

---

---

# **FRAMES – FRÜHWARNSYSTEM ZUR ADAP- TIVEN MENSCH-FAHRZEUG-ERKENNUNG UND SICHERHEITSFÖRDERUNG**

---

---

## **ABSCHLUSSBERICHT PROJEKTPHASE I**

**31.03.2014**

Prof. Dr. R. Trimpop, FSU Jena, Prof. Dr. H. Wieker, HTW Saarland  
Dipl. Psych. Tobias Ruttke; Dipl. Psych. Juliane Brachwitz, FSU Jena  
Dipl. Ing. Manuel Fünfroeken, Bsc. Michael Gruber; HTW Saarland

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Titel und Laufzeit des Projekts</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Forschungszweck und Zielstellung</b>	<b>9</b>
3.1	Einleitung und Überblick	9
3.1.1	Nutzen für die Unfallversicherungsträger	9
3.2	Projektphasen	11
3.3	Forschungsfragen und Hintergrund Phase 1	12
3.3.1	Typische Unfallsituationen beim Rangieren	13
3.3.2	Rangierunfälle bei Müllwerkern	13
3.3.3	Problem bei betrieblichen Rückwärtsfahrten	14
3.3.4	Erweiterter Kontext	16
3.3.5	Technische Grundlagen des Forschungsvorhabens	17
<b>4</b>	<b>Methodik</b>	<b>22</b>
4.1	Leitfragen Phase 1 und methodische Herangehensweise	22
4.1.1	Methodische Herangehensweise zur Technikentwicklung	23
4.2	Gegenüberstellung Planung und Durchführung	24
4.2.1	Arbeitspakete der Projektgruppe der Friedrich-Schiller-Universität Jena	25
4.2.2	Arbeitspakete der Projektgruppe der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes	27
4.2.3	gemeinsame Arbeitspakete der Projektgruppen	29
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>30</b>
5.1	Literaturanalysen: Fußgängerverhalten	30
5.1.1	Definition und grundlegende Bewegungsmerkmale	31
5.1.2	Personennahe Merkmale des Laufverhaltens und der Straßenüberquerung	33
5.1.3	Soziale Interaktion und Gruppenverhalten	42
5.1.4	Laufumgebung und situative Elemente	44
5.1.5	Ergänzung: Fußgängerfehlverhalten und Fußgängerunfälle	47
5.1.6	Bewegungsmodelle und Bewegungsvorhersage	50
5.1.7	Zusammenfassung Literaturanalyse zum menschlichen Laufverhalten	53
5.1.8	Tracking/Positionierung	54
5.2	Betriebsbeobachtungen	59
5.2.1	Methodisches Vorgehen	59
5.2.2	Betriebliches Verkehrsverhalten Standort 1 - Logistikdienstleister	61
5.2.3	Betriebliches Verkehrsverhalten Standort 2 - Müllheizkraftwerk	72
5.2.4	Betriebliches Verkehrsverhalten Standort 3 - Logistikdienstleister	82
5.2.5	Projektrelevante Erkenntnisse zum betrieblichen Verkehrsverhalten	88
5.3	Unfalldatenauswertungen	90
5.3.1	Unfalldaten der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution	91
5.3.2	Unfälle in den beobachteten Betrieben	101
5.4	Ergebnisse der Risikokompensationsanalysen	102
5.4.1	Theoretische Befunde	102
5.4.2	Experimentalanalyse	103
5.5	Ergebnisse GPS/RTK	112
5.6	Systemvergleiche (andere Assistenzsysteme)	115
5.7	Beschreibung Systemdemonstration	117
5.7.1	Demonstrationsaufbau	117
5.7.2	Funktionsweise des Systems	120
5.7.3	Demonstrationsszenarien	124
5.7.4	Ergebnisse der Systemdemonstration und Fazit	125
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>126</b>
6.1	Bewertung der Ergebnisse	126
6.1.1	Verhaltensaspekte	126

6.1.2	Risikokompensationseffekte .....	127
6.2	Stand der Standardisierung und deren Auswirkungen .....	128
6.3	Relevanz für Unfallverhütung.....	129
<b>7</b>	<b>Umsetzung- und Verwertungsplan .....</b>	<b>130</b>
7.1	„Lessons-learned“ für Phase 2/3.....	130
7.2	Weitere Notwendige Schritte.....	130
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>131</b>

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 3-1. Fahrzeug-Zu-Fahrzeug Kommunikation: Beispiel Gefahrenwarnung..... 17

Abbildung 3-2. Roadside stations im Fahrzeug-Zu-Fahrzeug Umfeld..... 18

Abbildung 3-3. Zusammenspiel Infrastruktur und Fahrzeug..... 19

Abbildung 3-4. Empfangsmessung an einer innerstädtischen Kreuzung (Braunschweig) Farbkodierung in Tabelle ..... 20

Abbildung 4-1. Übersicht Arbeitspakete ..... 24

Abbildung 5-1. Zusammenhangsebenen mit dem menschlichen Lauf- und Bewegungsverhalten..... 31

Abbildung 5-2. Durchschnittliche Laufgeschwindigkeiten nach den Ergebnissen verschiedener Studien (aus Ishaque und Noland, 2008)..... 34

Abbildung 5-3. Beschleunigungsverhalten von Fußgängern (entnommen aus: Rohm, M. (2006) Unfallrekonstruktion. Bewegungsgeschwindigkeiten von Fußgängern. VerkehrsRechtsReport 04, 136-139)..... 35

Abbildung 5-4. Unterschiede zwischen Fahrern und Läufern getrennt für Männer und Frauen (aus Pingel, 2010)..... 41

Abbildung 5-5. Unterschiede zwischen Strategen und Orientierern (aus Pingel, 2010)..... 41

Abbildung 5-6. Wartewahrscheinlichkeit (links) bzw. Risikowahrscheinlichkeit (rechts) und Wartezeit (aus Guo, Wang, Guo, Jiang und Bubb, 2012)..... 42

Abbildung 5-7. Tödliche Fußgängerunfälle nach Monat und Tageszeit (aus Griswold, Fishbain und Ragland, 2011)..... 45

Abbildung 5-8. Tödliche Fußgängerunfälle nach Monat und Tageszeit (relativ zum Sonnenaufgang; aus Griswold, Fishbain und Ragland, 2011)..... 46

Abbildung 5-9. Z-Werte für beobachtete Fehlverhaltensweisen von Fußgängern und Autofahrern (Werte über >1 zeigen an, dass die entsprechenden Beobachtungshäufigkeiten über dem Mittelwert über alle Beobachtungsorte liegen; Werte <1 vice versa; aus Cinnamon, Schuurman und Hameed, 2011)..... 48

Abbildung 5-10. Zusammenhangsfaktoren mit dem Unfallrisiko von Fußgängern (aus Zegeer und Bushell, 2012)..... 49

Abbildung 5-11. Unfallmuster tödlicher Unfälle in Israel 2003-2006 (aus Gitelmann et al., 2012)..... 50

Abbildung 5-12. Ausgangspunkt für die Modellentwicklung zum Fußgängerverhalten (aus Papadimitriou, Yannis und Golias, 2009) ..... 51

Abbildung 5-13. Zusammenhangsebenen und –faktoren mit den Lauf- und Bewegungsverhalten von Fußgängern..... 53

Abbildung 5-14. Lageskizze Standort1 ..... 61

Abbildung 5-15. Unübersichtliche Einfahrsituation im Bereich des zentralen Betriebseingangs..... 64

Abbildung 5-16. Beispielsituationen in der Anfahrtszone zu den Anlieferungs- und Abholungsbereichen (unterschiedliche Standorte) ..... 65

Abbildung 5-17. Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Personen in Anlieferungs- und Abholungsbereichen..... 66

Abbildung 5-18. Parallele Fahr- und Laufsequenzen im Anlieferungsbereich mit abschließender selbstgefährdender Verhaltensweisen zweier Fußgänger ..... 67

Abbildung 5-19. Regelwidriges Parkverhalten von Fahrzeugen in den Anlieferungszonen ..... 68

Abbildung 5-20. Skizze des zentralen Übergangs mit Hauptlauf- und Fahrbereichen..... 69

Abbildung 5-21. Exemplarische Darstellung von Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer an Standort 1 – Bild 1 ..... 71

Abbildung 5-22. Exemplarische Darstellung von Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer an Standort 1 – Bild 2..... 71

Abbildung 5-23. Exemplarische Darstellung von Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer an Standort 1 – Bild 3 ..... 72

Abbildung 5-24. Kartenansicht der zentralen Rampe Müllheizkraftwerk Ruhleben ..... 72

Abbildung 5-25. Anfahrsequenz im BSR Müllheizkraftwerk Ruhleben ..... 74

Abbildung 5-26. Beispiel für die räumliche Enge bei paralleler Entladung mehrerer Fahrzeuge an benachbarten Ladetoren.....	78
Abbildung 5-27. Beispiele für die Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Personen im Bereich der Ladetore .....	78
Abbildung 5-28. Linke Bilderserie: Beispiele für das Einweisen von Fahrzeugen an den Entladetoren / Rechte Bilderserie: Situation am Handabladebereich .....	79
Abbildung 5-29. Fahrzeug-Personen-Kontakte im Bereich des Parkplatzes vor der Betriebskantine ..	79
Abbildung 5-30. Szenario Handabladebereich. Mitarbeiter verlässt den Handabladebereich, gleichzeitig nähert sich ein Fahrzeug .....	81
Abbildung 5-31. Szenario Übersehen eines Mitarbeiters im rückwärtigen Bereich beim Rangieren. Mehrere Bewegungen von Fahrzeugen mit vermutlicher Ablenkung des Fahrers, ungünstiger Positionierung und schlechten Sichtverhältnissen des Einweisers .....	81
Abbildung 5-32. Szenario Missachtung des Vorrangs auf dem Überweg. Blockade eines querenden Mitarbeiters durch zwei Fahrzeuge.....	81
Abbildung 5-33. Szenario Mehrfachbewegungen. Mehrere schlecht vorhersagbare Bewegungen bei bestehender räumlicher Enge, Ablenkungsgefahr und individuellem Gefährdungsverhalten.....	82
Abbildung 5-34. Lageskizze Standort 3.....	82
Abbildung 5-35. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr I .....	86
Abbildung 5-36. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr II .....	86
Abbildung 5-37. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr III .....	87
Abbildung 5-38. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr IV .....	88
Abbildung 5-39. Prozentuale Unfallverteilung über die Monate (2008-2012; N=31.217).....	93
Abbildung 5-40. Prozentuale Unfallverteilung über die Monate (2008-2011; N=29.398).....	93
Abbildung 5-41. Verteilung der Unfälle über die Wochentage (2008-2012; N=31.217) .....	94
Abbildung 5-42. Verteilung der Unfallbeschreibungen über die Wochentage (aggregiert von 2008-2012; N=31.217) .....	95
Abbildung 5-43. Verteilung der Unfallbeschreibungen über die Wochentage (aggregiert von 2008-2011; N=29.398) .....	95
Abbildung 5-44. Unfallgeschehen über Tageszeiten (Kategorisierung stündlich N=16.205).....	96
Abbildung 5-45. Unfallgeschehen über Tageszeiten (aggregiert von 2008-2012; N=16.205) .....	96
Abbildung 5-46. Verteilung der Unfallberichte über Tageszeiten und Wochentage (Jahre 2008 (links oben) bis 2011(rechts unten)).....	97
Abbildung 5-47. Screenshot der Fahrsimulation in der „Ohne System“-Bedingung .....	104
Abbildung 5-48. Screenshots der Fahrsimulation in der „Mit System“-Bedingung .....	104
Abbildung 5-49. GPS-Empfänger .....	112
Abbildung 5-50: Positionsmessreihe mit GPS .....	113
Abbildung 5-51: Positionsmessreihe mit SBAS.....	114
Abbildung 5-52: Positionsmessreihe mit RTK.....	115
Abbildung 5-53: Funktionsweise Fußgängererkennung (Quelle: Volvo).....	116
Abbildung 5-54. Aufbau und Örtliche Struktur der Demonstrationszone am 02.07.2013 .....	118
Abbildung 5-55. Berechnung des Gefahrenbereichs .....	118
Abbildung 5-56. Systemansicht des Fahrers .....	119
Abbildung 5-57. Rucksack.....	121
Abbildung 5-58. Komponententräger Rucksack.....	122
Abbildung 5-59. Komponententräger Fahrzeug.....	122
Abbildung 5-60: Basisstation .....	123
Abbildung 5-61: Basisstation Komplettansicht .....	123
Abbildung 5-62. Skizze des Einweiserszenarios .....	124

Abbildung 5-63. Skizze des Durchläuferszenarios..... 124  
 Abbildung 5-64. Skizze des Durchläuferszenarios..... 125

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 5-1. Fußgängertypen (entnommen aus Pedestrian Planning and Design Guide, NZTA 2009 .. 32  
 Tabelle 5-2. physische und kognitive Fähigkeiten mit Einfluss auf das Laufverhalten (Auswahl; Pedestrian Planning and Design Guide, NZTA, 2009)..... 35  
 Tabelle 5-3. Strategic Disposition Index nach Pingel (2010) ..... 40  
 Tabelle 5-4. Unfallursachen nach Zegeer, Nabors, Gelinne, Lefler und Bushell (2010)..... 48  
 Tabelle 5-5. methodisches Vorgehen bei den Betriebsbeobachtungen ..... 60  
 Tabelle 5-6. Übersicht über die durchgeführten Beobachtungen und Interviews an Standort 1..... 63  
 Tabelle 5-7. Gesamtanzahl der Beobachtungen in den An- und Abfahrtbereichen am Standort ..... 63  
 Tabelle 5-8. Prozentuale Anteile beobachtbaren Fahrverhaltens in der An- und Abfahrtzone ..... 64  
 Tabelle 5-9. Prozentuale Anteile beobachtbaren Fahrerhaltens in der An- und Abfahrtzone ..... 64  
 Tabelle 5-10. Datenbasis an Standort 3 ..... 84  
 Tabelle 5-11. Anzahl Unfallbeschreibungen nach Jahren und insgesamt..... 91  
 Tabelle 5-12. betriebliche Verkehrsunfälle nach Monaten und Jahren..... 92  
 Tabelle 5-13. Verkehrsunfälle im betrieblichen Verkehr nach Wochentagen und Jahren ..... 94  
 Tabelle 5-14. Ausgewählte Unfallbeschreibungen aus Unfallanzeigen der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution..... 98  
 Tabelle 5-15. Ausgewählte Unfallbeschreibungen aus Unfallanzeigen der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution..... 99  
 Tabelle 5-16. Ausgewählte Unfallbeschreibungen aus Unfallanzeigen der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution..... 100  
 Tabelle 5-17. Variablenübersicht Risikokompensationsmessung..... 105  
 Tabelle 5-18. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS (über alle Durchgänge)..... 106  
 Tabelle 5-19. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge mit Fußgänger..... 106  
 Tabelle 5-20. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge ohne Fußgänger..... 106  
 Tabelle 5-21. Mittelwertvergleich der subjektiven Fahrverhaltenseinschätzungen zwischen den Bedingungen OS und MS..... 108  
 Tabelle 5-22. Mittelwerte der Veränderungseinschätzung verschiedener Kompensationsvariablen von MS zu OS..... 109

---

---

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

---

---

Derzeit werden Fahrerassistenzsysteme entwickelt und ab 2015 europaweit etabliert, die Warnungen zwischen Fahrzeugen zur Kollisionsvermeidung ermöglichen und die Verkehrseffizienz erhöhen sollen. Allerdings berücksichtigt die Mehrzahl der geplanten Systeme (Radar, Infrarot, Video) schwächere Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer) gar nicht oder nicht in, für die Realverkehrssituationen, ausreichender Weise. Werden diese Personengruppen allerdings bei der Systemkonzeption mit berücksichtigt, stoßen viele technische Lösungen insbesondere bei halb- oder vollständig verdeckten Personen an ihre Leistungsgrenzen. Gerade diese Unfallsituationen bspw. bei Rangierunfällen (z.B. Beladen von Müllcontainern), Schulwegunfällen (z.B. Hervortreten hinter parkenden Fahrzeugen) und weiteren Transportanwendungen (z.B. Kollisionen von Radfahrer-Gabelstapler an Gebäudeecken), fordern allerdings häufig Opfer. Um diesen Anwendungsbereichen Rechnung zu tragen, nutzt FRAMES eine funkbasierte Transponder-Technologie auf Basis des ETSI-G5 802.11p-Standards zur Entwicklung eines Frühwarnsystems, welches Warnsignale auch ohne Sichtkontakt an schwächere Verkehrsteilnehmer und das Fahrzeug aussendet, um allen Beteiligten zu ermöglichen, eine drohende Kollision zu vermeiden. In der Projektphase 1 (Machbarkeitsstudie) des FRAMES-Projektes wurde zunächst eine Anpassung der bereits bestehenden technischen Lösungen für den Schutz von Fußgängern vorgenommen und deren Präventionswirkung evaluiert. Weiterhin wurde untersucht, ob das FRAMES-Frühwarnsystem im kontrollierten betrieblichen Rangierkontext technisch-präventiv funktioniert.

Als Teilziele für die erste Phase wurden festgelegt: Gewinnung verhaltensbezogener Daten über Unfälle, Beinaheunfälle und generelle Bewegungsmuster schwächerer Verkehrsteilnehmer zur Programmierung eines Demonstrators und den Test seiner Wirksamkeit im betrieblichen Kontext unter kontrollierten Bedingungen.

Zur Vermeidung von Fehlalarmen und zur Erhöhung der Alarmzuverlässigkeit werden konkrete Verhaltensdaten über Fußgänger- und Radfahrer benötigt, die zu Untersuchungsbeginn allerdings kaum vorlagen und daher komplett neu auf Logistikhöfen der Projektpartner erhoben und ausgewertet wurden. Erkenntnisse über das reale Lauf- und Bewegungsverhalten von Personen im Verkehrsgeschehen sind ebenfalls zur Abschätzung und zur Vermeidung von Risikoanpassungsprozessen dringend notwendig, da bei fast allen Fahrerassistenzsystemen Verhaltensadaptation (Risikokompensation) zu erwarten sind und auch festgestellt werden können. Erste Nachweise für solche kompensierenden Verhaltenseffekte zeigen sich auch im Rahmen des FRAMES-Projektes. Zwar geschehen mit dem Frühwarnsystem im Experiment weniger Unfälle, gleichzeitig zeigen die Teilnehmer aber weniger und weniger intensive Bremsmanöver, fahren mit höheren Geschwindigkeiten und berichten von weniger fahrbezogener Aufmerksamkeit.

Im Rahmen einer ersten Systemdemonstration auf einem Logistikhof mit dem Transpondersystem konnte sehr deutlich in 6 verschiedenen Szenarien nachgewiesen werden, dass das System verdeckte Fußgänger hinter Metallcontainer und Hausecken frühzeitig erkennt und umgekehrt auch dem Fußgänger eine Warnung vor dem Fahrzeug übermittelt, bevor das Fahrzeug für diesen sichtbar wird. Die Machbarkeitsphase 1 kann somit in allen Zielen als erfolgreich abgeschlossen betrachtet werden. In den beantragten Phasen 2 und 3 sollen die Systeme im Betriebsalltag, im Fahrrad und Fußverkehr getestet und in Kooperation mit Herstellern und Automobilfirmen auf die Serienreife vorbereitet werden. Darüber hinaus sollen Methoden erforscht und getestet werden, die den Risikokompensati-

onseffekt verringern oder ausschalten, um den Nettonutzen zum Schutz der schwachen Verkehrsteilnehmer zu erhöhen.

---

---

## 2 TITEL UND LAUFZEIT DES PROJEKTS

---

---

Titel: FRAMES - Frühwarnsystem zur Adaptiven Mensch-Fahrzeug Erkennung und Sicherheitsförderung

Laufzeit Phase 1: 01.11.2011-31.12.2013

Projektpartner sind:





---

---

### 3 FORSCHUNGSZWECK UND ZIELSTELLUNG

---

---

---

---

#### 3.1 EINLEITUNG UND ÜBERBLICK

---

---

Derzeit werden große Bemühungen unternommen, um die Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation zur Vermeidung von Unfällen und zur erhöhten Verkehrseffizienz zu optimieren. Europaweit werden dafür Funkfrequenzen reserviert und die Fahrzeuge technisch vorbereitet, um ab 2015 Frühwarninformationen über Kollisionsgefahren und Staus auszutauschen. Leider werden bei all diesen Verfahren die schwächeren Verkehrsteilnehmer, Fußgänger und Radfahrer nur sehr unzureichend berücksichtigt. Genau hier setzt das Projekt FRAMES an, um diese Zielgruppen ebenfalls vom technischen Fortschritt sicherheitlich profitieren zu lassen.

Eine Vielzahl an Verkehrsunfällen geschieht beim Rangieren und Rückwärtsfahren. LKW setzen z.B. zum Be- und Entladen zurück und kollidieren dabei mit Einweisern, Passanten, Bedienungspersonal einer Müllpresse oder stoßen mit anderen Fahrzeugen oder Gegenständen zusammen. Schüler verhalten sich spontan und wenig berechenbar und sind oftmals von Hindernissen verdeckt, z.B. von parkenden Fahrzeugen. Gabelstaplerunfälle geschehen oft, weil Gefahren nicht rechtzeitig wahrgenommen werden. Derzeitige Schutzsysteme basieren ausschließlich darauf, dass Sensoren oder Kameras am Fahrzeug die Gefahr erkennen und rückmelden. Verdeckte Personen, spontane Bewegungen etc. werden nicht berücksichtigt. FRAMES basiert dagegen auf einer funkbasierten wechselseitigen Information, so dass Fahrzeuge auch dann Warnsignale erhalten, wenn die Hindernisse verdeckt sind, aber auch Fußgänger und Radfahrer selbst eine Rückmeldung über eine mögliche Unfallgefahr bekommen, sodass beide Verkehrsteilnehmer Schutzmaßnahmen einleiten können.

Die dazu notwendige Technologie muss jedoch zur Erfüllung dieser Aufgabe erweitert und angepasst werden, bei gleichzeitiger Nutzung der europaweiten Standards und Planungen für die Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation (ETSI-G5 802.11p). Dies ist der Teil des Projektes, den die Forschungspartner der Professur für Kommunikationstechnik der HTW Saarland übernehmen. Damit die hinter dem Frühwarnsystem liegende Programmierung die richtige Balance zwischen echten und falschen Warnungen, zwischen zu vielen und zu wenigen Signalen und für schnell verändertes Verhalten erhält, ist es notwendig, die Verhaltensweisen der Verkehrspartner möglichst genau vorherzusagen und so abzubilden, dass die Fahrzeugführer nicht mit Signalen überschwemmt werden oder zu wenige erhalten. Außerdem ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer Risikoadaptation zu rechnen, das heißt dass Fahrzeugführer und auch Radfahrer und Fußgänger sich sicher fühlen, weil sie kein Signal erhalten, und schneller oder unaufmerksamer fahren, und dabei Menschen oder Fahrzeuge ohne Transponder übersehen. Die Erforschung dieser verhaltenswissenschaftlichen Daten und Maßnahmen zur Prävention werden vom Lehrstuhl Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie der FSU Jena übernommen. In diesem interdisziplinären Ansatz besteht damit die Chance, frühzeitig hochmoderne Technologien auch zum Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer nutzen zu können.

