „intelligenten Mobiltelefonen“, auch Smartphones genannt, neben dem Mikrofon auch Sensoren wie GPS Empfänger, Kamera, Beschleunigungssensoren, Gyroskop, Kompass, Lichtsensor, etc. integriert. Neben den Sensoren bieten diese Geräte auch unterschiedliche Kommunikationsschnittstellen. So werden für zellulare Netzwerke heute typischerweise die Standards GSM (Global System for Mobile Communications), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) und HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) eingesetzt. Der Mobilfunkstandard *Long Term Evolution* (LTE), der zurzeit in Deutschland eingeführt wird, ergänzt diese Liste in naher Zukunft. Als weitere Funktechnologien zum Datenaustausch werden typischerweise die WLAN Schnittstellen des IEEE 802.11b, IEEE 802.11g oder IEEE 802.11n Standards sowie Bluetooth verwendet. Auf Grund der Spezifikationen wird Bluetooth jedoch nur im Bereich kurzer Distanzen verwendet. Neben der erhöhten Funktionalität wurde auch die Leistungsfähigkeit ständig erweitert. Hatten Highend Mobiltelefone vor ca. 10 Jahren noch Prozessoren mit einer Taktung von ca. 100MHz und einen Arbeitsspeicher von ca. 3-4 Megabyte (MB), so sind derzeit in modernen Highend Geräten Mehrkern-Prozessoren verbaut, welche bereits Taktraten im Bereich von 1GHz und höher als auch bis zu 1 Gigabyte (GB) Arbeitsspeicher besitzen. So arbeitet z.B. im Samsung Galaxy S2 Smartphone ein 1.2 GHz getakteter Zweikernprozessor oder im iPhone 4S ein 800 MHz getakteter Zweikernprozessor, der jedoch auf Grund einer anderen Architektur auf mindestens ebenso so gute Leistungsdaten kommt, wie dies Vergleichstests in [1] darstellen. Vierkern Prozessoren sollen in naher Zukunft folgen. Die Leistungsdaten, die zur Verfügung stehenden Sensoren und die hohe Penetration dieser

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

Geräte macht diese für ein Kollisionsvermeidungssystem zwischen Autos und Fußgänger attraktiv, welches in diesem Kapitel beschrieben wird.

5.1 Systemarchitektur

Die Nutzung des Mobiltelefons des Fußgängers in einem Kollisionsvermeidungssystem ist nicht nur Bestandteil von dem im Folgenden vorgeschlagenen System, sondern wird auch bereits in anderen Ansätzen untersucht, so z.B. in dem in [2] beschriebenen System, welches bereits sehr interessante Feldversuche eines Prototyps aufweist. Gemeinsamkeiten besitzt das nachfolgend beschriebene System in der Nutzung der Kommunikationsschnittstellen des Mobiltelefons und des Autos, als auch in der Möglichkeit sowohl den Fußgänger als auch den Autofahrer zu warnen. Neben der Nutzung des im Mobiltelefon implementierten GPS Systems werden weitere Informationsquellen, wie z.B. Sensoren und Datenbanken des Telefons im vorgenannten System nicht erwähnt, was das nun vorgestellte System neuartig in dieser Form macht. In der folgenden Beschreibung soll nun ein Überblick über dieses neue Kontext-Informationbasierte Kollisionsvermeidungssystem gegeben werden. Es besteht aus den Einheiten:

- Kontext Informationsquellen des Mobiltelefons des Fußgängers
- Informations- und Kommunikationseinheit des Fahrzeugs
- Auswerteeinheit des Systems
- Funkbasierter Informationsaustausch
- Filter Algorithmus zur Bestimmung der gefährdeten Personen

Im Folgenden werden nun die einzelnen Komponenten des Systems betrachtet.

5.1.1 Kontext Informationsquellen des Mobiltelefons des Fußgängers

Der Begriff Kontext-Informationsquelle bezeichnet im folgenden Zusammenhang alle Informationsquellen, die dem System durch das Mobiltelefon zur Verfügung stehen, um Informationen über den Fußgänger zu erhalten. Dies sind einerseits Informationen der aktuellen Nutzung des Mobiltelefons, wie z.B. telefonieren, Mitteilungen lesen oder Musik hören von Interesse, denn so kann auf eine mögliche Ablenkung und Wahrnehmungsmöglichkeiten geschlossen werden. Weiterhin sind die diversen Sensoren des Mobiltelefons, wie Beschleunigungssensor, digitaler Kompass, Mikrofon, GPS, etc. interessant. Diese Sensoren können dazu dienen, die aktuelle Aktivität des Fußgängers zu erkennen. Auch sind Umgebungen mit hohem Geräuschpegel identifizierbar, in denen ein herannahendes Auto vom

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

Fußgänger schlechter wahrgenommen werden kann. Als weitere Informationsquelle können Profilinformatoren über den Fußgänger genutzt werden. Diese können von unterschiedlichem Ursprung sein. So können dies Kalenderinformationen sein, aber auch ermittelte oder eingegebene Profilinformatoren, ebenso wie aktuelle Betriebsinformationen des Mobiltelefons.

5.1.2 Die Informations- und Kommunikationseinheit des Fahrzeugs

Dieses Element beinhaltet alle vom Fahrzeug gemessenen und erfassten Daten. Enthalten sind in diesen Daten unter anderem die aktuelle Geschwindigkeit, Beschleunigung, Lenkeinschlag und, falls verfügbar, Informationen über Ziel, geplante Route, bisher gefahrene Zeit und das Fahrverhalten des Fahrers. Ebenso sind Informationen über ablenkende Tätigkeiten wie Telefonaktivität sowie Interaktionen mit dem Auto Entertainment-, Komfort- und Informationssystemen von Interesse. Diese lassen Rückschlüsse auf das Aufmerksamkeitspotential des Fahrers zu, wie es bereits in einigen Fahrerassistenzsystemen genutzt wird. Eine Übersicht über einige der möglichen Informationen, die durch die verschiedenen Informationsquellen des Mobiltelefons des Fußgängers, denen des Fahrzeugs und weiterer Informationsquellen zur Verfügung gestellt werden könnten, ist in Tab. 5.1 zu sehen.

<i>Mobiltelefon Hardware- Informationsquellen</i>	<i>Bordautonome Sensoren</i>
<ul style="list-style-type: none">- Positionierung (GPS/ GLONASS/ GALILEO)- Beschleunigungssensor- Gyroskop- Kompass- Mikrophon- Kamera- Kommunikationsschnittstellen- ...	<ul style="list-style-type: none">- Positionierung (GPS/ GLONASS/ GALILEO)- Geschwindigkeitssensor- Rad-Drehsensor- Gyroskop- Lenkwinkelsensor- Kompass- Radar- Kamera(s)- LIDAR- Kommunikationsschnittstellen- ...

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

<i>Mobiltelefon Software- Informationsquellen</i>	<i>Fahrzeug Software- Informationsquellen</i>
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Kalender</i> - <i>Ermittelte Bewegungsprofile:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geschwindigkeit und Dauer ▪ Auffälligkeiten ▪ Wiederkehrende Bewegungsmuster - <i>Eingegebene Profilinformationen:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alter ▪ Perzeptive Einschränkungen ▪ Motorische Einschränkungen ▪ maximale Beschleunigung ▪ maximale Geschwindigkeit - <i>Aktivität:</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Telefonieren ▪ Musik hören mit Lautstärke Information ▪ Emails, SMS lesen/ schreiben ▪ Surfen, ▪ chatten. ▪ ... 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Navigation</i> - <i>Infotainment</i> - <i>Ermitteltes Fahrprofil</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fahrdauer ▪ Fahrverhalten - ...
<i>Ortsbezogene Informationen</i>	<i>Allgemeine Informationen</i>
<ul style="list-style-type: none"> - <i>Besonderheiten</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nähe Haltestelle (auch Fahrpläne) ▪ Kreuzungen ▪ Fußgängerüberwege ▪ Ampeln ▪ Kreuzungen ▪ Baustellen ▪ Umgebungslautstärke ▪ Ortslage ▪ Wetterdaten ▪ Besonderheiten der Straße und Straßenführung ▪ ... 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Datum</i> - <i>Uhrzeit</i> - ...

Tab. 5.1: Übersicht über mögliche Informationsquellen

5.1.3 Die Auswerteeinheit

Die Auswerteeinheit nimmt alle Informationen entgegen und wertet diese auf mögliche Kollisionen aus. In Abhängigkeit der verwendeten Kommunikationsarchitektur, die später in diesem Kapitel erläutert wird, existieren unterschiedliche Optionen den Ort dieser Einheit zu wählen. Nach Auswertung der Informationen sendet diese auch eine Warnung aus, falls dies nötig ist.

5.1.4 Funkbasierter Informationsaustausch

Damit die Informationen von Mobiltelefon und Auto in der Auswerteeinheit zur Risikoanalyse zur Verfügung stehen, müssen diese per Funkübertragung übermittelt werden. Hier können unterschiedliche Kommunikationsarchitekturen und entsprechende Kommunikationstechnologien verwendet werden. Die drei möglichen Kommunikationsarchitekturen sollen nun im Folgenden erläutert werden.

1. Ad-Hoc basierte Netzwerke basierend auf WLAN Technologie

Die erste Kommunikationsarchitektur, die in diesem Zusammenhang betrachtet werden soll ist die Nutzung einer direkten Verbindung zwischen den Kommunikationspartnern. In dieser Kommunikationsarchitektur, welche allgemein auch die Bezeichnung Ad-hoc Kommunikation trägt, wird keine Infrastruktur zur Kommunikation genutzt. Zwischen den zwei Kommunikationsendpunkten, in diesem Fall zwischen dem Auto und dem Mobiltelefon des Fußgängers, wird eine direkte Verbindung aufgebaut, sobald diese in den gemeinsamen Kommunikationsbereich kommen. Hierbei besteht keine direkte Zugriffskontrolle auf das Übertragungsmedium. Im gewissen Rahmen sieht hier der auf WLAN Ad-Hoc Netzwerken basierte Entwurf des Car-2-Car Kommunikation Standards IEEE 802.11p eine Art Ausnahme vor. Dieser speziell für den Anwendungsfall der Fahrzeugkommunikation erarbeitete Standard sieht gesonderte Kanäle für Notfall-/ Unfallmeldungen vor, damit eine Übertragung dieser Meldungen stets gewährleistet [3] bleibt. Die Reichweite der Ad-Hoc Netzwerk Kommunikationsgeräte ist auf Grund der verwendeten Antennen und Sendeleistungen eingeschränkt. Unter optimalen Bedingungen betragen diese bei WLAN 802.11p basierter Car2X Kommunikation einige hundert Meter [4] bei anderen WLAN Standards deutlich darunter. Auf Grund von Störungen wie Abschattung, Reflexionen, etc. kann die Reichweite auch deutlich geringer sein. Dies kann jedoch in einem Kollisionsvermeidungssystem zwischen Autos und Fußgängern auch von Vorteil sein, da automatisch nur die Fußgänger betrachtet werden, die sich im Kommunikationsbereich befinden und sich

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

damit auch in der Nähe des Autos aufhalten. Die Verwendung des IEEE 802.11p Standards ist mit aktuellen Mobiltelefonen nicht möglich, da diese Kommunikationsschnittstelle noch nicht in Mobiltelefonen vorgesehen ist. Eine Erweiterung von Mobiltelefonen um die Kommunikationsschnittstelle dieses Standards ist jedoch vorstellbar, wenn sich die Anforderung dafür zeigen sollte.

2. Infrastrukturbasierte Mobilfunk-Kommunikation auf Basis zellulärer Netze

In infrastrukturbasierten Mobilfunk-Kommunikationsarchitekturen übermitteln mobile Kommunikationsgeräte über fest installierte Sender-/ Empfänger-Stationen die auszutauschenden Informationen. Durch eine Anbindung der fest installierten Sender-/ Empfängerstationen an ein Netzwerk können Daten über lange Distanzen weitergeleitet werden und dort wiederum über Mobilfunk-Kommunikation an den Empfänger übertragen werden. Um den Bereich der zu betrachtenden Personen auf einen sinnvollen Radius einzuschränken, ist ein künstlicher maximaler Kommunikationsradius festzulegen, der je nach Umgebungsvariablen angepasst werden kann. Im Bereich zellulärer Netze haben sich derzeit diverse Standards etabliert, so z.B. GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA und HSUPA, wobei besonders neuere Technologienstandards, wie UMTS, HSDPA und HSUPA, auf Grund von Optimierungen zur Datenübertragung für den Einsatz in einem Kollisionsvermeidungssystem geeignet scheinen. Ferner besitzen zellulare Netze eine Zugriffsregulierung, wodurch eine Übertragung von Informationen gesteuert und gesichert werden kann.

3. Hybride Kommunikationsarchitektur

Der Begriff hybride Mobilfunk-Kommunikationsarchitekturen beschreibt unterschiedliche Optionen Ad-Hoc und infrastrukturbasierte Mobilfunk-Kommunikationsarchitekturen zu kombinieren. So besteht die Möglichkeit, wie in [2] beschrieben, zellulare Mobilfunktechnik für lange Distanzen zu nutzen und bei Annäherung der Kommunikationsgeräte auf Ad-Hoc basierte Kommunikation zu wechseln. In dieser Kombination können bereits während der zellularen Kommunikation Informationen zum Aufbau einer Ad-Hoc Netzwerkverbindung übertragen werden, bzw. kann eine Ad-Hoc Verbindung zusätzlich aufgebaut werden, sodass es keine Lücke in der Übertragung gibt. Eine andere Option ist die Verwendung Ad-Hoc-basierter Kommunikation als Ausfallsicherung der zellularen Kommunikation oder umgekehrt. So wäre es möglich, eine Kommunikation auf die jeweilige andere Kommunikationstechnologie spontan umzuschalten und den

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

fortlaufenden Betrieb gewährleisten. Ebenso könnten Engpässe von einzelnen Kommunikationstechnologien auf diese Weise reduziert bzw. umgangen werden. Mit einem geeigneten Mechanismus müsste die Auslastung der jeweiligen Kommunikationstechnologie überwacht werden und im Bedarfsfall ebenso zwischen den Technologien gewechselt werden. Eine zusätzliche Option wäre die Übertragung der Informationen vom Auto zum Mobiltelefon mit Hilfe von Ad-Hoc Kommunikation und dann die Übermittlung der kumulierten Daten von Auto und Mobiltelefon an eine zentrale Stelle mit Hilfe von zellularen Netzen. Durch diese Konstellation wäre die Nutzung einer zentralen Recheneinheit möglich, jedoch werden in diesem Fall auch die Verzögerungszeiten erhöht, da die Informationen einen zusätzlichen Kommunikationsknotenpunkt durchlaufen müssen. Außerdem würde in diesem Fall die Batterie-Laufzeit des Mobiltelefons zusätzlich reduziert.

5.1.5 Optionen zur Auswahl der Berechnungseinheiten

Ad Hoc basierte Kommunikation

Mit dem Einsatz unterschiedlicher Kommunikationsarchitekturen ist auch die Möglichkeit zur Auswahl von Auswerteeinheiten verbunden. Die Auswahl der Kandidaten beschränkt sich in Ad-Hoc basierten Netzen, wie in Abb. 5.1 gezeigt, auf die Recheneinheit des Autos und dem Mobiltelefon des Fußgängers, wobei unterschiedliche Konstellationen der Rechenlastverteilung möglich sind.

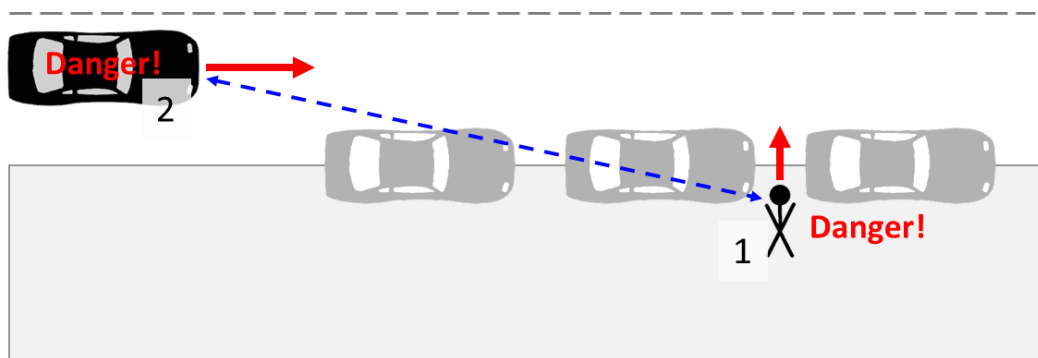


Abb. 5.1: Verfügbare Berechnungseinheiten Ad-Hoc basierter Kollisionsvermeidungssysteme

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

Redundante Berechnung

Die erste Möglichkeit ist eine redundante Berechnung. In diesem Fall berechnet sowohl das Mobiltelefon des Fußgängers als auch die Recheneinheit des Autos das Kollisionsrisiko. Beim Ausfall der Kommunikation ist somit eine Warnung beider Verkehrsteilnehmer noch immer möglich, jedoch wird auch die Akkulaufzeit des Mobiltelefons durch den Rechenaufwand reduziert, was sich negativ auf die Akzeptanz des Benutzers gegenüber dem System auswirkt. Auch ist in diesem Fall der Datenverkehr sehr hoch, da von beiden Kommunikationspartnern alle Daten übertragen werden müssen.

Berechnung auf dem Smartphone

Gleiches gilt für die zweite Option, dass alle Informationen auf dem Mobiltelefon des Fußgängers gesammelt werden und dann Berechnungen auf diesem Mobiltelefon durchgeführt werden. Das Ergebnis muss dann wieder an das Auto übertragen werden.

Verteilte Berechnung

Die dritte Option ist eine Verteilung der Rechenlast unter Verwendung von verteilten Algorithmen. In diesem Modell werden die Berechnungsschritte aufgeteilt. Die zu berechnenden Daten werden von der zum Server bestimmten Berechnungseinheit gesplittet, an die andere Berechnungseinheit übermittelt, fertig berechnete Daten wieder gesammelt und zum Gesamtergebnis kombiniert. Das Ergebnis wird dann an die andere Berechnungseinheit übermittelt. Diese Art der Lastverteilung kann zur beschleunigten Abarbeitung der einzelnen Berechnungsschritte dienen. Sie ist jedoch auch auf Grund von Verzögerungen der Übermittlung, durch erhöhten Aufwand der Verteilung und Sammlung von Daten, aber auch durch den erhöhten Datenverkehr für den Einsatz im beschriebenen System sehr wahrscheinlich ungeeignet. Auch in diesem Fall würde die Akkulaufzeit des Mobiltelefons durch die durchzuführenden Berechnungen deutlich reduziert werden.

Berechnungen an Bord des Autos

Die vierte und zugleich letzte Option dieser Konstellation bei Verwendung ad-hoc-basierter Kommunikation ist die Nutzung der Recheneinheit des Autos,

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

um alle Berechnungen durchzuführen. Diese Wahl hätte zwar zur Folge, dass bei einer plötzlich gestörten Kommunikation keine Übermittlung der Warnung an den Fußgänger möglich wäre, jedoch ist es noch immer möglich, den Fahrer zu warnen. Diese Wahl zeigt weitere Vorteile. Zum einen müssen die Daten des Fahrzeugs nicht zusätzlich übertragen werden, was eine Reduktion der zu übertragenden Daten bedeuten kann. Durch eine Reduzierung des Datenverkehrs und Berechnungen auf dem Smartphone wird auch dessen Recheneinheit weniger belastet. Hierdurch fällt auch die Reduzierung der Akkulaufzeit im Vergleich zu den anderen Berechnungs-Konstellationen geringer aus.

Zellular basierte Kommunikation

Wird eine infrastrukturbasierte Mobilfunk – Kommunikation verwendet, so ist zu den oben genannten Möglichkeiten zusätzlich der Einsatz einer weiteren Recheneinheit möglich, wie in Abb. 5.2 zu sehen. Hierbei handelt es sich um einen

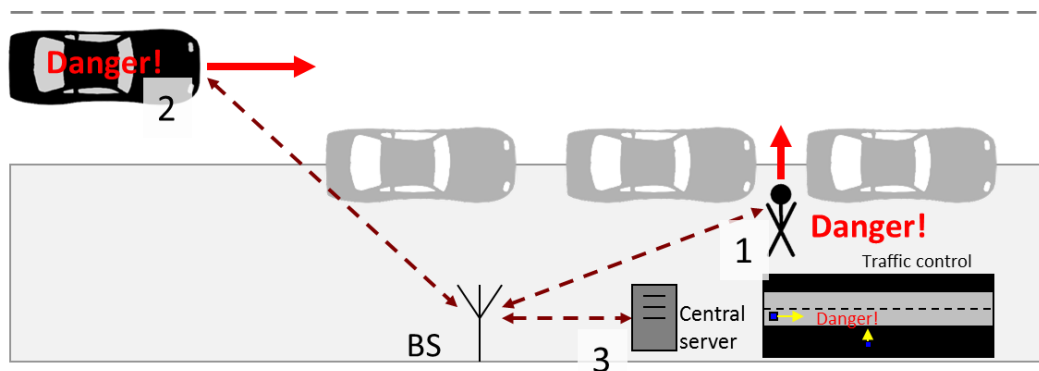


Abb. 5.2: Verfügbare Recheneinheiten zellular basierter Kollisionsvermeidungssysteme [5]

zentralen Rechner, der entsprechend den Bedürfnissen mit dedizierter Hardware ausgelegt werden kann. Auch in diesem Fall ist wieder die Frage zu stellen, welche Prioritäten gelten. Sollen zusätzlich benötigte Hardware und Kosten reduziert werden, so ist eine Berechnung im Auto die geeignetste Option. In diesem Fall werden wie bei der ad-hoc basierten Kommunikation Informationen vom Mobiltelefon und evtl. Informationen optionaler zusätzlicher Informationsquellen zum Auto und, wenn nötig, eine Warnung vom Auto an den Fußgänger übermittelt. Soll eine möglichst leistungsfähige Hardware eingesetzt werden, so sind die Informationen an den zentralen Rechner zu übermitteln und evtl. eine Warnung zurück. Durch die benötigte Übertragung von Informationen des Autos bedeutet dies aber auch einen erhöhten Datenverkehr und somit die Notwendigkeit einer höhe-

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

ren Netzkapazität. In Tab. 5.2 und Tab. 5.3 ist jeweils eine Übersicht der unterschiedlichen Konstellationen und deren Vor und Nachteile gelistet. Die verwendeten Kriterien, die hier gelistet sind, geben zum einen den Energiekonsum auf dem Mobiltelefon wieder. Das Kriterium Zeitagilität gibt die nötige Verbindungs- und Übertragungszeit. Die Zuverlässigkeit gibt an, wie zuverlässig eine Verbindung aufgebaut werden kann und wie Daten übertragen werden können. Weiterhin gibt dieses Kriterium an, wie auf die Kommunikation Einfluss genommen werden kann.