---

##### 3.1.1 Nutzen für die Unfallversicherungsträger

---

Der **Nutzen für die UVT** besteht u.a. darin, dass eine neue Technologie für die Präventionszielgruppen nahezu aller Unfallversicherungsträger genutzt werden kann, da das Rangieren und Transportieren ebenso wie Fußgänger- und Radfahrerverkehr alle relevanten Nutzerkreise betrifft. Weitere Nutzen für die Unfallversicherungsträger bestehen darin, die derzeit mit großem finanziellem Aufwand

entwickelte Technologie frühzeitig für Sicherheitszwecke zu nutzen und sogar mitgestalten zu können. Für den Arbeitgeber besteht der weitere Nutzen darin, dass neben der Prävention von Personenschäden, die Technologie auch über stationäre Anlagen zur Vermeidung von Sachschäden genutzt werden kann. Für die öffentliche Hand wird dem sehr wichtigen Thema der Unfallverhütung von Schülerinnen und Schülern ein weiteres, technisches Schutzinstrument zur Verfügung gestellt, das mit relativ geringem Aufwand weit verbreitete Technologie, z.B. das Handy, so nutzen kann, dass es zum Schutz beiträgt. Zusammengefasst:

### **Erwartete Ergebnisse und Praktische Umsetzung:**

- Durch das Projekt kann es gelingen, die Vorteile eines automatisierten technischen Systems zur Unfallverhütung, welches zunächst primär für Fahrzeuge im Realverkehr entwickelt wird, auch für schwächere Verkehrsteilnehmer sowohl in Schulen nutzbar zu machen als auch auf Betriebsgeländen gewinnbringend einzusetzen und somit zur erfolgreichen Unfallprävention beizutragen.
- Für Betriebe kann die Technik darüber hinaus auch mit stationären Transpondern zur Vermeidung von Sachschäden an Rampen, Beladestationen oder häufig frequentierten Kreuzungen eingesetzt werden.
- Die gewonnenen Bewegungs- und Verhaltensmuster können zusätzlich in normalen und kritischen Verkehrssituationen zur Verhütung von Beinaheunfällen sowie tatsächlichen Unfällen dienen, da sie einen tieferen Einblick in das (Fehl-)verhalten von Organisationsangehörigen vermitteln und somit bauliche, organisatorische oder edukative Schritte ermöglichen, die über ein technisches Frühwarnsystems hinaus gehen.
- Durch die intensive Einbindung der HTW Saarland in die neuesten Entwicklungsprozesse der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation kann jedoch die Wahrscheinlichkeit als sehr groß erachtet werden, dass mit dem hier verfolgten Ansatz ein Mehrwert, auf Basis einer von großen Geldgebern entwickelten Technologie auch für die Gruppe der „schwächeren“ Verkehrsteilnehmer erwächst. Viele der zu entwickelten Systeme funktionieren bereits, wurden aber noch nicht in dem vorgeschlagenen Kontext erprobt.
- Die Frage der Verhaltensanpassung an technische Systeme die UVT seit mehreren Jahren in mehreren Projekten. Ob und wie stark sich die Fahrzeugführer und die Passanten sich unvorsichtiger verhalten, wenn sie sich geschützt fühlen und ob durch technische Systeme dieser Art induzierter Schutz für nicht ins System integrierte Verkehrsteilnehmer neue Gefahren erzeugen, kann basierend auf den empirischen Daten einer Klärung näher gebracht werden.
- Eine Übertragung der Technik auf Containerhäfen, Dockanlagen, Gleisarbeiten, Straßenbauteams, Warenhäuser, Schienenverkehr, und viele andere Settings ist naheliegend und hat die folgenden Kooperationspartner motiviert, ihre Bereitschaft zu erklären sich an der Studie aktiv zu beteiligen: UK Hessen, BG Verkehr, UK NRW, BGN, BGHM, BG HV und UKPT.
- Die Beteiligung der Deutschen Post AG und DHL am bisherigen und am weiteren Projekt, die Absichtserklärung vom Hersteller Continental, Fahrzeughersteller VW und anderen Industriegruppen versprechen einen großen allgemeinen Nutzen und eine hohe Umsetzungswahrscheinlichkeit.
- Die Ergebnisse werden selbstverständlich neben den Projektberichten in Absprache mit dem Begleitkreis in Fachzeitschriften und ggfls. in DGUV-Berichten veröffentlicht, sowie auf Kongressen präsentiert.

---

---

## 3.2 PROJEKTPHASEN

---

---

Das Projekt weist drei Phasen auf, von denen die erste hier beschrieben wird. Zunächst wurde erforscht, ob und wie ein solches System die Voraussetzung erfüllt, präventiv wirksam zu werden und Unfälle vermeiden zu können. Anschließend werden in Phase 2 die Anpassungen für den kontrollierten Werksbereich und in Phase 3 die Nutzungsmöglichkeiten im Realverkehr für schulische und betriebliche Aufgaben entwickelt und evaluiert.

Projektphase 1 läuft von November 2011 bis Dezember 2013 und hat drei Meilensteine:

1. Gewinnung verhaltensbezogener Daten von Unfall- und Beinaheunfall- und generellen Bewegungsmustern, welche die Grundlage für Entscheidungsalgorithmen des Frühwarnsystems darstellen; Programmierung und Ausrüstung eines Fahrzeugs und eines Nutzers mit dem Frühwarnsystem als Demonstrator zum Test unter vollständig kontrollierten Bedingungen.
2. Experimentelle Überprüfung des Auftretens von Verhaltensadaptationen (Risikokompensation) bei Nutzung des Systems.
3. Demonstration und erster Praxis-Test zur Nutzbarkeit des Frühwarnsystems auf einem Betriebsgelände mit Müllfahrzeugen und/oder LKW an einer Be- und Entladestation mit Personal und/oder Passanten, die mit Transpondern ausgerüstet sind und verschiedene gefahrensträchtige Verhaltensweisen simulieren.

In Phasen 2 und 3 des Projektes werden als Unfallschwerpunkte die Rangiersituationen auf den alltäglichen innerbetrieblichen Verkehr erweitert und Unfallsituationen von weiteren motorisierten Fahrzeugen (z.B. Gabelstaplern, Transportern, Treckern etc.) mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern (z.B. Radfahrern und Fußgängern), innerhalb und außerhalb von Gebäuden herangezogen. Das Risikokompensationsverhalten von Fußgängern und Radfahrern und die Interaktion dieser mit den Fahrzeugen werden experimentell und im Betrieb getestet.

Dazu soll vor allem die Weiterentwicklung (Verkleinerung und Genauigkeit) sowie die Standardisierung der Technologie vorangetrieben werden, damit das System zur europaweiten Einführung ab 2016 integriert werden kann. Zur Gerätestandardisierung werden zusätzlich die Herstellerfirmen und die Automobilindustrie involviert, um die breite Nutzung zu ermöglichen. Sowohl Hersteller der Technologie (z.B. Continental), als auch Automobilfirmen (z.B. VW) haben ihre Kooperationsbereitschaft signalisiert oder sogar schriftlich bestätigt, was als weiterer Hinweis darauf gewertet werden kann, dass dieses System auf einem erfolgversprechenden Weg ist. Die Deutsche Post AG/DHL haben ihr großes Interesse an der Teilnahme erklärt und bereits in der Machbarkeitsphase mit Mitarbeitern, Logistikhöfen und Know-How das Projekt unterstützt und stehen zur weiteren Kooperation bereit.

Sowohl mobile Systeme im Alltag, als auch spezifische Systeme für den Betrieb sollen angepasst werden, unter maximaler Nutzung der ohnehin einzuführenden Fahrzeugfunktechnologie. Tests unter Realbedingungen sind am Ende von Phase 2 im Betrieb und von Phase 3 im Realverkehr vorgesehen. Zusätzlich soll ein Konzept zur Akzeptanz, Nutzung und Verbreitung der Geräte bis zur Serienreife entwickelt werden. Dazu wurden bereits erste Kontakte mit dem Schutzwestenhersteller 3M aufgenommen, um z.B. Warnwesten mit einem Transponder serienmäßig auszustatten, was sowohl im Betrieb, als auch im Privatverkehr die Wahrscheinlichkeit der breitflächigen Nutzung deutlich erhöhen würde.

---

---

### 3.3 FORSCHUNGSFRAGEN UND HINTERGRUND PHASE 1

---

---

Um derzeit bestehende Funktechnologien für die beschriebenen Einsatzgebiete nutzen zu können, benötigt es zwei entscheidende Forschungs- und Entwicklungsschritte:

Zum einen gilt es, Bewegungs- und Unfallmuster von Fahrzeugen zu erfassen, ebenso wie das (Gefährdungs-) Verhalten von ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Fahrradfahrer, etc.), um potenzielle Kollisionen bzw. Gefährdungen *ex post* berechnen und vorherzusagen zu können. Hierzu werden intelligente technische Algorithmen benötigt, damit das jeweilige Sender-Empfängersystem, Fahrzeugführer und Fußgänger bzw. Radfahrer, zuverlässig und in optimalem Umfang über Gefährdungen informiert. Ein wichtiger Aspekt ist die möglichst genaue Positionierung im Raum der einzelnen Gefährdungen, die es ermöglicht eine verlässliche Relevanzprüfung durchzuführen, denn Fehlalarme führen sehr wahrscheinlich zur Abstumpfung der Alarmierten oder zum Ausschalten des Systems. Dazu sind jedoch empirische verhaltenswissenschaftliche Daten notwendig, die in dieser Form vereinzelt, aber noch nicht systematisch existieren. Weitere verhaltensbezogene Aspekte betreffen das Risikoverhalten und die Anpassungsprozesse (Risikoadaptation) der Nutzer.

Forschungsleitend sind dazu die folgenden exemplarischen Fragestellungen:

- Verlassen Fahrzeugführer und Fußgänger sich vollständig auf ein Warnsystem und ignorieren sie bspw. Personen/Fahrzeuge, die keinen Transponder haben?
- Fahren sie schneller oder unaufmerksamer, weil sie davon ausgehen, das System warnt sie rechtzeitig oder hält ihr Fahrzeug von alleine an (Risikoadaptation)?
- Verzichten sie in entsprechenden Verkehrssituationen aufgrund des technischen Assistenzsystems auf einen Einweiser?
- Laufen Fußgänger oder fahren Radfahrer unaufmerksamer, weil sie davon ausgehen, die Warnsysteme werden das Fahrzeug stoppen oder warnen?

Eine zentrale Aufgabe des Projektes besteht darin, diese Verhaltens- und Unfalldaten zu gewinnen und in entsprechende Algorithmen zu überführen, um sie für ein Frühwarn-Fahrerassistenzsystem nutzbar zu machen. Nur wenige verhaltenswissenschaftliche Forschungsstellen beschäftigen sich mit solchen verhaltensbezogenen und psychologischen Aspekten. Zum anderen sind bestehende Transponder-Techniken ohne diese Algorithmen noch nicht funktionsfähig. Des Weiteren ist derzeit eine flächendeckende Ausstattung von Betrieben aufgrund der Größe der Geräte sowie ihres noch hohen Preises, noch nicht möglich.

Die andere zentrale Aufgabe des Projektes ist es deshalb, nicht nur die Technik zu optimieren, sondern sie auch von Größe und Preis her so zu entwickeln, dass sie für eine zukünftige Nutzung zuverlässig und wirtschaftlich akzeptabel wird. Hierfür werden im ETSI G5 Standard conformance tests festgelegt. Des Weiteren sind europaweit bereits Frequenzen für entsprechende Anwendungen allokiert. Hier muss untersucht werden, ob und wie man sie für die neuen geplanten Anwendungen nutzen kann, insbesondere auf dem Werksgelände, da die Frequenzen für den öffentlichen Raum geplant sind und in Hallen die Technologie angepasst werden muss, da dort der GPS Empfang nicht gewährleistet ist. Lizenzgebühren entfallen, diese Frequenzen sind kostenlos nutzbar. Eine besondere Schwierigkeit ist jedoch darin zu sehen, dass nur ganz bestimmte Lizenzen für die Nutzung der Verkehrssicherheitskanäle freigegeben werden und dass nur zertifizierte technische Gerätschaften schnell und zuverlässig genug sind, um diese im Straßenverkehr einzusetzen. Nur wenige kommunikationstechnische Institute können dies gewährleisten. Die Analyse der Forschungsfragen und die

Entwicklung eines spezifisch darauf ausgerichteten elektronischen adaptiven Assistenz- und Frühwarnsystems ist eine interaktive Aufgabe die interdisziplinäre Zusammenarbeit benötigt. Unfallforscher und Verhaltensexperten müssen hierzu die situativen, individuellen sowie gruppenbezogenen Verhaltensweisen zunächst erfassen und beschreiben, die Experten für technisch-kommunikative Systeme müssen diese dann in adaptive Algorithmen und eine handhabbare Technik überführen, die sich als zuverlässig erweist und nutzbar sicherheitsbezogene Übertragung ermöglicht. Die Systeme müssen dann nutzergerecht und mit einem hohen Akzeptanzgrad für die Personen und Fahrzeughersteller entwickelt und gebaut werden, damit sie eine Chance haben, flächendeckend zum Einsatz zu kommen. Dazu wird ein interdisziplinäres Forschungsteam aus Kommunikationsingenieuren und Arbeits- und Verkehrspsychologen gebildet, die eine ausgewiesene Expertise in ihren jeweiligen Fachbereichen sowie eine hohe interdisziplinäre Kooperationskompetenz in vorherigen Projekten nachgewiesen haben. Die wissenschaftliche Leitung übernehmen Prof. Trimpop und Prof. Wieker gemeinsam, wobei ersterer die formale Forschungsleitung übernimmt.

---

### 3.3.1 Typische Unfallsituationen beim Rangieren

---

Unfälle entstehen bei Rückwärtsfahrten und Rangiermanövern durch Fehleinschätzungen der Fahrer und der "Fußgänger" im Umfeld des Fahrzeugs u.a. durch eingeschränkte Sicht (toter Winkel), unangemessene Geschwindigkeit, Trägheitskräfte beim Bremsen, Gewicht und Schwerpunkt des Transportfahrzeugs. Weitere Ursachen sind z.B. fehlende Sicherungseinrichtungen oder Hilfsmittel, unzureichende Sicherheitsabstände, unübersichtliche Verkehrs- und Ladesituationen oder mangelnde Fahrkompetenzen der Fahrzeugführer, verstellte oder unübersichtliche Transportwege bzw. Be- und Entladestellen, eingengte oder verstellte Verkehrswege und Arbeitsflächen, Unebenheiten, Höhenunterschiede (z. B. Schwellen, Bordsteine, schadhafte Verkehrswege), Stolpergefahren, Dunkelheit oder Kontrollverlust beim Hantieren von überladenen Behältern. Neben den genannten eher situationsspezifischen Unfallursachen sind darüber hinaus auch organisationalen Einflussfaktoren auf das Unfallgeschehen bei arbeitsbedingten Einsätzen zu erwähnen. Exemplarisch zu nennen sind in diesem Zusammenhang u.a. Rangierfahrten an Einsatzstellen mit überhasteten Fahrmanövern aufgrund von Zeitdruck, schlecht ausgebildetem Personal, starker Fluktuation in Einsatzteams oder aufgrund von Kommunikationsproblemen zwischen den Mitarbeitern (z.B. aufgrund unterschiedlicher Herkunftskulturen). Rangierunfälle passieren in allen Gewerbearten, sind jedoch besonders bei Müllversorgungsfahrzeugen für die Unfallversicherungsträger relevant, weil diese sowohl bei den Unfallkassen, als auch den Berufsgenossenschaften versichert sind. Außerdem haben bereits mehrere Betriebe ihre Kooperationsbereitschaft bekundet. Schließlich gibt es zu Unfällen in diesem Bereich bereits einige Studien, daher wird im Folgenden der Fokus auf diese Berufs- oder Tätigkeitsgruppe gelegt.

---

### 3.3.2 Rangierunfälle bei Müllwerkern

---

In der Statistik des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, 2010). stellen Rangierunfälle bzw. Rückfahrunfälle keine eigene Unfallklasse dar, sondern werden per Definitionem dem Unfalltyp *7 Sonstiger Unfall* zugeordnet. Dieser Kategorie Unfalltyp werden alle Unfälle zugerechnet, die keinem anderen Unfalltyp zuzuordnen sind wie bspw. Wenden, Rückwärtsfahren, Parken Fahrzeuge untereinander, Hindernis oder Tier auf der Fahrbahn oder plötzlicher Fahrzeugschaden. Dieser Umstand macht es notwendig, auf betriebliche Daten zu Unfällen und Beinaheunfällen zurückzugreifen. Daher ist die Kooperation mit größeren Firmen zur Gewinnung ausreichender Daten zwingend notwendig.

Neben den Unfällen auf dem jeweiligen Betriebsgelände beim Entladevorgang ist ein wesentlicher Anteil der tödlichen Unfälle und Rentenfälle ebenfalls im Verkehrsgeschehen lokalisiert. Besonders in der Branche „Städtereinigung, Abfall- und Reststoffbeförderung, sonstigen Abfallentsorgung“ sind die Tausendmannquoten im Vergleich zu anderen als relativ hoch anzusehen und insbesondere der Bereich „Müllabfuhr“ weist eine weitaus überdurchschnittliche Tausendmannquote auf. Sowohl das „Erfassen von Fußgängern, bedingt durch unzureichende Sicht aus dem Führerhaus“ als auch die Gefahr des „Überfahrenwerden beim Rangieren“ sind als potenzielle Gefahren beim Einsatz von Abfallsammelfahrzeugen bekannt und werden auch in relevanten Handlungshilfen der Unfallversicherungsträger dementsprechend benannt (vgl. bspw. Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft, 2010). So heißt es folglich auch in der GUV-V C 27 in § 7 (1) „Mit Müllfahrzeugen darf nur rückwärts gefahren werden, wenn eine geeignete Person den Fahrer einweist“ (UVV „Müllbeseitigung“, Jan.1997). In einer Untersuchung von Langwieder & Gwehenberger (2001) zeigt sich, dass Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Fußgänger, Fahrrad- und Zweiradfahrer) mit ca. ¼ die zweitstärkste Gruppe von Unfallgegnern bei schweren Lkw-Unfällen darstellt (nach der Gruppe der Pkw als Unfallgegner). Hierbei erweisen sich bei einer gezielteren Analyse vor allem Kollisionen im Frontbereich als auch auf der rechten Seite als problematisch, also insgesamt im vorderen Drittel der rechten Fahrzeugseite (ebd.). Die Autoren empfehlen deshalb zur Vermeidung schwerer Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern vor allem den Einsatz aktiver Sicherheitssysteme. „Rein zahlenmäßig stehen Unfälle mit der Ursache „Fehler beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren oder Ein- und Ausfahren“ – typischerweise also klassische Park oder Rangierunfälle – seit Jahren an der Spitze der Unfallursachen. Wegen der dabei geringeren gefahrenen Geschwindigkeiten bleibt es jedoch bei diesen Unfällen in der überwiegenden Zahl bei *Blebschäden oder leichteren Personenschäden*“ (Rheinland Pfalz, Polizeipräsidium Trier, 2011). Auch die GUV-I 8727 (Bundesverband der Unfallkassen, 2005) beschreibt fehlenden Sichtkontakt zwischen Fahrer und Einweiser als zu dokumentierende Gefährdung (G 1.3). Die Vorschrift empfiehlt als Verhaltensmaßnahmen und -regeln zur Vermeidung von Rangierunfällen Einweiser und geeignete Assistenzsysteme nach DIN 75 031 zum sicheren Rückwärtsfahren und Rangieren einsetzen sowie Handsignale zu vereinbaren/definieren. Das Rückwärtsfahren von Fahrzeugen ist in § 7 der GUV-V-C27 (UVV Müllbeseitigung) geregelt. Dort wird angeführt, dass „mit Müllfahrzeugen [...] nur rückwärts gefahren werden [darf], wenn eine geeignete Person den Fahrer einweist.“ Der Einweisende darf sich allerdings nicht auf den hinteren Standplätzen des Müllfahrzeuges aufhalten und sobald keine Sichtverbindung mehr zwischen Fahrer und Einweiser besteht, hat der Fahrer sofort anzuhalten. Der Einweiser muss außerdem in der Lage sein, die Verkehrsvorgänge zu beurteilen und dem Fahrer die erforderlichen verabredeten Zeichen zu geben. Grundsätzlich ist sicherzustellen, dass eine Gefährdung der Beschäftigten ausgeschlossen ist. Dies ist bei verdeckten beweglichen Gefahren, z.B. Personen, oder Bei oftmals fehlenden Einweisern leider häufig nicht der Fall.

---

### 3.3.3 Problem bei betrieblichen Rückwärtsfahrten

---

Bei spezifischen Anforderungen im innerbetrieblichen Verkehr, z.B. bei häufigen Be- und Entladevorgängen, kommt es oft zu kritischen Verkehrssituationen. Einige Fahrer haben viele Rückwärtsfahrten pro Tag zu absolvieren, in der Folge kommt es deshalb im Laufe des Arbeitstages ggfls. zu einer Reduktion der Aufmerksamkeit. Visuelle Rückfahrhilfen (Kamera) oder akustische Rückfahrwarneinrichtung sind – soweit vorhanden - bei den zahlreichen Rückwärtsfahrten eingeschaltet und führen entweder zu häufigen Warnungen. Hierdurch kann es beim Fahrzeugführer zu Gewöhnungseffekten und

somit mittelbar zu Gefährdungen kommen, wenn das Warnsignal nicht mehr wahrgenommen wird. Auch kann die Wirksamkeit akustischer Rückfahreinrichtungen durch betriebliche Lärmemissionen eingeschränkt sein.

Datenbanken der statistischen Bundes- und Landesämter erfassen gemäß ihres Auftrages nur Unfälle mit Personenschaden und Unfälle mit schwerem Sachschaden. Zur Analyse von Kollisionsunfällen mit schwächeren Verkehrsteilnehmern erscheint es durchaus angebracht, auf Unfalldaten und Forschungsergebnisse der Versicherer und Betriebe zurückzugreifen, da diese auch leichte Sachschäden erfassen. Für das Verständnis der Entstehung von Unfällen und ihrer Struktur zur Vermeidung von Kollisionen sowie zur Vermeidung unnötiger Kosten durch Sachschäden erscheint eine breitere Analyse durchaus erstrebenswert.

Grundsätzlich lässt sich für das Unfallgeschehen in der Entsorgungswirtschaft konstatieren, dass sich dieses in den letzten Jahren dahingehend positiv entwickelt hat, dass sich die Zahl der meldepflichtigen Arbeits- und Wegeunfälle seit Ende der 1990er Dekade deutlich reduziert hat (BDE, 2006). Allerdings steigen genau die Unfalltypen derzeit mit wachsender Konjunktur wieder deutlich an, allein im Jahr 2010 um mehr als 25% gegenüber den Vorjahren. Weiterhin ist der überwiegende Anteil der Gruppe der Arbeitsunfälle bei tödlichen Unfällen und Rentenfällen ebenfalls im Verkehrsgeschehen lokalisiert. Besonders in der Branche „Städtereinigung, Abfall- und Reststoffbeförderung, sonstigen Abfallentsorgung“ sind die Tausendmannquoten im Vergleich zu anderen Branchen als relativ hoch anzusehen und insbesondere der Bereich „Müllabfuhr“ weist eine weitaus überdurchschnittliche Tausendmannquote auf (ebd.) .

Rückfahrunfälle bei Kleintransportern ereignen sich nach Analyse von Gwehenberger (2004) vor allem in a) private Hofeinfahrten, Betriebsgeländen und auf Parkplätzen sowie b) der öffentliche Fahrbahn (Einmündung, Kreuzung, Fußgängerüberweg, Parklücke). Seltener treten Rückfahrunfälle auf dem Gehweg oder in der Fußgängerzone auf, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass die entsprechenden Verkehrsräume nur selten bzw. in Ausnahmefällen von den Fahrern genutzt werden. Betroffen von Rückfahrunfällen von Kleintransportern sind v.a. weibliche Fußgänger, überwiegend ältere Personen und Kleinkinder (bis 4 Jahre). Für den Einsatz von Entsorgungsfahrzeugen sind zahlreiche staatliche und UVT-Arbeitsschutzregelungen relevant (z.B. Arbeitsmittelbenutzungs-, Lastenhandhabungs-, Biostoff-, Gefahrstoff- und Maschinenverordnung, UVV „Müllbeseitigung“ „Fahrzeuge“, „Krane“, „Arbeitsmedizinische Vorsorge, BGR 186 „Richtlinien für austauschbare Kipp- und Absetzbehälter“, DIN EN 1501-1 „Abfallsammelfahrzeuge und die dazugehörigen Schüttungen, u.a. HVBG 2004). Alle diese Regeln benötigen jedoch eine Akzeptanz.