Ad-Hoc Kommunikationsarchitektur: Berechnungseinheit Kombinationen Eigenschaftsübersicht			
A= Auto, m= Mobiltelefon	A	M	A, M
Kriterien			
Energie Konsum	+	--	-
Zeit Agilität	-	-	-
Zuverlässigkeit	-	-	-
++ sehr gut, + gut, 0 neutral, - schlecht, -- sehr schlecht			

Tab. 5.2: Übersicht der Vor- und Nachteile der Ad-Hoc Architektur, analog [6]

Zellular Kommunikationsarchitektur: Berechnungseinheit Kombinationen Eigenschaftsübersicht							
A= Auto, zS=zentraler Server, M= Mobiltele- fon	A	M	zS	A, M	M, zS	A, zS	A, zS, M
Kriterien							
Energie Konsum	++	-	++	-	-	++	0
Zeit Agilität	+	+	+	+	+	+	+
Zuverlässigkeit	-	-	+	+	+	+	+
++ sehr gut, + gut, 0 neutral, - schlecht, -- sehr schlecht							

Tab. 5.3: Übersicht der Vor- und Nachteile der zellularen Architektur, analog [6]

Hybride Kommunikation

Bei hybrider Kommunikation stehen generell die gleichen Optionen zur Verteilung der Berechnungseinheiten wie bei der Verwendung zellulärer Kommunikationsarchitektur zur Verfügung. Wird eine zentrale Recheneinheit zur Auswertung der Informationen bei hybrider Kommunikationsarchitektur genutzt, wie dies in Abb. 5.3 illustriert ist, so ist darauf zu achten, dass beim Umschalten auf Ad-Hoc-basierte Kommunikation diese nicht mehr zur Verfügung steht. In diesem Fall wird ein geeigneter Mechanismus benötigt, der rechtzeitig einen Wechsel zur zu-

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

ständigen Berechnungseinheit veranlasst, um Verzögerungen im System zu vermeiden.

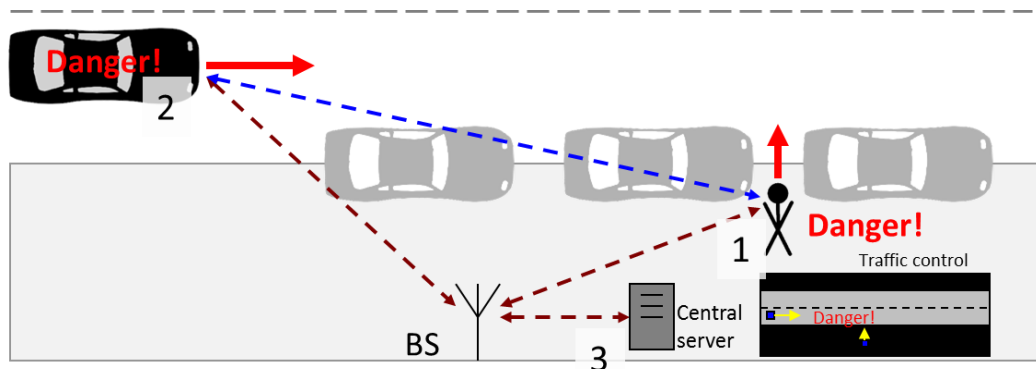


Abb. 5.3: Verfügbare Berechnungseinheiten von Kollisionsvermeidungssystemen basierend auf hybrider Kommunikationsarchitektur: 1. Mobiltelefon des Fußgängers, 2. Berechnungseinheit des Fahrzeugs, 3. Zentraler Server [6]

5.2 Filter Algorithmus zur Bestimmung der gefährdeten Personen

Da nicht jeder Fußgänger, der auf dem Gehweg neben der Straße läuft automatisch eine gefährliche Situation hervorruft, ist es unerlässlich, die relevanten und irrelevanten Fälle zu trennen. Daher ist ein wichtiges Element eines jeden Kollisionsvermeidungssystems die Ermittlung des Kollisionsrisikos zwischen Auto und Fußgänger. Die Herausforderung ist hierbei den Fahrer und in diesem System ebenso den Fußgänger nicht durch unnötige Warnungen abzulenken, aber relevante Fälle dürfen nicht aus der Betrachtung herausfallen, sondern müssen zuverlässig identifiziert und zur Aufmerksamkeit gebracht werden. Um dies zu bewerkstelligen, wird in diesem System ein Verfahren vorgeschlagen, welches eine Kombination aus möglichst vielen verfügbaren Kontextinformationen des Fußgängers und Informationen des Autos verwendet, um die Situation zu bewerten. Hierfür stehen, wie bereits oben erwähnt, bereits heute eine große Anzahl unterschiedlicher Informationen aus integrierten Hardware-Informationsquellen sowohl vom Auto als auch vom Smartphone des Fußgängers zur Verfügung. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dem System durch die Ermittlung und Eingabe weiterer Informationen zusätzliche Merkmale zur Verfügung zu stellen, um eine mögliche Verbesserung der Berechnung des Risikopotentials herbeizuführen. Der erste Schritt eines Systems ist es, die Fälle auszuschließen, die auf Grund Ihres Abstands zur Straße und Ihrer physiologischen Möglichkeiten auf keinen Fall die Straße erreichen können, bevor das Auto den Fußgänger passiert hat. Alle weiteren Fälle müssen im Detail an Hand der weiteren Eigenschaften analysiert werden. Wie sich zur Verfügung stehende Information auf eine Bewertung des Risiko-

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

potentials auswirken können, soll nachfolgend kurz an Hand eines Simulationsbeispiels erläutert werden.

Bedeutung von Informationen zur Kollisionsvermeidung

Um die Bedeutung von Informationen in einem Kollisionsvermeidungsszenario darzustellen, wurde eine einfache Simulation eines Kollisionsvermeidungsszenarios implementiert. In diesem Szenario wurde ein typisches Kollisionsvermeidungsszenario gewählt. Es beinhaltet eine Straße im innerörtlichen Bereich, auf der ein Auto mit einer Geschwindigkeit von 50km/h fährt. Angrenzend an die Straße befindet sich ein Gehweg. Auf dem Gehweg befinden sich 20 Personen in unterschiedlichen Abständen zur Straße und zum Auto. Die Fußgänger bewegen sich teilweise mit unterschiedlichen konstanten Geschwindigkeiten und in unterschiedliche Richtungen zur Straße, parallel zur Straße oder von der Straße weg. Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen von Fußgängern als auch Ausweich- und Kollisionsvermeidungsmodelle zwischen Fußgängern werden in dieser Simulation nicht modelliert. In Abhängigkeit zum Abstand zum Auto werden die Fußgänger vom Auto nun nach und nach detektiert. Mit Hilfe eines geometrischen Modells wird nun das Kollisions-Risiko-Potential zwischen Fußgänger und Auto berechnet. In diesem Modell wird angenommen, dass sowohl das Auto als auch der betrachtete Fußgänger die Richtung und Geschwindigkeit beibehalten, in der diese sich gerade bewegen. Auf Basis dieser Annahmen und Informationen werden die Bewegungspfade vorausberechnet und auf Schnittpunkte untersucht. Zeigt sich ein Schnittpunkt, so wird geprüft, ob der Fußgänger diese Position erreichen kann bevor das Auto diese Position passiert hat. Sollte es dem Fußgänger möglich sein, diese Position zu erreichen, bevor das Auto die Position passiert hat, so wird dieser als gefährdet eingestuft. Zur Darstellung der Abhängigkeit der Einschätzung des Kollisionsrisikos von zur Verfügung stehenden Informationen, wird nun von drei unterschiedlichen Sätzen von Informationen ausgegangen. In jedem dieser Fälle sind alle Informationen über das Auto bekannt, wie derzeitige Position, Geschwindigkeit, Lenkwinkelschlag, etc. Die verfügbare Information über den Fußgänger variiert jedoch und wird in den folgenden Fällen beschrieben.

1. Die Position des Fußgängers ist bekannt.

In diesem Fall ist es dem Kollisionsvermeidungssystem möglich die aktuelle Position des Fußgängers zu ermitteln, jedoch keine anderen Informationen über den Fußgänger. Wie in Abb. 5.4 dargestellt ist, hat dies zur Folge, dass nun alle Bewegungsrichtungen zur Straße untersucht werden müssen, ob es dem Fußgänger möglich ist einen dieser Schnittpunkte zu erreichen, bevor das Auto diesen Punkt mit den aktuellen Bewegungsparametern passiert hat. Sollte es dem Fußgänger möglich sein die Straße zu erreichen bevor das Auto diese Position erreicht hat, so gilt der Fußgänger als gefährdet.

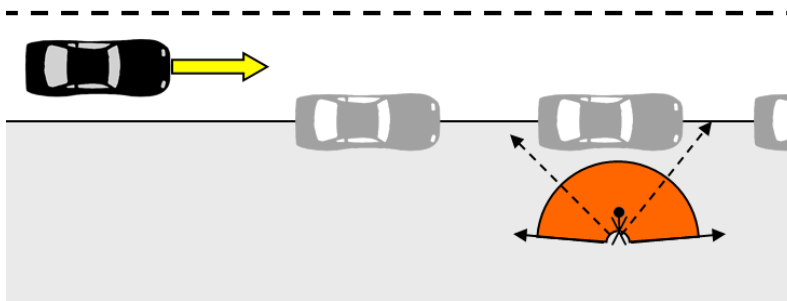


Abb. 5.4: Situation Position des Fußgängers bekannt [7].

Da keine Information über die aktuelle Geschwindigkeit des Fußgängers bekannt ist bzw. die Information wie schnell sich dieser bewegen kann, muss ein Ersatzwert genutzt werden. Für diesen Ersatzwert wird eine maximale Geschwindigkeit angenommen, die ein durchschnittlicher Fußgänger erreichen kann. Die verwendete maximale Geschwindigkeit der Fußgänger dieser Simulation von 7 m/s wurde aus [8] übernommen. Durch die geringe Menge an Informationen wird eine große Menge an Fußgängern als gefährdet eingestuft, was zu einer hohen Zahl von falschen Warnungen führt. Hierdurch tendiert das System im Auge des Fahrers als störend und nicht nützlich empfunden zu werden.

2. Die Position und die Bewegungsrichtung des Fußgängers sind bekannt.

In diesem Fall ist es dem Kollisionsvermeidungssystem möglich, die Position und die Ausrichtung des Fußgängers zu bestimmen. Die Ausrichtung des Fußgängers wird als Bewegungsrichtung angenommen. Nun wird wieder geometrisch das Kollisionsrisiko des Fußgängers mit dem Auto berechnet, wie in Abb. 5.5 illustriert. Es wird nur die aktuelle Bewegungsrichtung des Fußgängers betrachtet, jedoch weiterhin unter der Verwendung des Geschwindigkeit Ersatzwerts für den Fußgänger.

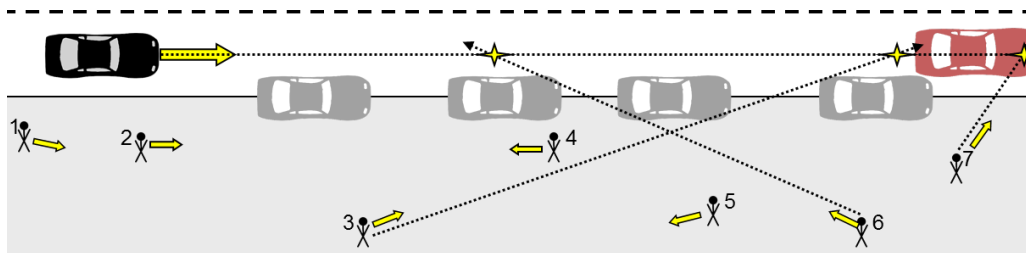


Abb. 5.5: Situation: Position und Richtung des Fußgängers sind bekannt [7]

Durch die Berücksichtigung der Bewegungsrichtung der Fußgänger konnte eine Reduzierung der als gefährdet eingestuft Personen erzielt werden. Hiermit geht auch eine Reduzierung der fehlerhaften Warnungen einher.

3. Die Position, Bewegungsrichtung und aktuelle Geschwindigkeit des Fußgängers sind bekannt

Neben der Position und der Ausrichtung des Fußgängers ist es dem System in diesem Fall auch möglich, die Geschwindigkeit des Fußgängers zu ermitteln. An Hand dieser Informationen wird nun wieder die Möglichkeit einer Kollision bestimmt, wie in Abb. 5.6 gezeigt. Durch Nutzung der aktuellen Geschwindigkeit werden nunmehr wiederum eine Reduzierung der Anzahl der als gefährdet eingestuft Personen berechnet.

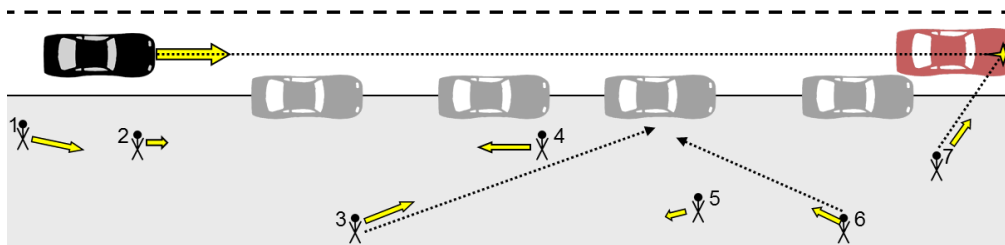


Abb. 5.6: Situation: Position, Richtung und Geschwindigkeit des Fußgängers sind bekannt [7]

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

Eine geometrische Vorausberechnung zeichnet ein recht einfaches Modell ab, jedoch kann an Hand dieses Beispiels bereits die Bedeutung zur Verfügung stehenden Informationen erläutert werden, die in diesem Fall benötigte Basisinformationen wiedergeben. Durch eine Erweiterung von zur Verfügung stehender Informationen ist möglicherweise auch eine weitere Reduzierung der Fälle möglich oder aber auch ein Hinweis auf Kandidaten, die zum Zeitpunkt der Momentaufnahme zwar unauffällig erscheinen, aber auf Grund Ihrer auffälligen Bewegungsmuster, Ihres Terminkalenders oder auch eingeschränkter sensorischen Fähigkeiten ein höheres Risikopotential aufweisen als andere Fußgänger. So könnte ein im Terminkalender eingetragener Termin, zu dem der Fußgänger bereits zu spät kommen droht, zusammen mit der Information schneller Bewegung auf ein vermindertes Aufmerksamkeitspotential deuten. Ist nun noch die Information verfügbar, dass sich der Ort des Termins auf der anderen Straßenseite befindet, ist die Risikostufe nochmals anzuheben, da evtl. die Risikobereitschaft zum Überqueren der Straße trotz herannahenden Fahrzeugs erhöht ist. So gibt es neben den Grundinformationen von Position, Richtung und Geschwindigkeit eine Vielzahl weiterer interessanter Informationen über den Fußgänger, die mit heute verfügbarer Technologie ermittelt bzw. eingegeben und dann genutzt werden können. Wie bereits in Tab 5.1 auf Seite 50-51 aufgeführt gibt es eine Reihe von Beispielen möglicher Zusatzinformationen, die bei der Einschätzung des Gefahrenpotentials eines Szenarios hilfreich sein können.

Diese Informationen sind in verschiedenen Modellen zur Analyse des Gefahrenpotentials nützlich. Neben geometrischen Modellen zur Kollisionsvermeidung existieren zahlreiche weitere Ansätze die Bewegungstrajektorie des Fußgängers vorherzusagen. So wurden auch spezielle Ansätze für die Domäne der Kollisionsvermeidung entwickelt, die die Dynamik des Fußgängers mit einbeziehen. Beispiele solcher Ansätze zur Bestimmung des möglichen Aufenthaltsbereichs des Fußgängers werden bereits in Kapitel Stand der Technik erwähnt. In diesen Ansätzen wird nicht von einer konstanten Trajektorie des Fußgängers ausgegangen, sondern an Hand von Parametern der mögliche Aufenthaltsbereich des Fußgängers berechnet. Ein weit entwickelter Ansatz innerhalb der Gruppe der Aufenthaltsbereich bestimmenden Ansätze, ist der in [9] beschriebene Ansatz. Inhalt dieses Ansatzes ist ein Modell, welches die physiologischen Möglichkeiten eines Menschen berücksichtigt, um dessen möglichen Aufenthaltsbereich präziser zu bestimmen.

Zusätzlich kann dieses auf empirischen Untersuchungen basierte Modell weiter präzisiert werden, in dem das zukünftige Verhalten mit Hilfe von spezifischen Bewegungsindikatoren vorzeitig eingeschätzt wird. Mit Hilfe dieser Einschätzung wird über den physiologischen Bewegungsspielraum eine statistische Verteilung

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

des Aufenthaltsorts des Fußgängers errechnet, um die Vorhersage zur Kollisionsvermeidung nochmals zu präzisieren. Obwohl dieser Ansatz bereits eine Einschränkung des Bewegungsspielraums mit Hilfe eines auf Messungen basierenden Modells einschränkt, so kann auch dieses Modell mit Hilfe spezifischer, dem einzelnen Fußgänger zugeordneter Zusatzinformationen noch weiter spezifiziert werden [10]. So ist es möglich durch zur Verfügung stehender Profilinformatio eine individuelle Anpassung des Bewegungsspielraums des Fußgängers zu berechnen. Es können hierzu einerseits tatsächlich individuell eingegebene maximale Geschwindigkeiten und Beschleunigungen oder auch altersspezifische Werte verwendet werden. Mit dieser individuellen Information, wie z.B. dass es sich um eine ältere Person mit alterstypischer Beschleunigung und Geschwindigkeit oder um eine Person mit Bewegungseinschränkung handelt, wird es dem System ermöglicht die Berechnung des Bewegungsspielraums einschränkend anzupassen. Dadurch ist es möglich die Zahl der fehlerhaften Warnungen zu reduzieren. Ferner ist es auch möglich mit Hilfe der eingebauten Sensorik des Mobiltelefons und geeigneter Verarbeitung Änderungen im Bewegungsverhalten des Fußgängers festzustellen, wie noch in einem der nachfolgenden Kapitel erläutert wird.

5.3 Weitere Aspekte und Systemkomponenten

Es gibt noch einige weitere Aspekte und Systemkomponenten, die ein System, wie das hier vorgestellte System benötigen. Einige davon sollen hier noch kurz erläutert werden.

Zum einen ist dort die Notwendigkeit genauer Karten für das System zu nennen, um Fußgänger und deren Position zur Straße genau aufeinander abgleichen zu können. Dieses Problem ist jedoch kein spezifisches Problem des vorgestellten Systems. Der Grundgedanke der Car-to-Car Kommunikation zur Meldung von Notfällen, Gefahrensituationen und Gefahrenstellen bedingt ebenso eine genaue Positionierung und genaues Kartenmaterial, um eine genaue Angabe machen zu können, wo die Gefahr ist und welche Zeit noch zur Verfügung steht, die eigene Gefährdung zu vermeiden.

Ein weiterer Aspekt ist die Herausforderung die Daten der unterschiedlichen Sensorquellen zu synchronisieren, sodass eine eindeutige Zuordnung der unterschiedlichen Daten zueinander erfolgen kann. Sind Daten nicht synchron, also zeitlich nicht zuordnungsfähig, so kann dies zu falschen Schlussfolgerungen führen, was zu Fehlwarnungen oder zu Fällen führen kann, in denen eine Warnung nicht erfolgt ist, obwohl diese hätte erfolgen müssen. Eine Möglichkeit Daten mit einem eindeutigen Zeitstempel zu versehen wäre gegeben, wenn alle Systeme mit einem

5. Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger mit Hilfe von Kontext Informationen und Funkübertragung

GPS Empfänger ausgestattet sind und diese Empfänger die empfangene GPS Zeit als Zeitstempel an das System zur Kennzeichnung weiter geben. Hierbei ist zwar noch immer ein gewisser zeitlicher Verzug anzunehmen, jedoch sollte dieser in tolerierbarem Rahmen sein. Eine Untersuchung eines solchen Ansatzes ist mir nicht bekannt, sollte aber einen interessanten Anhaltspunkt für eine Untersuchung zur Nutzbarkeit darstellen. Eine weitere Möglichkeit ist die Synchronisation der Daten über eine Taktung von außen, wobei hier wiederum Verzögerungen durch Funkübertragung berücksichtigt werden müssen.

Ferner ist der Datenschutz ein wichtiger Aspekt eines solchen Systems. Gerade bei einem System, wie dem oben vorgestellten, sollte ein geeigneter Mechanismus implementiert sein, der zwar die Möglichkeit der Nutzung von spezifischen Daten eines Nutzers zur Verfügung stellt, aber keine Möglichkeit bietet anderen Personen oder Systemen Zugriff zu diese Informationen zu gewähren und somit Profilmformationen bzw. Kontextinformationen preiszugeben. Hierfür sollten die Daten auch mit einer geeigneten Verschlüsselung übertragen werden. Die Entwicklung eines solchen Mechanismus, einer entsprechenden Verschlüsselung, als auch die Auswirkungen auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Systems ist nicht Inhalt dieser Arbeit, jedoch ebenso wichtige Aspekte, die zu betrachten sind. Auch ist ein solcher Mechanismus von Interesse für weitere Anwendungen im Sicherheitsbereich, bei dem Nutzerdaten und vom Nutzer gewonnene Daten in einem System ausgetauscht werden.

Nicht zuletzt kann auch das Thema des möglichen Missbrauchs eines solchen Systems betrachtet werden. Diese Problematik stellt sich auch anderen funkbasierten Systemen, so z. B. den transponderbasierten Systemen. In diesen Systemen werden zwar Warnungen gesendet, jedoch ist davon auszugehen, dass der Fahrer mit einer Bremsung reagieren wird, wenn die Warnung eine mögliche Kollision anzeigt. Dies ist transponderbasierten und dem oben vorgestellten Systemen gemeinsam. Möglichkeiten das System zu missbrauchen, indem der Transponder oder das Telefon auf die Straße oder sehr nahe an die Straße gelegt wird, um Fehlwarnungen herbeizuführen sind natürlich möglich. Auch hierfür sind geeignete Wege zu finden, dies zu unterbinden. So wäre eine Möglichkeit eine Registrierung für ein solches System erforderlich zu machen, bei dem der Missbrauch unter Strafe gestellt wird. Ob ein solches Modell geeignet ist oder ob sich andere Modelle bzw. Mechanismen besser eignen ist auch Bestandteil zukünftiger Untersuchungen, sowohl auf rechtlicher als auch technischer Seite.

Diskussion

In diesem Kapitel wurde das Konzept eines Kollisionsvermeidungssystems vorgestellt, welches vorhandene Equipment des Fußgängers zur Datensammlung und Funkübertragung nutzt, um eine Kollision zwischen Auto und Fußgänger zu vermeiden. Hierbei sieht das System eine Warnung des Fahrers als auch des Fußgängers vor einer drohenden Gefahr vor. Dieser grundsätzliche Ansatz ist nicht neu. Die grundlegende Neuheit gegenüber den vorherigen Ansätzen ist die Nutzung aller zusätzlich verfügbaren Informationen über den Fußgänger. So wurde im bisherigen Ansatz, der die Verwendung des Smartphones des Fußgängers vorsieht, lediglich eine Abfolge der Positionen genutzt, um dessen Position, Richtung und Geschwindigkeit zu ermitteln, diese zu übermitteln und letztlich zur Kollisionsvermeidung auszuwerten. Im hier vorgeschlagenen System werden auch die Informationen aller Sensordaten und Aktivitätsinformationen des Smartphones als auch sogenannte Profilinformationen genutzt, welche ermittelte und eingegebene Nutzerinformationen beinhalten. Auf diese Weise lässt sich eine detailliertere Gefahren Potentialanalyse bewerkstelligen.

Im nun folgenden Kapitel werden erste Untersuchungen zur Umsetzbarkeit eines solchen Systems an Hand der eingesetzten Kommunikation vorgestellt.