So ist bspw. das Ausstattungsmerkmal ABS aufgrund Vorgaben des Gesetzgebers in Lkw-Neufahrzeugen vorgeschrieben. Die Erfahrungen bei der vorgeschriebenen flächendeckenden Einführung von ABS im Lkw-Bereich zeigen, dass aktiven Sicherheitssysteme vor allem dann von den Käufern als sinnvoll erachtet und in der Praxis realisiert werden, wenn mit der (teureren) Zusatzinvestition ein ökonomischer Nutzen erzielt werden kann. Das Allianz Zentrum für Technik (AZT) hat für Lkw verfügbare Fahrerassistenzsysteme, deren Wirkungspotentiale und ihren Nutzen analysiert. Für das Assistenzsystem Rückfahrkamera für Nutzfahrzeuge zeigt sich, dass Rangier- und Rückfahrunfälle mit Sachschäden mit etwa 20 bis 30% stark ausgeprägt sind. Unter Einbeziehung von Bagatellschäden kann sogar fast jeder zweite Unfall als Rangierschaden klassifiziert werden. Untersuchungen des GDV weisen ferner darauf hin, dass bei Kleintransporter-Unfällen mit schwerem Personenschaden rund jeder siebte Unfall (14%) im innerstädtischen Bereich ein Rückfahrunfall ist und auch bei schweren Lastkraftwagen ereignen sich pro Jahr viele Unfällen mit schwerem Personenschaden beim Rück-



wärtsfahren. Rückfahrkamera oder Rangier-Warneinrichtung können hier einen Sicherheitsbeitrag leisten, haben jedoch in Wirksamkeit Grenzen.

---

#### 3.3.4 Erweiterter Kontext

---

Die geschilderten Sicherheitsprobleme (z.B. tote Winkel und mangelnde Sicht nach hinten) sind nicht nur im öffentlichen Straßenverkehr und für große und unübersichtliche Fahrzeuge (z.B. Lkw oder Transporter) von Bedeutung, sondern haben auch darüber hinaus Relevanz, bspw. beim Einsatz großer Erdbaumaschinen. Eine Untersuchung der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft (StBG; Tudeshki, H, Ehnes, H. & Könnecke, M., 2005) zum Unfallgeschehen mit Erdbaumaschinen (z.B. Radlader, Muldenkipper, Dumper, etc.) in den Betrieben der Baustoffindustrie zeigt, dass die Arbeit mit entsprechenden Nutzfahrzeugen eine nicht zu unterschätzende Gefahrenquelle darstellt. So ergibt eine Analyse der Unfalldaten, dass ca. 1/3 der konstruktionsbedingten Unfälle aus Fahrbewegungen ohne ausreichende Sicht resultiert, wodurch es zu "Anprall an Hindernisse, Zusammenstoß mit anderen Fahrzeugen oder Überfahren von Böschungen und Kippenkanten sowie zur Verletzung von Dritten" kommt. Es kann also angenommen werden, dass die Entwicklung eines Systems zur Frühwarnung vor Fahrzeug-Personen-Kollisionen nicht nur von Bedeutung und Relevanz für den öffentlichen Straßenverkehr ist, sondern weitergehend auch ein Transfer des Systems auf andere Verkehrssettings (z.B. Baustellen) oder andere Verkehrsträger (z.B. schienengebundener Verkehr) durchaus möglich sein kann.

Abschließend gilt es darauf hinzuweisen, dass die Daten aus Unfallanalysen, als alleinige Grundlage für das Verhalten von Mitarbeitern und Fahrzeugen, keine ausreichenden Informationen über das „Normalverhalten“ von Verkehrsteilnehmern liefern und von daher auch nur eingeschränkt zur Entwicklung eines Präventionssystem zur Vermeidung von Fahrzeug-Personen-Kollisionen geeignet sind. Für den hier vorliegenden Ansatz werden beide Arten von Datenquellen benötigt: sowohl Daten die aus kritischen Verkehrssituationen gewonnen wurden, als auch Daten die auf normalen, ungestörten Verkehrssituationen beruhen. Man muss auf die Unfallverhaltensweisen zurückgreifen, um die Gefährdungen dafür als Warnungen im System sicher zu stellen, und man benötigt das „Normalverhalten“, um die Fehlalarme zu vermeiden. Die Grundlage für diesen Unterscheidungsprozess wird mit der „Signalentdeckungstheorie“ gelegt. Auf Basis dieses Ansatzes kann der Zusammenhang zwischen echten und falschen Signalen mit statistischen Wahrscheinlichkeiten (Zuverlässigkeiten) berechnet werden. Als Grundlage hierfür werden allerdings, wie beschrieben, verlässliche Verhaltensdaten aus unkritischen Verkehrssituationen benötigt.



### 3.3.5 Technische Grundlagen des Forschungsvorhabens

In den beiden folgenden Abschnitten wird der bisherige Einsatz der Fahrzeug – Fahrzeug Kommunikations- bzw. Fahrzeug – Infrastruktur beschrieben. Es sind klassische Beispiele für kooperative Systeme wie sie in zukünftigen Systemen realisiert werden sollen.

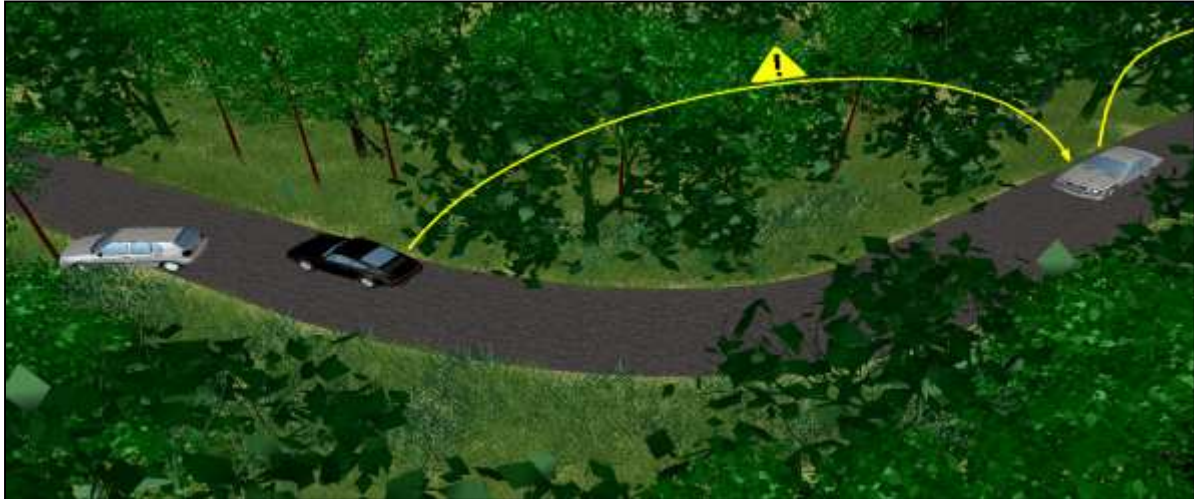


Abbildung 3-1. Fahrzeug-Zu-Fahrzeug Kommunikation: Beispiel Gefahrenwarnung

Erläuterung des technischen Ansatzes unter Zuhilfenahme von Abbildung 3-1: Durch unbekannte Gründe (Wildwechsel, verschmutzte Fahrbahn bzw. Unachtsamkeit) ist ein Fahrzeug in einer unübersichtlichen Kurve von der Fahrbahn abgekommen und stellt eine Behinderung für den entgegenkommenden und nachfolgenden Verkehr dar. Nach kurzer Zeit erreicht ein weiteres Fahrzeug die Unfallstelle und wird durch den nicht einsehbaren Straßenverlauf nach der Kurve zum abrupten Halten gezwungen. Die entstandene Situation hat sich nun zu einer massiven Gefahr für die Personen an der Unfallstelle, sowie die nachfolgenden Verkehrsteilnehmer entwickelt, da die Straße blockiert ist und noch keine Warndreiecke aufgestellt wurden. Ausgelöst durch das starke Bremsmanöver des schwarzen Fahrzeugs, greift nun an dieser Stelle eine Prävention des Fahrerassistenzsystems (ABS). Mithilfe einer Warnmeldung werden nun alle in Reichweite befindlichen Fahrzeuge via Funkschnittstelle über die Gefahrenzone informiert. Dabei wertet die Computertechnologie des jeweiligen Fahrzeugs die Nachricht unter Verwendung der Positionsdaten aus. Befindet sich das gewarnte Fahrzeug auf dem Weg zur Unfallstelle, wird dem Fahrer eine entsprechende Warnmeldung angezeigt. Unter Einbezug einer Kommunikationsinfrastruktur (Car-to-Infrastruktur) ist folgendes, weiteres Szenario möglich. Abbildung 3-2 zeigt einen Autobahnabschnitt der mit einer stationären Funk-Anlage (IRS) ausgerüstet ist und somit an die Infrastruktur (z.B. Verkehrszentrale, Ampel) angebunden. Zusätzlich zu den üblichen Hinweisen von Geschwindigkeitsbegrenzungen per Schilder bzw. Schilderbrücken werden die Informationen in Form einer elektronischen Nachricht übertragen (im Bild als blaues Symbol gekennzeichnet) und in den jeweiligen Fahrzeugen angezeigt. In einem weiteren Anwendungsfall werden den Verkehrsteilnehmern auf der hinteren Fahrbahn Warnmeldungen zu einer aktuellen Staumeldung übertragen (im Bild als gelbes Symbol gekennzeichnet). Diese Nachrichten werden von der Verkehrszentrale generiert und über die IRS verbreitet. So werden die herannahenden Fahrzeuge bereits mehrere Kilometer vor dem Stauende gewarnt. Die Fahrzeuge haben nun die Möglichkeit ihre Geschwindigkeit der Situation anzupassen. Weiter besteht die Möglichkeit eine vorgeschlagene Alternativroute wählen. Der Betrieb einer Infrastruktur bringt auch erhebliche Vorteile für das Verkehrsmanagement. Gesammelte Daten, wie beispielsweise Anzahl der Fahrzeuge, Her-

kunft und Durchfahrzeiten werden somit zu wichtigen Indikatoren, die in die Verkehrsplanung und bei verkehrstechnischen Maßnahmen einbezogen werden.

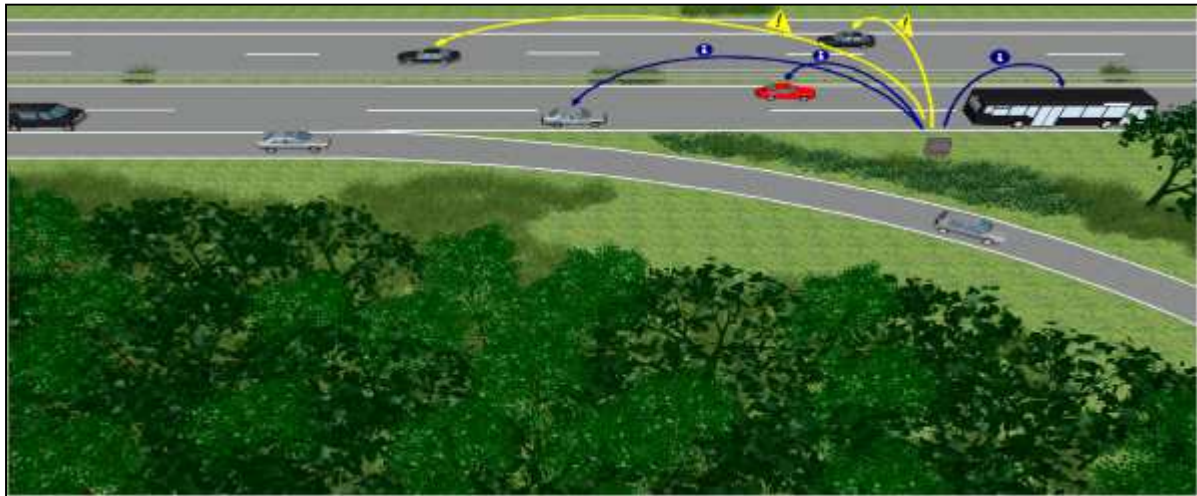


Abbildung 3-2. Roadside stations im Fahrzeug-Zu-Fahrzeug Umfeld.

### 3.3.5.1 Technische Spezifikationen der Fahrzeug-Zu-Infrastruktur-Kommunikation

Für die drahtlose Car to X (= Auto mit beliebigen Empfänger)-Kommunikation kommt der WLAN-Standard IEEE 802.11p zum Einsatz. Dieser, für die Kommunikation im Straßenverkehr ausgelegte Standard, ist eine Erweiterung des IEEE 802.11a.

Daten der Norm sind:<sup>1</sup>

- Reichweite bis 1000 m
- Relativgeschwindigkeit bis zu 500 km/h
- Übertragungsrate 54 MBit/s
- Transferrate 3 - 27 MBit/s
- Frequenzbereich 5,850 - 5,925 GHz
- Latenz 4 - 50 ms

Speziell bei der C2C-Kommunikation bestehen die Herausforderungen in der hohen Mobilität der einzelnen Teilnehmer und dem Fehlen einer leitungsgebundenen Infrastruktur. Zudem ist zu beachten, dass sich alle Kommunikationspartner in ständiger Bewegung zueinander befinden. Zur Lösung dieser Probleme kommen Multihop-Ad-hoc-Netze als Kommunikationsmittel zum Einsatz. Drahtlose Ad-hoc-Netze definieren sich durch den spontanen Aufbau von Verbindungen zwischen den Teilnehmern mithilfe von drahtlosen Übertragungsstandards. Dabei kommen spezielle Routingverfahren zum Einsatz, welche die Anforderung der ständigen Neuformierung des Netzes und die Paketweiterleitung über mehrere Knoten oder Netze hinweg erfüllen.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kloiber, Bernhard: Fahrzeugkommunikation - IEEE 802.11p. URL [www7.informatik.uni-erlangen.de/~dulz/fkom/06/8.pdf](http://www7.informatik.uni-erlangen.de/~dulz/fkom/06/8.pdf)

<sup>2</sup> Kays, Rüdiger: Elektronische Medien. Margret Schneider, 2005.- ISBN 3800728982

Der Transport der Daten erfolgt unmittelbar oder über Verteilerstationen (Single-Hop- oder Multi-Hop-Verbindungen), d.h. Pakete werden entlang einer unterbrechungsfreien Linie von Knoten bis zum Adressat weitergereicht.<sup>3</sup> Als Kommunikationsmethoden sind folgende Verfahren gebräuchlich:

1. **Unicast:** Ende-zu-Ende-Verbindung (durch Anzahl der Hops begrenzt)
2. **Multicast:** Mehrpunktverbindung (durch Anzahl der Hops begrenzt)
3. **Geocast:** geographischer Multicast (eingeschränkt durch geographische Länge, Breite oder Radius)

Wird die Nachricht von einem Teilnehmer empfangen der sich außerhalb des Geocast-Radius befindet, ist diese ungültig und wird verworfen. Dies gilt auch für Nachrichten die ihre maximale Anzahl an "Hops" erreicht haben. Somit wird zusätzlich zur Begrenzung der Gültigkeit eine unkontrollierte Ausbreitung der Nachrichten verhindert.

Abbildung 3-3 zeigt eine Auswahl an fahrzeug- und infrastrukturseitigen Anwendungen die mit der Einführung einer Infrastruktur ermöglicht werden.<sup>4</sup> Dabei stehen die zur Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur nötigen Schnittstellen und Technologien im Fokus. Die Infrastruktur besteht aus einem verteilten System, d.h. aus einer Vernetzung von vielen einzelnen IRS. Die Positionierung erfolgt nach strategischen Gesichtspunkten, ist abhängig von:

- Verkehrsdichte: feinmaschige Verteilung in verkehrstechnisch kritischen Ballungsgebieten
- Empfangsbereich der RSU: wird eine flächendeckende Struktur benötigt, ist die Verteilung den geographischen Gegebenheiten anzupassen

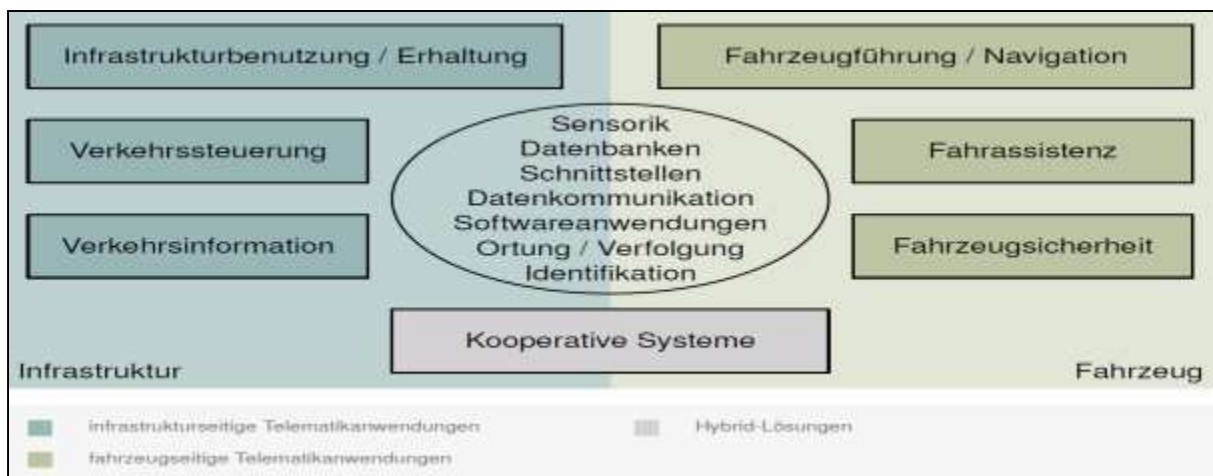


Abbildung 3-3. Zusammenspiel Infrastruktur und Fahrzeug

### 3.3.5.2 Reichweitenmessung einer urbanen Kreuzung mit einem 802.11p Prototyp

<sup>3</sup> Ebner, Andre: Selbstorganisierende Datenfunknetze für Anwendungen im Strassenverkehr. Cuvillier Verlag, 2005 - ISBN 3865374697

<sup>4</sup> eigene Darstellung in Anlehnung an Halbritter (2008) S. 105; Halbritter, Günter: Strategien für Verkehrsinnovationen: Verkehrstelematik Umsetzungsbedingungen Internationale Erfahrungen. edition sigma, 2008.

Als Kommunikationssystem wurden NEC LinkBird-MX v3 mit dem zugehörigen c2xd (C2X-SDK v.1.5.2) verwendet<sup>5</sup>. Hierbei handelt es sich um ETSI-G5 Prototypen, die auf den aktuellen europäischen Standards und Standardentwürfen des ETSI TC ITS6 und den Empfehlungen des C2C-CC<sup>7</sup> basieren. Demzufolge tauschen die Endgeräte spontan und zyklisch auf dem Netzwerklayer Informationen über ihren Positionsvektor und Status aus. Sofern der Facility Layer keine CAMs<sup>8</sup> sendet, in deren NET-Header die entsprechenden Informationen eingefügt sind, werden dazu eigene Netzwerklayer-Beacons versendet. Da die Wiederholrate dieser Beacons konfigurierbar ist, kann anhand der Zeitstempel in den Log-Dateien des Empfängers sofort auf verlorene Nachrichten zurückgeschlossen werden.

Abbildung 3-4 zeigt die visuelle Betrachtung der Empfangsreichweiten der 4 Hauptrichtungen. Die Kreuzung hat eine 4-spurige Straße in der Hauptrichtung und zwei Nebenstraßen. Zum Messzeitpunkt war die Kreuzung stark befahren, normaler PKW Verkehr, Lieferverkehr und ÖPNV. Die Kommunikationseinheit stand in der Mitte der Kreuzung und das Messfahrzeug fuhr in alle Richtungen bis die Verbindung komplett abgerissen war. Für jeden empfangenen Netzwerk Layer Beacon wurde in Abhängigkeit der Empfangsleistung ein farblich kodierter Punkt in die Karte gezeichnet. Der eingezeichnete Radius beträgt etwa 600m. Diese Darstellung zeigt nicht die Paketverlustrate, sondern stellt nur die Empfangsleistungen dar. Die erlaubt einen Eindruck über die Kommunikationssituation der Kreuzung.



Abbildung 3-4. Empfangsmessung an einer innerstädtischen Kreuzung (Braunschweig) Farbkodierung in Tabelle

Empfangsleistung	Farbkodierung
$p_{rx} \geq -80 \text{ dBm}$	grün
$-87 \text{ dBm} \leq p_{rx} < -80 \text{ dBm}$	gelb
$p_{rx} < -87 \text{ dBm}$	rot

### 3.3.5.3 Netzwerklast – Congestion Control

<sup>5</sup> NEC LinkBird & C2X-SDK: <http://c2x-sdk.neclab.eu>

<sup>6</sup> ESTI TC ITS: <http://www.etsi.org/website/Technologies/IntelligentTransportSystems.aspx>

<sup>7</sup> C2C-CC: <http://www.car-to-car.org/>

<sup>8</sup> CAM – Cooperative Awareness Message

Eine große Herausforderung für 802.11p ist die Bandbreite, die aufgrund begrenzter Verbindungsdauer und Reichweite verhältnismäßig klein ist. Bisher wurde das Kommunikationssystem für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Fahrzeug/Infrastruktur ausgelegt. Hierfür wurden Stauwarnungsalgorithmen (Congestion Control) entwickelt um die Kanallast zu begrenzen. Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und verletzlichen Straßenteilnehmern wie Fußgänger erfordert eine gesonderte Betrachtung. Die Anzahl der Fahrzeuge und Infrastruktureinheiten in Straßenverkehr ist pro Flächeneinheit vergleichsweise gering gegenüber einer Menschenmenge die sich am Straßenrand bewegt oder sich in einem Omnibus befinden. Erste Ansätze um einer Kanalüberflutung entgegenzuwirken sind:

### MAC-Layer Ebene: (Medium Access Control)

Das System soll nur eine Warnung senden, wenn eine Gefahr erkannt wird. Nun besteht die Möglichkeit, dass in einer Menschenmenge mehrere Systeme gleichzeitig diese Gefahr erkennen und versuchen auf den Kanal zuzugreifen. Dies würde zu Kollisionen führen und den Kanal blockieren. Um diesem Problem entgegen zu kommen ist es denkbar für die Kommunikationseinheiten der Personen ein Verfahren zur Kollisionsvermeidung einzusetzen. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). Um Kollisionen zu vermeiden wird jeder Teilnehmer eine zufällige Back-off Time ermitteln. Da alle Teilnehmer eine unterschiedlich Zeitdauer auf den Kanal nicht zugreifen, wird die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen stark reduziert.

### Netzwerk Layer Ebene:

Die Kommunikationseinheiten werden grundsätzlich in einem nach außen hin passiven Zustand betrieben. Das bedeutet, dass die Kommunikationseinheit einer Person nur eine Nachricht versendet, wenn sie eine potentielle Gefahr detektiert. Dies schließt auch mit ein, dass keine Netzwerklayer Nachrichten versendet werden. Auch wird die Reichweite aufgrund der begrenzten Mobilität einer Person mittels Begrenzung der Sendeleistung reduziert.

### Applikationsebene:

Die Fahrzeuge senden periodische Cooperative Awareness Nachrichten(CAM) die von der Kommunikationseinheit der Personen empfangen werden. Die CAM Nachricht enthält u. A. Informationen wie, aktuelle Position, Richtung und Geschwindigkeit. Mit den Informationen wird permanent überprüft ob sich ein Gefahrenpotential für die Person entwickelt. Der zu entwickelnde Algorithmus basierend auf Vektor Geometrie bewertet die Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen einem sich nähernden Fahrzeug und einer Person, bzw. Radfahrer.



---

---

## 4 METHODIK

---

---

---

---

### 4.1 LEITFRAGEN PHASE 1 UND METHODISCHE HERANGEHENSWEISE

---

---

Folgende Leitfragestellungen der ersten Projektphase wurden definiert:

1. Welche besonderen Gefährdungen zwischen Fußgängern und Fahrzeugen gibt es und wodurch werden sie verursacht?
2. Welche Verursachungsfaktoren können durch ein Transponder-Frühwarnsystem vermieden oder reduziert werden?
3. Welche besonderen Merkmale der intendierten Zielgruppen gilt es bei der Systementwicklung zu berücksichtigen?
4. Welche Verhaltens- und Ausrüstungsvoraussetzungen müssen die Nutzer erfüllen?
5. Welche Erwartungen stellen Nutzer, Präventionsfachleute und Forscher an das System?
6. Wie können die gewonnen Verhaltensmuster in mathematische Algorithmen verwandelt werden?
7. Welche technischen Voraussetzungen muss ein Frühwarnsystem erfüllen?
8. Welche Fehlertoleranzen sind zu erwarten und wer ist dafür juristisch verantwortlich?
9. Ist mit Überschneidungen/Störungen durch Fahrzeug-Fahrzeugtransponder zu rechnen, bzw. wie lassen sich diese minimieren oder vermeiden?
10. Wie lässt sich das Transpondersystem in ETSI G 5-Systeme integrieren?
11. Ist mit Verhaltensadaptionen (Risikokompensation) der Nutzer zu rechnen, also verhalten sich Fahrer und Fußgänger unvorsichtiger, weil sie wissen, dass sie gewarnt werden (Literatur)?
12. Ist eine Frühwarnung von Fußgängern (z.B. durch Vibration) technisch machbar und wird sie von den Nutzern wahrgenommen, akzeptiert und darauf reagiert?
13. Kann in einem Pilot-Demonstrationsversuch die prinzipielle Nützlichkeit im innerbetrieblichen Verkehr in typischen Unfallsituationen nachgewiesen werden?

Zur Beantwortung der Fragen 1-4 wurden Literaturanalysen im nationalen und internationalen Raum, sowie Videoanalysen durchgeführt. Außerdem wurden Verhaltensbeobachtungs- und Gefährdungsbeurteilungsmethoden herangezogen. Hier wird einerseits auf bewährte Systeme, wie die Verkehrskonflikttechnik (Erke und Gstalter, 1985), oder das Verhaltensbeobachtungssystem von Trimpop et al. (1999) zurückgegriffen, zum anderen mussten jedoch auch gezielte neue Auswertungen durchgeführt werden, um die Verhaltensmuster für die technische Nutzung aufzubereiten (vgl. Abschnitt 5.1.8.1).

Fragen 5 und 6 wurden durch Expertenbefragung bzw. Expertenunterstützung beantwortet.

Fragen 7-13 wurden durch einen technischen Entwicklungsschritt zur Beantwortung vorbereitet und dann durch quasi-experimentelle Feldstudien in typischen und häufig auftretenden Unfallszenarien getestet.

---

#### 4.1.1 Methodische Herangehensweise zur Technikentwicklung

---

Da es zum augenblicklichen Zeitpunkt noch keine ausreichend kompakte und energie-effiziente Hardware Komponente gibt, soll eine adäquate Ersatzlösung gefunden werden, um die Machbarkeit des geplanten Systems zu belegen. Da das 802.11p System grundlegend auf einem 802.11a WLAN Standard basiert, welches auf die automobilen Begebenheiten angepasst wurde, war zu prüfen ob sich für dieses Projekt die Standard-Hardware 802.11a/b eignet, bzw. anpassbar ist. Somit könnte man auf beispielsweise marktgängige Smartphones zurückgreifen. Beim Ausrollen des Systems, oder wenn ausreichend kompakte Hardware zu Verfügung steht, könnte man anschließend die Kommunikationseinheit austauschen.

Im nächsten Schritt wird ein für die spezielle Aufgabe entsprechend geeignete Positionierung entwickelt, die es den Teilnehmern ermöglicht eine verlässliche Relevanzprüfung zu realisieren. Dadurch soll unbeabsichtigtes Auslösen des Systems und Missbrauch vermieden werden. Ferner musste auch die Entwicklung eines Datenmodells zur Interaktion zwischen den Kommunikationseinheiten (Mensch/Fahrzeug) und Programmierung eines En- und Decoder, um eine effiziente Kommunikation gewährleisten zu können, durchgeführt werden. Nach einem ausgiebigen Labortest wird das System in ein Versuchsfahrzeug der HTW integriert und entsprechend getestet.

In den folgenden Tabellen werden überblicksartig die Bearbeitungsstände zu den Fragestellungen, neu hinzugekommene und veränderte Fragestellungen, Methodiken und Erkenntnisse zusammengefasst, bevor auf einzelne Ergebnisse eingegangen werden wird. Bis zum Phasenende am 31.12.2013 werden einzelne Abschnitte noch ergänzt werden.

4.2 GEGENÜBERSTELLUNG PLANUNG UND DURCHFÜHRUNG

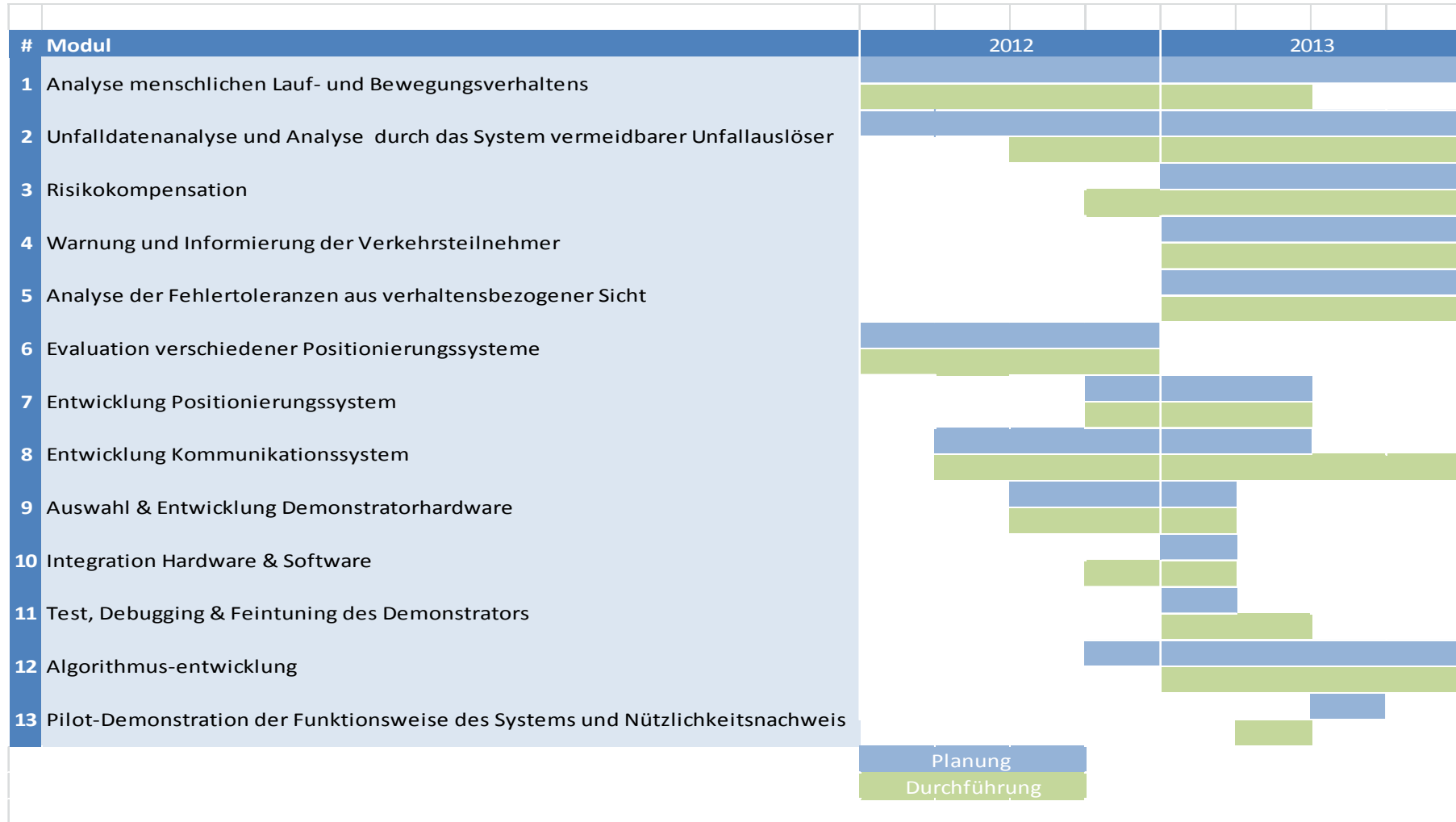


Abbildung 4-1. Übersicht Arbeitspakete



4.2.1 Arbeitspakete der Projektgruppe der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Arbeitspaket	Geplantes Vorgehen		Durchgeführte Analysen		Aktueller Stand (zzgl. Hindernisse und weiteres Vorgehen)
	Beschreibung	Zeitraum	Beschreibung	Zeitraum	
<b>Modul: Analyse menschlichen Lauf und Bewegungsverhaltens</b>	Literaturanalysen und Beobachtungen realen Lauf- bzw. Interaktionsverhaltens	2012-2013	umfangreiche Literatur- und Datenbankanalysen	2012- fortlaufend	Auswertung der Literatur zu allen relevanten Teilthemen  andauernde weitere Suche nach relevanten Literaturquellen  Hindernis: Literatur zu Besonderheiten des betrieblichen Lauf- bzw. Verkehrsverhaltens ist kaum zu finden
			Beobachtungen betrieblichen Verkehrsverhaltens an drei Standorten mit Schwerpunkten	Mitte 2012- Mitte 2013	vorläufig abgeschlossen  Erkenntnisse zu den Besonderheiten des (betrieblichen) Bewegungs-, Interaktions- und Verkehrsverhaltens von Fußgängern und Fahrzeugen
<b>Modul: Unfalldatenanalyse und Analyse durch das System vermeidbarer Unfallschlüssel</b>	Analyse betrieblicher Unfallsituationen, Analyse von Unfallberichten	2012-2013	deskriptive und inhaltsbezogene Analysen von Unfallschilderungen vor dem Hintergrund der systembezogenen Leistungsmerkmale	Mitte 2012- Ende 2013	Ergebnisse der Unfallanalysen zeigen insbesondere im innerbetrieblichen Verkehrsgeschehen erhebliches Potential eines transponderbasierten Frühwarnsystems  innerbetriebliches Unfallgeschehen steht häufig mit Rangier- und Rückwärtsfahrten, Sichtblockaden und schwer vorhersagbaren Verhalten in Zusammenhang  problematisch ist der Zugang zu Unfalldaten bzw. betrieblichen Unfallbeschreibungen aufgrund fehlender bzw. nicht hinreichender Daten

<p><b>Modul: Risikokompensation</b></p>	<p>experimentelle Analyse des Kompensationsverhaltens von Verkehrsteilnehmern unter Nutzung von Fahrerassistenz- bzw. Warnsystemen</p>	<p>2013</p>	<p>Entwicklung und Programmierung einer Spielumgebung am Computer zur experimentellen Testung von Risikokompensationsverhalten</p> <p>Durchführung experimenteller Studien zum Einfluss von Frühwarnsystemen aufs Fahrverhalten</p>	<p>Ende 2012- Ende 2013</p>	<p>erste Ergebnisse der Risikokompensationsanalysen legen einen Einfluss des getesteten Warn- bzw. Assistenzsystems nahe</p> <p>in weiteren Experimenten werden die relevanten Randparameter zur Beeinflussung (Minimierung) des Kompensationsverhaltens analysiert</p>
<p><b>Modul: Warnung und Informierung der Verkehrsteilnehmer</b></p>	<p>Analyse des Einflusses unterschiedlicher Warnmodi / Warnkonfigurationen auf das Nutzerverhalten</p>	<p>2013</p>	<p>Sammlung von Befunden und erste Analyse der Reaktion von Verkehrsteilnehmern in Abhängigkeit von auditiver, visueller bzw. auditiv-visueller Rückmeldung im Rahmen experimenteller Analysen</p>	<p>2013</p>	<p>Zielstellung ist die Suche nach adäquaten Rückmelde- bzw. Warnmodi für eine optimale Nutzerakzeptanz vor dem Hintergrund von Aufmerksamkeits- und Ablenkungsaspekten</p> <p>weitere Analysen in Vorbereitung</p>
<p><b>Modul: Analyse der Fehlertoleranzen aus verhaltensbezogener Sicht</b></p>	<p>Analyse des Einflusses unterschiedlicher Fehlerquoten auf die Nutzung und Akzeptanz eines Frühwarnsystems</p>	<p>2013</p>	<p>Befundsammlung und erste experimentelle Analysen zu den Auswirkungen der Vorhersage- bzw. Warnqualität auf das Nutzerverhalten</p>	<p>2013</p>	<p>Vorbereitung einer experimentellen Variation der Rückmeldequalität des Systems zur Analyse des Grades des damit zusammenhängenden Kompensationsverhaltens</p>

4.2.2 Arbeitspakete der Projektgruppe der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

Arbeitspaket	Geplantes Vorgehen		Durchgeführte Analysen		Aktueller Stand (zzgl. Hindernisse und weiteres Vorgehen)
	Beschreibung	Zeitraum	Beschreibung	Zeitraum	
<b>Modul: Evaluation verschiedener Positionierungssysteme</b>	Um die Anforderung der Positionsgenauigkeit zu erfüllen, musste zuerst verschiedene Methoden der Positionsverbesserung geprüft werden.	2012	Literatur- und Webanalyse, sowie Gespräche mit Experten. Zusätzlich wurde ein Test mit frei verfügbaren Korrektursystemen durchgeführt. (Ergebnisse hiervon sind in 0 aufgeführt.)	2012	Für den Outdoorbereich wurde ein Infrastruktur gestütztes System ausgewählt. In den nächsten Schritten ist zu prüfen, ob dieses System in Bereichen ohne Basisstationsabdeckung durch andere Maßnahmen z.B. Auswertung von Inertialsensorik unterstützt bzw. ersetzt werden kann.
<b>Modul: Entwicklung Positionierungssystem</b>	Implementieren der Softwarekomponenten zur Positionsverbesserung	2013	Das in „Modul: Evaluation verschiedener Positionierungssysteme“ ausgewählt Verfahren musste Softwareseitig umgesetzt und in den Demonstrator integriert werden.  Für die Übertragung der Korrekturdaten musste eine entsprechende WLAN-Verbindung aufgebaut und die Datenübertragung definiert werden.	2013	Die Software wurde entwickelt und erfolgreich getestet.  Für die Kommunikation der Korrekturdaten bleibt zu prüfen, wie diese über einen standardisierten Weg (z.B. ETSI ITS G5, UMTS) übertragen werden können.
<b>Modul: Entwicklung Kommunikationssystem</b>	Definition von Nachrichtenformaten	2012 - 2013	Nachdem das Positionierungssystem sowie die grundlegenden Anforderungen	Ende 2012 – März 2013	Das Kommunikationssystem nutzt standardisierte Frequenzen, aber zurzeit noch proprietäre Nachrichtenformate. Diese werden in der nächsten

	<p>Definition von Algorithmen</p> <p>Implementierung aller notwendigen Komponenten</p>		<p>rungen an die benötigten Daten feststanden, wurde ein Kommunikationskonzept erarbeitet und anschließend Softwareseitig umgesetzt.</p>		<p>Phase an den Stand der aktuellen Standardisierung angepasst.</p>
<p><b>Modul: Auswahl &amp; Entwicklung Demonstratorhardware</b></p>	<p>Für den Demonstrator müssen geeignete Hardwarekomponenten ausgewählt, aufgebaut und getestet werden.</p>	<p>2012 - 2013</p>	<p>Auswahl von geeigneten Komponenten für Positionsbestimmung, Kommunikation, Anwendungslogik sowie als Mensch-Maschine-Schnittstelle.</p>	<p>Oktober 2012 – Februar 2013</p>	<p>Der Demonstrator wurde entwickelt und erfolgreich während der Abschlussdemo eingesetzt. Die verwendeten Komponenten sind für einen Produktivbetrieb allerdings noch zu schwer und zu unzuverlässig, hier müssen in den weiteren Phasen noch Verbesserungen durchgeführt werden.</p>
<p><b>Modul: Integration Hardware &amp; Software</b></p>	<p>Die Entwickelten Softwarekomponenten sowie die Hardware müssen integriert und zusammen getestet werden.</p>	<p>2013</p>	<p>Die Software wurde auf die Hardware aufgespielt und angepasst um unerwartete Probleme zu lösen.</p>	<p>Januar 2013</p>	<p>Integration wurde erfolgreich durchgeführt.</p>
<p><b>Modul: Test, Debugging &amp; Feintuning des Demonstrators</b></p>	<p>Testen des Systems in verschiedenen Situationen und lösen von auftretenden Problemen.</p>	<p>2013</p>	<p>Das System wurde ausgiebig getestet. Auftretende Fehler, die bei den zuvor durchgeführten Labortests nicht auftraten, wurden behoben.</p> <p>Ferner wurden die Parameter der Algorithmen getestet und, wenn notwendig, angepasst.</p>	<p>Februar 2013 – Juli 2013</p>	<p>Demonstrator funktionsfähig für Machbarkeitsdemonstration.</p>

4.2.3 gemeinsame Arbeitspakete der Projektgruppen

Arbeitspaket	Geplantes Vorgehen		Durchgeführte Analysen		Aktueller Stand (zzgl. Hindernisse und weiteres Vorgehen)
	Beschreibung	Zeitraum	Beschreibung	Zeitraum	
<b>Modul: Algorithmusentwicklung</b>	Übersetzung der beobachteten und messbaren Verhaltensweisen in Verhaltensvorhersagealgorithmen	2013	Literaturanalyse		weitere Sammlung und Spezifizierung der relevanten Vorhersageparameter – erste Testalgorithmen bis Ende Projektphase 1
			Sammlung allgemeingültiger und subgruppenspezifischer relevanter Parameter zur Verhaltensvorhersage	Anfang 2013- Ende 2013	
			Entwicklung erster Ansätze zur Verhaltensvorhersage		
<b>Modul: Pilot-Demonstration der Funktionsweise des Systems und Nützlichkeitsnachweis</b>	Darstellung der grundlegenden Funktionsweise und prinzipiellen Nützlichkeits des Systems zur Verhinderung von Unfällen	Mitte 2013	Erarbeitung häufig wiederkehrender Unfall- und Interaktionssituationen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern auf Basis von Unfalldaten-, Bewegungs- und Verhaltensanalysen	02.07.2013	erfolgreiche Demonstration der Funktionsweise des Systems im Rahmen der vordefinierten Interaktions- und Unfallszenarien im betrieblichen Kontext im Beisein des Fachbeirates der gesetzlichen Unfallversicherungsträger

---

---

## 5 ERGEBNISSE

---

---

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Auswertungen der verschiedenen Teilfragestellungen der ersten Projektphase vorgestellt. Folgende Themen wurden bearbeitet:

1. Das Lauf-, Bewegungs- und Interaktionsverhalten von Fußgängern (Literaturanalyse)
2. Merkmale und Besonderheiten des Bewegungs- und Interaktionsverhalten von Verkehrsteilnehmern im betrieblichen Kontext (Beobachtungs- und Befragungsstudie)
3. Typische Unfallsituationen im betrieblichen Kontext (Auswertung von Unfalldaten)
4. Verhaltensanpassungen unter Nutzung von Fahrerassistenzsystemen und Risikokompensationsverhalten von Nutzern von Frühwarnsystemen (Literaturanalyse und Experimentalstudie)
5. Positionierung mittels GPS/RTK
6. Kommunikation mittels 802.11 p
7. Systemvergleich zwischen dem FRAMES-Frühwarnsystem und anderen Ansätzen
8. Demonstration des FRAMES-Systems im betrieblichen Umfeld (Demonstration unter kontrollierten Bedingungen)

---

---

### 5.1 LITERATURANALYSEN: FUßGÄNGERVERHALTEN

---

---

Zur Beantwortung der Forschungsfragen und der Leitfragestellungen 1-4, 6 und 11 wurden umfangreiche Literaturstudien und Datenbankanalysen durchgeführt. Die Fragestellungen lauten:

- Welche besonderen Gefährdungen zwischen Fußgängern und Fahrzeugen gibt es und wodurch werden sie verursacht?
- Welche Verursachungsfaktoren können durch ein Transponder-Frühwarnsystem vermieden oder reduziert werden?
- Welche besonderen Merkmale der intendierten Zielgruppen gilt es bei der Systementwicklung zu berücksichtigen?
- Welche Verhaltens- und Ausrüstungsvoraussetzungen müssen die Nutzer erfüllen?
- Ist mit Verhaltensadaptionen (Risikokompensation) der Nutzer zu rechnen, also verhalten sich Fahrer und Fußgänger unvorsichtiger, weil sie wissen, dass sie gewarnt werden (Literatur)?

Es wurden jeweils eine Vielzahl wissenschaftlicher Literaturquellen und populärwissenschaftlicher Beiträge gefunden, die alle FRAMES-relevanten Themenkreise beleuchten, auch wenn die konkreten Fragestellungen des FRAMES-Projekts mit ihrem spezifischen systembezogenen Hintergrund in der überwiegenden Anzahl der Veröffentlichungen nur am Rande berührt werden.

Es kann festgestellt werden, dass das Lauf- und Interaktionsverhalten von Fußgängern aktuell Gegenstand einer hohen und stetig zunehmenden Anzahl wissenschaftlicher Artikel und Analysen ist. Aus der Zusammenschau der Artikel ergibt sich, dass das Laufverhalten von Fußgängern sowohl von individuell unterscheidbaren Entscheidungsprozessen und weiteren personennahen Merkmalen und darüber hinaus in besonderem Maße auch durch Umweltmerkmale und infrastrukturelle Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Unter weiterer Beachtung der Zusammenhänge zwischen dem individuellen Laufverhalten und sozialen Faktoren (z.B. Anzahl und Dichte weiterer Fußgänger, Einzel- oder Gruppenläufer etc.) wird deutlich, dass eine Vielzahl Variablen der unterschiedlichen Ebenen als Bedingungsparameter des Lauf- und Interaktionsverhaltens von Fußgängern beachtet werden müssen.

Die nachfolgende Abbildung fasst die unterschiedlichen Einflüssebenen auf das menschliche Bewegungsverhalten anschaulich zusammen.