Referenzen

- [1] Galaxy iPhone Vergleich: online verfügbar: <http://www.connect.de/ratgeber/a5-chip-iphone-4s-schneller-als-galaxy-s2-co-1202389.html>, zuletzt angesehen: 31.12.2011
- [2] C. Sugimoto, Y. Nakamura, and T. Hashimoto, "Prototype of pedestrian-to-vehicle communication system for the prevention of pedestrian accidents using both 3G wireless and WLAN communication", in Proc. Int. Symp. Wireless Pervasive Computing, May 2008, pp. 764–767
- [3] IEEE 802.11p Standard, online verfügbar: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11p-2010.pdf>, zuletzt angesehen 30.12.2011
- [4] L. Stibor, Y. Zang, H.-J. Reumermann, „Evaluation of communication distance of broadcast messages in a vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p”, Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007, S. 254-257
- [5] A. Flach, K. David, “A physical analysis of an accident scenario between cars and pedestrians,” in Proc. IEEE VTC 2009, Anchorage, Sept. 2009
- [6] K. David, A. Flach, “CAR-2-X and Pedestrian Safety”, in IEEE Vehicular Technology Magazine, IEEE, Volume 5 Issue 1, 2010, pp. 70-76, March 2010
- [7] A. Flach, K. David, “Combining Radio Transmission with Filters for Pedestrian Safety: Experiments and Simulations”, IEEE VTC 6-9 September 2010, Ottawa, Canada
- [8] U. Weidmann, “Transporttechnik der Fußgänger, Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs (Literaturauswertung), Schriftenreihe des IVT Nr. 90, Zürich, März 1993“
- [9] S. Zecha., O. Scherf, W. Bauer, S. Bauer, „Optimaler Fußgängerschutz durch situationsgerechte Einschätzung der Fußgängerbewegung“, 24. VDI/VW Gemeinschaftstagung – Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, Wolfsburg, 2008, VDI Wissensforum GmbH
- [10] K. David, A. Flach, "Verfahren zur Kollisionsvermeidung", patent application submitted 1.10.2008 (DE 10 2008 049 824.6), PCT Anmeldung 01.10.2009 erfolgt, internationales Veröffentlichungsdatum 08.04.2010 (WO2010037823A1.pdf)

6 Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Bereits im vorgeschlagenen Kollisionsvermeidungssystem von Sugimoto et al. [1] wird die Nutzung von ad-hoc und zellularbasierter Kommunikation in einem Feldversuch des Systems genutzt. Um einen Eindruck zu erhalten, wie sich die Performance der bereits heute verfügbaren Kommunikationstechnologien für die Implementierung eines Kollisionsvermeidungssystems darstellt, wurden in Experimenten Messungen für ad-Hoc und zellularbasierte Kommunikationstechnologien durchgeführt. Diese sollen im nun folgenden Kapitel betrachtet werden.

6.1 Performance Messungen WLAN basierter Ad-Hoc Netzwerke

WLAN basierte Netzwerke der IEEE 802.11 a, b, g, und n Standards sind heute weit verbreitete Kommunikationstechnologien zum funkbasierten Datenaustausch. Weitgehend alle derzeit auf dem Markt erhältlichen Smartphones besitzen eine WLAN Kommunikationsschnittstelle des IEEE 802.11b bzw. IEEE 802.11g Standards. Auf Grund der einerseits bereits hohen Verfügbarkeit und andererseits geringen Kosten dieser Technologie, stellt sich die Frage, ob diese für die Ad-Hoc-basierte Funkübertragung im Kollisionsvermeidungssystem geeignet ist. Zur Untersuchung dieser Frage wurden im Rahmen eines Experiments Messungen durchgeführt, die sich mit der Frage beschäftigen, bis zu welcher Entfernung es möglich ist eine Verbindung zwischen zwei Geräten aufzubauen. Weitere Untersuchungspunkte sind wie viel Zeit für den Verbindungsaufbau und zur Übertragung von Daten benötigt wird. Für die Messungen wurde der folgende Aufbau verwendet.

Versuchsaufbau WLAN Ad-Hoc Netzwerke

Für den Versuchsaufbau wurden ein Kommunikationssystem und ein Messsystem verwendet. Das Kommunikationssystem besteht aus zwei Endgeräten zwischen denen eine Verbindung aufgebaut werden soll. Als Kommunikationsgegenstellen wurden auf der einen Seite die zwei in Tabelle 6.1 beschriebenen Laptops verwendet. Als mobile Endgeräte wurden die in Tabelle 6.2 beschriebenen Geräte verwendet, die zum Zeitpunkt der Messung den Stand der Technik widerspiegeln.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Gerät	Toshiba M200	Fujitsu Siemens Lifebook C1320
Prozessor	Intel Pentium M 745 1,8 GHz	Intel Pentium M 750 1,86 GHz
Betriebssystem	Microsoft XP Tablet PC Edition Service Pack 2	Microsoft Vista Service Pack 1
WLAN Adapter	Intel PRO/Wireless 2200bg	Intel PRO/Wireless 2200bg

Tabelle 6.1: Verwendete Laptops für Messungen von WLAN Ad-Hoc Netzwerke

Gerät	HP iPAQ H4150	Qtek 8310	Nokia N95
Prozessor	Intel PXA255 400 MHz	Texas Instruments OMAP 850 195 MHz	Texas Instruments OMAP 2420 332 MHz
Betriebssystem	Microsoft Pocket PC 2003	Microsoft Windows Mobile 5	Symbian S60 3rd Edition
WLAN Adapter	Texas Instruments TNETW1100B	Texas Instruments TNETW1100B	not stated

Tabelle 6.2: Übersicht der verwendeten mobilen Endgeräte für Ad-Hoc Messung

Als Messsystem wurde ein separater Laptop verwendet. Der Laptop, ein Medion „MD 42200“ besitzt die folgenden Ausstattungsmerkmale: Intel Pentium M 735 1,7 GHz, 1 GB Arbeitsspeicher, Microsoft Windows XP mit Service Pack 2. Der eingesetzte Netzwerkadapter ist eine monitoringfähige 802.11b PCMCIA Netzwerkkarte des Typs „AIR-PCM352“ der Firma Cisco. Des Weiteren ist das Messsystem mit dem Netzwerkanalysator OmniPeek der Firma Wildpacket ausgestattet, welches die Funktionalität zur Verfügung stellt, den Datenverkehr in einem drahtlosen oder drahtgebundenen Netzwerk zu empfangen, aufzeichnen, darstellen und auswerten zu können. Durch die Zuordnung von Namen zu Adressen wird eine einfachere Auswertung bewerkstelligt. In Abb. 6.1 wird eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus dargestellt.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

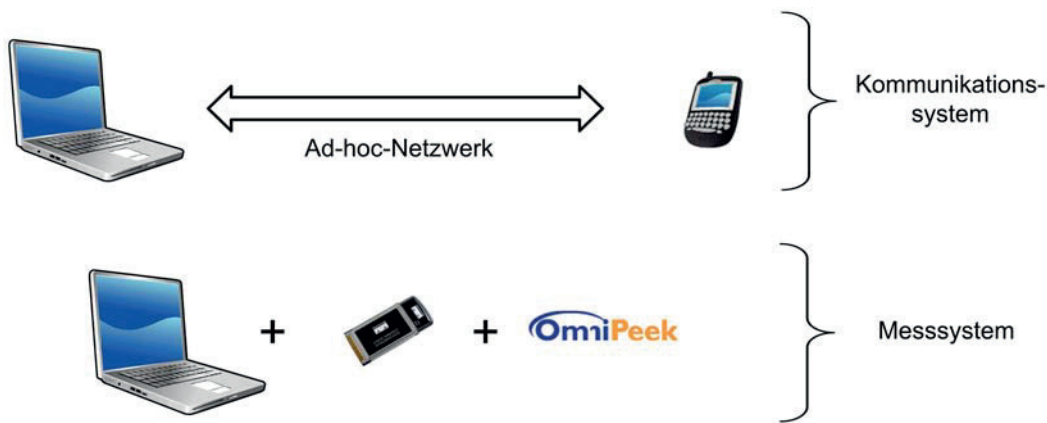


Abb. 6.1: Schema des Versuchsaufbaus zur Ad-Hoc Messung

Dieser Versuchsaufbau wurde auf einem Feldweg außerhalb geschlossener Ortschaften aufgestellt, wobei der Abstand zu umliegenden Gebäuden mehr als 500m beträgt. Zum Zeitpunkt der Messungen war wolkenloser Himmel. Eine Abbildung des Versuchsorts wird in Abb. 6.2 dargestellt.



Abb. 6.2: Versuchsort der WLAN Ad-Hoc Messungen. [2]

Das Messsystem wurde zusammen mit jeweils einem Laptop auf einem 60cm hohen Tisch mit Kunststoffplatte und Aluminium Untergestell platziert. Jeweils ein mobiles Endgerät wurde nun genutzt, um in verschiedenen Abständen eine Verbindung zum auf dem Tisch platzierten Laptop herzustellen. Alle sechs sich ergebenden Konstellationen der zwei Laptops und drei mobilen Endgeräten wur-

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

den untersucht. Zur Messung der Verbindungsaufbauzeiten und Übertragungszeiten wurde ein Ping-Programm genutzt. Die auf den Laptops eingesetzten Microsoft Betriebssysteme stellen jeweils ein solches Programm zur Verfügung. Diese sind jedoch unter Verwendung der Standardparameter zu langsam und zu ungenau. Zur Anpassung der Parameter wurde ein kurzes Batch Skript genutzt, um schnell aufeinander folgende Ping-Requests zu senden. Das Skript beinhaltet folgende Befehlszeilen:

:Anfang

```
ping -n 1 -l 50 -i 10 -w 10 192.168.2.2
```

GOTO Anfang

Hierbei wird das Ping Programm in einer Endlos Schleife ausgeführt und mit den Parametern:

- n: Anzahl der zu sendenden Echo-Anforderungen
- l: Größe der zu sendenden Daten in Bytes
- i: Gültigkeitsdauer (Time To Live) in ms
- w: Zeitlimit für eine Rückmeldung in ms
- IP-Adresse des zu überprüfenden Hosts

Durch die oben gewählten Parameter wird in Abhängigkeit zur Gerätekonstellation ein Abstand von ca. 30ms zwischen zwei Ping Requests erreicht. Abb. 6.3 zeigt einen Ausschnitt des Ergebnisprotokolls der Netzwerkanalyse mit Hilfe derer dieser Wert ersichtlich wird.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Packet	Source	Destin...	Size	Relative Time	Protocol	Summary
266	Siemens	HP iPAQ	114	1,860	PING Req	Echo: HP iPAQ
267	HP iPAQ	Siemens	14	1,861	802.11 Ack	FC=.....
268	HP iPAQ	Siemens	114	1,862	PING Reply	Echo Reply: Siemens
269	Siemens	HP iPAQ	14	1,862	802.11 Ack	FC=.....
270	Siemens	HP iPAQ	114	1,887	PING Req	Echo: HP iPAQ
271	HP iPAQ	Siemens	14	1,888	802.11 Ack	FC=.....
272	HP iPAQ	Siemens	114	1,889	PING Reply	Echo Reply: Siemens
273	Siemens	HP iPAQ	14	1,889	802.11 Ack	FC=.....
274	Siemens	HP iPAQ	114	1,914	PING Req	Echo: HP iPAQ
275	HP iPAQ	Siemens	14	1,915	802.11 Ack	FC=.....
276	HP iPAQ	Siemens	114	1,916	PING Reply	Echo Reply: Siemens
277	Siemens	HP iPAQ	14	1,916	802.11 Ack	FC=.....
278	Siemens	HP iPAQ	114	1,941	PING Req	Echo: HP iPAQ
279	HP iPAQ	Siemens	14	1,942	802.11 Ack	FC=.....
280	HP iPAQ	Siemens	114	1,943	PING Reply	Echo Reply: Siemens
281	Siemens	HP iPAQ	14	1,943	802.11 Ack	FC=.....

Abb. 6.3: Beispielhafte Abfolge der Ping-Pakete einer Gerätekonstellation

Zur Messung erhielten alle Geräte eine voreingestellte IP Adresse, welche im gleichen privaten Adressbereich und derselben Subnetzmaske liegen, um eine Kommunikation zu ermöglichen. Da nicht alle im diesem Experiment verwendeten Geräte den IEEE 802.11g Standard unterstützen, wurde in der Konfiguration der Geräte der IEEE 802.11b Standard festgelegt, um vergleichbare Werte zu erhalten. Alle anderen Werte wurden auf Standardwerte eingestellt. Auf den Laptops wurde nun jeweils ein Ad-Hoc-Netzwerk eingerichtet, wobei auf Authentifizierung und Verschlüsselung verzichtet wird. Anschließend wurden die mobilen Endgeräte nacheinander in beide Ad-Hoc-Netzwerk eingebunden. Nun wurde die WLAN Schnittstelle des Versuchslaptops durch Hardwareschalter deaktiviert und das Ping-Batch-Skript gestartet und das Messsystem zur Aufzeichnung aktiviert. Um den Eintritt des mobilen Endgeräts in den Kommunikationsbereich zu simulieren, wurde die WLAN Schnittstelle des Laptops wieder aktiviert. Nach dem Empfang einiger Ping-Antworten ist jeweils eine von zehn Messungen einer Messreihe eines Distanzbereichs abgeschlossen. Zwischen den Messungen wurde die WLAN-Schnittstelle des Versuchs-Laptops für mindestens zwei Sekunden wieder deaktiviert, um eine einfachere Auswertung zu ermöglichen. Der Vorgang wurde nun in allen sechs Konstellationen in den Abständen 5m, 10m, 20m und folgend in 10m-erhöhten Abständen wiederholt, bis kein Verbindungsaufbau zwischen Mobiltelefon und Laptop mehr möglich war. Die Ergebnisse der Messungen wurden in Paketen gespeichert und nach Durchführung aller Messreihen ausgewertet. Die Verbindungsaufbauzeit kann aus dem Protokoll entnommen werden, indem die Zeit zwischen dem ersten Probe-Request und dem ersten Ping-Request ermittelt wird. In Abb. 6.4 ist ein Beispiel eines solchen Protokolleintrags zu sehen.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Packet	Source	Destination	Signal dBm	Size	Relative Time	Protocol
360	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	5,837	802.11 Beacon
361	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	5,939	802.11 Beacon
362	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	6,041	802.11 Beacon
363	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	41	6,131	802.11 Probe Req
364	HP iPAQ	Toshiba	-10	60	6,131	802.11 Probe Rsp
365	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	36	6,132	802.11 Probe Req
366	HP iPAQ	Toshiba	-10	60	6,133	802.11 Probe Rsp
367	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	6,144	802.11 Beacon
368	Toshiba	Ethernet Broadcast	-79	41	6,230	802.11 Probe Req
369	Toshiba	Ethernet Broadcast	-79	36	6,231	802.11 Probe Req
370	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	6,246	802.11 Beacon
371	Toshiba	Ethernet Broadcast	-68	41	6,255	802.11 Probe Req
372	Toshiba	Ethernet Broadcast	-68	36	6,255	802.11 Probe Req
373	Toshiba	Ethernet Broadcast	-53	36	6,280	802.11 Probe Req
374	Toshiba	Ethernet Broadcast	-20	41	6,304	802.11 Probe Req
375	Toshiba	Ethernet Broadcast	-20	36	6,305	802.11 Probe Req
376	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	41	6,329	802.11 Probe Req
377	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	36	6,329	802.11 Probe Req
378	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	6,349	802.11 Beacon
379	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	41	6,353	802.11 Probe Req
380	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	36	6,354	802.11 Probe Req
381	Toshiba	Ethernet Broadcast	-10	41	6,403	802.11 Probe Req
382	HP iPAQ	Toshiba	-10	60	6,404	802.11 Probe Rsp
383	Toshiba	HP iPAQ	-10	14	6,404	802.11 Ack
384	HP iPAQ	Ethernet Broadcast	-10	60	6,451	802.11 Beacon
385	Toshiba	HP iPAQ	-10	114	6,458	PING Req
386	HP iPAQ	Toshiba	-10	14	6,458	802.11 Ack
387	HP iPAQ	Toshiba	-10	114	6,459	PING Reply
388	Toshiba	HP iPAQ	-10	14	6,460	802.11 Ack

Abb. 6.4: Beispiel eines Messprotokolleintrags zur Bestimmung der Verbindungsaufbauzeit

Zur Berechnung der tatsächlich benötigten Zeit wird die Differenz der Relativen Zeiten der Messungen gebildet, also z.B.: $6458\text{ms} - 6131\text{ms} = 327\text{ms}$. Die relative Zeit gibt den Startzeitpunkt der Aufnahme der Messsoftware an. So ergeben sich die in Abb. 6.5 dargestellten gemessenen Zeiten für den Verbindungsaufbau. Es zeigt sich, dass zwei von sechs Konstellationen eine deutlich abweichende Verbindungsaufbauzeit aufzeigen. Da jedoch jeweils das gleiche mobile Endgerät betroffen ist, erweist sich dieses Endgerät als ungeeignet. Für alle weiteren Endgeräte zeigen sich Verbindungsaufbauzeiten von knapp unter einer Sekunde. Die benötigte Übertragungszeit der Ping-Pakete in eine Richtung wird durch die Zeitdifferenz zwischen Ping-Request und Acknowledgement ermittelt. Es werden sowohl Mittelwerte als auch Standardabweichungen aller Messungen der jeweiligen Distanz und Konstellation berechnet und ausgewertet. Die Ergebnisse, welche in Abb. 6.6 dargestellt sind, zeigen, dass die Übermittlung der Werte im Bereich zwischen $120\mu\text{s}$ und $150\mu\text{s}$ liegen, je nach genutzter Konstellation. Die Werte sind bis zum Maximalabstand von 60m recht konstant. Einzig Ausnahme bildet hier das Qtek Gerät, welches in den Konstellationen eine maximale Reichweite von 30m bzw. 40m aufweist.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

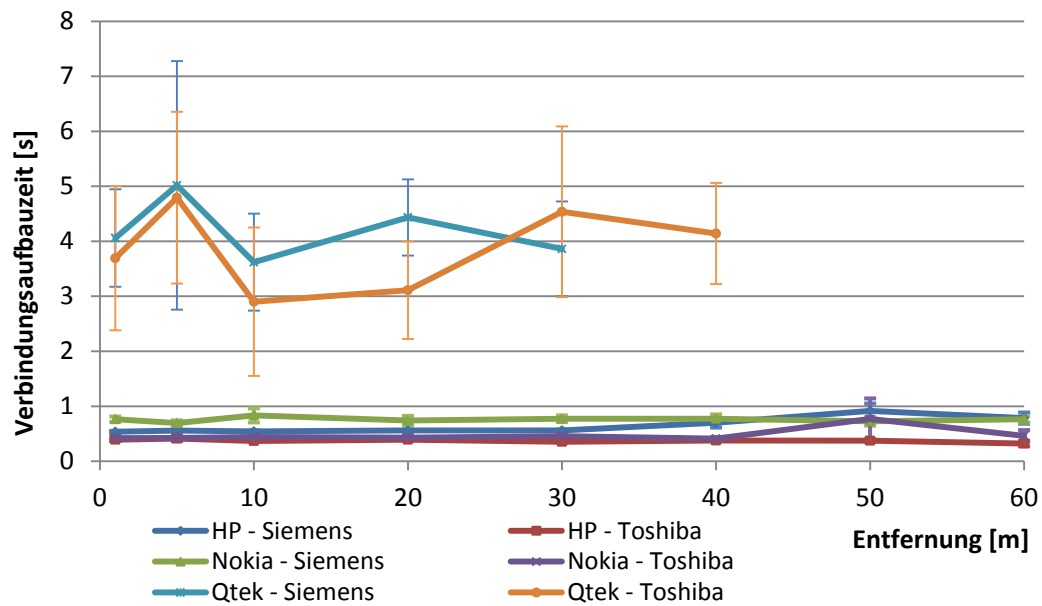


Abb. 6.5: Resultierende Verbindungsaufbauzeiten in Abhängigkeit zur Entfernung und verwendeten Konstellation [4]

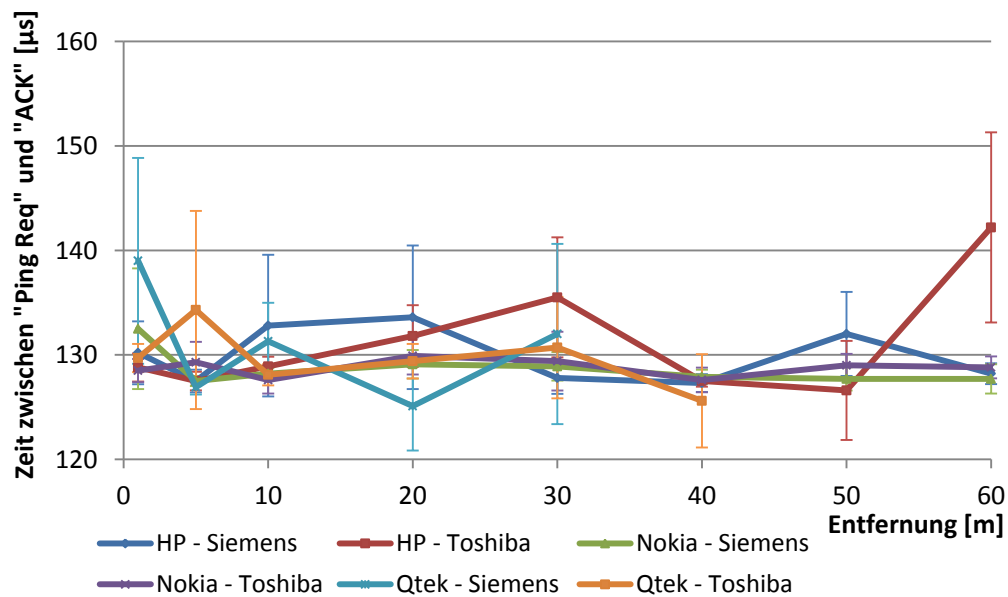


Abb. 6.6: Zeit zwischen Ping-Request und Acknowledgement in Abhängigkeit zur Entfernung zwischen den Gerätekombinationen

Die komplette Ping-Antwortzeit gibt die Dauer wieder, mit der das Paket zum Empfänger gesendet, der Empfang bestätigt, der Inhalt des Pakets in ein neues Paket kopiert und zurück an den Absender gesendet wird. Für einen gesamten Übertragungsumlauf ergeben sich hier benötigte Zeiten im Bereich von 2ms bis

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

hin zu ca. 16ms, wobei auch hier eine Abhängigkeit zur verwendeten Gerätekombination ersichtlich wird, wie aus der Abb. 6.7 zu entnehmen ist.

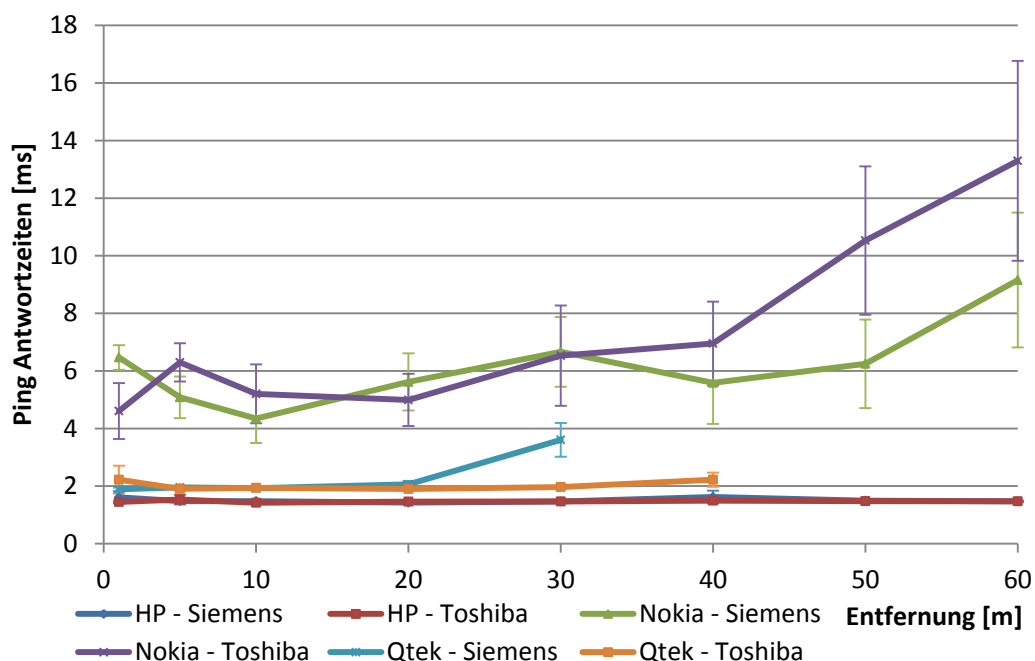


Abb. 6.7: Ping Antwortzeiten in Abhängigkeit zur Entfernung und Gerätekombination [4]

Werden diese Werte addiert so ergibt dies die Summe der Verbindungszeit und des einmaligen Übertragungsumlauf. Die Summenwerte zeigen für die tauglichen Geräte eine Gesamtzeit von ca. einer Sekunde zwischen dem Verbindungsaufbau und dem kompletten Übertragungsumlauf. Somit ist die Übertragung von Informationen in einem Szenario mit einem Kommunikationsradius $s_{\text{com}} = 50\text{m}$ und einer Geschwindigkeit $v_{\text{car}} = 50\text{km/h}$ möglich und noch immer Zeit für die Berechnung verfügbar. Der IEEE 802.11p Standard, welcher für ein solches Anwendungsgebiet auf Grund der Optimierungen sicherlich noch geeigneter ist, konnte nicht untersucht werden, da zum Untersuchungszeitpunkt noch keine Implementierung existierte, die für diese Art von Messungen genutzt werden konnte.