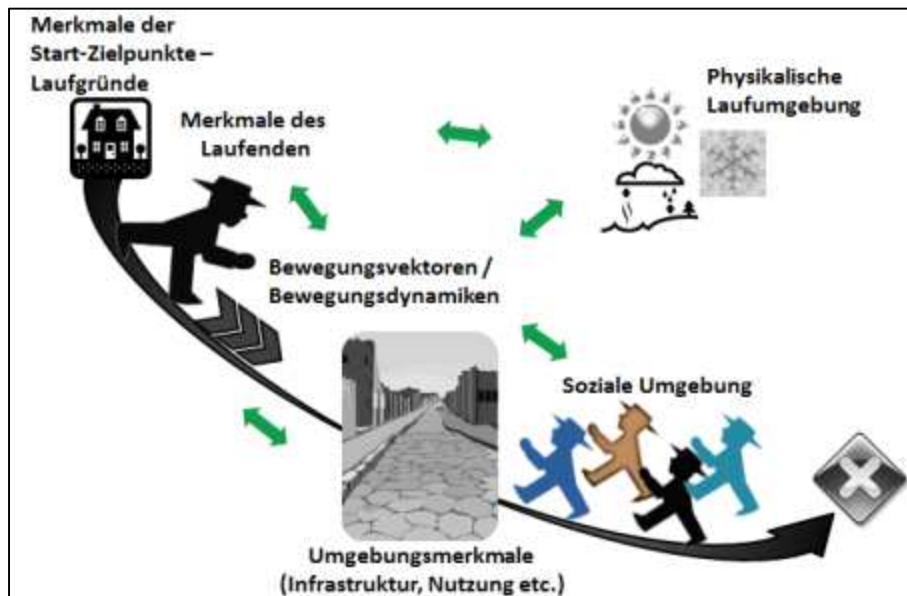


Abbildung 5-1. Zusammenhängebenen mit dem menschlichen Lauf- und Bewegungsverhalten

Im Folgenden werden die für das FRAMES-Forschungsprojekt wichtigsten Ergebnisse in kompakter Form vorgestellt, um eine erste Identifizierung der für die Systemfunktionalität und Algorithmerstellung bedeutsamen Merkmale durchführen zu können. Da es sich insgesamt um ein komplexes Themengeflecht handelt, werden die wesentlichen Erkenntnisse am Ende der jeweiligen Kapitel vor dem Hintergrund der FRAMES-Forschungsfragen nochmals zusammengefasst.

### 5.1.1 Definition und grundlegende Bewegungsmerkmale

Das Verhalten von Fußgängern im öffentlichen Raum ist Gegenstand einer Vielzahl von Studien unterschiedlicher Fachrichtungen aus jeweils verschiedenen Forschungsperspektiven. Eine erste Annäherung an das Thema und Verständnis für das Lauf- und Bewegungsverhalten soll daher zunächst aus allgemeinen Übersichtsarbeiten wie den Reports Mobilität in Deutschland (BMVBS, 2010) oder dem Pedestrian Planning and Design Guide der New Zealand Transport Agency (NZTA, 2009) erfolgen. In diesen Übersichten werden u.a. allgemeine Kennzeichen und Merkmale des menschlichen Lauf- und Bewegungsverhaltens näher betrachtet.

Darüber hinaus werden bereits vorliegende thematisch passende Reviews betrachtet. Diese weisen zumeist einen spezifischeren Fokus auf, halten aber auch allgemeine Informationen zum Laufverhalten bereit. Solche zusammenfassenden Arbeiten liegen bspw. für Sicherheitsaspekte von Fußgängern und Radfahrern von Karsch, Hedlund, Tison und Leaf (2012) vor. Eine weitere Übersichtsarbeit von Yannis, Papadimitriou und Evgenikos (2011) bietet einen zusammenfassenden Überblick des Unfallgeschehens und der Fußgängersicherheit in Europa, während sich die auf umfassendem Datenmaterial beruhende Arbeit von Willis, Gjersoe, Havard, Kerridge und Kukla (2004) insbesondere mit der Bedeutung von Personen- und Umweltvariablen für die Streckenwahl beschäftigt. Abschließend haben sich Ishaque und Noland (2008) in ihrem Review der Frage gewidmet, welche Parameter für das Bewegungs- und Laufverhalten von Fußgängern entscheidend sind.

Eine Frage, die bei der Auseinandersetzung mit den Merkmalen des Fußgängerverhaltens zunächst beantwortet werden muss ist, was genau ein Fußgänger eigentlich ist? Mit Hilfe des Pedestrian Planning and Design Guide (NZTA, 2009) wird diese Frage wie folgt beantwortet:

*„A ‘pedestrian’ is a person on foot, or in or on a contrivance equipped with wheels or revolving runners that is not a vehicle. This can include an able pedestrian, a person pushing a pram, a person on a skateboard, a person in a wheelchair and a number of other users. For ease of use throughout the guide, pedestrians have been grouped into three categories: on foot, on small wheels and mobility impaired.“*

Folgt man dieser Definition, unterteilen sich die drei genannten Gruppen nochmals in Subtypen. Die nachfolgende Tabelle fasst diese zusammen und verdeutlicht dabei, dass es sich bei Fußgängern um eine höchst heterogene Gruppe mit z.T. erheblichen bewegungsbezogenen Unterschieden handelt. Diese Tatsache muss insbesondere bei der Entwicklung von Algorithmen zur Verhaltensvorhersage berücksichtigt werden.

Tabelle 5-1. Fußgängertypen (entnommen aus Pedestrian Planning and Design Guide, NZTA 2009)

Fußgängertypen	Subgruppen
<b>Zu Fuß</b>	nicht eingeschränkter Fußgänger
	erwachsener Fußgänger
	Läufer/Jogger
	Kinder / Jugendliche
	älterer Fußgänger
	Körperlich bzw. sensorisch beeinträchtigter Fußgänger
<b>Fußgänger auf Rädern</b>	Fußgänger mit begleitendem Hund
	Inlineskater/ Rollerskates/ Skateboard o.ä.
<b>Bewegungseingeschränkte Fußgänger</b>	Fußgänger mit Kinderwagen
	Elektromobil
	manueller Rollstuhl
	elektrischer Rollstuhl
	Fußgänger mit Gehhilfen

Eine weitere Frage zur grundsätzlichen Klärung des Themenbereichs „Fußgänger“ ist, wer aus welchen Gründen und wie lange als Fußgänger unterwegs ist? Diesbezüglich geben sowohl der Report „Mobilität in Deutschland 2008“ (BMVBS, 2010) und der Pedestrian Planning and Design Guide (NZTA, 2009) Auskunft.

Nach dem Pedestrian Planning and Design Guide (NZTA, 2009) liegen ca. 80% der Laufwege in einem Bereich von maximal 20 Minuten Bewegungszeit (90% bei max. 30 Minuten Laufweg). Bezüglich der Laufziele wird nach Auskunft der Befragten festgestellt, dass das Laufen nach Hause mit 31% der Laufwege am häufigsten ist, gefolgt von 24% zur Erholung bzw. in der Freizeit, 14% zum Einkaufen und 10% um zur Arbeit zu gelangen. Das Laufen im Rahmen der Arbeitstätigkeit macht 2,2% der Laufgründe aus.

Auch im Ergebnisbericht des Reports „Mobilität in Deutschland 2008“ werden die Laufgewohnheiten analysiert. Nach dem MiD (2010) gehen die Menschen in Deutschland bei 32-37% der täglichen Wege zu Fuß oder nehmen das Rad. Die Zahlen zu den zurückgelegten Wegstrecken zu Fuß oder mit dem



Rad zeigen auch in Deutschland, dass knapp 76% der kurzen Wege (max. 1km) auf diese Arten zurückgelegt werden. Bei Wegstrecken über einem Kilometer geht der Anteil des nicht motorisierten Individualverkehrs dann bereits auf 25% zurück. Nach den Untersuchungen dauert ein durchschnittlicher Weg zu Fuß etwa 23 Minuten und mit dem Rad 19 Minuten. Die durchschnittliche Wegdauer über alle Fortbewegungsmittel liegt bei 24 Minuten. Es kann also bereits an dieser Stelle festgestellt werden, dass die typische Laufstrecke eines Fußgängers im Durchschnitt bei 1-2 km liegt, was ebenfalls einem Fenster von etwa 20 Minuten Bewegungszeit entspricht.

Insgesamt kann nach den vorgestellten Befunden davon ausgegangen werden, dass ein erheblicher Teil der zu Fuß zurückgelegten Wegstrecken vergleichsweise kurz ist (1-2 km), überwiegend 20 bis 30 Minuten in Anspruch nimmt und sehr häufig wiederholt auf den gleichen Strecken (z.B. zur Arbeit oder nach Hause) zurückgelegt wird. Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnisse sollte die Prüfung der Möglichkeit individualisierter Bewegungs- und Gefährdungsvorhersagen unter Beachtung individueller Laufgeschwindigkeiten, Wegstrecken und erlernter, weil wiederholt auftretender Gefährdungssituationen, bei der System- und Algorithmusentwicklung berücksichtigt werden.

Wie mit diesen Ausführungen bereits deutlich geworden ist, wird das Verhalten von Fußgängern, insbesondere beim Überqueren von Straßen, nach der bisherigen Befundlage auch in erheblichem Umfang von Personenmerkmalen bzw. personennahen Merkmalen beeinflusst. Vor dem Hintergrund des FRAMES-Projekts und der angestrebten System- und Algorithmusentwicklung sind vor allem Merkmale interessant, die sich aus dem direkt beobachtbaren und somit messbaren Verhalten bzw. dem direkten Umfeld erschließen lassen oder relativ überdauernd einzelnen Personen zugeordnet werden können. Die Zielstellung besteht darin zu klären, ob eine mögliche Effekt- bzw. Vorhersageverbesserung durch die Nutzung personalisierter Informationen und Eigenheiten erreicht werden kann.

---

### 5.1.2 Personennahe Merkmale des Laufverhaltens und der Straßenüberquerung

---

#### 5.1.2.1 Laufgeschwindigkeiten von Fußgängern

Neben Fragen nach durchschnittlichen Lauf- und Bewegungszeiten, typischen Laufstrecken und Laufgründen ergibt sich unmittelbar die Frage nach den typischen Laufgeschwindigkeiten. Dieses Merkmal ist zur Vorhersage von möglichen Bewegungsräumen innerhalb eines zu definierenden Zeitfensters und potentieller Kollisions- oder Konfliktpunkte im Rahmen von Vorhersagealgorithmen zentral. Folgt man dem Pedestrian Planning and Design Guide (NTZA, 2009), liegt die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit eines Fußgängers zwischen 0,8-1,8 m/s (entspricht 2,9-6,5 km/h). Getrennt nach Alter und Lauffähigkeiten geben die Autoren die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit eines Erwachsenen mit 1,5 m/s und eines älteren Fußgängers mit 1,2 m/s an. Ishaque und Noland (2008) haben u.a. bezüglich der Laufgeschwindigkeiten von Fußgängern ein umfangreiches Review vorgelegt. Dabei wurden unterschiedliche Teilgruppen von Fußgängern betrachtet und deren jeweilige Geschwindigkeitswahl- und das Straßenüberquerungsverhalten verglichen. Die nachfolgende Abbildung 5-2 zeigt die von Ishaque und Noland (2008) zusammenfassend berichteten Resultate anderer Studien für erwachsene und ältere Fußgänger (60+ bzw. 65+).

Study	n <sup>a</sup>	Mean speed (m/s)		15 percentile speed (m/s)	
		Adults	Elderly	Adults	Elderly
Sjostedt (1967)		1.44 <sup>b</sup>	1.44 <sup>b</sup>	1.03	1.14
Cresswell <i>et al.</i> (1978)		1.57	1.11		
Wilson and Grayson (1980)		1.32	1.13		
Griffiths <i>et al.</i> (1984)	75 000	1.47	1.16		
Bowman and Vecellio (1994)	608	1.45	1.03		
Coffin and Morrall (1995)			1.27		1.00
Knoblauch <i>et al.</i> (1996)	7123	1.51	1.25	1.25	0.97
Guerrier and Jolibois (1998)	263	1.35	0.97	1.00	0.67
Gates <i>et al.</i> (2006)	1947	1.44	1.16	1.22	0.92
Fitzpatrick <i>et al.</i> (2006)	2445	1.45 <sup>b</sup>	1.34 <sup>b</sup>	1.17	0.97

<sup>a</sup>Sample size.  
<sup>b</sup>Median speed.  
 1 m/s = 3.6 km/h ~ 2.25 mph.

Abbildung 5-2. Durchschnittliche Laufgeschwindigkeiten nach den Ergebnissen verschiedener Studien (aus Ishaque und Noland, 2008)

Ishaque und Noland (2008) geben weiterhin an, dass sich unterschiedliche Spannbreiten der durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten für die verschiedenen Altersgruppen ergeben, was bedeutet, dass die Variabilität der durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten bei jüngeren Personen höher ausfällt als bei älteren Fußgängern. Nach einem Review von Miguel (2013) liegt die durchschnittliche Laufgeschwindigkeit bei 1,3 m/s. Weiterhin wird dort festgestellt, dass ab einer Geschwindigkeit von 2 m/s ein Wechsel vom Gehen zum schnellen Laufen erfolgt. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Bewegungsarten können durch grundlegende Veränderungen in den jeweiligen Bewegungsabläufen beschrieben werden. Im deutschsprachigen Bereich wurden ebenfalls bereits früh durch Eberhardt und Himbert (1977) umfangreiche Analysen der Lauf- und Bewegungsgeschwindigkeiten durchgeführt. Auch hier konnten deutliche altersbezogene Unterschiede in den erreichten Laufgeschwindigkeiten der vier Modi *gehen, schnell gehen, laufen und rennen* nachgewiesen werden. Unter Rückgriff u.a. auf diese Ergebnisse beleuchtet Rohm (2006) sowohl die Bewegungsgeschwindigkeiten von Männern, Frauen, Kleinkindern und älteren Fußgängern, erweitert die Betrachtung aber zusätzlich mit der Analyse des Beschleunigungsverhaltens. Es zeigen sich hier Werte bis zu 1,5-3 m/s beim gehen und bis zu 6 m/s beim rennen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die von Rohm (2006) ermittelten Beschleunigungswerte von Fußgängern in der Übersicht.

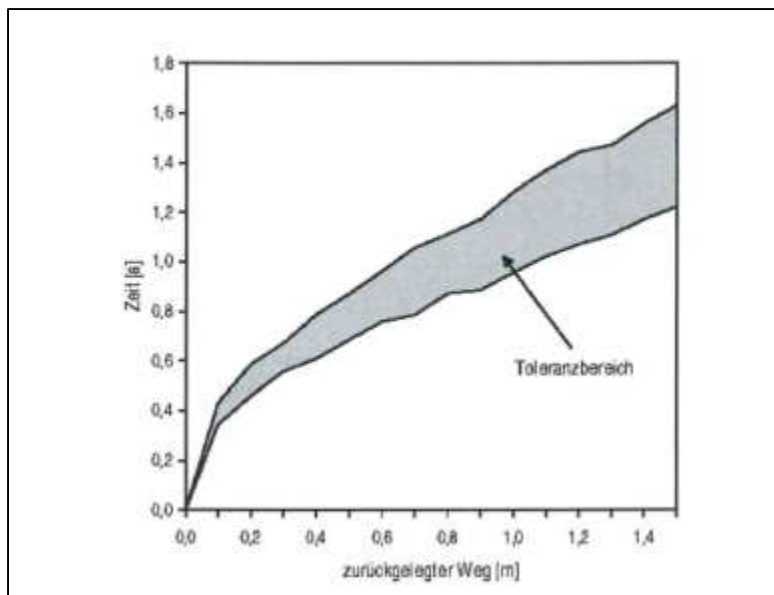


Abbildung 5-3. Beschleunigungsverhalten von Fußgängern (entnommen aus: Rohm, M. (2006) Unfallrekonstruktion. Bewegungsgeschwindigkeiten von Fußgängern. VerkehrsRechtsReport 04, 136-139)

Neben der durchschnittlichen Geschwindigkeit mit der sich Fußgänger bewegen, sind auch die erreichbaren Höchstgeschwindigkeiten relevant. Wie bereits bei den Durchschnittsgeschwindigkeiten deutlich wurde, ergeben sich diesbezüglich erhebliche interindividuelle Unterschiede, die sich vor allem aus individuell unterschiedlichen physischen Voraussetzungen, Umgebungsmerkmalen und der betrachteten Zeit ergeben. Nach Miguel (2013) liegt die aktuelle Höchstgeschwindigkeit eines Menschen bei über 10,4 m/s (Usain Bolt), wobei es sich für die Anwendungsbereiche des FRAMES-Projektes um lediglich einen theoretisch relevanten Höchstwert handelt.

### 5.1.2.2 Alter

Eine wesentliche Variable bei der Frage, in welcher Art sich Fußgänger fortbewegen, spielt das Alter. Dieses Merkmal wirkt über eine Vielzahl von weiteren Variablen auf die Art und Weise der Fortbewegung als Fußgänger. Der Pedestrian Planning and Design Guide (NTZA, 2009) benennt folgende bedeutsamen Merkmale:

Tabelle 5-2. physische und kognitive Fähigkeiten mit Einfluss auf das Laufverhalten (Auswahl; Pedestrian Planning and Design Guide, NZTA, 2009)

physisches Merkmal	Beeinflussung von
<b>Reaktionsvermögen</b>	Fähigkeit gefährliche Situationen schnell zu vermeiden
<b>Ausdauer</b>	zu bewältigende Streckenlänge
<b>visuelle und auditorische Wahrnehmung</b>	Fähigkeit Umgebung wahrzunehmen und z.B. Blendung zu tolerieren Fähigkeit Richtung von Geräuschen zu bestimmen
<b>Aufmerksamkeitsspanne und kognitive Fähigkeiten</b>	Dauer der Entscheidungsfindung Grad der Schwierigkeiten in unbekanntem Gebieten Beurteilung von Lücken im Verkehr Fähigkeit Distanz und Geschwindigkeit korrekt einzuschätzen
<b>Angst und Beurteilung der persönlichen Sicherheit</b>	Neigung zum Fallen oder Stürzen

Darauf aufbauend, konnten eine Vielzahl empirischer Studien nachweisen, dass sich zwischen verschiedenen Altersgruppen deutliche Unterschiede im Entscheidungsverhalten, der Situationswahrnehmung, der Unfallneigung, dem vorrangigen Unfalltyp und weiterer unfallbezogener Parameter ergeben (Tageszeit, Wochentag etc.). Karsch, Hedlund, Tison und Leaf (2012) fassen in einem Review u.a. die wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Zusammenhang zwischen dem Alter von Personen und der Unfallgefahr zusammen und stellen für die Vereinigten Staaten fest, dass Personen über 65 Jahren ein deutlich höheres Unfallrisiko aufweisen als alle anderen, jüngeren Altersgruppen. Weiterhin wird festgestellt, dass Ältere häufiger als andere Altersgruppen in Kreuzungsbereichen verunfallen, für diese Gruppe saisonale Schwerpunkte im Herbst und Winter bestehen und betreffende Personen insgesamt häufiger als die jüngeren Altersgruppen am Tage verunfallen. Eine ähnliche Untersuchung für den europäischen Raum wurde von Yannis, Papadimitriou und Evgenikos (2011) vorgelegt. Neben weiteren Ergebnissen können sie für das Alter feststellen, dass die relativen Anteile der Jüngeren (< 15 Jahre) und der Älteren (> 65 Jahre) mit tödlichen Unfällen deutlich höher liegen als für die anderen Altersgruppen. Im europäischen Vergleich lassen sich allerdings bezüglich der jeweiligen Anteile deutliche Unterschiede zwischen den Ländern feststellen. In die gleiche Richtung gehen die Ergebnisse der Untersuchungen von Dunbar (2012). Dort wird festgestellt, dass das relative Risiko für einen Unfall bei Kindern und Jugendlichen deutlich erhöht ist, mit zunehmendem Alter abnimmt, um dann im höheren Alter wieder deutlich zuzunehmen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Yannis, Papadimitriou und Evgenikos (2011), Hamed (2001), Bernhoft und Carstensen (2008), Lascala, Gerber und Gruenewald (2000), Avineri, Shinar und Susilo (2012), Sueur, Class, Hamm, Meyer und Pelé (2013), Oxley, Fildes, Ihsen, Charlton und Day (1997) und Oxley, Ihsen, Fildes, Charlton und Day (2005).

Bernhoft und Carstensen (2008) stellen darüber hinaus fest, dass ältere Fußgänger im Rahmen ihrer Routenplanung und Routenwahl deutlich stärker auf das Vorhandensein von Überwegen, Fußgängerampeln und Fahrradwegen fokussieren, während das Hauptaugenmerk bei jüngeren Fußgängern auf dem schnellsten Weg liegt. Die Autoren schlussfolgern, dass die gefundenen Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren vor allem aus dem physischen Gesundheitszustand der Personen erklärt werden können. Auch lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass Jüngere eher regelwidriges Verhalten zeigen als ältere Fußgänger. Lobjois und Cavallo (2007) können nachweisen, dass bei der Straßenüberquerung das „Akzeptieren“ kleiner Abstände zwischen Fahrzeugen bei wesentlich älteren Personen zunimmt, während jüngere Personen diesen Zusammenhang nicht erkennen lassen. Lobjois und Cavallo (2008) bestätigen den eigenen früheren Befund und stellen darüber hinaus fest, dass die Überquerungsentscheidungen der jüngeren Personen besser an die jeweilige Überquerungssituation angepasst sind, während bei wesentlich älteren Personen offensichtlich Probleme bei der adäquaten Anpassung von Wahrnehmung und Handlung vorliegen. Dommès, Cavallo und Oxley (2013) argumentieren in der gleichen Richtung und stellen fest, dass sowohl die Laufgeschwindigkeit, die Einschätzung der Überquerungszeit, die visuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Fähigkeit zu visueller Aufmerksamkeit und die Fähigkeit zur Aufmerksamkeitsanpassung die Hauptprädiktoren für gefährliche Querungsentscheidungen sind. Ebenso widmen sich Zivotofsky, Eldror, Mandel und Rosenbloom (2012) der Frage, warum ältere Personen häufig Schwierigkeiten haben, die Straße zu überqueren? Die Autoren finden u.a., dass Ältere sowohl vor der Straßenüberquerung als auch danach die tatsächlich benötigte Überquerungszeit deutlich unterschätzen. Oxley, Fildes, Ihsen, Day und Charlton (1995) stellen fest, dass Verhaltensunterschiede zwischen Älteren (65+) und Jüngeren (<45 Jahre) bei der Straßenüberquerung festzustellen sind und dass diese vor dem Hintergrund vielfältiger altersbezogener sensorischer, kognitiver und motorischer Defizite erklärt werden können. Auf der Ver-

haltensebene ergeben sich nach Oxley et al. (1995) Unterschiede zwischen den älteren und jüngeren Fußgängern bezogen auf die Zeit am Fahrbahnrand bis zum Überquerungsbeginn ( $M_{\text{Jüngere}}=9,2\text{s}$  vs.  $M_{\text{Ältere}}=24,3\text{s}$ ) und die Überquerungszeit ( $M_{\text{Jüngere}}=4,8\text{s}$  vs.  $M_{\text{Ältere}}=6,2\text{s}$ ). Darüber hinaus ließen sich Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen hinsichtlich des bidirektionalen Blickverhaltens und des Eigensicherungsverhaltens festzustellen. Insbesondere letzteres Merkmal ist bei älteren Personen deutlich ausgeprägter. Die Hinzunahme von Altersangaben erscheint vor dem Hintergrund der empirischen Befundlage grundsätzlich gewinnbringend, da dadurch ebenfalls eine stärker personalisierte Gefährdungsabschätzung vorgenommen werden kann.