6.2 Performance Messungen zellularer Funk Standard Technologien

Im Gegensatz zu Ad-Hoc-basierten Netzwerken benötigen zellulare Netzwerke fest installierte Antennen, zusätzliche Steuerzentren und Kommunikationsnetzwerke. Diese ermöglichen einerseits eine Datenübertragung über weite Entfernungen, können jedoch andererseits auch zu Verzögerungen der Datenübertragung führen. Um die benötigte Zeit für die Übertragung von Datenpaketen einzelner zellularer Funktechnologien zu untersuchen, wurden auch hier unterschiedliche Messungen an Hand von Ping Laufzeitmessungen durchgeführt. Zuerst wurde die Performance der Technologien GPRS, UMTS und HSDPA gemessen und miteinander verglichen. In den Messungen wurden die Ping Antwortzeiten zu unterschiedlichen Kommunikationsendpunkten im Internet gemessen. Durch die Wahl der unterschiedlichen Kommunikationsendpunkte soll die Möglichkeit einer Verzögerung durch Überlastung des Kommunikation – Endpunkts reduziert werden. Es sollen möglichst nur die Einflüsse der Übermittlung und Weiterleitung der Datenpakete in den Messungen wiedergegeben werden. Einflüsse durch verzögerte Weiterleitung bzw. herabgesetzter Priorisierung können nicht ausgeschlossen werden, sollen aber auch durch die Wahl unterschiedlicher Ziele reduziert werden. Als Kommunikationsendpunkte wurden für ersten Messungen die Rechner 66.249.93.147 (www.google.de), 217.6.164.162 (www.t-online.de) und 141.51.12.84 (hrz-ws132.hrz.uni-kassel.de) genutzt. Alle Rechner wiesen eine Entfernung von mindestens 8 bis 11 Kommunikationskonten (Hops) auf, was per Traceroute überprüft wurde. Für die Messungen wurde ein Laptop der Marke Hewlett Packard verwendet, der die Spezifikationen aufweist, die in Tab. 6.3 dargestellt sind.

Gerät	HP Pavilion ze2000
Prozessor	Mobile AMD Sempron 2800+
Betriebs-system	Windows XP SP 2

Tab. 6.3: Übersicht der Konstellation des Messlaptops

Des Weiteren wurde jeweils eine PCMCIA Karte für GPRS und UMTS Messungen und eine für die Messungen für HSDPA/ HSUPA mit dem Laptop kombiniert. Für die Messungen von GPRS und UMTS wurde die T-Mobile Multimedia Net Card GPRS/UMTS genutzt. Diese ist vom Hersteller Novatel Wireless mit der Modellbezeichnung Merlin U530. Zur Verbindungsverwaltung kam die T-Mobile

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Communication Center in der Version 2.0.0.30 zum Einsatz. Für die UMTS HSDPA/HSUPA Messung wurde die T-Mobile web'n'walk ExpressCard IV verwendet, dessen Hersteller die Firma Huawei ist und die Modelbezeichnung E870 hat. Zur Verbindungsverwaltung wurde in diesem Fall die Software T-Mobile web'n'walk Manager Software 3.1.0 BL 30 verwendet. Vor den Messungen wurde bereits die Verbindung mit dem Mobilfunknetz aufgebaut, da auch im Kollisionsvermeidungsszenario davon ausgegangen werden kann, dass das Mobiltelefon bereits im Mobilfunknetz eingebucht ist. Mit Hilfe des Ping-Befehls, der im Microsoft Betriebssystem enthaltenen Software, wurde nun nacheinander an die drei Rechner im Internet die gleiche Anzahl an Ping Requests gesendet und die Protokolle dazu ausgewertet. Es ergeben sich hierbei die in Abb. 6.8 abgebildeten Durchschnittswerte.

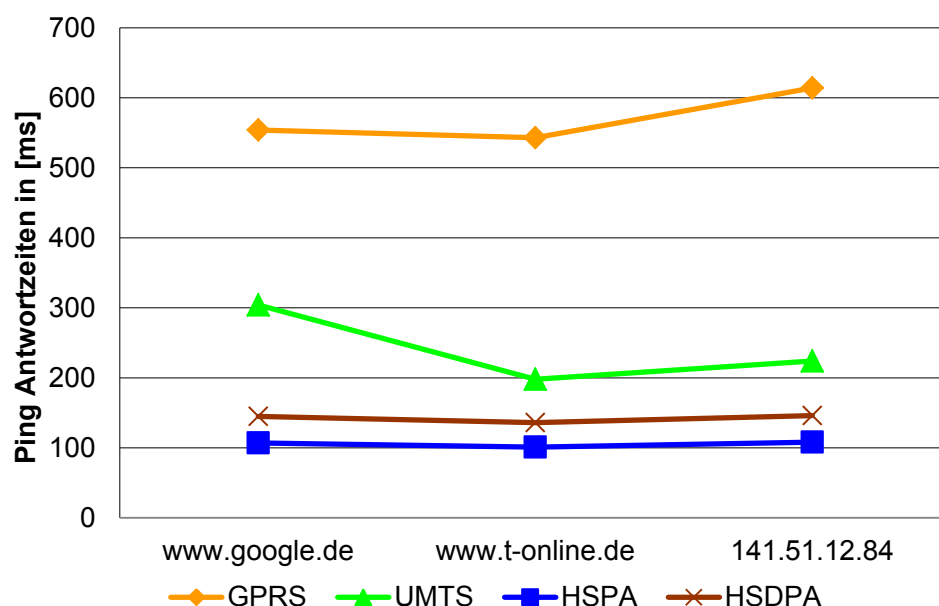


Abb. 6.8: Ping Antwortzeiten unterschiedlicher zellularer Funktechnologien, analog [4]

Diese Werte zeigen, dass auch bereits verfügbare zellulare Netzwerke bedingt für den Einsatz in einem Kollisionsvermeidungssystem geeignet sind, wobei neuere Standards die deutlich bessere Eignung aufweisen. Besonders wenn sehr kurze Übertragungszeiten auf Grund hoher Aktualisierungsraten benötigt werden, ist der Einsatz von UMTS, besser noch HSDPA mit HSUPA nötig.

Weitere Messungen wurden durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Parameter zu untersuchen, wie die eingesetzten Datenkarte und Uhrzeit sowie den Einfluss der Fortbewegung während der Messung. Zur Messung wurden die PCMCIA Karten Web'n'walk Express card IV mit der Verbindungsmanager-

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Software T-Mobile web'n'walk manager 3.1.0 BL30 und eine Sierra Wireless AirCard 880E mit der Verbindungsmanager Software Software 3G watcher R2.0.1.1 Build 1444 eingesetzt. Eine Übersicht der Leistungsmerkmale als auch Chipsätze der Karten ist in Tab. 6.4 aufgeführt. Diese Karten wurden jeweils in einem Lenovo X41 Laptop verwendet, dessen Konfigurationsdetails in Tab. 6.5 (X41) dargestellt sind. Eine Versuchsreihe beinhaltet die Durchführung einer festgelegten Menge an Ping Umlaufzeit-Messungen zu den Zielen im Internet: www.google.de, www.t-online.de und 141.51.12.84. Da die Namensauflösungen zu unterschiedlichen Endpunkten führen können, wird sichergestellt, dass pro Versuchsreihe die gleiche IP-Adresse zur Messung verwendet wird. Um eine Abhängigkeit zur verwendeten Kommunikationshardware zu untersuchen, wurden die Messungen jeder Versuchsreihe zu den drei Zielen nacheinander mit jeweils einer PCMCIA Karte durchgeführt. Vor dem Start der Ping Umlaufzeit Messungen wurde das Messsystem wiederum im Netzwerk eingebucht und während der Messung mit dem HSDPA Standard betrieben. Firewall wie auch Virens Scanner werden für die Dauer der Messung deaktiviert.

Gerät	Web'n'walk Epxress IV	AirCard 880E
Down/ Uplink	7,2 Mbps / 2,1 Mbps	7,2 Mbps / 2,0 Mbps
Chipsatz	HUAWEI E870	Qualcomm MSM7200

Tab. 6.4: Spezifikationen HSDPA /HSUPA Karten

Gerät	Lenovo X41
Prozessor	Intel Pentium M 758 / 1.5 GHz
Betriebs-system	Microsoft Windows XP Tablet PC Edition 2005, SP3

Tab 6.5: Übersicht Messlaptop X41

Einfluss der Uhrzeit

Zur Bestimmung des Einflusses der Uhrzeit wurden Messungen an einem Tag zu drei unterschiedlichen Uhrzeiten durchgeführt. Als Standort für die Messungen wurde der Universitätsstandort der Universität Kassel, Wilhelmshöher Allee 71-73 gewählt. Die Messreihen wurden im Morgens, Mittags und Spätnachmittag durchgeführt, zu den Uhrzeiten 07 Uhr, 13 Uhr und 17 Uhr. Es wird die Annahme getroffen, dass am Universitätsstandort durch die Studierenden, Angestellten und durch die direkte Lage an der Wilhelmshöher Allee zur Mittags- und Nachmittagszeit ein normaler, nicht unterdurchschnittlicher Datenverkehr im Netzwerk vorherrscht, Morgens jedoch tendenziell ein geringerer. Die aufgenommenen Messwerte, die in den Abb. 6.9 dargestellt sind, zeigen morgens tendenziell eine etwas geringere Ping-Antwortzeit verglichen zu den anderen Messwerten. Die Messwerte zeigen eine durchschnittliche Ping-Antwortzeit zwischen 105ms am Morgen und bis zu 180ms am späten Nachmittag. Tendenzuell gleich zeigt sich auch das Ergebnis der benutzten Kommunikationskarten, wenn auch in diesem Fall nach Betrachtung der Durchschnittswerte die AirCard etwas besser abschneidet. Die einzige Ausnahme, an der sich ein Unterschied der benutzten Karten aufzeigt ist die Messung des Ping zum Rechner von t-online, in der sich ein Unterschied von ca. 40ms zwischen den eingesetzten Karten aufzeigt. Die Ursache hierfür wurde jedoch nicht untersucht.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

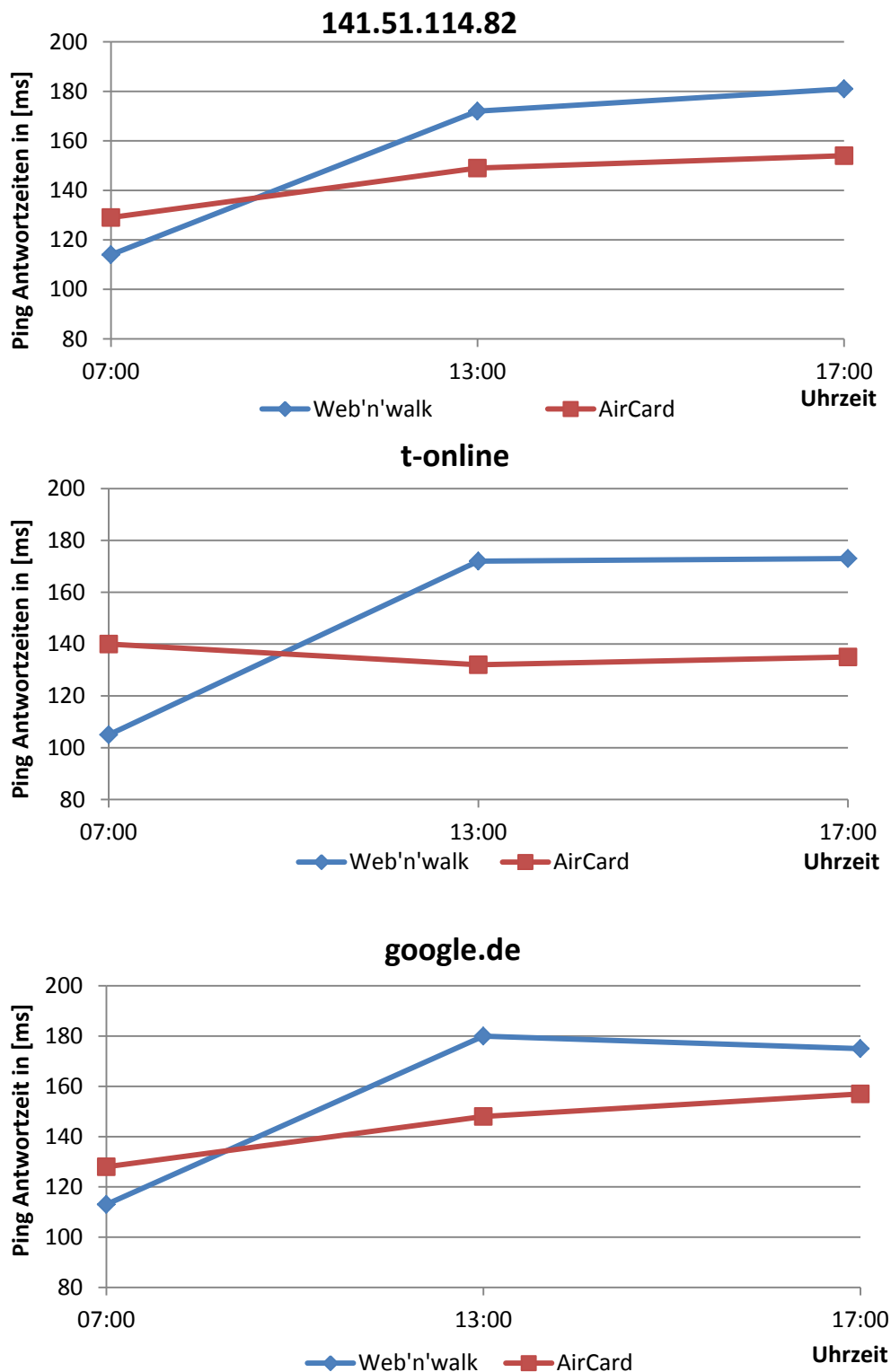


Abb. 6.9: Ping Antwortzeit Messungen zu unterschiedlichen Uhrzeiten eines Tages, analog [5]

Einfluss von Bewegungen auf die gemessene Verzögerungszeit

Die bisherigen präsentierten Messungen für zellulare Netze wurden stationär durchgeführt. Da jedoch ein Kollisionsvermeidungsszenario ein bewegtes Kommunikationsszenario ist, wurden auch Messungen bei ca. 40-50 km/h durchgeführt, eine typische Geschwindigkeit im innerörtlichen Bereich. Hierzu wurde wiederholt ein Streckenabschnitt der Wilhelmshöher Allee in Kassel befahren, im Detail die Strecke zwischen Rathaus und Haltestelle Weigelstraße. Dieser Streckenabschnitt befindet sich direkt im Zentrum Kassels. Die Messungen wurden in der Straßenbahn durchgeführt. Zur Bestimmung der zeitlichen Abhängigkeit wurden die Messungen zu den drei Uhrzeiten 15:30 Uhr, 17 Uhr und 19:30 Uhr wiederholt durchgeführt. Wie in Abb. 6.10 zu sehen zeigt sich in diesen Messungen, dass es eine Abhängigkeit zwischen der Tageszeit der Messung und den Ping Antwortzeiten existiert, jedoch bestätigen diese Messungen tendenziell die Messungen, dass eine zellulare Netzwerktechnologie im gewissen Rahmen für den Einsatz zur Kollisionsvermeidung zwischen Autos und Fußgänger eingesetzt werden kann. Der Mobilfunkstandard LTE soll gegenüber den gemessenen Werten noch Verbesserungen bringen. Das Ziel dieser nächsten zellularen Mobilfunkgeneration ist eine weitere Reduzierung der Übertragungsverzögerung, wie in [3] beschrieben wird. So soll mit diesem Standard eine Ein-Weg Verzögerung sowohl beim Hoch- als auch Herunterladen von Daten von 10ms möglich sein. Die Ein-Weg-Verzögerung wird hierbei als die Zeit definiert, die ein Paket benötigt, um vom IP-Layer der Nutzer Basis-Station zum IP-Layer der Nutzer-Terminals (dessen Mobiltelefon) zur Verfügung zu stehen und umgekehrt. Dieser Mobilfunkstandard stand, wie bereits weiter oben bereits erwähnt, leider für vergleichbare Messungen noch nicht zur Verfügung, da dieser derzeit auf dem Markt erst eingeführt wird.

6. Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

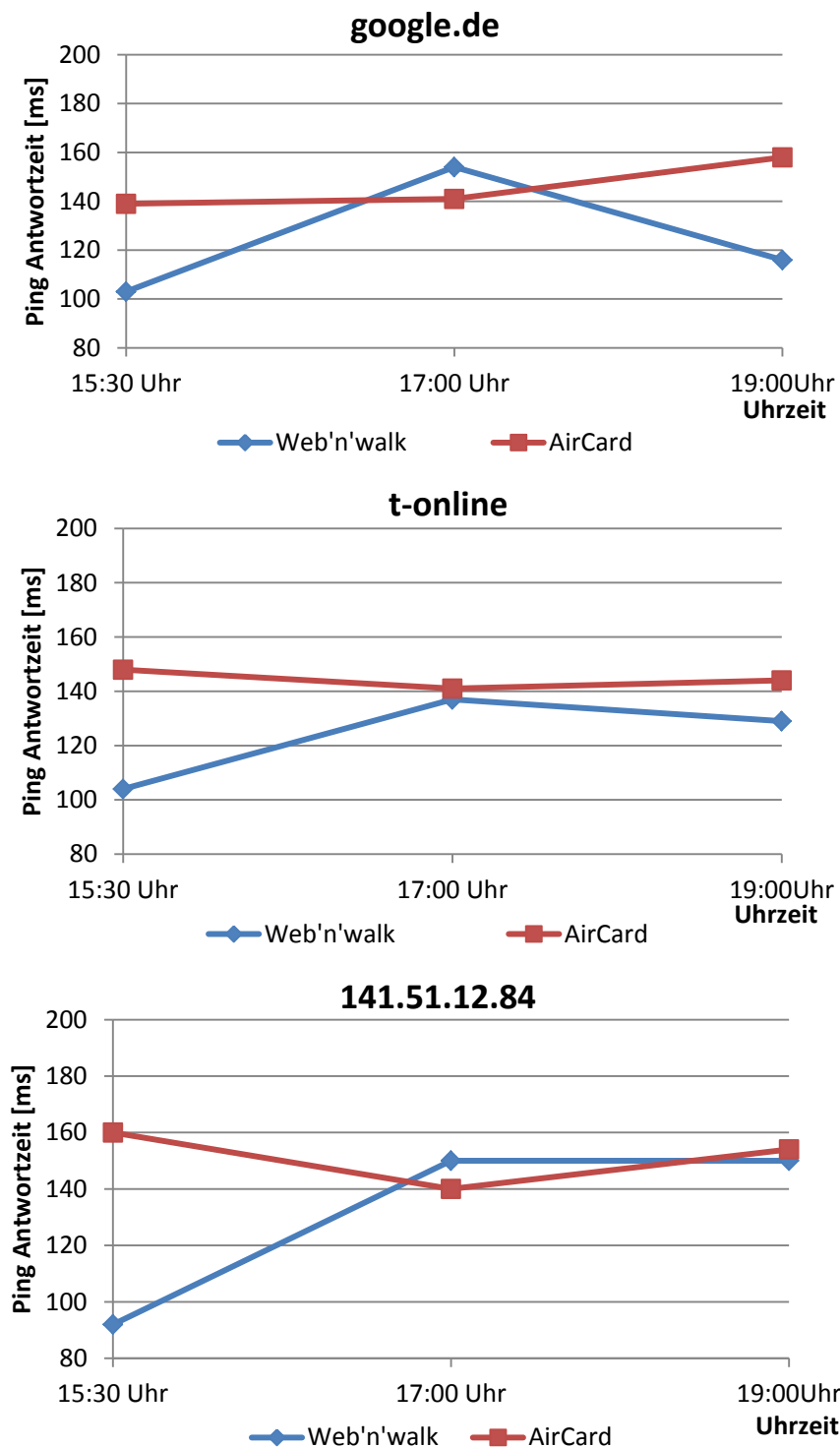


Abb. 6.10: Ping-Antwortzeitmessungen bei 50 km/h zu unterschiedlichen Uhrzeiten eines Tages, analog [5]

Diskussion

Die in den Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse zeigen bereits für nicht domänenoptimierte WLAN Technologien eine generelle Nutzbarkeit der Funktechnologien. Hierbei zeigt sich bei der untersuchten ad-hoc basierten WLAN Kommunikationsnetzwerken eine relativ lange Verbindungsaufbauzeit, hingegen eine geringe Latenz der Kommunikation zwischen den Endgeräten. Bei Verwendung zellulärer Funktechnologien ist diese Verbindungsaufbauzeit nicht in der Betrachtung eingeschlossen, denn es wird davon ausgegangen, dass das Smartphone bereits im Funknetz eingebucht ist, somit also schon verbunden ist. Bei zellularen Netzen zeigen erwartungsgemäß neuere Mobilfunk Standards deutlich bessere Werte. Somit zeigen z.B. Geräte, die per HSDPA/ HSUPA Ping Umlaufzeitmessungen zu im Internet befindlichen Hosts zwischen 100ms und 200ms, hingegen per UMTS kommunizierende Geräte Werte zwischen 200ms und 300ms. Aber selbst diese Werte deuten auf eine Nutzbarkeit dieser Technologie hin. Die neuste zellulare Funkstandard LTE konnte leider nicht untersucht werden, da dieser erst in naher Zukunft verfügbar sein wird. Aber auch hier sind nochmals Verbesserungen zu erwarten.

Referenzen

- [1] C. Sugimoto, Y. Nakamura, T. Hashimoto, "Prototype of pedestrian-to-vehicle communication system for the prevention of pedestrian accidents using both 3G wireless and WLAN communication", International Symposium on Wireless Pervasive Computing, pp. 764, May 2008
- [2] Google Maps und Google Earth, online verfügbar: <http://www.google.de/intl/de/earth/index.html>, <http://maps.google.de/>, zuletzt angesehen 31.12.2011
- [3] E. Dahlman et al, "4G LTE/LTE - Advanced for Mobile Broadband", Elsevier, 2011
- [4] A. Flach, K. David, "A physical analysis of an accident scenario between cars and pedestrians," in Proc. IEEE VTC 2009, Anchorage, Sept. 2009
- [5] A. Flach, K. David, "Combining Radio Transmission with Filters for Pedestrian Safety: Experiments and Simulations", IEEE VTC 6-9 September 2010, Ottawa, Canada

7 Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

Die schnelle Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen kann ein entscheidender Vorteil in der Bestimmung des Kollisionspotentials sein. So kann eine plötzliche Erhöhung der Geschwindigkeit kombiniert mit der Information der Richtung oder auch der Lokalität, z.B. Nähe zu Straßenbahnhaltestelle, ein Indikator für eine Änderung des Verhaltens des Fußgängers sein. Aber auch das Abbremsen des Fußgängers kann ein wichtiger Indikator für die Änderung des Verhaltens des Fußgängers sein. Besonders Verfahren, die mit Hilfe der geometrischen Prädikation an Hand der aktuellen Bewegungsparameter das Kollisionspotential des Fußgängers bestimmen, sind empfindlich gegenüber solchen Änderungen. Zeigt bei diesem Verfahren die Bewegungstrajektorie des Fußgängers keine Auffälligkeiten an Hand der aktuellen Geschwindigkeit und keinen Kollisionspunkt zwischen Auto und Fußgänger, so ist das Kollisionspotential gering. Im Fall einer Beschleunigung kann sich das Kollisionspotential jedoch erhöhen. Einen ähnlichen Fall kann es im Fall des Abbremsens eines Fußgängers vorstellen. Bewegt sich der Fußgänger Richtung Straße mit einer Geschwindigkeit, die auf ein hohes Kollisionspotential schließen lässt und der Fußgänger bremst stark ab, so kann dies evtl. zu einer Fehlwarnung führen. Aber auch Modelle, wie das physiologische Modell, beziehen Indikatoren zum Verhalten des Fußgängers mit in das Modell zur Bestimmung des Kollisionspotentials des Fußgängers mit ein. Treten in den Beobachtungen für dieses Modell bestimmte Verhaltensänderungen, wie z.B. Geschwindigkeitsänderungen auf, so wird eine Anpassung der Verteilung der Wahrscheinlichkeiten des Aufenthaltsorts des Fußgängers im Bewegungsspielraum vorgenommen.

7.1 Ermittlung der Geschwindigkeit mit Hilfe von Positionsdaten

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit und zur Berechnung der Beschleunigung des Fußgängers werden heute meist Positionsbestimmungen und die Änderungen der Position innerhalb eines bestimmten Zeitraums genutzt. Hierbei können zwei verschiedene Gruppen unterschieden werden, zum einen die auf relativer Positionierung arbeitenden Systeme, zum anderen die auf absoluter Positionierung arbeitenden Systeme.

7.1.1 Relative Positionierung

Bei relativer Positionsbestimmung wird im Bereich der Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger die Position des Fußgängers relativ zum Auto be-

stimmt. Diese Art der Positionsbestimmung wird weitgehend in allen Fahrzeug basierenden Systemen zum vorausschauenden Fußgängerschutz eingesetzt, wie auch im Kapitel 4 bereits dargestellt. Hierbei werden einerseits, wie ebenfalls bereits im Kapitel 4 *Stand der Technik* erläutert, Analysen optischer Merkmale und Objekte verwendet, sowie Distanzmessungen wie beim Einsatz von Radar und Laserdistanzmessung basierten und beteiligten Systemen. Transponder basierte Systeme hingegen benötigen keine optischen Merkmale und Sichtkontakt sondern ermitteln die Position des Fußgängers mit Hilfe von Laufzeit- und Richtungsmessungen des empfangenen Signals am Fahrzeug.

7.1.2 Absolute Positionierung

Die derzeit am häufigsten eingesetzte Methode zur absoluten Positionierung ist die satellitengestützte Positionierung (engl. Global Navigation Satellite System, Abk. GNSS). Besonders das US-Amerikanische System „Global Positioning System“, kurz GPS ist heute das am häufigsten genutzte System zur Bestimmung der absoluten Position. Aber auch andere Systeme, wie das russische System GLONASS oder das gerade im Aufbau befindliche europäische System Galileo, werden in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen.

Leider unterliegen Satelliten gestützte Positionierungssysteme diversen Störungseinflüssen. Diese Fehler entstehen durch fehlerhafte Entfernungsmessung zu den einzelnen Satelliten. Hierfür sind einerseits Laufzeitunterschiede in Ionosphäre und Troposphäre verantwortlich, die durch nicht-konstante Brechungsindizes auftreten, aber auch von Ungenauigkeiten in Uhr und Satellitenbahnschätzungen. Diese Fehler werden als common-mode Fehler bezeichnet werden, da diese in einem regional (50-200km) beschränkten Umfeld bei allen Empfängern sehr ähnliche Werte aufweisen. Non-common-mode Fehler hingegen sind vom genauen Standort und Beschaffenheit des Empfängers abhängig. Non-common-mode Fehler beinhalten die Abweichungen, die durch Mehrwegeausbreitung wie Reflexionen an Häusern, Fahrzeugen, etc., sowie Rauschen des Empfängers erzeugt werden.

Um die Störungseinflüsse von GPS, insbesondere der common-mode Fehler, zu korrigieren, existieren bereits heute unterschiedliche Quellen und Dienste für Korrekturdaten. Zum einen existieren im Internet kostenlose Dienste, die über das sogenannte NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) Protokoll selbst ermittelte Korrekturdaten für das GPS System zur Verfügung stellen. Diese Daten können von allen, mit dem Internet verbundenen, Endgeräten abgerufen werden und bei geeigneter Hardware zur Korrektur der eigenen Positionsbestimmung genutzt werden. Diese Daten bieten zwar in der Regel keine Datenaktu-

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

alität im Sekunden oder Minutenbereich und auch im Ortsbezug sind sicher weite Lücken auszumachen, jedoch kann bereits mit diesen Daten eine Verbesserung der GPS Positionierung herbeigeführt werden. Des Weiteren gibt es Satelliten gestützte Korrektursysteme, wie das Nordamerikanische WAAS [1](Wide Area Augmentation System) oder das europäische EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) System [2]. Diese Systeme ermitteln über eigene Referenzstationen die Korrekturwerte für die GPS Signale und übermitteln diese einerseits per Satellit und andererseits über das Internet. Auch für das EGNOS System wurde kürzlich eine API freigegeben, sodass Korrekturdaten auf dem mobilen Endgerät abgerufen und zur Korrektur genutzt werden können. Diese Systeme kommen auf eine Genauigkeit von ein bis zwei Metern. Ferner existieren auch kommerzielle Dienste zur Positionskorrektur, wie z.B. das SAPOS System [3], welches mit über 270 Referenzstationen über ganz Deutschland verteilt ist und Vorbild für andere Systeme ist. Diese Systeme unterscheiden in mehrere Genauigkeitsstufen, wobei in der höchsten Genauigkeitsstufe ohne Postprocessing unter optimalen Bedingungen die Lagegenauigkeit von 1-2 cm und Höhengenaugigkeit von 2-3cm erreicht werden kann. Für eine Genauigkeit im Zentimeter Bereich wird jedoch spezielle Hardware benötigt, die derzeit noch nicht im Mobiltelefon unterzubringen ist. Im sogenannten NAV4Blind [4] Projekt, einem Forschungsprojekt welches sich mit der Navigation von Blinden beschäftigt und somit sehr Themennah ist, wird der SAPOS Dienst bereits eingesetzt. In diesem Fall dient die korrigierte absolute Positionierung zur Ortung des blinden Fußgängers, dem dann unter Verwendung von genauem Kartenmaterial die Navigation im Testgebiet ermöglicht werden soll.

Die Problematik des Ansatzes der Erkennung der Beschleunigung auf Basis der Positionsbestimmung liegt in der Dauer, die ein jeweiliges System benötigt die nächste korrekte Position des Fußgängers zur Verfügung zu stellen. So ist insbesondere bei derzeitigen Implementierungen absoluter Positionierungssysteme in Mobiltelefonen eine Aktualisierungsrate von einem Update pro Sekunde üblich. Diese geringe Anzahl an Aktualisierungen kann, selbst bei ausreichend genauer Positionierung des Fußgängers, zur Problematik der fehlerhaften Ermittlung der Beschleunigung bzw. Geschwindigkeit des Fußgängers führen. Dabei äußert sich der Fehler wie folgt: Das System ermittelt in einer bestimmten Frequenz neue Positionen des Fußgängers. Das System ermittelt nun an Hand der Distanz der zuvor und der aktuell ermittelten Position die Geschwindigkeit des Fußgängers und evtl. Beschleunigungen. Bremsst ein Fußgänger nun ab oder beschleunigt, so wird auch hier vom System der gemittelte Wert zwischen der letzten Position und der aktuellen Position berechnet, der jedoch vom tatsächlichen Wert abweicht. In Abb.7.1 ist an Hand eines Beispiels illustriert, wie sich diese Situation darstellt,

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

wenn eine Geschwindigkeitsänderung direkt zwischen zwei Positionsbestimmungen und in Abb. 7.2, wenn die Positionsbestimmung genau während der Positionsermittlung erfolgt. Um die tatsächlich korrekte Beschleunigung zu ermitteln kann es nötig sein, dass noch zwei bis drei weitere Positionsbestimmungen durchgeführt werden müssen, was zu einer deutlichen Verzögerung führen kann. Zur schnelleren Detektion der Beschleunigung des Fußgängers soll hier nun die Nutzung des im Mobiltelefon des Fußgängers integrierten Beschleunigungssensors und die Nutzung von Aktivitätserkennungsalgorithmen untersucht werden.

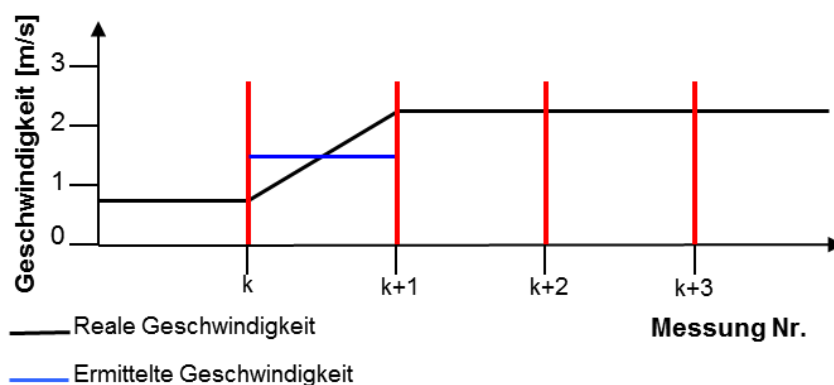


Abb. 7.1: Geschwindigkeitsänderung zwischen zwei Positionsbestimmungen [5]

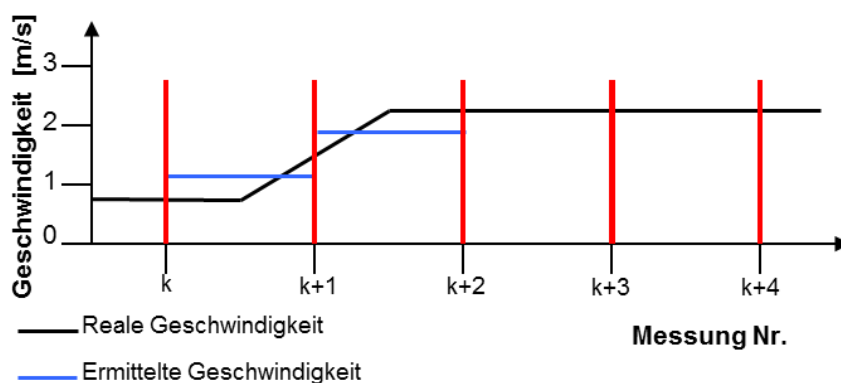


Abb. 7.2: Positionsbestimmung während Geschwindigkeitsänderung [5]

7.2 Erkennung der Beschleunigungsänderung mit Hilfe des Beschleunigungssensors des Mobiltelefons und Algorithmen der Aktivitätserkennung.

In der Vergangenheit wurden bereits vielversprechende Ergebnisse in Experimenten zur Aktivitätserkennung mit Hilfe am Körper verteilter dedizierter Sensoren erzeugt [6], [7]. Ebenso wurde in [8] gezeigt, dass sich ein Beschleunigungssensor eines Mobiltelefons generell zur Aktivitätserkennung eignet. Das Augenmerk dieser Arbeiten lag bei diesen Arbeiten in der generellen Erkennung unterschiedlicher Aktivitäten. Die nun folgende Untersuchung wurde durchgeführt, um zu prüfen, ob es mit einem im Mobiltelefon integrierten Beschleunigungssensor und der Methode der Aktivitätserkennung ebenfalls möglich ist Änderungen der Bewegungsart des Fußgängers schneller festzustellen als mit Hilfe der positionsbasierten Methode. In dieser Untersuchung wurden Messdaten des Beschleunigungssensors eines Nokia N95 Mobiltelefons von vier Bewegungstypen aufgezeichnet. Die vier festgelegten Bewegungsarten sind: rennen, gehen, stehen und auf der Stelle joggen, eine Bewegungsart, wie es zum Teil bei Joggern beim Warten an Ampeln und an Fußgängerüberwegen zu beobachten ist. Um festzustellen, wie zuverlässig die Klassifizierung und für dieses Umfeld die Bewegungsaktivitäten des Fußgängers erkannt werden können, werden unterschiedliche Klassifizierungsalgorithmen untersucht. Zu diesem Zweck werden die unterschiedlichen Algorithmen zur Aktivitätserkennung auf die aufgezeichneten Beschleunigungssensordaten angewendet.

Der hierfür eingesetzte Beschleunigungssensor des Nokia N95, ein LIS302DL der Firma ST Microelectronics, wurde zur Erkennung von Bewegungen zur Steuerung des Mobiltelefons und Spielen, als virtuelles Eingabegerät, sowie zur Vibrationserkennung entworfen. Der Beschleunigungssensor kann hierbei Beschleunigungen von drei Achsen wiedergeben, welche in Abb. 7.3 erläuternd dargestellt sind. Nach den Herstellerangaben ist dieser Beschleunigungssensor in der Lage Beschleunigungen von $\pm 2g/ \pm 8g$ zu messen [9]. (g für Gravitationskraft, $1g$ entspricht $9,81m/s^2$).

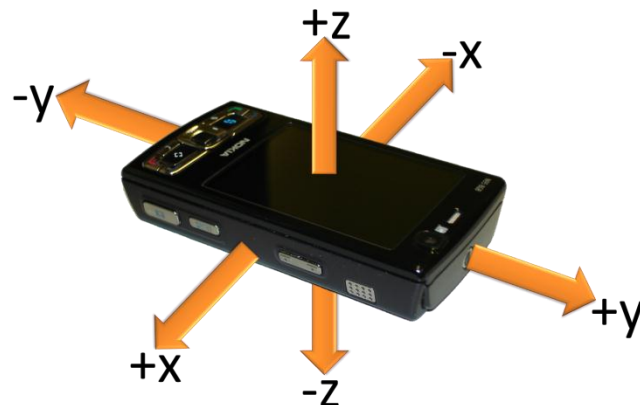


Abb. 7.3: Die drei Achsen des Beschleunigungssensors relativ zur Orientierung des Mobiltelefons

Bevor im Folgenden nun auf die einzelnen Algorithmen zur Aktivitätserkennung eingegangen wird, soll zunächst ein kurzer Überblick zur Funktionsweise des Beschleunigungssensors gegeben werden.

7.2.1 Der Beschleunigungssensor des Mobiltelefons

Üblicherweise handelt es sich bei dem im Mobiltelefon verbauten Beschleunigungssensor um ein Mikro-Elektro-Mechanisches System (MEMS). Häufig befindet sich in diesen Beschleunigungssensoren, eine an Federn bzw. Pendelmembran aufgehängte seismische Masse, die sich nur in zwei Richtungen in einer Ebene bewegen kann. Diese ist mit einem Wegaufnehmer z.B. kapazitiv gekoppelt. Die seismische Masse wird durch die auftretende Beschleunigung nach dem Massenträgheitsgesetz ausgelenkt. Eine Struktur des Aufbaus ist in Abb. 7.4 skizziert zu sehen. Bei der Bewegung der seismischen Masse wird ein zum Ausrichtungsweg proportionaler Kapazitätsunterschied erzeugt. So kann aus dem gemessenen Kapazitätsunterschied die Beschleunigung zur entsprechenden Achse bestimmt werden. Ist der Beschleunigungssensor in einem bewegten Objekt untergebracht, so werden die Beschleunigungen des Objekts relativ zur Gravitationskraft aller drei Achsen ermittelt. Die so ermittelte Beschleunigung wird auch als dynamische Beschleunigung bezeichnet.

Im Gegensatz dazu wird die statische Beschleunigung gemessen, wenn das Mobiltelefon in Ruhe ist, also zum Beispiel auf einem Tisch liegt. Dabei misst der Beschleunigungssensor des Mobiltelefons die Gravitationskraft, die auf die jeweilige seismische Masse der verschiedenen Achsen wirkt, da die seismische Masse weiterhin unter dem Einfluss der Gravitationsbeschleunigung ausgelenkt wird.

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

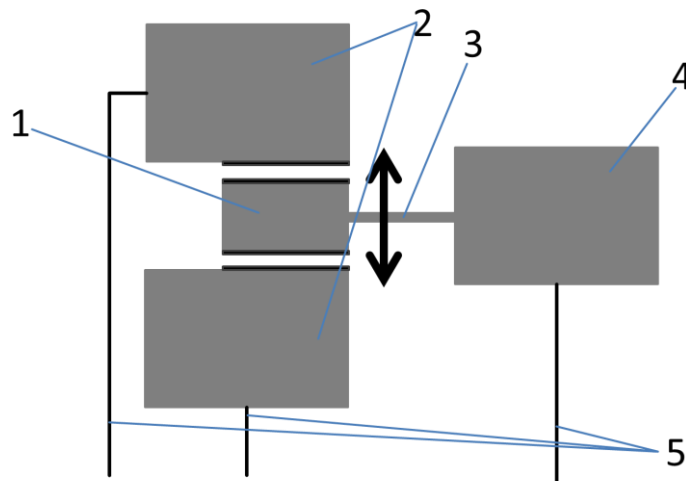


Abb. 7.4: Schematische Darstellung eines kapazitiven Beschleunigungssensors: 1) seismische Masse; 2) Gegenelektrode; 3) Pendelmembran; 4) Lagerbock 5) Leiterbahnen, Der Pfeil stellt die Bewegungsrichtung der seismischen Masse dar. Schema gezeichnet nach Vorlage in [10]

Wenn eine Achse nun parallel zur Gravitationskraft ausgerichtet ist, so liefert der Beschleunigungssensor für diese Achse einen Ausgabewert von $1g$ (g für Gravitationskraft), also der einfachen Erdbeschleunigung, was $9,81\text{m/s}^2$ entspricht. Wenn die Achse rechtwinklig zur Gravitationskraft liegt, so wird für diese Achse im Ruhezustand der Wert $0g$, also keine Beschleunigung ausgegeben. Je nach Ausrichtung des Mobiltelefons werden daher jeweils konstante Beschleunigungen zwischen $0g$ und $1g$ von den Beschleunigungssensoren für die verschiedenen Achsen ausgegeben, obwohl sich die Beschleunigungssensoren in einer Ruheposition befinden. Die Ausgabe der statischen Beschleunigung wird in mobilen Endgeräten meist zur Erkennung von Neigung und Ausrichtung des Geräts genutzt, um entsprechend eine Bildschirm-Anzeigeanpassung vorzunehmen.

Neben der Verwendung zur Bildschirm-Anzeigeanpassung wird der Beschleunigungssensor in mobilen Endgeräten zur gestenbasierten Steuerung oder auch in derameratechnik zur Bildstabilisierung eingesetzt. Hierbei misst der Beschleunigungssensor die lineare Bewegung und die Gravität gleichzeitig. Der Beschleunigungssensor wurde nicht zur direkten Erkennung des menschlichen Gangs und zur Aktivitätserkennung entwickelt. Bestehen die Beschleunigungsdaten jedoch aus erkennbaren Mustern spezifischer Bewegungen, so ist es möglich diese Muster in den Beschleunigungsdaten zu finden und die entsprechenden Bewegungen dann zu erkennen. So sind zum Beispiel in Abb. 7.5 aufgezeichnete Werte der drei Beschleunigungsachsen eines Übergangs zwischen den zwei Bewegungsarten

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

rennen und *gehen* zu sehen. In dieser Abbildung sind einerseits die Änderungen der Amplitude der Beschleunigungen aufgetragen, aber auch Änderungen der Frequenz sind bereits an Hand der zyklisch auftretenden Muster leicht ersichtlich. Der nächste Schritt ist die Merkmalsextraktion. In diesem wird nochmals im genaueren auf die verwendeten Merkmale zur Aktivitätserkennung eingegangen.

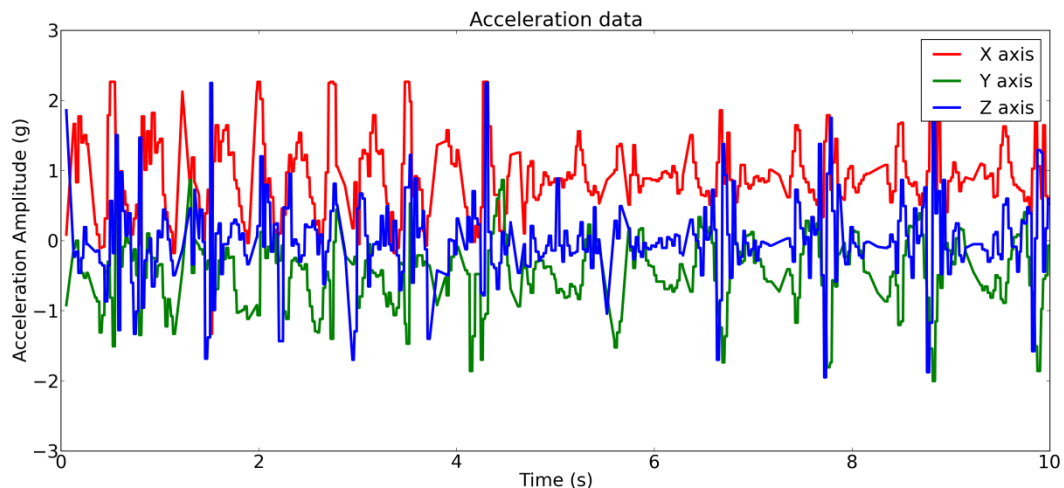


Abb. 7.5: Beschleunigungswerte eines Übergangs zwischen *rennen* und *gehen*

7.2.2 Merkmalsextraktion

7.2.2.1 Vorbereitung der Daten

Zur Merkmalsextraktion werden zuerst die Daten des Beschleunigungssensors in Datensegmente fester Länge aufgeteilt. Die unter dem Begriff „*Sliding Window*“ (dt. gleitendes Fenster) Algorithmus [11] bekannte Technik wird eingesetzt, wenn Segmente mit einander verglichen werden sollen, um wiederkehrende Muster zu finden. Die definierte Größe des Fensters bestimmt wie viele aufeinanderfolgende Segmente ein Fenster beinhaltet. Die Startposition des nächsten Fensters ist abhängig von der festgelegten Überlappung der Fenster. So beginnt bei Festlegung einer Überlappung von 0% das Fenster direkt anschließend nach dem vorherigen Fenster. Bei 25% Überdeckung sind die letzten 25% der Segmente des vorigen Fensters der Anfang des nächsten Fensters, bei 50% Überdeckung sind die letzten 50% des vorherigen Fensters die anfänglichen 50% des nächsten Fensters, usw. Eine Illustration ist in den Abb. 7.6 und Abb. 7.7 gegeben. In Abb. 7.6 des Beispiels wird eine in Abschnitte aufgeteilte Zeitreihe in m Fenster aufgeteilt. Jedes

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

Fenster hat eine Länge von vier Zeit-Abschnitten und weist keinerlei Überlappung auf.