#### 5.1.2.3 Geschlecht

Für das Geschlecht der Fußgänger und dessen Zusammenhang zum Laufverhalten liegen ebenfalls wichtige Erkenntnisse vor. Karsch et al. (2012) stellen fest, dass in der Altersgruppe der 24-44 Jährigen der Anteil der tödlich verunfallten Männer insgesamt doppelt so hoch ist. Campbell (2004) findet, dass der Anteil der verunfallten Männer in allen Altersgruppen über dem der Frauen liegt. Fasst man die umfangreichen Befunde zum Zusammenhang des Geschlechts mit dem Lauf- und Bewegungsverhalten von Fußgängern bzw. ihrer Unfallneigung zusammen, findet man, dass Männer insgesamt höhere Lauf- und Überquerungsgeschwindigkeiten aufweisen (Avineri, Shinar und Susilo, 2012; Ishaque und Noland, 2008; Holland und Hill, 2010), deutlich häufiger Verkehrsregeln bei der Straßenüberquerung verletzen (bspw. Rosenbloom, 2009; Bernhoft und Carstensen, 2008), insgesamt häufiger als Fußgänger in Straßenverkehrsunfälle verwickelt sind (z.B. Lascala, Gerber und Gruenewald, 2000) und andere verkehrsbezogene Motivstrukturen sowie andere Mechanismen der Gefahrenwahrnehmungen und Gefahrenantizipation aufweisen (Yagil, 2000). Darüber hinaus können Holland und Hill (2010) in ihrer Studie nachweisen, dass sich zwischen Männern und Frauen mit zunehmendem Alter Unterschiede dahingehend ergeben, welche Variablen die Entscheidung zur Straßenüberquerung in einem gegebenen Szenario beeinflussen. So überqueren Frauen mit zunehmendem Alter eher häufiger Straßen in selbstgefährdender Art und Weise und überschätzen ihre eigene Geschwindigkeit, wohingegen sich für Männer eher ein Effekt einer eigenen Mobilitätseinschränkung und der eigenen Erfahrung als Fahrer nachweisen lässt. Für das Geschlecht ließe sich auf Basis der empirischen Befunde dementsprechend ebenfalls ein Zusammenhang zum Lauf- und Bewegungsverhalten nachweisen. Insbesondere die höhere Involviertheit der Männer in Verkehrsunfälle (z.B. Zhu, Zhao, Coben und Smith, 2012) und deren Tendenz eher risikoreiche Lauf- und Querungsentscheidungen zu treffen, macht dieses Merkmal zu einem wichtigen Faktor für die Entwicklung eines Fußgängerwarnsystems.

#### 5.1.2.4 Parallelhandlungen

Als weitere personenbezogene Merkmale des Lauf- und Bewegungsverhaltens kann die Ausführung von Parallelhandlungen beim Laufen verstanden werden. In einer Studie von Bungum, Day und Henry (2005) wurde das Verhalten von 866 Personen beobachtet, die eine ca. 30m breite Straße überqueren. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf Parallelhandlungen wie Kopfhörerbenutzung, telefonieren, essen, trinken, rauchen und miteinander sprechen gelegt. Im Ergebnis stellen Bungum, Day und Henry (2005) fest, dass etwa 20% der Fußgänger durch Parallelhandlungen bei der Straßenüberquerung abgelenkt sind. Insgesamt zeigt sich in dieser Studie ein schwach negativer Zusammenhang zwischen sicherheitsorientierten Verhaltensweisen und einer dieser aufmerksamkeitsabsorbierenden Parallelhandlungen. Angemerkt werden muss zu diesem Ergebnis, dass die deutliche Mehrzahl der

beobachteten Personen aßen oder tranken (15% der Gesamtstichprobe) und nur eine Minderheit Kopfhörer oder Mobiltelefone benutzte (5,7%). Eine ähnliche Sicht auf den Einfluss der Ablenkung oder der zu geringen Aufmerksamkeit hat die Studie von Thompson, Rivera, Ayyagari und Ebel (2012), welche sich mit dem Einfluss sozialer oder technischer Ablenkung von Fußgängern bei der Straßenüberquerung auseinandersetzt. Nach diesen Ergebnissen führten nahezu 30% der Fußgänger während der Überquerung eine Parallelhandlung aus. Im Einzelnen hörten 11,2% der beobachteten 1102 Fußgänger während der Überquerung Musik, schrieben Textnachrichten (7,3%) oder benutzten generell ein Mobiltelefon (6,2%). Alle Parallelhandlungen veränderten die Überquerungszeit. Personen, welche auf ihrem Mobiltelefon schrieben, benötigten fast zwei Sekunden länger als nicht abgelenkte Personen, um die Straße zu überqueren. Demgegenüber benötigten Personen mit Kopfhörern im Schnitt etwa eine halbe Sekunde weniger, um über die Straße zu gelangen. Allerdings ist auch hier festzustellen, dass die Mehrzahl der abgelenkten Personen nur wenige oder keine selbstschützenden Verhaltensweisen (bspw. Sichtorientierung in beide Richtungen) vor der Straßenüberquerung zeigen. Eine weitere Studie zur Ablenkung durch die Benutzung von Mobiltelefonen liegt von Hatfield und Murphy (2007) vor. In dieser wird ebenfalls festgestellt, dass die Benutzung von Mobiltelefonen bei der Straßenüberquerung deutliche Zusammenhänge mit, im Falle der Nutzung, geringeren Sicherheitsverhaltensweisen aufweist. Eine wichtige zusätzliche Erkenntnis ist, dass die jeweiligen Verhaltensweisen ebenfalls geschlechtsspezifische Besonderheiten u.a. in Abhängigkeit von der Art des Straßenübergangs (Ampel vs. keine Ampel) aufweisen. Hatfield und Murphy (2007) vermuten, dass diese Unterschiede im Sicherheitsverhalten bei der Mobiltelefonbenutzung zwischen Männern und Frauen durch Unterschiede in den spezifischen Kommunikationsformen bzw. der Involviertheit in die Gespräche zustande kommen. Eine weitere Studie von Neider et al. (2010, 2011) untersuchte den Effekt von Ablenkung durch die Nutzung von Mobiltelefonen bzw. durch Musikhören auf das Überquerungsverhalten von Fußgängern mittels einer experimentellen Analyse. Sie stellen fest, dass Telefongespräche während der Straßenüberquerung häufiger mit nicht erfolgreichen Straßenüberquerungen in Zusammenhang stehen als die nicht abgelenkte Überquerung oder die Überquerung der Straße mit Kopfhörern. Auch sind in der Telefonbedingung die Zeiten bis zum Beginn der Straßenüberquerung länger und die Überquerungsgeschwindigkeiten geringer. Neider et al. (2009) vermuten, dass Gespräche mit dem Telefon, die parallel ablaufende Enkodierungsfähigkeit der visuellen Informationen reduzieren oder aber die Fähigkeit zur korrekten Entscheidungsfindung über den Überquerungsstartpunkt negativ beeinflussen. Insgesamt ist also davon auszugehen, dass die zusätzliche kognitive Belastung durch Parallelhandlungen wie Telefonieren oder Musikhören, das Eigensicherungsverhalten der Fußgänger negativ beeinflusst. Weitere Studien zu den geschilderten Zusammenhängen mit vergleichbaren Ergebnissen liegen bspw. vor von Schwebel et al. (2012), Stavrinou, Byington und Schwebel (2011), Nasar, Hecht und Werner (2008), Walker, Lanthier, Risiko und Kingstone (2012) sowie insbesondere zum Zusammenhang zwischen der Kopfhörerbenutzung und Fußgängerunfällen von Lichenstein, Smith, Ambrose und Moody (2014). Eigene Untersuchungen mit vergleichbaren Befunden zu Parallelhandlungen und daraus erwachsenen Konfliktsituationen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern können in Abschnitt 5.2 nachvollzogen werden.

---

#### 5.1.2.5 Weitere Personenmerkmale

Im Rahmen mehrerer Studien wurden die Zusammenhänge des Lauf- und Bewegungsverhaltens als Fußgänger mit verschiedenen Personenmerkmalen untersucht. So wurden z.B. die wahrgenommene situative Verhaltenskontrolle und weitere subjektive verkehrsbezogene Einstellungen auf Basis der „Theorie des geplanten Verhaltens“ (Ajzen 1985, 1988) durch Evans und Norman (1998) und Díaz

(2002) analysiert. Auch Papadimitriou, Theofilators und Yannis (2013) widmen sich in ihrer Studie der Zusammenhänge zwischen Einstellungsmaßen und dem Laufverhalten von Fußgängern. Holland, Hill und Cooke (2009) untersuchen den Zusammenhang der „Self-Identity“ mit dem Verhalten als Fußgänger. Zwei weitere Artikel beschäftigen sich mit der grundlegenden Risikobereitschaft einer Person (Hoffrage, Weber, Hertwig und Chase, 2003) bzw. dem Zusammenhang des „risk-seeking behavior“ mit dem Laufverhalten von Menschen (Pingel, 2012). Allgemeinere Fragen zu den Zusammenhängen von Personenmerkmalen mit dem Straßenüberquerungsverhalten von Menschen (street-crossing behavior) werden bspw. in den Studien von Lavalette et al. (2009), Simpson, Johnston und Richardson (2003), Tolmie et al. (2006) und Das, Manski und Manuszak (2005) untersucht.

Evans und Norman (1998) bzw. Díaz (2002) analysieren das Laufverhalten ausgehend von der „Theorie des geplanten Verhaltens“ von Aizen (1985, 1988). Evans und Norman (1998) führen dafür eine Fragebogenstudie mit N=210 Personen durch und erheben im Rahmen des szenariobasierten Fragebogens u.a. Einstellungen, subjektive Normen, wahrgenommene Verhaltenskontrolle und Selbstidentität bezüglich der Überquerungsentscheidungen der in den Szenarien geschilderten Überquerungssituationen. Evans und Norman (1998) finden signifikante Zusammenhänge der erhobenen Einstellungs- und Identitätskonstrukte mit dem intendierten Überquerungsverhalten, wobei insbesondere die wahrgenommene Verhaltenskontrolle ein wichtiges Merkmal darstellt. Díaz (2002) fokussiert in seiner Studie stärker auf das regel- bzw. normabweichende Verhalten im Rahmen des Verkehrsverhaltens als Fußgänger. Er findet, dass die von den N=146 Befragten angegebenen Fehlverhaltensweisen in der Vergangenheit mit der grundsätzlichen Bereitschaft von Personen in Zusammenhang stehen, verkehrsbezogene Regeln zu brechen. Ebenso ergeben sich klare Zusammenhänge zu subjektiven Normen und der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle. Weitere Ergebnisse sind, dass junge Teilnehmer grundsätzlich positivere Einstellungen zum Normbruch aufweisen, die subjektiven Normen als weniger verhaltenssteuernd wahrnehmen, weniger subjektive Kontrolle über ihr Verhalten wahrnehmen und insgesamt auch von häufigeren Verkehrsregelverletzungen angeben. Diese Ergebnisse entsprechen Studienergebnissen zum Zusammenhang des Fahreralters mit den sicherheitsbezogenen Verhaltensweisen von Autofahrern. Eine weitere Studie zum Zusammenhang zwischen verkehrsbezogenen Einstellungen und Normen mit dem Verkehrsverhalten liegt bspw. eine Studie vor von Papadimitriou, Theofilators und Yannis (2013) vor, in der u.a. auf Basis von Messungen zu Sicherheits-, Regel- und weiteren Einstellungen eine dreigeteilte statistische Einstellungscluster-Struktur nachgewiesen werden konnte. Sie identifizieren drei Fußgängertypen, die von ihnen, bezogen auf die Bereitschaft bzw. Einstellung zur Regelbefolgung mit „positives Verhalten und positive Einstellungen“, „negatives Verhalten und negative Einstellungen“ und „positives Verhalten aber gemischte Einstellungen“ umschrieben werden. Der als „negative Einstellungen, negatives Verhalten“ bezeichnete Cluster ist aus der Regelbefolgungs- und Verhaltensperspektive besonders relevant. Er erfasst 27% der Gesamtstichprobe und ist insbesondere durch negative Einstellungen gegenüber Strafen bei Verkehrsverstößen, hohem Risikoverhalten und einer Ablehnung von Geschwindigkeitsmessungen und -begrenzungen gekennzeichnet. In dieser Gruppe sind nach Aussage von Papadimitriou, Theofilators und Yannis (2013) insbesondere jüngere Personen und Männer überrepräsentiert. Demgegenüber gehen Holland, Hill und Cooke (2009) in ihrer Studie über die Analyse von Einstellungsvariablen hinaus und widmen sich der Selbstidentität von Personen und deren Zusammenhang mit dem Verhalten als Fußgänger. Selbstidentität oder „self-identity“ wird von den Autoren definiert als: „the salient part of an actor’s self which relates to a particular behavior“. 360 Teilnehmer der Studie füllten zur Beantwortung der Forschungsfrage einen Fragebogen aus, der u.a. Selbstidentität und Einstellungen erfasste, davon nahmen nochmals 205 Teilnehmer an Simulationen zur Straßen-



überquerung teil. Die Autoren stellen fest, dass die Selbstidentität dann ein wesentlicher Prädiktor der Intentionsbildung zur Handlung ist, wenn diese Handlung gewohnheitsmäßig ist. Handelt es sich hingegen um eine stark bewusst ausgeführte Handlung, fällt der Beitrag dieses Merkmals an der Intentionsbildung zurück. Weiterhin wird festgestellt, dass die in der Studie erfasste Selbst-Identität Verhalten nicht direkt vorhersagen kann, sondern nur indirekt an der Intentionsbildung beteiligt ist.

Einige weitere Studien beschäftigen sich mit Risikoverhalten bei der Straßenüberquerung. Eine Studie von Hoffrage, Weber, Hertwig und Chase (2003) untersuchte dabei das Straßenüberquerungsverhalten von 5-6jährigen Kindern. Auf Basis u.a. des tatsächlichen Querungsverhaltens und des Spielverhaltens der Kinder wurden diese auf Basis persönlichkeits-theoretischer Überlegungen in „Risk Taker“ und „Risk Avider“ unterteilt. Es zeigt sich, dass insbesondere in ambivalenten Überquerungssituationen (Lücken im Verkehr zwischen 7-12s) die größten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen zu Tage treten. Diesbezügliche Zusammenhänge zwischen der Eingruppierung und den Entscheidungen für eine Straßenüberquerung stehen nach Hoffrage, Weber, Hertwig und Chase (2003) mit der grundlegenden Akzeptanz kleinerer Lücken im Verkehr und schnellerer Entscheidungszeiten der „Risk Taker“ in Verbindung.

Pingel (2010) untersucht in seiner Studie vor allem das Routenwahlverhalten von Menschen und versucht, dieses mit strategischen Dispositionen („strategic disposition“) und der grundlegenden Risikoorientierung („orientation toward risk“) der Personen zu erklären. Strategische Disposition repräsentiert nach Pingel (2010) den Grad der Fähigkeit und des Willens von Personen unter Beachtung ihrer aktuellen Präferenzen und Ziele alternative Routen mit zu planen und zu bedenken. Die Risikoorientierung wird von Pingel (2010) als eine Art Meta-Strategie verstanden, bei der Auswahl der Routenalternativen entweder stärker auf unsichere oder sichere Alternativen zu setzen. Bezüglich der strategischen Disposition verwendet Pingel (2010) einen 40 Item Fragebogen und kann aus diesem letztlich fünf Items extrahieren, welche zur Erhebung der strategischen Disposition ausreichend sind. Diese Items bilden den Strategic Disposition Index (SDI) und bestehen aus den in Tabelle 5-3 aufgeführten Aussagen. Im Ergebnis stellt Pingel (2010) fest, dass Männer insgesamt einen höheren SDI-Wert aufweisen als Frauen

**Tabelle 5-3. Strategic Disposition Index nach Pingel (2010)**

Strategic Disposition Index (nach Pingel, 2010; Cronbachs Alpha=.81 $M_{SDI}=4,5$ )
I think about route planning in a way that I would characterize as strategic
I enjoy playing games that involve a great deal of strategy.
I frequently play games involving a great deal of strategy.
I enjoy activities that involve strategic thinking.
I am good at explaining the strategies I use.

Hinsichtlich der ebenfalls in der Studie aufgeworfenen Frage, nach welchen Präferenzen die Teilnehmer ihre Routenplanung vornehmen, wurde deutlich, dass die Schnelligkeit sowohl im Falle des Laufens als auch beim Fahren der wichtigste Faktor, gefolgt von der Sicherheit ist. Die Attraktivität der Strecke spielt hingegen nur eine untergeordnete Rolle. Interessanterweise ergaben sich Unterschiede hinsichtlich der Bedeutung der Einfachheit der Route. Während dieses Merkmal beim Laufen als sehr unwichtig eingestuft wurde, ist es beim Fahren das dritt wichtigste Merkmal. Im umgekehrten Sinne, ist die körperliche Beanspruchung durch eine Strecke beim Laufen deutlich wichtiger als beim Fahren. Die nachfolgende Abbildung wurde aus Pingel (2010) entnommen und fasst die Zusammenhänge nochmals generell bzw. getrennt für Männer und Frauen zusammen.



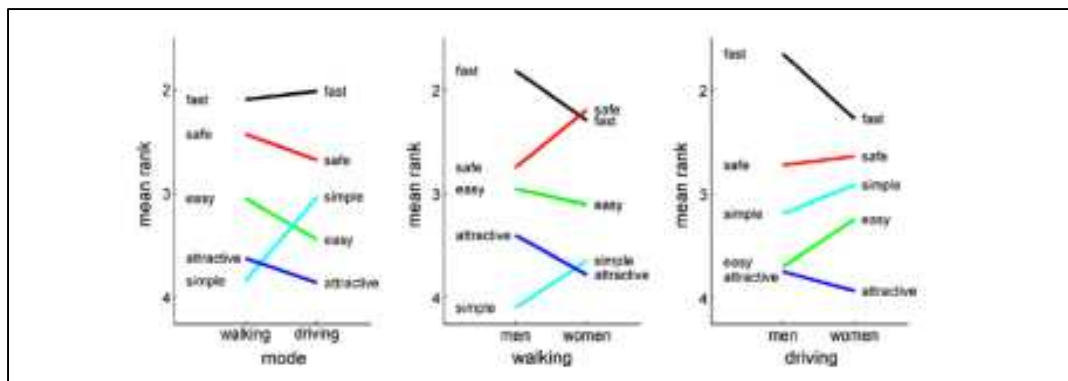


Abbildung 5-4. Unterschiede zwischen Fahrern und Läufern getrennt für Männer und Frauen (aus Pingel, 2010)

Eine nachträglich durch den Autor vorgenommene Unterscheidung der Teilnehmer auf Basis des SDI-Scores bzw. eines weiteren Wertes (SBSOD) resultierte in der Unterscheidung zweier Gruppen, den Strategen (strategists) und Orientierern (orienteers) mit den in der folgenden Abbildung zusammengefassten Unterschieden in der Streckenbeurteilung.

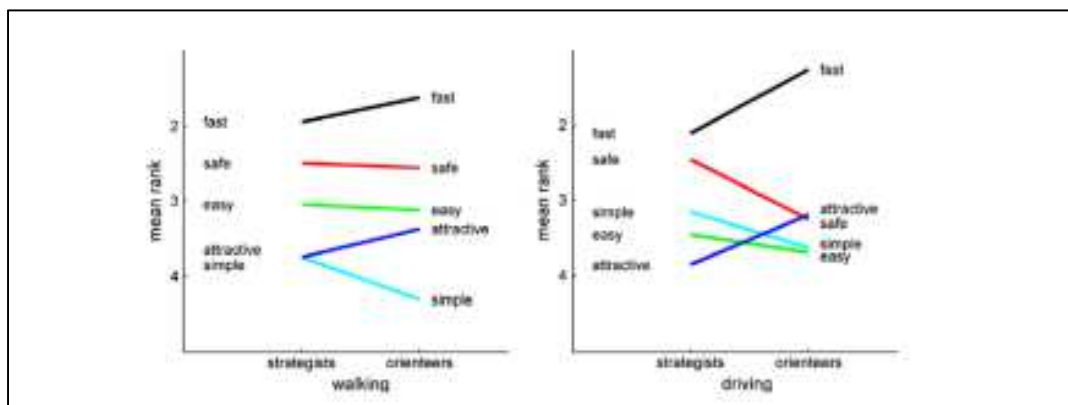


Abbildung 5-5. Unterschiede zwischen Strategen und Orientierern (aus Pingel, 2010)

Eine weitere personennahe Verhaltensvariable ist die Wartezeit, die Fußgänger mit Straßenüberquerungsabsicht im Durchschnitt an der Straße aufwenden. Eine diesbezügliche Untersuchung wurde von Guo, Wang, Guo, Jiang und Bubb (2012) vorgelegt. Die Autoren stellen hier zusammenfassend fest, dass mit zunehmender Wartezeit die Wahrscheinlichkeit eines kritischen Überquerungsversuchs steigt. Neben so genannten „risk takers“, die ca. 10% der Stichprobe ausmachen und generell lediglich 3s Wartezeit vor der Überquerung zeigen, stellen die Autoren fest, dass die übrigen beobachteten Personen maximal eine 50 Sekunden andauernde Wartephase vor einem Querungsversuch akzeptieren. Die nachfolgende Abbildung wurde aus Guo, Wang, Guo, Jiang und Bubb (2012) entnommen und verdeutlicht die dargestellten Zusammenhänge nochmals.

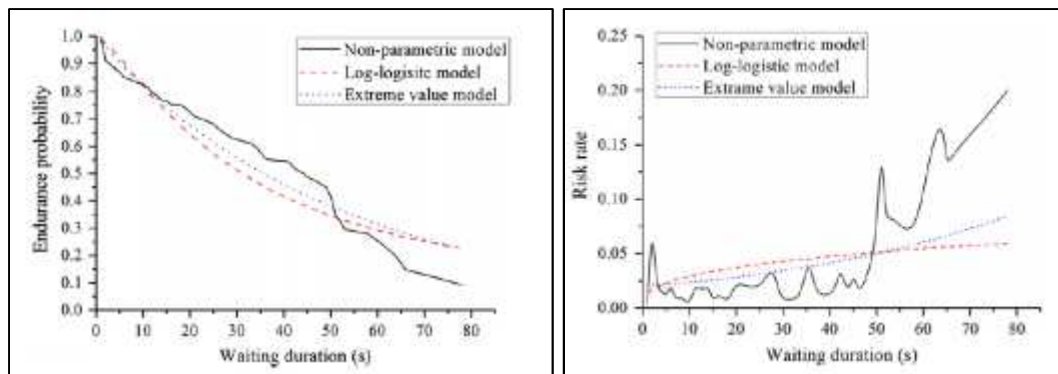


Abbildung 5-6. Wartewahrscheinlichkeit (links) bzw. Risikowahrscheinlichkeit (rechts) und Wartezeit (aus Guo, Wang, Guo, Jiang und Bubb, 2012)

Insgesamt kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass eine Vielzahl von personenbezogenen Variablen ebenfalls dazu dienen kann, das konkrete individuelle Laufverhalten besser zu prognostizieren. Inwieweit diese Elemente letztlich bei der Entwicklung eines verhaltensbasierten Vorhersagealgorithmus Verwendung finden können, ist aktuell Gegenstand der Analysen und wird im Rahmen der Projektphasen 2-3 des FRAMES-Projektes weiter fokussiert.