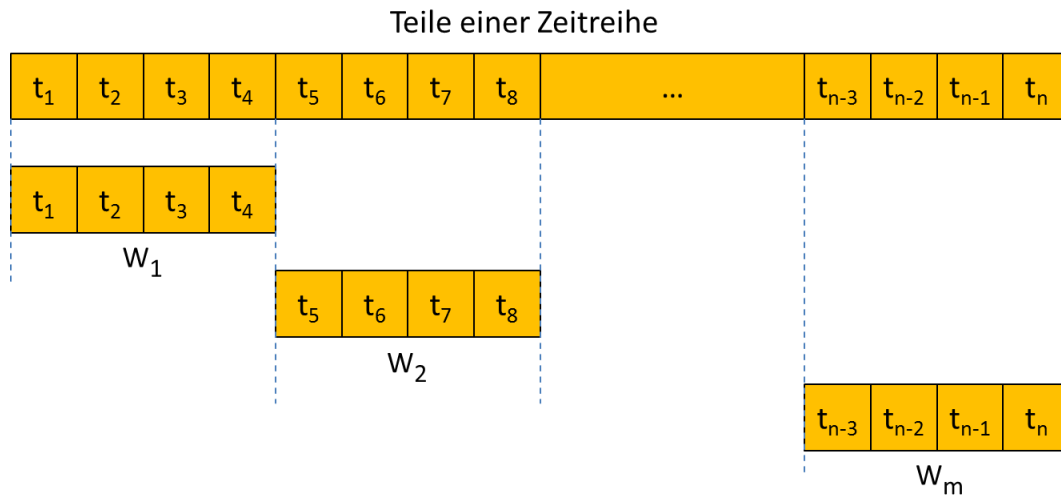


Abb. 7.6: *Sliding Window* Technik mit vier Abschnitten und 0% Überlappung

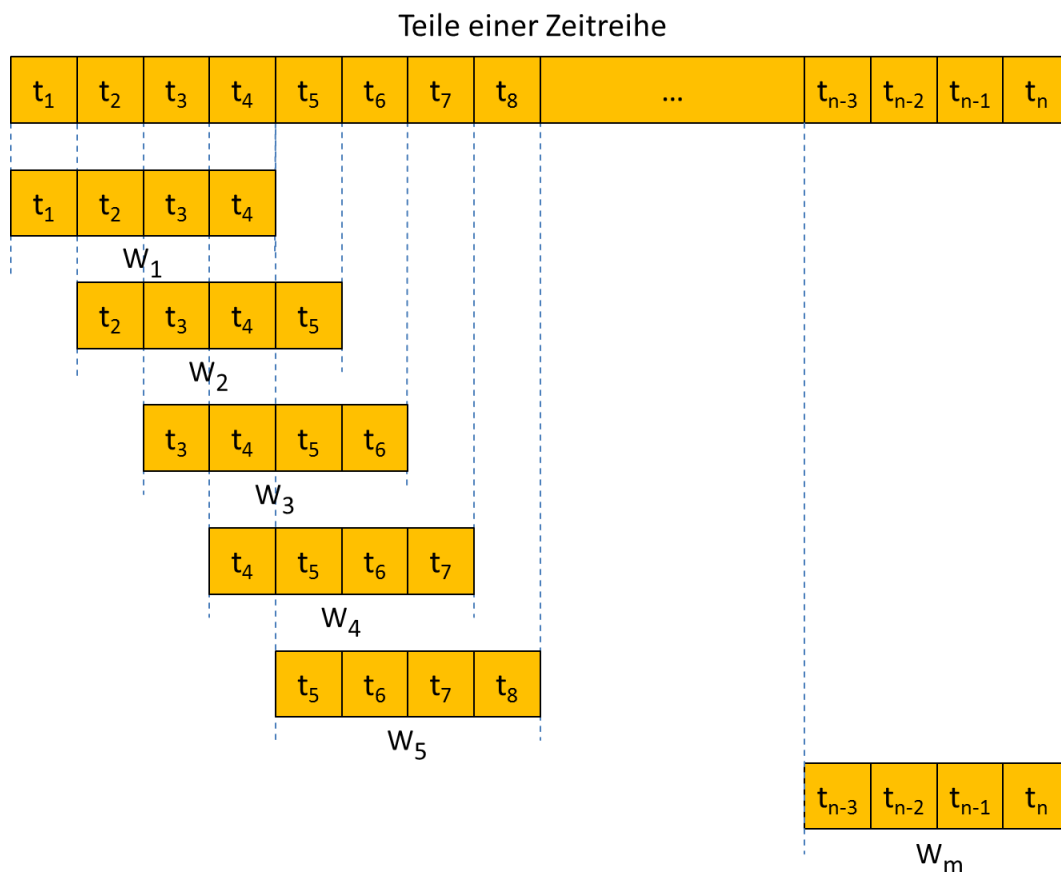


Abb. 7.7: *Sliding Window* Technik mit vier Abschnitten und der gewählten 75% Überlappung

Ein überlappendes gleitendes Fenster hingegen beinhaltet auch vier Zeit-Abschnitte, aber entsprechend der prozentualen Überlappung (in diesem Fall 75%) wird ein früherer Startpunkt des neuen Fensters gewählt, um ein neues Segment zu generieren, wie in Abb.7.7 zu sehen ist. Die „*Sliding Window*“ Technik ist eine verbreitete Technik und wurde auch bereits in früheren Untersuchungen genutzt. Wie in Mäntyjävi et al. [12] und [8] wird auch hier eine Überlappung von 75% genutzt. Der Vorteil der Verwendung von überlappenden Fenstern ist die Bewahrung der Ähnlichkeit der Datensegmente. So kann eine wiederholte Verwendung von Abschnitten in zwei auf einander folgenden Fenstern die Ähnlichkeit zwischen diesen erhöhen. Weiterhin kann diese Technik von Vorteil sein, wenn nur ein relativ kleiner Trainingsdatensatz vorhanden ist. So können aus einem Trainingsdatensatz mehr Instanzen erstellt werden, wenn sich Fenster mit einem hohen Prozentsatz überlappen, als mit Fenstern mit geringer oder gar keiner Überlappung.

Nachdem die Fenster erzeugt wurden folgt nun die Durchführung der Merkmalsextraktion.

7.2.2.2 Berechnung/ Transformierung der Merkmalsextraktion

Die Merkmalsextraktion aus den vorhandenen Daten ist ein wichtiger Schritt der Klassifizierungsbasierten Aktivitätserkennung. Während der Merkmalsextraktion werden die Daten der erzeugten Fenster in neue Werte umgerechnet und transformiert. Ziel der Merkmalsextraktion ist es möglichst genügend unterschiedliche Merkmale zu finden, die für das Erkennungssystem bei der Unterscheidung und korrekten Identifizierung der unterschiedlichen Bewegungsarten hilfreich sind. In bisherigen Ansätzen wurden einerseits unterschiedliche Merkmale und andererseits auch eine unterschiedliche Anzahl von Merkmalen verwendet. Für diese Untersuchung wurden, analog zu [8], die fünf Merkmale gewählt, die am häufigsten verwendet werden. Diese Merkmale sind zum einen die einfachen statistischen Merkmale Durchschnitt, Standard Abweichung und Varianz der Beschleunigungsdaten. Die Wahl der Merkmale begründet sich in der Einfachheit und der geringen Rechenzeit, die zur Berechnung benötigt wird. Mit diesen Merkmalen lässt sich der Bereich der Abweichungen vom Durchschnittswert bestimmen. Wenn unterschiedliche Bewegungen unterscheidbare Wertebereiche aufweisen, können diese auf diese Weise unterschieden werden. Des Weiteren werden die Merkmale der Energie und der Entropie der Fast Fourier Transformation mit aufgenommen, welche in der Berechnung als komplexere Merkmale betrachtet werden. Merkmale der Fast Fourier Transformationen, im genaueren die Eigenschaften Energie und

Informationsentropie, eignen sich bei der Erkennung von Bewegungen unterschiedlicher Frequenz.

7.2.3 Algorithmen der Aktivitätserkennung

7.2.3.1 Regelbasierte Klassifizierung

Wie der Name bereits vermuten lässt benutzt eine regelbasierte Klassifizierung eine Sammlung von Regeln des Typs „wenn *Bedingung*... dann *Aktion*...“, um eine Klassifizierung des Training-Sets durchzuführen. In einer Regel repräsentiert die linke Seite die Bedingung, die aus den Eigenschaften berechnet wurden und die rechte Seite bestimmt die korrespondierende Aktionen, welche bei Erfüllung der Bedingungen der linken Seite durchzuführen sind. Das erstellte Modell enthält einen Satz von Regeln welche die Daten des Trainingssatz verallgemeinern. Die Testdaten werden durch einen Folgerungsmaschine mit Hilfe des Modells betrachtet. Die Aktionen der Regeln sind in einer Klassifizierung die Klassen des Trainingssatzes.

Ein regelbasierter Lerner erzeugt ein beschreibendes Modell eines Klassifikators. Dieses ist einfach zu interpretieren, da die Regeln für den menschlichen Leser nachvollziehbar sind. Die Leistung regelbasierter Klassifizierung und der Klassifizierung von Entscheidungsbaum, die nachfolgend erläutert werden, ist vergleichbar identisch. Regelbasierte Klassifizierung, welche geordnete Regeln verwenden, sind für Datensätze geeignet, die eine unausgeglichene Klassenverteilung besitzen. Es wird ein „*Teile und Eroberer*“ Algorithmus eingesetzt, um Regeln zu konstruieren. Eine Regel, die einen Teil der Trainingsinstanzen erklärt, separiert diese von den übrigen Instanzen. Dieser Algorithmus „*erobert*“ rekursiv dann durch die Erstellung weiterer Regeln die verbleibenden Instanzen bis keine Instanzen mehr übrig sind. Ein Regel basierter Lernalgorithmus ist der sogenannte „*Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction* (wiederholtes inkrementelles beschneiden zur Fehler Reduzierung)“ Algorithmus von Cohen [13]. Hierbei wird ein wiederholender Prozess des wachsen und beschneiden zur Erzeugung der Regeln des Trainingssatz angewendet. Abb. 7.8 illustriert den Pseudocode von JRip, einer Java Implementierung von RIPPER, welche von der „*Waikato Environment for Knowledge Analysis*“ (WEKA) [14] Arbeitsumgebung zur Verfügung gestellt wird. Gemäß der Aussage in [15] bewerten regelbasierte Lernansätze nur die Qualität der Menge an Beispielen, die durch die Kandidaten Regel behandelt werden. Die Entscheidungsbaum-Lerntechnik bewertet die durchschnittliche Qualität einer Anzahl von getrennten Sätzen und hierbei jeweils einen Wert für jedes Attribut, das getestet wird. Beide Techniken benutzen heuris-

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

tisch basierte Techniken, um die verschiedenen Grundeigenschaften einer Kandidatenregel zu untersuchen, wie z.B. die Anzahl der positiven und negativen Beispiele, die diese umfassen.

JRip- basierend auf RIPPER von Cohen

- 1- Initialisiere einen leeren Regelsatz, R
- 2- Für jede Klasse startend von den am wenigsten vorhandenen zu den häufigsten:
 - a. Aufbau Abschnitt: wiederhole die folgenden Schritte bis die Beschreibungslänge von R und das Beispiel 64 Bits größer sind als die kleinste Beschreibungslänge, die bis dahin erhalten wurde
 - i. Beschneide jede Regel schrittweise und erlaube das Beschneiden jeder finalen Sequenz der Bedingungen mit einer gegebenen Beschneide-Metrik
 - ii. Entwickle eine Regel durch zufügen von Bedingungen zu der Regel, bis die Regel 100% genau ist
 - iii. Füge die Regeln dem Regelsatz R hinzu
 - b. Optimierungs Abschnitt
 - i. Für jedes R_i in R erstelle zwei alternative Regeln. Eine Regelvariante wird durch eine leere Regel erstellt, hingegen die andere durch gieriges hinzufügen von Regeln zur Originalregel R_i . Die Regel mit der kleineren Beschreibungslänge wird als endgültige Regel für das jeweilige R_i verwendet.
 - ii. Wenn noch restliche Positive vorhanden sind, werden weitere Regeln durch Verwendung des Aufbauabschnitts (Schritt 2a) an Hand dieser übrigen Positiven erzeugt.
 - iii. Entferne die Regeln, die die Beschreibungslänge des Regelsatzes erhöhen würden
 - iv. Füge den resultierende Regelsatz R hinzu

Abb. 7.8: Der Pseudocode des JRip Algorithmus im Weka Tool

7.2.3.2 Entscheidungsbäume (engl. Decision trees, Abk. DT)

Entscheidungsbäume sind als einfache und weit gebräuchliche Klassifizierungstechnik bekannt [16]. Das Modell besitzt eine hierarchische Struktur, welche mit dem Wurzelknoten startet, über Folgeknoten zu den finalen Knoten läuft, den sogenannten Blättern. Die Blätter sind die Bezeichnungen der klassifizierten Objekte. Ein typisches Beispiel einer solchen Baumstruktur ist in Abb. 7.9 dargestellt.

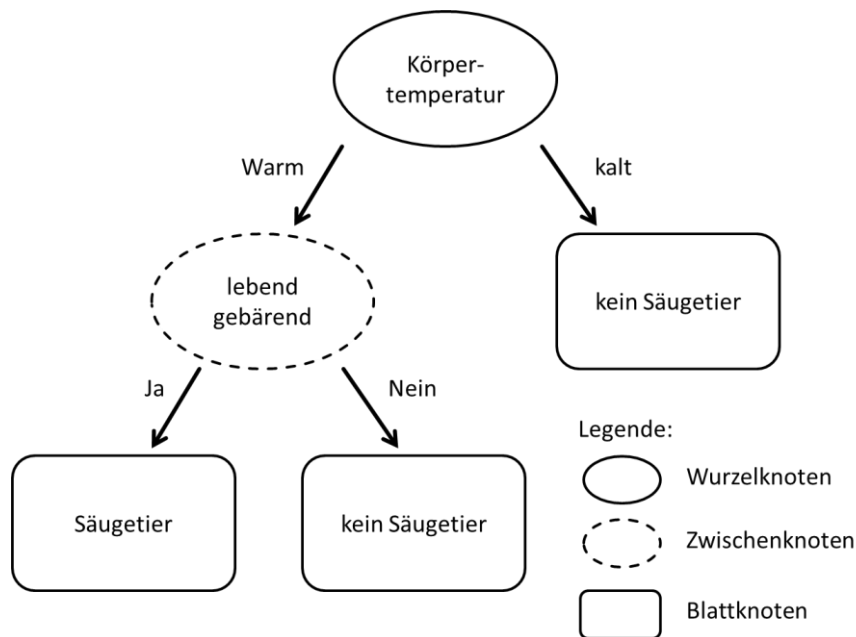


Abb. 7.9: Beispiel eines Entscheidungsbaums

In diesem Beispiel wird an Hand der Klassifizierung von Wirbeltieren in „Säugetiere“ und „kein Säugetier“ die Konstruktion eines einfachen Entscheidungsbaums dargestellt. Der Wurzelknoten in diesem Beispiel stellt die Körpertemperatur dar, indem in Warm- und Kaltblütige Wirbeltiere unterschieden wird. Da alle kaltblütigen Wirbeltiere keine Säugetiere sind, wird ein Blattknoten „kein Säugetier“ für alle kaltblütigen Wirbeltiere angelegt und diese dieser Kategorie zugeordnet. Für alle Warmblütigen Wirbeltiere wird ein Zwischenknoten mit der Eigenschaft: „lebend gebärend“ angelegt, um die Säugetiere von den nicht Säugetieren zu differenzieren. Dies ist nötig, weil z.B. Vögel Eier legen und somit nicht zu den lebend gebärenden zählen. Die Entscheidung von lebend gebärend endet in zwei Blattknoten, dem Blatt „Säugetier“ und „kein Säugetier“. Wenn ein Tier ein Warmblüter ist und lebend gebärend, so klassifiziert das Entscheidungsbaummodell dieses Tier als Säugetier. Für die Klassifizierung der Untersuchung wird die Weka's Im-

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

plementierung des Entscheidungsbaum-Aufbau Algorithmus von Quinlan C4.5 Revision 8 in Java (J48) verwendet. Es handelt sich hierbei um eine Java Re-Implementierung eines Entscheidungsbaum Lernalgorithmus von Ross Quinlan (C4.5) Version 8 [17], der in der WEKA Arbeitsumgebung bereitgestellt wird. Wie ein Entscheidungsbaum mit Hilfe des J48 Algorithmus erstellt wird, ist im Pseudocode in Abb. 7.10 dargestellt. Der J48 Entscheidungsbaum Lernalgorithmus prüft zuerst den Trainingssatz auf mögliche Basisannahmen. Eine Basisannahme stellt einen Stoppunkt dar, indem die Rekursion des Aufbauprozesses stoppen sollte, so zum Beispiel die Anzahl der Instanzen oder Attribute, welche noch zu verarbeiten sind. Sobald die Basisannahmen selektiert wurden, beginnt der Algorithmus nach Merkmalen zu suchen, die den Trainingssatz am besten aufteilen können. In J48 wird ein normalisierter Informationsgewinn genutzt, um die besten Eigenschaften zu selektieren. Der Algorithmus wiederholt sich dann an jeder gefunden besten Eigenschaft, bis die Basisannahme zum Stoppen getroffen wurde.

J48 basierend auf C4.5 von Quinlan

1. Prüfe auf Basisfälle
2. Für jedes Attribut a
 - a. Finde das Attribut, welches die Trainingsdaten am besten teilt, wie zum Beispiel den Informationsgewinn durch Teilung von a
3. Sei a_{best} das Attribut mit dem höchsten normalisierten Informationsgewinn
 - a. Erzeuge einen Entscheidungsknoten welcher sich an a_{best} aufteilt
4. Wiederhole an der Untermengen, die durch die Aufteilung an a_{best} entstanden sind und füge diese Knoten als Kinder des Knotens an. Stoppe, wenn die Stopp-Bedingung erfüllt ist.

Abb. 7.10: Pseudocode des J48 Algorithmus

7.2.3.3 k-nahester Nachbar (k-nearest neighbour)

Der k-nearest neighbour (KNN) Klassifikator ist ein Instanz-basierter Klassifizierungs-Algorithmus. Dieser Algorithmus ist auch als „*Fauler Lerner*“ (engl. lazy learner) bekannt, da es im Vergleich zu den anderen oben genannten Klassifizierungsalgorithmen keinen vorherigen Verallgemeinerungsprozess zur Erzeugung eines Modells gibt. Die Trainingsdaten werden gespeichert und nur verarbeitet, wenn eine neue Instanz klassifiziert werden muss. Statt alle Trainingsdaten zu nutzen wird nur eine Auswahl an Instanzen dazu genutzt, ein lokales Modell zur Klassifizierung zu erstellen. Der KNN Algorithmus ist im Pseudocode der Abb. 7.11 erläutert.

k-nahester Nachbar

1. Wähle die Anzahl der Nachbarn, die gesucht werden sollen, k und die Distanzmetrik
2. Für jede Testinstanz
 - a. Finde im Trainingsatz entsprechend der ausgewählten Distanzmetrik die zu k naheste Instanz
 - b. Gebe als die klassifizierte Klasse die häufigste Klassenbezeichnung aus, die in den k-nahesten Instanzen gefunden werden

Abb. 7.11: Pseudocode für den KNN Algorithmus

Der KNN Algorithmus berechnet die Distanz zwischen den Testdaten und allen verfügbaren Trainingsdaten, um eine Liste aller nahesten Nachbarn zu erhalten. Abhängig vom Datensatz der klassifiziert werden soll, werden die Anzahl der Nachbarn und die Distanzmetrik gewählt. Idealerweise sollte die Wahl die höchste Zuverlässigkeit der Klassifizierung für den gegebenen Datensatz erzeugen. Für eine Zielfunktion diskreter Werte klassifiziert der Algorithmus die Testdaten zur Mehrheitsklasse. Für eine Realwert-Zielfunktion wird der Durchschnitt der nahesten Nachbarn als Ausgabe berechnet. Dieser Ansatz ist für Datensätze mit einer großen Menge an Trainingsdaten geeignet. Die Trainingsphase des KNN-Algorithmus wird als sehr schnell erachtet, da lediglich die Trainingsdaten im Speicher abgelegt werden, ohne weitere Schritte durchzuführen. Da alle Trainingsdaten zum Vergleich mit den Testdaten genutzt werden, ist kein Verlust an Information vorhanden. Ein Nachteil des KNN-Algorithmus ist die kostspielige Berechnung während der Suche, vor allem dann, wenn die Trainingsdaten umfangreich sind. Da kein verallgemeinerndes Modell verfügbar ist, müssen zur

Klassifizierung der Testdaten alle Trainingsdaten verarbeitet werden. Ein weiterer Nachteil vom KNN-Algorithmus ist, dass alle Attribute während der Klassifizierung einbezogen werden. Eine große Menge an irrelevanten Attributen hat dabei Einfluss auf den berechneten Abstand zwischen Testdaten und Trainingsdaten. Dennoch existieren Techniken die Nachteile zu überwinden. Die Indizierung von Trainingsdaten kann möglicherweise den Klassifizierungsprozess schneller machen. Eine dieser Methoden ist der k-Dimensionale Baum. In dieser Methode wird die Suche nach den nächsten Instanzen durch die Beschränkung auf einen bestimmten Teil des Trainingsatzes optimiert. Mit unterschiedlicher Gewichtung der einzelnen Attribute während der Distanzberechnung kann der Problematik der irrelevanten Attribute entgegengewirkt werden. Auf diese Weise wird der Abstand durch wenig relevante Attribute nicht beeinflusst, wodurch potentiell eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Klassifizierung erzielt werden kann.

Diskussion

Die Klassifizierung durch Entscheidungsbäume sind besonders für Dateninstanzen geeignet, welche mit Attribut-Wert Paaren beschrieben werden. Um die Beziehung zwischen den Attributen und den entsprechenden Klassen zu finden wird eine „*teilen und erobern*“ Strategie verwendet. Der erstellte Baum kann auch als Menge von Regeln angesehen werden. Entscheidungsbäume werden als attraktiver Klassifizierungsalgorithmus angesehen, da diese (relativ) leicht verständliche Modelle erstellen können. Dies ermöglicht Benutzern oder Domänen Experten sich diese Modelle anzusehen und zu überprüfen. Das Modell ist aber auch ein sehr instabiler Klassifikator, denn eine kleine Änderung im Trainingsdatensatz kann eine große Änderung im erzeugten Baummodell hervorrufen. Das Modell tendiert dazu dann besser zu funktionieren, wenn kategorische Merkmale verwendet werden, obwohl es sowohl kategorische als auch stetige Merkmale unterstützt. Wie Entscheidungsbäume sind auch regelbasierte Klassifikatoren nachvollziehbare Modelle. Dies wird allgemein als Vorteil gegenüber den Ansätzen gesehen, die komplexe, nicht verständliche Modelle erstellen. Regelbasierte Klassifizierung ist ein relativ schneller Klassifikator, obwohl der Trainingsprozess zum Lernen der Regeln länger dauern kann, verglichen zu der Zeit, die für das Lernen des Entscheidungsbaums benötigt wird. Ein regelbasierter Klassifikator besteht aus Regeln, welche kompakter sind als die Entscheidungsbäume, die aus den gleichen Trainingsatz erstellt wurden. Die Fähigkeit neue Regeln zu einem existierenden Regelsatz hinzuzufügen kann als Vorteil gegenüber Entscheidungsbäumen angesehen werden, da bei letzteren für die Einführung neuer Baumteile eine Rekonstruktion des kompletten Entscheidungsbaums notwendig sein kann. Der KNN-

Algorithmus wird häufig im Bereich der Aktivitätserkennung unter der Verwendung von Beschleunigungsdaten untersucht. Auf Grund der Zuverlässigkeit, die in den unterschiedlichen Untersuchungen erzielt wurden, wird dieser als attraktiver Klassifikator angesehen. Die Geschwindigkeit der Klassifizierungen ist ein potentielles Problem des Algorithmus, im Besonderen dann, wenn er auf einem mobilen Endgerät ausgeführt wird. Neben den genannten Basislevel-Klassifikatoren werden auch noch Metalevel-Klassifikatoren untersucht, welche im nächsten Abschnitt erläutert werden.

7.2.4 Metalevel Klassifikatoren

Neben dem Vergleich der Basislevel-Klassifikatoren Entscheidungsbäume, KNN und regelbasiert wurde auch die Erkennungszuverlässigkeit von Metalevel-Klassifikatoren untersucht. Metalevel-Klassifikatoren sind Techniken, welche mehrere, unterschiedliche Basislevel-Klassifikatoren zur vorgesehenen Klassifizierung kombinieren. Ein Metalevel-Klassifikator wird manchmal auch als Ensemble Methode bezeichnet. Die generelle Idee von Metalevel-Klassifikatoren ist es die Zuverlässigkeit der Klassifizierung durch eine Zusammenfassung der Prognosen von mehreren Klassifizierungen zu verbessern [18]. Ein Metalevel-Klassifikator kann dabei eine Zusammenstellung von mehreren Klassifikatoren desselben Basislevel-Klassifikator sein. Ebenso ist jedoch möglich ein Metalevel-Modell, aus einer Kombination mehrerer unterschiedlicher Basislevel-Klassifikatoren zu erstellen. Dabei gibt es grundsätzlich vier unterschiedliche Ansätze eine Zusammenstellung von Klassifikatoren zu bilden [18]

Die Manipulation des Trainingsatzes

In diesem Ansatz wird der Trainingsdatensatz resampled, um mehrere Trainingsdatensätze bezüglich der gewählten Sampling Aufteilung zu erhalten. Ein spezieller Lern-Algorithmus wird genutzt, um aus allen neu erstellten Trainingsätzen Klassifikatoren zu erstellen.

Die Manipulation der Eingabe Merkmale

Durch zufällige Selektion der Eingabe Merkmale/ Attribute oder an Hand der Empfehlungen von Domänen Experten werden aus dem Original Trainingsatz mehrere Trainingsätze erzeugt.

Die Manipulation der Klassen Bezeichner

In diesem Ansatz werden die Trainingsdaten zufällig in zwei disjunkte Untermengen aufgeteilt. Die Trainingsdaten werden dann in ein binäres Klassenproblem umgewandelt, indem die Klassen 0 und 1 den Trainingsinstanzen entsprechend der Zugehörigkeit der zwei Untermengen zugeordnet und zum Trainieren des Basislevel-Klassifikators genutzt werden. Zur Erstellung eines Ensembles an Basislevel-Klassifikatoren wird dieser Schritt mehrere Male wiederholt. Die Prognose einer Testinstanz wird für alle Basislevel Klassifikatoren durchgeführt. Diese Ergebnisse der Prognose wird dann genutzt, um eine Stimme zu all denen Klassen hinzuzufügen, die zur entsprechenden Untermenge gehören. Die Stimmen werden später zusammengezählt und die die Klasse mit der größten Anzahl der Stimmen zur Testinstanz ermittelt.

Die Manipulation der Lern-Algorithmen

Es ist auch möglich die Lernalgorithmen in der Weise zu beeinflussen, sodass durch eine Wiederholung des Lernprozesses unterschiedliche Klassifikatoren vom gleichen Trainingsdatensatz erhalten werden können. Mit den erstellten Klassifikatoren wird ein Ensemble von Klassifikatoren erstellt. Dieses Ensemble wird dann zur Erstellung der gewünschten Prognose genutzt, indem die einzelnen Prognosen der zu Grunde liegenden Klassifikatoren kumuliert werden.

Theoretisch wird eine Verbesserung der Zuverlässigkeit durch die Verwendung von Metalevel-Klassifikatoren im Vergleich zur alleinigen Verwendung von Basislevel-Klassifikatoren erwartet. So kann zum Beispiel eine höhere Gewichtung eines besser funktionierenden Klassifikators einer Zusammenstellung zu einer Verbesserung der Vorhersage führen. Ebenso können durch aggregieren von Basislevel-Klassifikatoren, die durch unterschiedliche resamplete Trainingssätze erzeugt wurden, auftretende Fehler während des Trainingsprozesses reduziert werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn der gewählte Basislevel-Klassifikator sensitiv für kleine Abweichungen im Trainingsatz ist. Die für diese Untersuchung ausgewählten Metalevel-Klassifikatoren sind *bagging* und *boosting*. Diese Klassifikatoren werden in den Untersuchungen von [8] und [19] behandelt und zeigen eine hohe Erkennungszuverlässigkeit. Beide Klassifikatoren, *bagging* und *boosting*, benutzen einen Basislevel-Klassifikator zur gleichen Zeit.

7.2.4.1 Bagging

Bagging ist die Abkürzung von bootstrap aggregating. Dieser wurde von Leo Breimann, Mitarbeiter der Universität Kalifornien in 1994 vorgeschlagen [20]. Die grundlegende Idee von bagging ist die Erstellung eines Ensembles von Klassifikatoren unter der Verwendung von Bootstrap Replikaten eines gegebenen Trainingsatzes. Der Bootstrap Prozess generiert eine gewisse Anzahl von kleineren Proben, welche zufällig vom gegebenen Trainingsatz resampled wurden. Das zusammengefasste Wahlergebnis dieser Klassifikatoren ist dann die Ausgabe eines bagging Klassifikators. Bagging ist in der Lage die Zuverlässigkeit der Klassifizierung von unsicheren Basislevel Klassifikatoren, wie Entscheidungsbäumen, zu verbessern [20], [16]. Als unsicher werden diese Basislevel Klassifikatoren betrachtet, weil sie bei kleinen Trainingsätzen eine große Varianz in der Wahrscheinlichkeit einer Fehlklassifizierung aufweisen [21]. Kleine Änderungen in den Trainingsätzen führen bei unsicheren Klassifikatoren zu großen Änderungen. Der metalevel Klassifikator *bagging* kann in Fällen, in denen die Mehrheit durch Bootstrap Replikaten erzeugten Klassifikatoren eine genaue Klassifizierungen erzeugt, besser arbeiten als die entsprechenden Basislevel-Klassifikatoren allein. In Abb. 7.12 ist die Beschreibung des bagging Algorithmus sowohl in der Trainingsphase als auch in der Klassifizierungsphase gegeben. Sei ein Trainingsatz S gegeben, generiert *bagging* während der Trainingsphase n neue Bootstrap-Replikate S' aus diesem Trainingsatz. Von den Bootstrap-Proben S'_1 bis S'_n werden die Klassifikatoren C_1 bis C_n erstellt. In der Klassifizierungsphase werden die Klassifikatoren C_1 bis C_n benutzt, um eine Eingabe x zu klassifizieren. Die Ausgabe der Klassifikatoren wird dann gemittelt (zur Regression) oder gewählt (zur Klassifizierung). Der Bagging-Klassifikator kann zur Klassifizierung von Aktivitäten bei Verwendung von Beschleunigungsdaten von Nutzen sein, wenn die Zuverlässigkeit der Klassifizierung von relativ kleinen Trainingsdatensätzen verbessert wird. Ein weiterer potentieller Vorteil der Nutzung von *bagging* Metalevel-Klassifikatoren ist die Möglichkeit das Trainieren und Ausführen des Klassifikatoren Ensembles auf verschiedene Prozessoren zu verteilen oder auf verschiedenen Geräten laufen zu lassen [16]. Ebenso können hierdurch Klassifizierungsfehler durch fehlleitende Daten im Trainingsatz sowie das Problem des Overfittings vermieden werden [22].

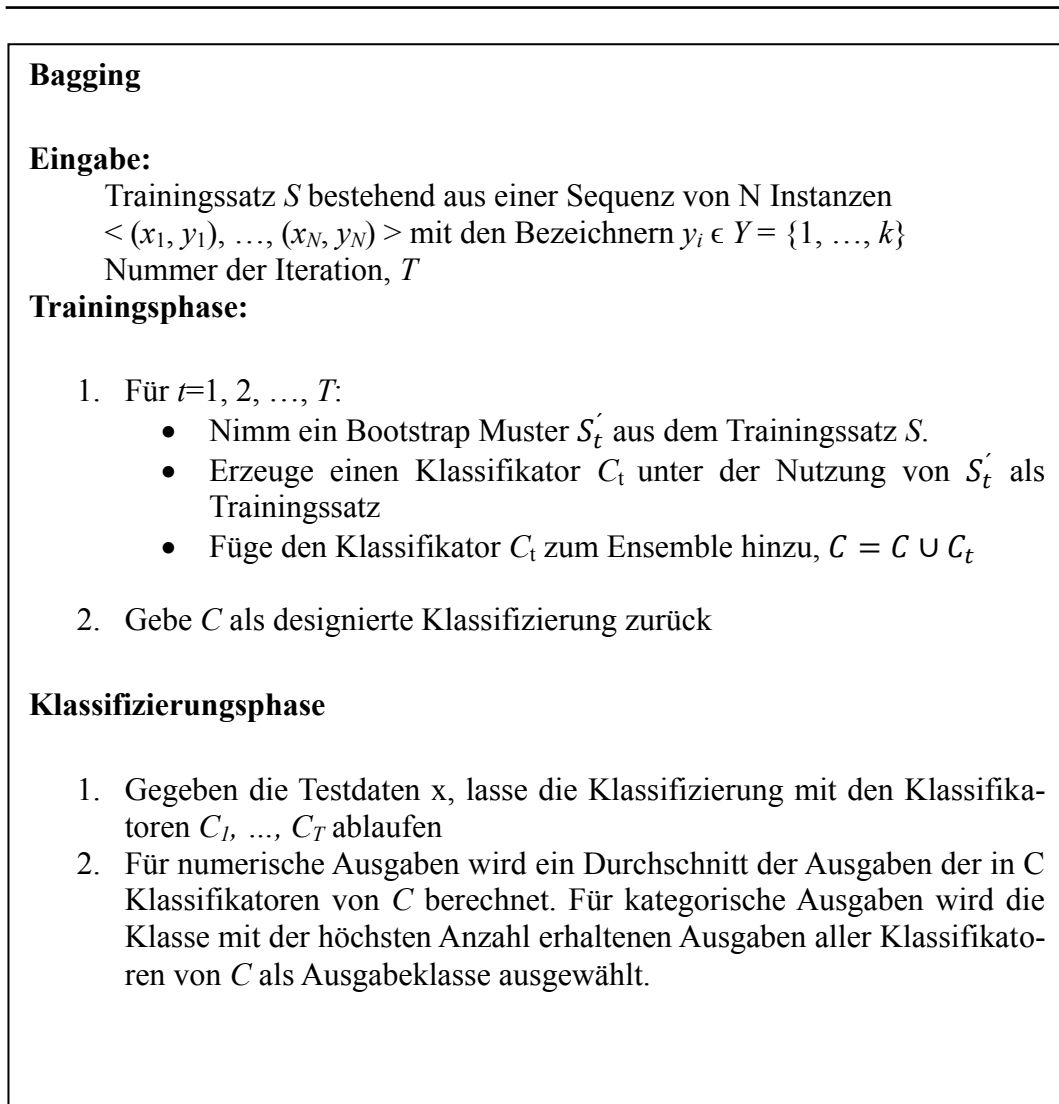


Abb. 7.12: Pseudocode des Bagging-Algorithmus

7.2.4.2 Boosting

Beim *Boosting* wird ein Basislevel-Klassifikator wiederholt verwendet und versucht die Zuverlässigkeit der Klassifizierung zu verbessern, indem die zugeordneten Gewichtungen der Objekte im Trainingsatz in jeder Wiederholung geändert werden. Zunächst haben alle Objekte eines Trainingsatzes die gleiche Gewichtung. Ein Klassifikator wird aus diesem Trainingsatz erstellt. Das Ergebnis dieses ersten Klassifikators wird dann genutzt, um die Gewichtung dieser Objekte anzupassen. Objekte des Trainingsatzes, die falsch klassifiziert werden, erhalten ein höheres Gewicht. Der nächste Klassifikator wird unter der Verwendung des „*boosted*“-Trainingsatz erstellt. Mit der neuen Gewichtung des Trainingsatzes in jeder Wiederholung werden die nachfolgenden Klassifikatoren erstellt. In der

Klassifizierungsphase werden diese Klassifikatoren verwendet, um den Testsatz zu klassifizieren, indem jede Ausgabe der Klassifikatoren gewichtet ist. Die gewichteten Ausgaben werden dann kombiniert, um die Ausgabe der Klassifizierung zu erzeugen. Ein weit verbreiteter *Boosting*-Algorithmus ist der AdaBoost-Algorithmus (kurz für Adaptive Boosting), der von Freund und Schapire [23], [24] eingeführt wurde. AdaBoost gleicht sich adaptiv an den Fehler der Hypothese an, die vom gewählten Basislevel-Klassifikator zurückgegeben wird. In dieser Untersuchung wird der AdaBoost.M1-Algorithmus zum Vergleich genutzt. Abb. 7.13 zeigt den AdaBoost.M1-Algorithmus, wie er von Freund und Schapire in [24] vorgestellt wurde. Gegeben sei ein Trainingssatz mit x_i als Attribut, welches zum korrespondierenden Resultat y_i führt, der erste Gewichtsvektor w^1 wird initialisiert. Eine Verteilung p wird durch die Normalisierung dieser Gewichte berechnet. Diese Verteilung wird dann in den Lerner L gegeben, um die Hypothese h zu erhalten. Die Anforderung in AdaBoost.M1 ist, dass jede Hypothese einen Voraussagefehler von weniger als $1/2$ mit der entsprechenden Verteilung aufweisen darf. Basierend auf dieser Hypothese wird der Gewichtsvektor von w^{t+1} für die nachfolgende Iteration berechnet. Der gleiche Prozess wird bis zur finalen Iteration T wiederholt. Die letzte Hypothese h_f ist die Bezeichnung y , welche die maximale Summe von Gewichten der Hypothesen besitzt, die diese Bezeichnung vorausgesagt haben. AdaBoost ist sensitiv gegenüber gestörten Daten und Ausreißern. Auf Grund der Iterationen und den Neuberechnungen der Gewichte oder des Resamplings, kann AdaBoost während der Trainingsphase langsam sein. Dennoch kann dieser in verschiedenen Fällen weniger anfällig gegenüber dem Overfitting-Problem sein, also dem Problem der Überanpassung, verglichen zu den meisten anderen Lernalgorithmen [24]. Dies wurde bisher in unterschiedlichen Anwendungsgebieten weitreichend untersucht. Es wird als gute Technik angesehen, um die Zuverlässigkeit der Klassifizierung eines Basislevel-Klassifikators zu verbessern.

AdaBoost.M1

Eingabe:

Trainingsatz S bestehend aus seiner Sequenz von N Instanzen $\langle (x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N) \rangle$ mit den Bezeichnern $y_i \in Y = \{1, \dots, k\}$
Verteilung D über den N Instanzen, Anzahl der Iterationen, T

Trainingsphase:

1. Initialisiere den Gewichtsvektor $w_i^1 = D(i)$ für $i=1, \dots, N$
2. Für $t = 1, 2, \dots, T$:
 - a. Berechne die Verteilung $p^t = \frac{w^t}{\sum_{i=1}^N w_i^t}$
 - b. Bezeichne den Klassifikator C_t mit der Verteilung p^t ; erhalte eine Hypothese $h_t : X \rightarrow Y$. Füge C_t dem Ensemble C hinzu
 - c. Berechne den Fehler von h_t : $\varepsilon_t = \sum_{i=1}^N p_i^t [h_t(x_i) \neq y_i]$, wenn $\varepsilon > 1/2$, dann setze $T = t - 1$ und breche die Schleife ab
 - d. Setze $\beta_t = \frac{\varepsilon_t}{1-\varepsilon_t}$.
 - e. Setze die neuen Gewichtsvektor als: $w_i^{t+1} = w_i^t \beta_t^{1-[h_t(x_i) \neq y_i]}$
3. Gebe C und β_1, \dots, β_T zurück

Klassifizierungsphase

1. Gegeben die Testdaten x , lasse die Klassifizierung mit den Klassifikatoren C_1, \dots, C_T durchlaufen.
2. Berechne die endgültige Hypothese

$$h_f(x) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{t=1}^T (\log \frac{1}{\beta_t}) [h_t(x_i) = y]$$

Die Ausgabeklasse ist der Bezeichner mit der maximalen Summe der v Gewichte der Hypothese, die den Bezeichner voraussagt.

Abb. 7.13: Pseudocode des AdaBoost.M1 Algorithmus, adaptiert aus [24]

Diskussion

Die vorgestellten Klassifizierungsmethoden wurden in der Vergangenheit häufig in Untersuchungen zur Aktivitätserkennung mit Hilfe von Beschleunigungsdaten genutzt. Metalevel-Klassifikatoren zur Aktivitätserkennung mit Hilfe von Beschleunigungsdaten wurden in den Untersuchungen [19], [25], [26] genutzt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben gezeigt, dass Metalevel-Klassifikatoren allgemein bessere Ergebnisse liefern als Basislevel-Klassifikatoren. Die gewählten Metalevel-Klassifikatoren haben Verbesserungen der Klassifizierung in diversen Untersuchungen gezeigt. Sowohl *Bagging* als auch *Boosting* verbessern die Klassifizierung eines einzelnen Basislevel-Klassifikators durch iterieren erstellter Klassifikatoren, welche mit den jeweiligen Techniken erstellt wurden. Dies kann jedoch auch dazu führen, dass eine Klassifizierung länger dauert, abhängig vom gewählten Basislevel-Klassifikator und der Anzahl der Durchläufe. In der nun folgenden Untersuchung zur Aktivitätserkennung mit Hilfe eines Smartphones soll untersucht werden, ob die Erkennungszuverlässigkeit von Metalevel-Klassifikatoren vergleichbar oder besser im Vergleich entsprechender Basislevel-Klassifikatoren ist. Hierbei liegt speziell das Augenmerk auf der Besonderheit des Anwendungsgebiets, der Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger. Dieses Anwendungsgebiet hat neben der Zuverlässigkeit der Aktivitätserkennung auch spezielle Anforderungen an die Zeitdauer, die für die Erkennung benötigt wird.

Evaluierung

Zur Evaluierung dieser Methode wurden Messungen durchgeführt und diese dann ausgewertet. Dafür wird im Vorfeld ein Beispiellauf mit den unterschiedlichen Bewegungsarten durchgeführt. Der Nutzer markiert hierbei die jeweiligen Bewegungsarten mit dem entsprechenden Bezeichner der Bewegungsart, während die unterschiedlichen Bewegungsarten ausgeführt werden. Dadurch wird ein Trainingsdatensatz erzeugt. Die markierten Beschleunigungsdaten werden als Eingabe zur Evaluierung genutzt. Später werden die Daten des Beschleunigungssensors des Mobiltelefons aufgezeichnet und direkt ausgewertet. Die Messergebnisse hängen vom Transportort des Mobiltelefons ab, wie auch im Ausschnitt der Messdaten in Abb. 7.14 beispielhaft für die Bewegung „gehen“ gezeigt wird. Daher werden zwei Fälle untersucht. Das Mobiltelefon wird im Fall 1 in der Hosentasche, im Fall 2 in der Hand getragen, um diese Einflüsse zu untersuchen. Des Weiteren wurden zwei Kategorien zur Evaluierung der eingesetzten Klassifizierungsalgorithmen untersucht. Die erste beschäftigt sich dabei mit der Untersuchung der Zu-

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

verlässigkeit der Klassifizierung, die zweite Kategorie mit der Zeit, die benötigt wird die Klassifizierung zu berechnen.

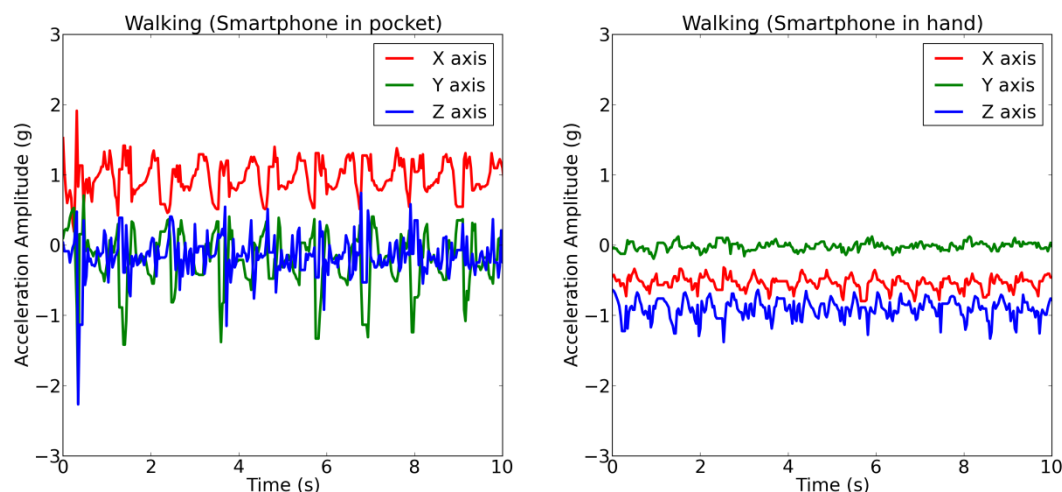


Abb. 7.14: Unterschiede der Messdaten der Bewegungsart „gehen“ bei unterschiedlichen Transportorten des Mobiltelefons a) Hosentasche b) in der Hand

Evaluierungsmethode

Zum Vergleich der Zuverlässigkeit der Klassifizierung der unterschiedlichen Klassifizierungsalgorithmen wurde die zehnfache Kreuzvalidierung durchgeführt. Diese Evaluierung ist eine weit verbreitete Methode, um eine Abschätzung zu erhalten, wie gut die Modelle generell funktionieren. Die Trainingsdaten werden dafür zufällig in zehn Untermengen aufgeteilt. Für jede Runde der Evaluierung dient ein Teil dieser Untermengen als Testdatum und die anderen neun als Trainingsdaten. Der Kreuzvalidierungsprozess wird zehn Mal wiederholt. Aus den Ergebnissen wird der Durchschnitt gebildet, der dann die Abschätzung der Leistung des Modells wiedergibt. Der Zuverlässigkeitswert, der für den Vergleich herangezogen wird, ist der prozentuale Anteil der korrekt klassifizierten Instanzen verglichen zur Gesamtzahl der Instanzen. Formel (7.1) zeigt diesen Zusammenhang noch einmal übersichtlich auf

$$\text{Zuverlässigkeit} = \frac{\text{Anzahl der korrekt klassifizierten Instanzen}}{\text{Gesamte Anzahl an Instanzen}} \times 100\% \quad (7.1)$$

Die Beschleunigungsdaten, die an Hand der zwei Fälle erzeugt wurden, werden mit den gleichen Techniken wie in [8] dargestellt vorverarbeitet. Wie in [8] vorge-

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

schlagen werden die Daten mit einer Frequenz von 32 Hz für den Klassifizierungsprozess aufgezeichnet. Die „*Sliding Windows*“-Technik wurde für die Merkmalsextraktion verwendet. Hierbei wurden Fensterlängen von ein und zwei Sekunden gewählt, um die für die designierte Anwendungsdomäne benötigten Erkennungsgeschwindigkeiten von unter einer Sekunde zu erhalten. Die Überlappung von 75% wurde ebenfalls basierend auf den Ergebnissen von [8] gewählt. Zur Klassifizierung wurden die bereits weiter oben erwähnten Merkmale Durchschnitt, Standard Abweichung und Varianz der Zeitdomäne der Beschleunigungsdaten, als auch Energie und die Informationsentropie der Fast Fourier Transformation (FFT) genutzt.

Der Vergleich der zehnfachen Kreuzvalidierung Evaluierung unter der Verwendung der Fälle 1 und 2, Mobiltelefon in der Hosentasche und Mobiltelefon in der Hand, sind in Tab. 7.1 gelistet.