---

### 5.1.3 Soziale Interaktion und Gruppenverhalten

---

Neben individuellen bzw. personenbezogenen Merkmalen mit Einfluss auf das Laufverhalten sind auch verschiedene, im weitesten Sinne, soziale Merkmale an der konkreten Laufsituation und dem Laufverhalten beteiligt. Verschiedene Studien haben insbesondere die Interaktion zwischen Fußgängern und den Zusammenhang zwischen der Gruppengröße und dem Laufverhalten untersucht. Nach Mossaïd et al. (2010) existieren eine Vielzahl von Studien zur Frage des Verhaltens und der Dynamiken von Menschenmengen an sogenannten „bottlenecks“, also Engstellen (z.B. Hoogendoorn und Daamen, 2005, Hoogendoorn und Bovy, 2004), zur Frage der Trennung von gegenläufigen Fußgängerströmen (z.B. Helbing und Molnar, 1995) oder die Dynamiken in sehr dichten Fußgängerströmen (z.B. Helbing et al., 2007) untersuchen, während die Frage der direkten sozialen Interaktionsformen zwischen Fußgängern und deren Einfluss auf das Laufverhalten vergleichsweise wenig beachtet wurde. Ergänzend muss angemerkt werden, dass Mossaïd et al. (2010) soziale Gruppen in den Fokus ihrer Analysen stellen, d.h. Personen, die sozial miteinander verbunden sind und miteinander kommunizieren, während sie gemeinsam als Fußgänger Wege zurücklegen. Zu beachten ist, dass diese Kommunikation zwischen einzelnen Personen von anderen Autoren (z.B. Bungum, Day und Henry, 2005) als eine Form der aufmerksamkeitsabsorbierenden Ablenkung definiert wird. Grundsätzlich stellen Mossaïd et al. (2010) fest, dass nur etwa ein Drittel der beobachteten Fußgänger allein unterwegs waren. Unterstützung erhält diese Feststellung u.a. auch durch frühere Untersuchungen von bspw. Aveni (1977), von gegenteiligen Befunden (80% Einzelgänger) berichten hingegen z.B. Thompson, Rivera, Ayyagari und Ebel (2012). Hinsichtlich der Laufstrukturen wird von Mossaïd et al. (2010) festgestellt, dass Gruppen in Bedingungen geringer Fußgängerdichte eher linienförmig nebeneinander laufen. In Bedingungen eher höherer Fußgängerdichte hingegen sind eher V- bzw. U-förmige Laufmuster zu beobachten, die sowohl eine komfortable Laufposition für den Einzelnen als auch gute Kommunikationsmöglichkeiten für alle Gruppenmitglieder bieten. Diese „konvexen“ Strukturen bieten nach Mossaïd et al. (2010) allerdings vergleichsweise schlechtere aerodynamische Eigenheiten als konkave, d.h. mit der Spitze nach vorne gerichtete Laufmuster, die aufgrund der deutlich schwierigeren Kommunikation zwischen den Gruppenmitgliedern allerdings deutlich seltener zu beobach-

ten sind. Insgesamt wird auch im Rahmen von Simulationsexperimenten festgestellt, dass Laufeffizienz (bspw. im Rahmen konkaver Laufmuster) und soziale Interaktion zwischen den Gruppenmitgliedern in Zusammenhang stehen, so dass bspw. mit steigender Kommunikationsdichte eine Geschwindigkeitsreduktion von ca. 17% beobachtet werden kann. Diese Geschwindigkeitsreduktion tritt in Situationen geringer Dichte (d.h. beim Laufen in Linienformation) nicht auf. In Situationen extrem hoher Dichte folgen dann Kettenformationen in Laufrichtung, woraus die Autoren schlussfolgern, dass das Kommunikationsbedürfnis aufgrund der äußeren physischen Umweltbedingungen hinter die Laufeffizienz zurücktritt. Für größere Gruppen (> 4 Personen) nehmen Mossaïd et al. (2010) an, dass aufgrund des Platzbedarfs eine Subgruppenbildung mit jeweils 2-4 Mitgliedern eintritt, um die beiden Bedürfnisse nach Laufeffizienz und Kommunikation zu bedienen. Abschließend merken Mossaïd et al. (2010) an, dass es auch Unterschiede hinsichtlich der Kommunikationshäufigkeit und der jeweiligen Position innerhalb der Gruppe zwischen den Gruppenmitgliedern geben sollte, da Gruppenmitglieder mit hohem Redeanteil eher in der Mitte der Gruppe zu finden sind und die Zuhörer eher am Rand der Formation.

Beachtet man lediglich die absolute Zahl von Personen, die sich zeitgleich in bestimmten Bereichen als Fußgänger bewegen, ohne die direkte Kommunikation zu berücksichtigen, ergibt sich mit Zhuang und Wu (2012), dass die Straßenüberquerung größerer Personengruppen einen Sicherheitszugewinn ergibt. Auch hier bestehen die Gruppen im Mittel aus etwa drei Personen und die Laufgeschwindigkeit von Gruppen ist gegenüber der von Einzelpersonen geringer. Bezüglich des Sicherheitsgewinns stellt Jacobsen (2003) fest, dass dieser umso deutlicher ausfällt, je mehr Fußgänger oder Fahrradfahrer sich in den jeweiligen Bereichen / Ländern bewegen. Mit höherer Nutzungsdichte nimmt die Unfallrate deutlich ab (safety in numbers). In eine ähnliche Richtung geht auch die Untersuchung von Kaparias et al. (2012), nach der u.a. die Anzahl von Fußgängern in einem gegebenen Bereich einen Zusammenhang mit dem (Sicherheits-)Verhalten der Fahrer aufweist. Alhajyaseen et al. (2012) stellen diesbezüglich ebenfalls fest, dass sich das Interaktionsverhalten zwischen Fahrern und Fußgängern bei der Straßenüberquerung in Abhängigkeit von der Anzahl wartender bzw. querender Fußgänger unterscheidet. Die Aufmerksamkeit der Fahrer gegenüber größeren Gruppen ist höher, die gefahrenen Geschwindigkeiten geringer und eine defensive Fahrweise ist insgesamt eher zu beobachten als bei einzelnen Fußgängern.

Bezüglich der Fehlverhaltensweisen von Fußgängern konnten verschiedene Studien Zusammenhänge mit der Gruppengröße bzw. der Anzahl weiterer Fußgänger feststellen. Rosenbloom (2009) stellt fest, dass die Häufigkeit von Rotlichtverstößen beim Überqueren der Straße mit zunehmender Anzahl weiterer Personen an der Ampelkreuzung sinkt. Gegenteilige Beobachtungen macht hingegen Harrell (1991). Im Rahmen dieser Studie wird von einer verringerten Vorsicht bei der Straßenquerung in Anwesenheit weiterer Personen berichtet. Harrell (1991) interpretiert dies vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verantwortungsdiffusion. Abschließend wird auf die Untersuchung von Guéguen und Pichot (2001) verwiesen. Die Autoren finden unter Rückgriff auf die Befunde von Lefkowitz, Blake und Mouton (1955) einen Zusammenhang zwischen dem Status eines Regelbrechers (hier Überquerung der Straße bei rot) und der Tendenz, diesen Regelbruch ebenfalls durchzuführen. Damit ist zu beachten, dass der Sicherheitseffekt durch das defensivere Fahren vor dem Hintergrund einer in der Nähe befindlichen, größeren Anzahl von Fußgängern, teilweise wiederum durch offensiveres und weniger eigensicherndes Verhalten der Fußgänger abgeschwächt werden kann.

Zusammenfassend kann zur Frage des Gruppenverhaltens festgestellt werden, dass sich bedeutsame Laufparameter zwischen Einzelpersonen und Individuen unterscheiden. Dies trifft sowohl für die Laufgeschwindigkeiten als auch für weitere Bewegungsparameter, wie Wartezeiten und Warteverhalten bei der Straßenüberquerung und die Interaktion mit Fahrern zu.

---

#### 5.1.4 Laufumgebung und situative Elemente

---

Wie in Abbildung 5-1 dargestellt, haben neben den personalen und sozialen Faktoren auch physikalische Umgebungsmerkmale einen Einfluss auf das Laufverhalten von Menschen. Verschiedene Veröffentlichungen zeigen, dass bspw. sowohl klimatische als auch tageszeitliche Eigenschaften der Laufumgebung als auch direkt laufumgebungsbezogene Merkmale (Bebauung, Art des Überwegs) einen Zusammenhang mit den menschlichen Bewegungsstrukturen aufweisen.

Der Zusammenhang klimatischer Merkmale mit dem Laufverhalten von Menschen wird mit jeweils unterschiedlichen Foki beispielsweise untersucht bei Rotton, Shats und Standers (1990), Harrell (1991), Knoblauch, Pietrucha und Nitzburg (1996), Aultman-Hall, Lane und Lambert (2009), Griswold, Fishbain, Washington und Ragland (2011), Li und Fernie (2010), Saelens, Sallis und Frank (2003), Brown, Werner, Amburgey und Szalay (2007), Clifton und Dill (2005), Muraleetharan et al. (2005), Nankervis (1999) und Martin (2006). In der Studie von Rotton, Shats und Standers (1990) zeigen sich deutliche Zusammenhänge zwischen der Außentemperatur und der durchschnittlich gelaufenen Geschwindigkeit. Die in drei Studien analysierten Zusammenhänge bleiben in ihrer Richtung und Stärke letztlich zwar uneindeutig, geben aber einen ersten Hinweis darauf, dass klimatische Umgebungseinflüsse zu einer Veränderung menschlicher Laufmuster führen können. Die Studie von Knoblauch, Pietrucha und Nitzburg (1996) untersuchte ebenfalls u.a. den Einfluss von Wetterbedingungen auf die Laufgeschwindigkeiten. Die Autoren finden einen signifikanten Effekt der Wetterbedingungen auf die Laufgeschwindigkeiten von Fußgängern, welcher sich insbesondere durch eine Geschwindigkeitsreduktion älterer Fußgänger im Falle von Schneefällen bestätigt. Eine detailliertere Analyse des situationsspezifischen Laufverhaltens und der Regelbefolgung im Falle einer mit einer Lichtanlage versehenen zweigeteilten Straße nehmen Li und Fernie (2010) vor. Die Autoren können ebenfalls einen Zusammenhang zwischen den jeweils herrschenden Wetterbedingungen und den Compliance-Raten (i.S.v. Straßenüberquerung mit bzw. entgegen der grünen Ampelphasen) nachweisen. Insgesamt zeigen sich in der Studie geringere Compliance-Raten bei kühleren Umgebungstemperaturen (41% bei Temperaturen zwischen  $-12,8^{\circ}\text{C}$  und  $6,0^{\circ}\text{C}$ ) im Vergleich zu wärmeren Temperaturen (54% bei  $>14,5^{\circ}\text{C}$ ). Die geringsten Compliance-Raten ergeben sich auch hier im Falle von Schneefall, sie liegen dann bei lediglich 3%. Li und Fernie (2010) schlussfolgern, dass Fußgänger bei geringeren Temperaturen schneller laufen und eher geneigt sind, bestehende Verkehrsregeln zu brechen (Beginn der Straßenüberquerung während der Rotphase). Etwas andere Ergebnisse finden diesbezüglich Muraleetharan, Meguro, Takeo, Hagiwara und Kagaya (2005). In ihrer Untersuchung zeigt sich zwar auch ein Einfluss des Wetters auf die Routenwahl und die Regelbefolgung, allerdings war hier die Bereitschaft zum regelwidrigen Überqueren der Straße bei Glatteis deutlich geringer als unter besseren Wetterbedingungen. Insgesamt zeigt diese Studie, dass sich das Routenwahlverhalten von Menschen in Abhängigkeit von den auf den jeweiligen Routen herrschenden Umgebungsbedingungen deutlich verändert.

Die umfangreiche Studie von Aultman-Hall, Lane und Lambert (2009) wurde mit dem Ziel durchgeführt, ein besseres Verständnis für saisonale und wetterbedingte Zusammenhänge mit dem Fußgän-

gerverhalten (hier insbesondere Dichte und Verhaltensunterschiede) zu erlangen. Für die Fußgängerdichte in Abhängigkeit von Wetterbedingungen können die Autoren nachweisen, dass Niederschlag zu einer Reduktion des stündlichen Fußgängeraufkommens von etwa 13% führt. Winterwetter reduziert das Aufkommen entsprechend um 16%. Nach Aultman-Hall, Lane und Lambert (2009) kann die zeitgleiche Betrachtung der Wettervariablen ca. 30% der Varianz des stündlichen Fußgängeraufkommens erklären. Insgesamt zeigen die vorliegenden Studien, dass die klimatischen Bedingungen durchaus einen Einfluss auf das Lauf- und Eigensicherungsverhalten von Personen ausüben. Es ist daher durchaus empfehlenswert, diese Variablen bei der Vorhersage des Laufverhaltens zu berücksichtigen.

Studien zum Zusammenhang der Tages- bzw. Jahreszeit und Fußgängerunfällen liegen beispielsweise vor von Griswold, Fishbain, Washington und Ragland (2011), Ferguson, Preusser, Lund, Zador und Ulmer (1995), Martin (2006) sowie Sullivan und Flannagan (2001). Martin (2006) stellt auf Basis von Literaturanalysen fest, dass eine höhere Anzahl von Fußgängerunfällen im Winter zu beobachten ist, was vor dem Hintergrund der geringen Laufexposition im Winter als wichtiges Ergebnis gewertet wird. Sullivan und Flannagan (2001) stellen auf Basis der systematischen Auswertung von Unfalldaten fest, dass die Unfallgefahr für Fußgänger während der Dunkelheit im Vergleich zur Tageszeit etwa dreifach erhöht und mit zunehmender Geschwindigkeit weiter zunimmt. Ferguson et al. (1995) stellen ebenfalls im Rahmen ihrer Studie fest, dass Lichtveränderungen mit deutlichen Veränderungen in den Fußgängerunfallzahlen einhergehen. Dies gilt sowohl für die Tag-Nacht-Wechsel (Anstieg) als auch für die Nacht-Tag-Wechsel (Rückgang). Ferguson et al. (1995) schlussfolgern, dass diese Unfallzahlenveränderungen einen Zusammenhang mit den Lichtverhältnissen aufweisen und berechnen einen Anstieg der Unfallzahlen von 300% für den Wechsel von Tageslicht zur Dämmerung. Griswold, Fishbain und Ragland (2011) widmen sich in ihrer Studie der Frage des Zusammenhangs zwischen Jahreszeiten, Lichtbedingungen und Fußgängerunfällen. Auch in dieser Studie wird festgestellt, dass in den ersten Stunden beginnend mit der Dämmerung die höchste Unfallgefahr für Fußgänger besteht. Die Autoren stellen fest, dass der Lichtwechsel von hell zu dunkel unabhängig von der Exposition zu diesen Zeiten einen eigenen Zusammenhang mit den Unfallzahlen aufweist. Die nachfolgenden Abbildungen wurden aus Griswold, Fishbain und Ragland (2011) entnommen und verdeutlichen nochmals die umrissenen Zusammenhänge.

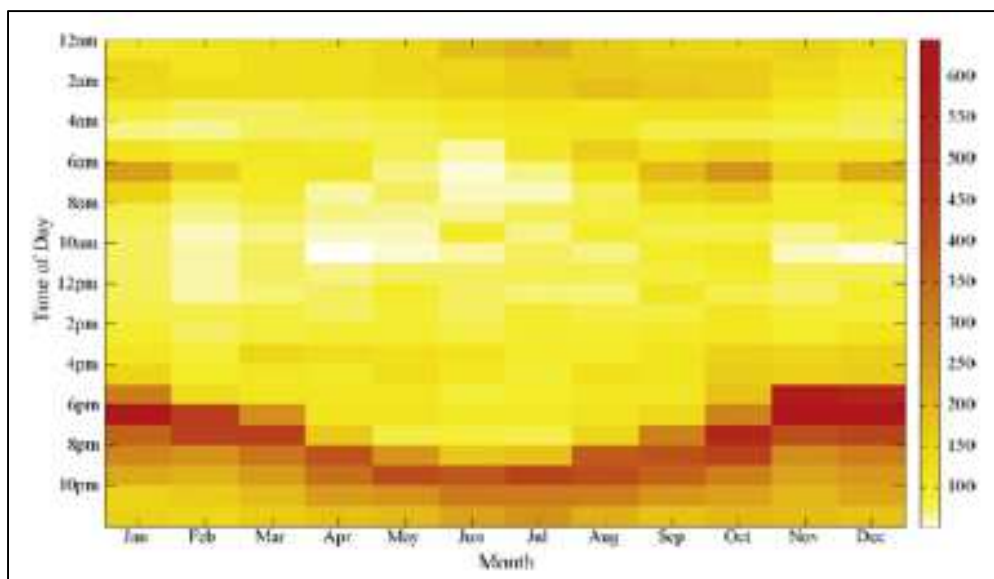


Abbildung 5-7. Tödliche Fußgängerunfälle nach Monat und Tageszeit (aus Griswold, Fishbain und Ragland, 2011)

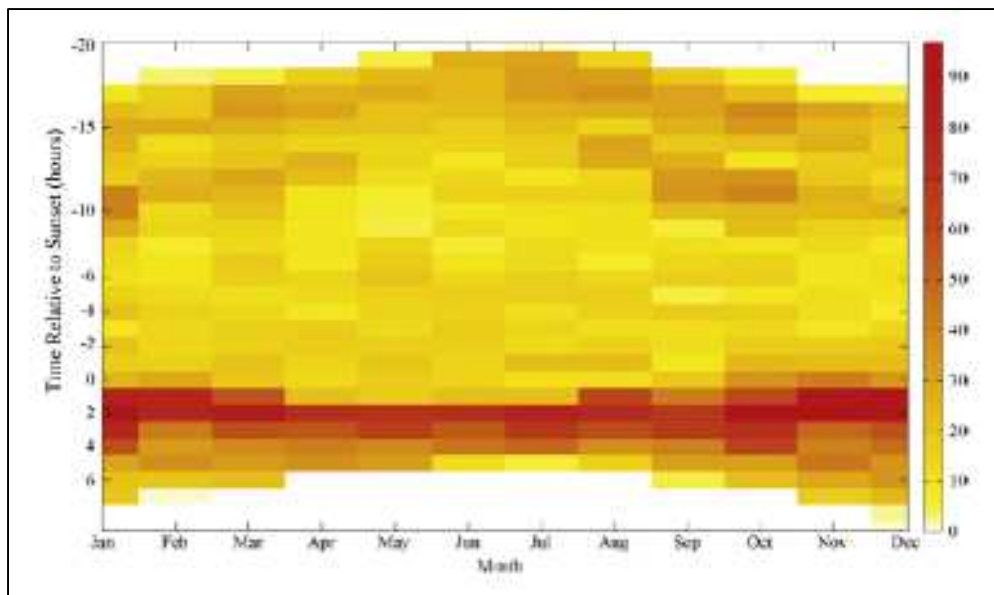


Abbildung 5-8. Tödliche Fußgängerunfälle nach Monat und Tageszeit (relativ zum Sonnenaufgang; aus Griswold, Fishbain und Ragland, 2011)

Die weitere Analyse des Zusammenhangs unterschiedlicher umgebungsbezogener Merkmale mit dem Laufverhalten von Menschen erfolgt in einer Vielzahl von Studien mit erheblich divergierenden Schwerpunkten. Im Folgenden werden einige dieser Analysen zusammenfassend und sortiert vorgestellt.

In der Studie von Finnis und Walton (2008) wurden verschiedene personennahe und umgebungsbezogene Faktoren mit den jeweils gemessenen Laufgeschwindigkeiten in Zusammenhang gebracht. Die Autoren finden hier sowohl Geschwindigkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Städten, Unterschiede in Abhängigkeit von der Steigung bzw. dem Gefälle der jeweiligen Laufwege und Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Personen auf dem Weg zur Arbeitsstelle (Pendler). Für die unterschiedlichen Steigungswinkel ergibt sich ein parabolischer Trend bei den Laufgeschwindigkeiten. Die Laufgeschwindigkeiten liegen wie zu erwarten bergab über denen von Läufen bergauf. Die deutlich höhere Laufgeschwindigkeit von Personen auf dem Weg zur Arbeit und deren deutlich häufigerer Transport von Taschen o.ä. sind vor dem Hintergrund der FRAMES-Studie interessant.

Granié, Branac, Montel, Millot und Coquelet (2014) versuchen in ihrer Studie die Umweltfaktoren zu identifizieren, welche bei Fußgängern zur Wahrnehmung von Sicherheit und Annehmlichkeit führen und die Art der Straßenüberquerung beeinflussen. Sie nehmen dabei an, dass verschiedene Elemente der bebauten Umwelt die Informationsaufnahme und die Überquerungsentscheidung der Fußgänger beeinflussen. Im Ergebnis stellen die Autoren fest, dass die Frage, ob Straßen als sicher und angenehm bewertet und letztlich auch überquert werden, in erheblichem Maße von den konkreten Umweltgegebenheiten abhängen. Je nach Umgebung (Innenstadt, Vorort, ländliche Gegend) werden sehr unterschiedliche Sicherheitsbeurteilungen abgegeben und Überquerungsentscheidungen getroffen.

Eine detailliertere Analyse des Überquerungsverhaltens im Zusammenhang mit der Art des Fußgängerüberweges bieten Khatoon, Tiwari und Chatterjee (2013), sowie Li und Fernie (2010). In beiden Studien wird das Überqueren von Straßen mit Fußgängerinseln untersucht. Li und Fernie (2010) können nachweisen, dass das Überqueren von Straßen mit Fußgängerinseln an Überwegen mit Lichtan-



lagen mit einem verringerten Eigensicherungsverhalten der Fußgänger einhergeht, d.h. dass ein relevanter Anteil der beobachteten Personen das vorgesehene Verhalten (loslaufen in Grünphase, warten auf der Mittelinsel wenn Ampel rot) bis zum Erreichen der Mittelinsel bzw. bis zum Erreichen der gegenüberliegenden Seite nicht zeigt. Khatoon, Tiwari und Chatterjee (2013) untersuchen den Zusammenhang zwischen dem Fußgängerverhalten und dem Bau einer Fußgängerinsel bei gleichzeitigem Abbau der Signalanlagen. Sie stellen fest, dass sich das Überquerungsrisiko für die Fußgänger erhöht, da sie nun einem kontinuierlichen Verkehrsstrom ausgesetzt sind. Die Autoren stellen weiterhin fest, dass sich nach dem Bau der Insel die Variabilität der Fahrzeuggeschwindigkeiten erhöht, das Risikoverhalten der Fußgänger zunimmt, sich die Wartezeiten der Fußgänger vor der Straßenüberquerung ebenfalls verlängern und die Anzahl selbstgefährdender Straßenüberquerungen zunehmen.

Miranda-Moreno, Morency und El-Geneidy (2011) spezifizieren den Zusammenhang zwischen der Art der bebauten Umgebung und dem Fußgängerverhalten und stellen fest, dass der Zusammenhang sich vor allem zwischen der Umgebung und der Fußgängeraktivität, weniger mit der Unfallhäufigkeit ergibt. Im Rahmen ihres Modellansatzes finden Miranda-Moreno, Morency und El-Geneidy (2011), dass bestimmte Umgebungsmerkmale einen starken positiven Zusammenhang mit der Fußgängeraktivität aufweisen. Diese Merkmale sind bspw. die Populationsdichte, kommerzielle Landnutzung, Anwesenheit von Metrostationen und Bushaltestellen, Anzahl der Schulen bzw. Arbeitsstellen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Saelens, Sallis und Frank (2003).

Zusammenfassend kann für den Zusammenhang von Umgebungsbedingungen mit dem Laufverhalten festgestellt werden, dass sich diese für einzelne Umgebungselemente deutlich zeigen. Dies trifft sowohl für klimatische und tages- bzw. jahreszeitliche Bedingungen, aber auch insbesondere für bauliche Aspekte der Laufumgebung zu.

---

### 5.1.5 Ergänzung: Fußgängerfehlverhalten und Fußgängerunfälle

---

In verschiedenen Veröffentlichungen werden die Zusammenhänge mit Fehlverhaltensweisen von Fußgängern bzw. die Zusammenhänge mit Fußgängerunfällen diskutiert. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Unfallentstehung häufig durch Fehlverhalten der Fußgänger mitverursacht wird. Um die Frage nach der Art dieser Verhaltensweisen zu beantworten, werden im Folgenden entsprechende Studien vorgestellt und diskutiert.

In der Studie von Cinnamon, Schuurman und Hameed (2011) wurden an sieben verschiedenen innerstädtischen Kreuzungsbereichen Beobachtungen des Fußgänger- und Fahrerverhaltens durchgeführt. Inhaltliche Schwerpunkte der Beobachtungen bilden dabei die Fehlverhaltensweisen von Fußgängern und Fahrern. Generell zeigen sich zwischen den unterschiedlichen ortsbezogenen Beobachtungspunkten erhebliche Unterschiede in den konkreten Fehlverhaltensweisen, was für eine Mitbeeinflussung des Laufverhaltens durch Umgebungsparameter spricht. Insgesamt konnte in dieser Studie festgestellt werden, dass 21,9% der beobachteten Fußgänger mindestens ein regelwidriges bzw. selbstgefährdendes Verhalten zeigten. Die Verteilung der unterschiedlichen Fehlverhaltensweisen über die beobachteten Standorte zeigt die nachfolgende Grafik.