Meta-Level Klassifikatoren	Basis-Level Klassifikatoren	Erkennungs Zuverlässigkeit (%)	
		Fall 1	Fall 2
-	DT	93.39	94.50
	KNN	96.55	96.58
	JRip	94.68	95.39
Bagging	DT	95.40	94.95
	KNN	96.70	96.14
	JRip	94.40	95.25
Boosting	DT	96.98	95.84
	KNN	96.41	95.84
	JRip	95.97	95.99

Tab. 7.1: Zehnfache Kreuz Validierung Evaluierung der Beschleunigungsdaten [5]

Wie in den Evaluierungsergebnissen beobachtet werden kann, sind die getesteten Klassifikatoren in der Lage relativ hohe Zuverlässigkeit in beiden Fällen zu erreichen. Die Erkennungszuverlässigkeit liegt zwischen 93,39% und 96,98%. Die höchste Zuverlässigkeit ist hierbei bei der Verwendung des Metalevel-Klassifikators *Boosting* mit Entscheidungsbäumen gegeben unter der Verwendung von Messdaten des Fall 1. Grundsätzlich haben KNN- und Metalevel-Klassifikatoren die KNN verwenden, meist eine höhere Zuverlässigkeit als andere Basis- und Metalevel-Klassifikatoren erzielt. Jedoch, auf Grund der Tatsache, dass der KNN-Klassifikator ein Instanzbasierter Klassifikator ist, kann mehr Zeit zur Erkennung benötigt werden als bei Entscheidungsbäumen und JRip basierten Klassifikatoren. Unter der Verwendung der Fensterlänge von einer Sekunde und der Überlappung von 75%, wurde für jede einzelne Erkennung ein Abstand er-

7. Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen

kannter Aktivitäten von 250ms abgeschätzt. Daher ist es möglich vier Bewegungen innerhalb einer Sekunde für die designierte Unfallszenario Anwendung zu erhalten. Klassifikatoren wie Entscheidungsbäume und JRip sind für Ihre Geschwindigkeit bekannt. Die Zeiten, die zum Beispiel auf einem Pentium III 650MHz Notebook für eine Klassifizierung benötigt wurden, sind in Tab. 7.2 gelistet. Die Ergebnisse der Durchschnittszeiten zeigen, dass beide, Entscheidungsbäume und JRip, ca. 0,80ms benötigten und für die Metalevel-Klassifikatoren etwa 1,17 bis 1,30ms. Die KNN-Klassifikatoren sind mit Zeiten zwischen 18,74ms bis zu 42,51ms vergleichsweise langsamer. Dennoch sind alle Klassifikatoren in der Lage die verlangte Erkennung innerhalb von 250ms durchzuführen, in der Annahme, dass der Beschleunigungssensor in der Lage ist, eine stabile Rate an Beschleunigungsdaten zu liefern und der Merkmals Extraktionsprozess weniger als 200ms benötigt. Durch Anpassungen der Werte der Samplingrate, Fensterlänge und Überlappungs-Prozentsatz ist es möglich auch Erkennungen unterhalb von 250ms durchzuführen.

Meta-Level Klassifikatoren	Basis-Level Klassifikatoren	Durchschnittlich benötigte Zeit für Klassifizierung (ms)
-	DT	0.81 ± 0.062
	KNN	18.74 ± 1.118
	JRip	0.81 ± 0.068
Bagging	DT	1.19 ± 0.087
	KNN	42.51 ± 2.586
	JRip	1.17 ± 0.073
Boosting	DT	1.20 ± 0.086
	KNN	40.73 ± 1.797
	JRip	1.30 ± 0.088

Tab 7.2: benötigte Zeit zur Berechnung der Klassifizierungen [5]

Die Dauer zur Ausführung des Prozesses zur Klassifizierung und Merkmalsextraktion kann noch verkürzt werden, indem ein Rechner verwendet wird, der eine größere Rechenleistung aufweist, als der im Experiment verwendete Rechner. Da, wie bereits eingehend erwähnt, bereits heute verfügbare Smartphones eine höhere Rechenleistung besitzen, ist davon auszugehen, dass auch auf diesen Geräten die Klassifizierung mindestens genauso schnell möglich sein sollte.

Diskussion

Die Evaluierung hat gezeigt, dass der Beschleunigungssensor des Mobiltelefons des Fußgängers mit Hilfe geeigneter Aktivitätserkennungsalgorithmen für Anwendungen im Bereich der Kollisionsvermeidung zwischen Auto und Fußgänger verwendet werden kann. Erkennungsgeschwindigkeiten im Bereich unter 250ms und Erkennungszuverlässigkeit im Bereich zwischen 93,39% und 96,98% zeigen das Potential auf, das dieser Ansatz bietet. Die in diesem Experiment verwendete Rechner-Hardware stellt Möglichkeiten dar, die bereits heute von modernen Smartphones übertroffen werden. Daher ist eine Reduzierung der benötigten Zeiten zur Klassifizierung bereits mit heute verfügbaren Mobiltelefonen möglich. Ebenfalls zeigt dieses Ergebnis, dass diese Art der Beschleunigungserkennung eine schnellere Detektion bereitstellen kann, als dies mit Positionsbasierter Ermittlung basierend auf absoluter Positionierung derzeit möglich ist.

Referenzen

- [1] Wide Area Augmentation System (WAAS), online verfügbar http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/, zuletzt angesehen 16.01.2012
- [2] European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), online verfügbar: <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>, zuletzt angesehen 16.01.2012
- [3] Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS), online verfügbar <http://www.sapos.de/>, zuletzt angesehen 16.01.2012
- [4] Projekt: Navigation für blinde und sehbehinderte Menschen (NAV4BLIND), online verfügbar: <http://www.nav4blind.de/>, zuletzt angesehen 16.01.2012
- [5] A. Flach, A.Q. Memon, S.L. Lau, K. David, "Pedestrian Movement Recognition for Radio Based Collision Avoidance: A Performance Analysis", IEEE VTC 15-18 May 2011, Budapest, Hungary
- [6] N. Kern, B. Schiele, and A. Schmidt, "Recognizing context for annotating a live life recording," *Personal Ubiquitous Computing.*, vol. 11, no. 4, pp. 251–263, 2007.
- [7] N. Ravi, N. Dandekar, P. Mysore, and M. L. Littman, "Activity recognition from accelerometer data," *American Association for Artificial Intelligence*, 2005.

- [8] S. L. Lau, I. König, K. David, B. Parandian, C. Carius-Düssel, and M. Schultz, “Supporting Patient Monitoring using Activity Recognition with a Smartphone”, in Proceedings of the Seventh International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS'10), York, United Kingdom, September, 2010.
- [9] Herstellerangaben Beschleunigungssensor, online verfügbar: <http://www.st.com/internet/analog/product/152913.jsp>, zuletzt angesehen 15.01.2011
- [10] W. Roddeck, “Einführung in die Mechatronik”, Seite 190, 2. Auflage, Teubner Verlag Stuttgart, 2003
- [11] E. J. Keogh, S. Chu, D. Hart, and M. J. Pazzani, “An online algorithm for segmenting time series”, in ICDM '01: Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Data Mining. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2001, pp. 289-296.
- [12] J. Mäntyjärvi, J. Himberg, and T. Seppänen, “Recognizing human motion with multiple acceleration sensors”, in Systems, Man, and Cybernetics, 2001 IEEE International Conference on, vol. 2, 2001, pp. 747-752 vol.2.
- [13] W. W. Cohen, Fast effective rule induction, in Proceedings of the 12th International Conference on Machine Learning (ICML'95), 1995, pp. 115_123
- [14] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, “The weka data mining software: An update”, SIGKDD Explorations, vol. 11, 2009
- [15] J. Fürnkranz, “Separate-and-conquer rule learning”, Artificial Intelligence Review, vol. 13, pp. 3-54, 1999
- [16] L. I. Kuncheva, “Combining Pattern Classifiers”: Methods and Algorithms. Wiley-Interscience, 2004
- [17] J. R. Quinlan, C4.5: programs for machine learning. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993
- [18] P.-N. Tan, M. Steinbach, and V. Kumar, Introduction to Data Mining, (First Edition). Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2005
- [19] N. Ravi, N. Dandekar, P. Mysore, and M. L. Littman, “Activity recognition from accelerometer data”, American Association for Artificial Intelligence, 2005
- [20] L. Breiman, “Bagging predictors”, Department of Statistics, University of California, Berkeley, Tech. Rep. 421, September 1994
- [21] S. Raudys and A. Jain, “Small sample size effects in statistical pattern recognition: recommendations for practitioners”, IEEE Transactions on

- Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, no. 3, pp. 252 _264, Mar. 1991
- [22] L. Breiman, _Random forests, "Machine Learning", vol. 45, pp. 5-32, 2001
- [23] Y. Freund and R. E. Schapire, "A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting", in EuroCOLT '95: Proceedings of the Second European Conference on Computational Learning Theory. London, UK: Springer-Verlag, 1995, pp. 23-37
- [24] __, "A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting", J. Comput. Syst. Sci., vol. 55, pp. 119-139, August 1997
- [25] N. Krishnan and S. Panchanathan, "Analysis of low resolution accelerometer data for continuous human activity recognition", in Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP 2008. IEEE International Conference on, 31 March 2008 - 4 April 2008 2008, pp. 3337-3340
- [26] A. Dalton and G. O'Laighin, "Identifying activities of daily living using wireless kinematic sensors and data mining algorithms", in Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2009. BSN 2009. Sixth International Workshop on, june 2009, pp. 87-91

8 Fazit

Lange Zeit wurde der Fokus zur Reduzierung der Verkehrstoten auf den Bereich des Insassenschutzes gesetzt. Erst in den letzten ein bis zwei Jahrzehnten rückte auch der Bereich des Fußgängerschutzes mehr und mehr in den Mittelpunkt des Interesses. Neben den Eigeninitiativen der Automobilhersteller wurden auch gesetzliche Vorgaben verabschiedet, die die Mindestanforderungen des Fußgängerschutzes an Fahrzeughersteller vorgeben. Hierbei ist insbesondere der passive Schutz des Fußgängers vorgegeben, wie z. B. Aufprallzonen in der Front des Fahrzeugs, um den Aufprall des Fußgängers auf harte, nicht nachgebende Bauteile des Autos zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. Sekundärkollisionen, wie z.B. das Aufprallen auf dem Boden, sind jedoch nicht beeinflussbar, was die Notwendigkeit der Kollisionsvermeidung aufzeigt. Untersuchungen in diesem Forschungsgebiet führten zu bisher vielversprechenden Ansätzen, die zum Teil auch bereits in ausgewählten Modellen von Fahrzeugherstellern in Form bordautonomer Systeme anzutreffen sind. Die Einschränkungen bzw. Ausfall der Systeme bei visuellen Beeinträchtigungen zeigen die Schwachstellen dieser Systeme auf. Kooperative Systeme hingegen haben diese Schwachstelle nicht, benötigen aber einen zusätzlichen Transponder, der vom Fußgänger mitzuführen und zu warten ist. Auch besitzen alle genannten Systeme keine oder nur sehr geringe Information über den Fußgänger, was eine Anpassung der Kollisionswahrscheinlichkeit schwierig macht. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Idee eines kooperativen Systems vorzustellen, welches Informationen über den Fußgänger bereitstellt ohne zusätzlich mitzuführende Geräte zu verwenden. In dem vorgestellten System wird zur Informationsgewinnung und Bereitstellung das Smartphone des Fußgängers mit dessen zahlreichen Informationsquellen und Kommunikationsschnittstellen genutzt. Ebenso ist es mit diesem System möglich, nicht nur den Fahrer des Fahrzeugs, sondern auch den Fußgänger zu warnen. In den vorherigen Kapiteln wurde sowohl die Ausgangssituation für ein solches System analysiert als auch das Ergebnis der bisherigen Untersuchungen an Hand heute verfügbarer Technik gezeigt. Die Untersuchung zeigen bisher vielversprechende Ergebnisse, die eine generelle Umsetzbarkeit und den Nutzen mit bereits heute verfügbarer Technik darstellen. Die Ergebnisse und Analysen werden im Folgenden nochmals zusammengefasst.

Analyse der Verkehrsunfälle mit getöteten Fußgängern

In Kapitel 2 wurde eine Analyse der Verkehrsunfälle gezeigt, in denen Fußgänger getötet wurden. Hierbei zeigen die Daten sowohl für Deutschland als auch für Europa einen Schwerpunkt tödlicher Unfälle im Bereich Innerorts auf, wobei eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 50km/h üblich ist. Weiterhin zeigt die Verteilung vermehrt Unfälle in den Jahreszeiten Herbst und Winter. Besonders gefährdet ist nach Auswertung der Unfallstatistiken, die Personengruppe der Altersstufe über 64 Jahre.

Ferner können die Unfälle in drei typische Unfallszenarien kategorisiert werden, die über 90 % aller Unfallsituationen abdecken. Zum einen Unfälle, in denen ein Fußgänger auf die Straße tritt ohne von Verdeckung durch ein Sichthindernis zwischen Fahrzeug und Fußgänger, zum anderen die Unfälle in denen der Fußgänger aus einer Verdeckung heraus auf die Straße tritt und zuletzt dann noch die Fälle, in denen der Fahrer des Fahrzeugs den Fußgänger beim Abbiegevorgang übersieht handelt. Fälle, in denen der Fußgänger aus einer verdeckten Position auf die Straße tritt sind in ca. 27% aller Fälle anzutreffen. Somit wären in mindestens 27% aller Unfälle in denen Fußgänger getötet werden, bordautonome Fußgänger-schutzsysteme nicht in der Lage den Fußgänger rechtzeitig zu erkennen, selbst wenn optimale Licht und Kontrastbedingungen vorherrschen würden.

Physikalische Analyse eines Unfallszenarios

In der physikalischen Analyse eines Unfallszenarios in Kapitel 3 wurde die zur Verfügung stehende Zeit t für ein Kollisionsvermeidungssystem zwischen Autos und Fußgängern betrachtet. Hierbei wurde der Zusammenhang und Einfluss der verschiedenen physikalischen Parameter auf diese Zeit an Hand eines typischen Unfallvermeidungsszenarios analysiert. In diesem Szenario läuft ein Fußgänger auf dem Gehweg an einer Straße. Auf dieser Straße fährt ein Auto in Richtung des Fußgängers. Autofahrer und Fußgänger sind sich dem jeweilig anderen nicht bewusst. Der Fußgänger zeigt die Absicht auf die Straße zu treten. In einem definierten Abstand muss der Fußgänger detektiert oder dessen Position übermittelt werden, die Informationen ausgewertet werden und eine Warnung ausgegeben werden damit der Fahrer noch rechtzeitig reagieren kann. Die Parameter, die hier betrachtet wurden, schließen den maximalen Detektions-/ Kommunikationsanstand (s_{com}), die maximale Verzögerung des Autos (a_{car}) und die Geschwindigkeit des Autos (v_{car}) ein. Als feststehende Werte fließen die Reaktionszeit des Fahrers und die des Autos zusammen mit 0.83s ein, ein Wert, der aus Fachliteratur entnommen wurde. Die Werte der maximalen Verzögerung des Autos wurden in einem typischen Wer-

tebereich zwischen 8 und 11 m/s² betrachtet, was den Leistungsdaten aktueller Modelle widerspiegelt. Als Richtwert für diesen Wertebereich dient der Durchschnittswert von 10,4 m/s², der sich aus den zehn meist verkauften Auto Modellen Deutschlands in 2008 ergibt. Als maximalen Detektions-/ Kommunikationsradius wurden Werte zwischen 50m und 125m betrachtet. Für die Geschwindigkeit wurden die Bereiche von 0,27 m/s (1 km/h) bis 25m/s (90km/h) betrachtet. Zur Darstellung der Änderungen der jeweiligen Parameter wurde ein Standardszenario vorgegeben mit den Vorgabewerten $s_{com}= 50m$, $a_{car}= 10,4m/s^2$ und $v_{car}= 50km/h$, was einem Szenario im Ortsinneren entspricht. Für ein solches Szenario ergibt sich eine verfügbare Zeit für das Kollisionsvermeidungsverfahren zwischen frühest möglicher Detektion bis zur spät möglichsten Warnung von ca. 2,1s.

Stand der Technik

Im Kapitel 4 wurde zuerst ein Überblick über die verschiedenen Ansätze des vorausschauenden Fußgängerschutzes gegeben. Hierbei wurde einerseits kurz auf die bordautonomen Systeme eingegangen, die auf Video- (sichtbares und Infrarotlicht), Radar- oder Laserdistanzmessung-Technik basieren oder eine Kombination dieser Technologien verwenden. Insbesondere wurde einerseits kurz die Komplexität der Berechnungen dargestellt, auf die Problematik des nötigen Sichtkontakts zwischen Auto und Fußgänger damit eine Detektion des Fußgängers möglich ist, ebenso wie auf Umwelt und Lichtbedingungen die die Funktionalität eines solchen Systems beeinträchtigen können. Ferner wurden die Arbeiten im Bereich kooperativer Systeme dargestellt, welche zwar keinen Sichtkontakt zum Fußgänger benötigen, aber zusätzliche, vom Fußgänger mitzuführende proprietäre Hardware. Auch fehlt allen diesen Systemen Detailinformation über den Fußgänger.

Funk- und Kontextbasiertes Kollisionsvermeidungsverfahren

Im Kapitel 5 wurde das Konzept des Kollisionsvermeidungssystems basierend auf Kontextinformation des Fußgängers und funkbasierter Informationsaustausch vorgestellt. Dieses System nutzt, neben den Informationen des Autos, Informationen über den Fußgänger, welche durch dessen vorhandenes Smartphone zur Verfügung gestellt und per Funk zur Situationsanalyse ausgetauscht werden. Hierbei können die Informationen des Fußgängers von Sensoren des Smartphones erhalten werden, aber auch aus Datenbanken, welche ermittelte und eingegebene Informationen wie Profil- und Kalenderinformationen enthalten können. Aber auch die aktuelle Nutzung des Mobiltelefons kann von Interesse für dieses System sein. Diese Daten werden im sogenannten Kontextfilter mit den Informationen des Au-

tos verrechnet und das Kollisionsrisiko des Fußgängers bestimmt. In der Vorstellung dieses Systems wurden auch die unterschiedlichen möglichen Kommunikationsarchitekturen ad-hoc, zellular und hybrid diskutiert und die in Abhängigkeit möglichen Optionen zur Nutzung von Recheneinheiten erläutert.

Performance Messungen verschiedener Funktechnologien

Im nächsten Schritt wurden die Ergebnisse einer ersten Untersuchung der Umsetzbarkeit eines solchen Systems unter dem Gesichtspunkten der benötigten Zeit für den Verbindungsaufbau und die Übertragungszeit vorgestellt. Hierzu wurden einerseits unterschiedliche Kombinationen Geräten unter Nutzung von Ad-Hoc basierter Kommunikation untersucht. In den Experimenten zeigte sich bei Verwendung von WLAN in der Version 802.11b, als Vertreter der Ad-Hoc basierten Kommunikation, eine generelle Eignung dieser Funktechnologie zur Datenübertragung. Auch für diverse zellulare Funkübertragungsstandards, als Vertreter der Infrastruktur basierten Kommunikation, wurde in diversen Experimenten eine generelle Eignung festgestellt. Insbesondere aktuelle Standards zeigen sich hier als geeignet.

Erkennung von Geschwindigkeitsänderungen des Fußgängers

Eine weitere Untersuchung beschäftigte sich mit der Thematik der Nutzung des Beschleunigungssensors des Mobiltelefons als Informationsquelle zur Feststellung von Geschwindigkeitsänderungen. Diese Untersuchung, welche im Kapitel 7 vorgestellt wurde, zeigt die Zuverlässigkeit und benötigte Zeit zur Erkennung mit der es möglich ist mit Hilfe von gemessenen Beschleunigungswerten und Algorithmen zur Aktivitätserkennung Änderungen in der Art der Bewegung des Fußgängers zu erkennen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde ein Vergleich von drei Basislevel-Klassifikatoren und zwei Metalevel-Klassifikatoren untersucht. Auch hier zeigen sich vielversprechende Ergebnisse. Die Zuverlässigkeit der korrekten Erkennung der Bewegungsart liegt im Bereich zwischen ca. 93% und ca. 96% und einer Erkennungsdauer von unter 250ms bei den erläuterten Hardwarevoraussetzungen, wodurch eine schnelle Detektion der Bewegungsart ermöglicht wird.

Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde das Konzept eines Systems zur Kollisionsvermeidung zwischen Autos und Fußgänger vorgestellt. Ebenso wurden erste Untersuchungen zur Verwendung vorhandener Kommunikationstechnik und der Möglichkeit zur Nutzung des Beschleunigungssensors und geeigneter Algorithmen durchgeführt, welche bereits vielversprechende Ergebnisse zur Umsetzung der Idee des Kollisionsvermeidungssystems zeigen.

Dieser Ansatz bereits einige interessante Aspekte, die das Potential eines solchen Systems aufzeigen. So ist die Optimierung der Kollisionsvorhersage ein wichtiger Aspekt, andererseits die Nutzung vorhandener Hardware, aber auch die Möglichkeit den Fußgänger zu warnen, da dieser im Regelfall deutlich schneller zum Stehen kommen kann als das Fahrzeug. Es bleiben jedoch einige Forschungsfragen offen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt wurden. Einige dieser Punkte sind im Folgenden genannt. So bleibt zum Beispiel das Potential der Nutzung weiterer Informationsquellen, wie Gyroskop, Kompass, Mikrofon, sowie Informationen über aktuelle Nutzung des Smartphones, aber auch ermittelte und eingegebene Datenbanken wie Bewegungsprofile oder Kalender in zukünftigen Inhalt zukünftiger Forschungsfragen. Plötzliche Richtungsänderungen, Wahrnehmungseinschränkungen durch lautes Musikhören, laute Umweltbedingungen sind einige Merkmale, die so detektiert werden könnten und Einfluss auf die Einschätzung einer Situation nehmen könnten. Ein weiterer Aspekt ist sicherlich die Optimierung der Positionierung. Hierbei ist einerseits die erzielbare Genauigkeit absoluter Positionierungssysteme mit Hilfe von frei verfügbaren und kommerziellen Korrekturdaten interessant. Ebenso interessant ist die Frage, wie genau eine relative Positionierung mit Hilfe bereits heute im Smartphone integrierter Kommunikationsschnittstellen bestimmt werden kann. Ein anderer wesentlicher Betrachtungspunkt ist der Energiekonsum auf dem Smartphone durch ein solches System. Auch die Untersuchung der erzeugten Datenmenge und Möglichkeiten geeigneter Komprimierung, um den Datenverkehr gering zu halten. Der Bereich des Datenschutzes, als hier letztgenannten, darf natürlich auch nicht vernachlässigt werden. Um Missbrauch zu vermeiden und persönliche Daten zu schützen, ist auch hier ein geeigneter Mechanismus zu wählen bzw. zu entwickeln.

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Anti Blockier System
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil Club
CAMP	Crash Avoidance Metrics Partnership
DT	Decision Trees, dt. Entscheidungsbäume
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EMAIL	Electronic Mail
ESP	Elektronisches Stabilitäts Programm
FFT	Fast Fourier Transformation
FIR	Far Infrared
GLONASS	Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema oder Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Radio Packet Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
HSDPA	High Speed Download Packet Access
HSUPA	High Speed Upload Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IR	Infrared
ITS	Intelligent Transport System
KNN	k nearest neighbor
LIDAR	Light detection and ranging
LTE	Long Term Evolution
MEMS	Micro Electro Mechanical System
NIR	Near Infrared
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
RADAR	Radio Detection And Ranging
RIPPER	Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction
RTCM	The Radio Technical Commission for Maritime Services
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung
simTD	Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland
SMS	Short Message Service
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WAAS	Wide Area Augmentation System

WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis
WLAN	Wireless Local Area Network