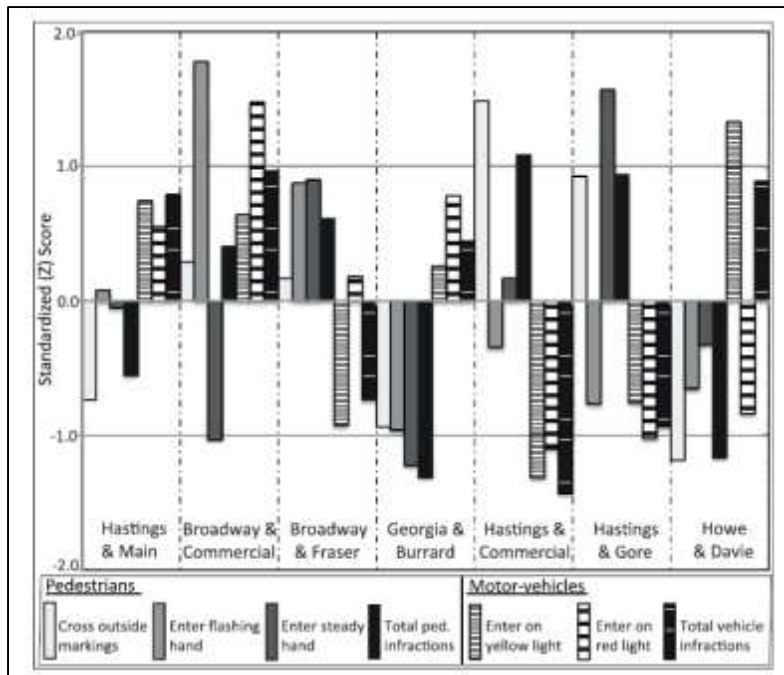


Abbildung 5-9. Z-Werte für beobachtete Fehlverhaltensweisen von Fußgängern und Autofahrern (Werte über >1 zeigen an, dass die entsprechenden Beobachtungshäufigkeiten über dem Mittelwert über alle Beobachtungsorte liegen; Werte <1 vice versa; aus Cinnamon, Schuurman und Hameed, 2011)

Zegeer, Nabors, Gelinne, Lefler und Bushell (2010) fassen die Unfalltypen unter Beteiligung von Fußgängern auf Basis der Traffic Safety Facts (FARS, 2008) der National Highway Traffic Safety Administration wie in Tabelle 5-4 aufgeführt, zusammen. Die Verteilungen der hier zusammen gefassten Unfallursachen verdeutlichen nochmals die Zusammenhänge zu nicht angemessenen Fußgängerverhaltensweisen, wie unangemessenes Überqueren von Straßen, fehlende Sichtbarkeit von Fußgängern oder das schnelle Laufen bzw. Rennen in den Straßenbereich.

Tabelle 5-4. Unfallursachen nach Zegeer, Nabors, Gelinne, Lefler und Bushell (2010)

Crash Type	Number	Percent**†
Improper crossing of roadway or intersection	831	19.0
Walking, playing, working, etc. in roadway	842	19.2
Failure to yield right of way	741	16.9
Not visible	479	10.9
Physical impairment	617	14.1
Darting or running into road	480	11.0
None reported	1506	34.4
Other factors	448	10.3

In einer weiteren Veröffentlichung analysieren Zegeer und Bushell (2012) die weltweiten Entwicklungen bei Fußgängerunfällen und stellen zusammenfassend fest, dass eine Vielzahl von Faktoren die Unfallgefahr von Fußgängern beeinflussen. Die entsprechende Übersicht über diese Faktoren findet sich in der folgenden Abbildung 5-10. Diese entspricht weitestgehend den im Rahmen der FRAMES-Literaturanalysen ausgewerteten Zusammenhangsebenen (vgl. Abbildung 5-1) des menschlichen Lauf und Bewegungsverhaltens.



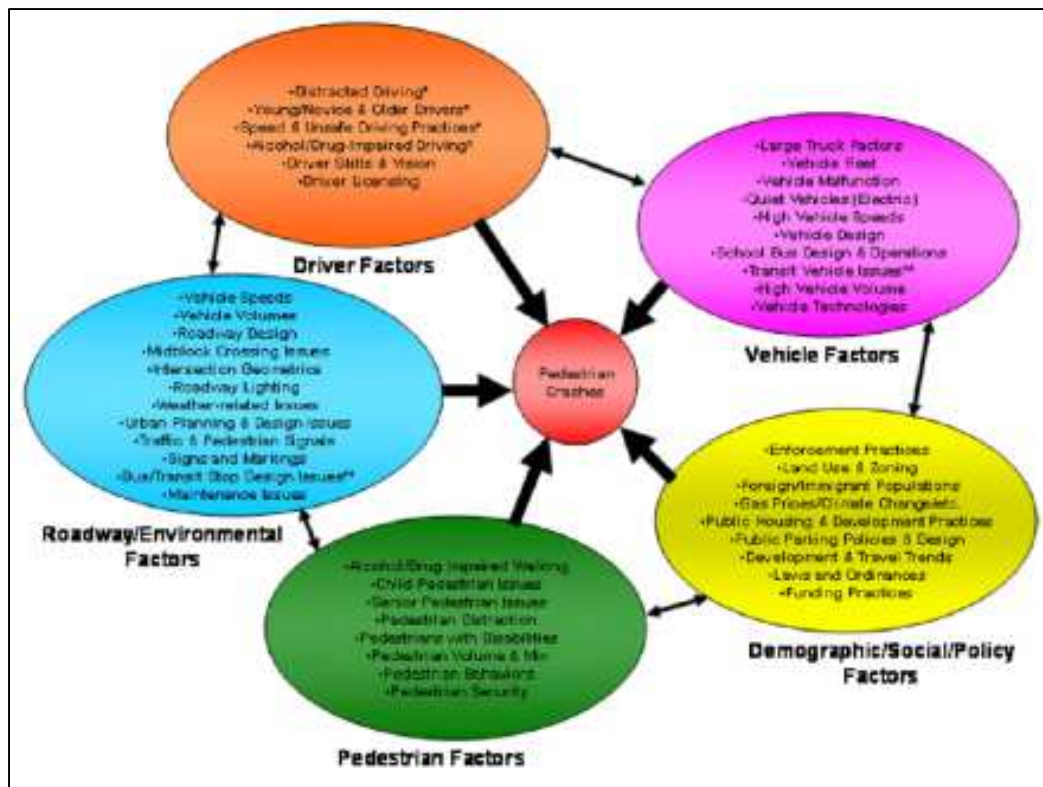


Abbildung 5-10. Zusammenhängefaktoren mit dem Unfallrisiko von Fußgängern (aus Zegeer und Bushell, 2012)

Die Studie von Delmelle, Thill und Ha (2012) untersucht das relative Risiko von Fußgänger- bzw. Fahrradunfällen. Auf Basis von geokodierten Unfalldaten aus den Jahren 2003-2004 ( $N_{\text{Fahrrad}}=279$ ;  $N_{\text{Fußgänger}}=268$ ) und unter Hinzunahme einer Vielzahl unabhängiger Variablen (z.B. sozio-demographische Variablen, örtliche Bebauung, örtliche Verkehrsmerkmale) wurden Zusammenhangsanalysen mit der Unfallentstehung berechnet. Delmelle, Thill und Ha (2012) stellen zusammenfassend fest, dass die Merkmale der direkten Umgebung klare Zusammenhänge mit der Unfallart aufweisen. Insbesondere Unterschiede in der Häufigkeit zwischen Fahrrad- und Fußgängerunfällen ließen sich in dieser Analyse mit den Eigenschaften der unmittelbaren Umgebung in Zusammenhang bringen.

Gitelman, Balasha, Carmel, Hendel und Pesahov (2012) analysieren in ihrer Studie Fußgängerunfälle in Israel und bestimmen zunächst das örtliche Aufkommen und vergleichen das Aufkommen mit internationalen Vergleichswerten. Abschließend bringen sie die Unfälle vor allem mit Infrastrukturmerkmalen in Verbindung. Zunächst stellen die Autoren auch in ihrer Studie fest, dass 95% der nicht-tödlichen und 75% der tödlichen Unfälle im städtischen Bereich stattfinden. Wie weiterhin zu erwarten, ereignen sich 77% aller nicht-tödlichen und 81% aller tödlichen Unfälle beim Versuch der Straßenüberquerung. Gitelman et al. (2012) stellen weiterhin fest, dass 49% der tödlichen Unfälle bei der Straßenüberquerung an nicht gekennzeichneten Straßenabschnitten erfolgen, während weitere 22% an Fußgängerüberwegen ohne Lichtsignalanlagen festzustellen sind. Eine auf die Oberflächenanalyse aufsetzende Unfallmusteranalyse von Gitelman et al. (2012) kann in der folgenden Übersicht nachvollzogen werden.

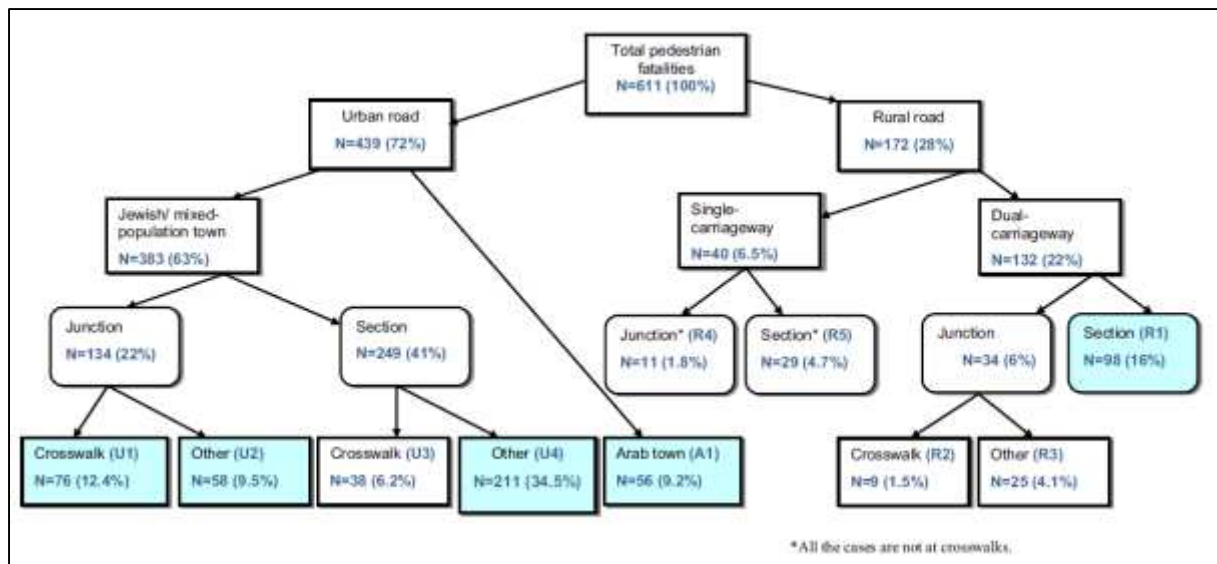


Abbildung 5-11. Unfallmuster tödlicher Unfälle in Israel 2003-2006 (aus Gitelmann et al., 2012)

Die in diesem Abschnitt zusammenfassend geschilderten Arbeiten zeigen, dass Fußgängerunfälle häufig auch aufgrund von wiederholt zu beobachtenden Fehlverhaltensweisen der Fußgänger zustande kommen, die jedoch wiederum von den zuvor aufgeführten Einflussfaktoren auf das Lauf- und Bewegungsverhalten geprägt werden. Damit stellen diese Studien einen unterstützenden empirischen Nachweis der geschilderten Zusammenhänge dar. Bei diesen Fehlhandlungen handelt es sich beispielsweise um das schnelle Überqueren von Straßen ohne angemessene initiale Wartezeit, das Queren an nicht dafür vorgesehenen Stellen, das Auswählen nicht hinreichender Lücken zwischen Fahrzeugen, das nicht ausreichende Orientieren über die Verkehrssituation und das Ausführen von aufmerksamkeitsabsorbierenden Parallelhandlungen. Bezogen auf die räumlichen Gegebenheiten ist deutlich geworden, dass sowohl unmittelbare bauliche Gegebenheiten, die Verkehrsdichte die gefahrenen Geschwindigkeiten und die Art der Straßenüberquerung (z.B. Überweg ja/nein) eine erhebliche Rolle in der Unfallentstehung von Fußgängern spielen. Das damit insgesamt geschilderte und aufgearbeitete multifaktorielle Bedingungsgefüge von Unfällen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern wird im Rahmen der Systementwicklung des FRAMES-Projektes beachtet, weiteres Augenmerk sollte darauf liegen, ob die geschilderten direkt beobachtbaren Verhaltensvariablen dazu geeignet sind, die Vorhersagequalität des Prognosealgorithmus zu verbessern.

### 5.1.6 Bewegungsmodelle und Bewegungsvorhersage

Die Beschreibung und Vorhersage des Lauf- und Bewegungsverhaltens von Fußgängern ist ein stark bearbeitetes Thema mehrerer Fachrichtungen, das auf Basis unterschiedlicher theoretischer Ausgangspunkte erfolgt und von makroskopischen Erklärungs- und Vorhersageansätzen von größeren Menschenansammlungen bzw. menschlichen Bewegungsströmen bis zu mikroskopischen Modellen des individuellen Lauf- bzw. Straßenüberquerungsverhaltens reicht. Eine zusammenfassende Übersicht über die Vielzahl von Modellen und Ansatzpunkten liefert u.a. ein Review von Papadimitriou, Yannis und Golias (2009). Die Autoren stellen fest, dass der Großteil der vorliegenden Modelle entweder auf die Prozesse der Routenwahl oder das Straßenüberquerungsverhalten fokussieren. Die Modelle der Routenwahl greifen dafür vorrangig auf mikro- bzw. makroskopische Simulationstechniken zurück und haben v.a. den Entscheidungsfindungsprozess vor dem Hintergrund von Gruppen- oder Massenbewegungen an Engstellen, im Rahmen bidirektionaler Bewegungen oder Bewegungs-

entscheidungen in Staustituationen zum Thema. Papadimitriou, Yannis und Golias (2009) fassen für diese Modellgruppe zusammen, dass diese sich den Schwerpunkten Menschenansammlungen und Evakuierungsdynamiken widmen, wohingegen die Interaktionen zwischen Fußgängern und dem Verkehrsgeschehen nur selten betrachtet werden. Demgegenüber beschäftigen sich Modelle des Straßenüberquerungsverhaltens mit der Entscheidungsfindung vor Straßenüberquerungen in Abhängigkeit von der Zeit oder dem jeweiligen Ort, u.a. auf Basis der Gap Acceptance Theory oder der Utility-Theory. Methodische Ansatzpunkte sind v.a. probabilistische bzw. deterministische Modelle, vorrangig basierend auf ortsspezifischen Beobachtungsdaten. Für diese Modellgruppe schlussfolgern Papadimitriou, Yannis und Golias (2009), dass die existierenden Modelle unterschiedliche Aspekte des Querungsverhaltens von Fußgängern betrachten, die meisten allerdings jeweils lediglich ausgewählte Determinanten zur Vorhersage aufnehmen. Weiter fassen Papadimitriou, Yannis und Golias (2009) die Befundlage dahingehend zusammen, dass die entsprechenden Veröffentlichungen weniger die Modellentwicklung (dazu bspw. Rudloff, Mayus, Seer und Bauer, 2011) als vielmehr den Vergleich unterschiedlicher Fußgängergruppen bzw. ihres Querungsverhaltens zum Thema haben. Weitere Merkmale der Studien sind die analytischen Beschränkungen auf einzelne Straßenabschnitte, Kreuzungsbereiche oder Überwege, wohingegen eine Analyse auf Ebene des gesamten Laufweges (trip-level) oder aber der Vergleich hinsichtlich Auswahl und Verhalten, zwischen verschiedenen Querungsorten eher selten vollzogen wird. In Reaktion auf die Modellsituation propagieren Papadimitriou, Yannis und Golias (2009) in Analogie zum Fahrerverhalten (bspw. Michon, 1985) als Ausgangspunkt eine hierarchische dreistufige Struktur zur Analyse des Fußgängerverhaltens (vgl. Abbildung 5-12).

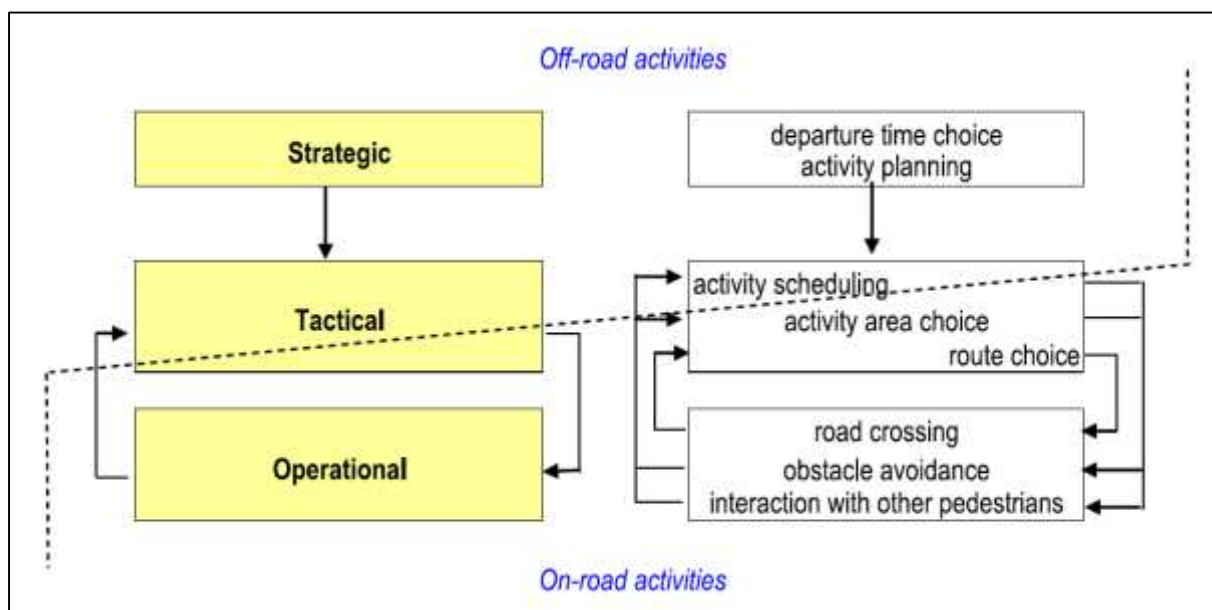


Abbildung 5-12. Ausgangspunkt für die Modellentwicklung zum Fußgängerverhalten (aus Papadimitriou, Yannis und Golias, 2009)

Die Autoren unterteilen die Fußgängeraktivitäten in drei Ebenen (siehe auch Airlaut, Espie, Lattaud und Auberlet, 2004). Auf der obersten, der strategischen Ebene werden grundsätzliche Entscheidungen vor dem Beginn des Laufs getroffen (off-road decisions). Die taktische Ebene umfasst die Aktivitätsplanungen, die Auswahl der Laufumgebung und die Routenwahl. Sie beinhaltet sowohl Entscheidungen vor dem Beginn des Laufs, als auch Entscheidungen währenddessen. So kann beispielsweise die Entscheidung über eine Laufroute aufgrund situativer Einflüsse nochmals während des Laufs angepasst werden. Die operationale Ebene beinhaltet die eigentliche Laufaufgabe und beinhaltet alle direkt laufbezogenen Entscheidungen während des Laufens. Diese Ebene beinhaltet nach Papadimitriou,

riou, Yannis und Golias (2009) eine Vielzahl von Komponenten, wie bspw. die Vermeidung von Hindernissen, die Interaktion mit anderen Fußgängern und letztlich auch die Straßenüberquerung. Die Autoren gehen weiter davon aus, dass die Ebenen miteinander im Austausch stehen und sich gegenseitig beeinflussen und schlussfolgern, dass für eine hinlängliche Erklärung und Vorhersage des Laufverhaltens die drei Entscheidungsebenen in die Modellgestaltung integriert und sämtliche relevanten Bedingungsfaktoren aufgenommen werden müssen.

Letztlich und wie u.a. auch von Papadimitriou, Yannis und Golias (2009) festgestellt, existieren eine Vielzahl von Modellen zur Erklärung und Vorhersage des Fußgängerverhaltens mit jeweils unterschiedlicher Entwicklungsmethodik, Vorhersagereichweite und Gültigkeit. Dazu zählen die Discrete-Choice-Ansätze (bspw. Antonini, Bierlaire und Weber, 2004; Robin, Antonini, Bierlaire und Cruz, 2009), Simulationsmodelle mit Rückgriff auf die Idee zellulärer Automaten (Borgers und Timmermans, 1986; Blue und Adler, 2001, Burstedde, Klauck, Schadschneider und Zittarz, 2001; Weifeng, Lihong und Weicheng (2003); Xi und Son, 2012), die sogenannten Social-Force-Modelle (Seyfried, Steffen, Lippert, 2006; Xi und Lee, 2010) und Ansätze, welche sich zur Vorhersage des Bewegungsverhaltens von Fußgängern sogenannter Markov-Ketten (Wakim, Capperon, Oksman, 2004; Asahara und Sato, 2011) bedienen. Die darüber hinaus bereits erwähnten Modelle auf Basis der Theorie des geplanten Verhaltens (Diaz, 2002; Evans und Norman, 1998) und weitere Modelle zu Einzelaspekten des Laufverhaltens (Hamed, 2001; Osaragi, 2004; Alhajyaseen, Asano, Nakamura, 2012; Pingel, 2010) sind ebenfalls zu erwähnen. Insgesamt kann bezugnehmend auf Papadimitriou, Yannis und Golias (2009) festgestellt werden, dass einige Modelle für die von FRAMES intendierten Einsatzbereiche verwendet werden kann. Diese Modelle bieten interessante Ansatzpunkte, die sich insbesondere auf die Vorhersage des Bewegungsverhaltens aus den Bewegungsdaten von Personen beziehen. Diese Arbeiten wurden und werden im Rahmen der Projektarbeit detaillierter untersucht. Zu diesen Ansätzen zählen bspw. die Arbeiten von Wakim, Capperon, Oksman (2004) und Asahara und Sato (2011) zur Vorhersage des Laufverhaltens mittels sogenannter Markov-Ketten, die Arbeit von Keller, Hermes und Gavrilla (2011) zur Kurzzeitvorhersage von Fußgängerbewegungen aus sichtbaren Verhaltenshinweisen, Tiemann (2012) zur Situationsanalyse aktuellen Fußgängerverhaltens und Bewegungsvorhersage.

5.1.7 Zusammenfassung Literaturanalyse zum menschlichen Laufverhalten

Im Rahmen der Literaturanalysen ist deutlich geworden, dass das menschliche Laufverhalten ein komplexes Themen- und Forschungsgebiet darstellt. Für eine Vielzahl von Faktoren innerhalb und außerhalb der laufenden Person konnten Zusammenhänge mit der Entscheidungsfindung und dem konkreten Verhalten nachgewiesen werden. Es kann begründet davon ausgegangen werden, dass alle in Abbildung 5-13 dargestellten Ebenen die Entscheidungsfindung und das allgemeine sowie das situationsspezifische Verhalten von Fußgängern beeinflussen. Im Rahmen des weiteren Verlaufs der zweiten Phase des FRAMES-Projektes werden daher weitere Analysen und Hierarchisierungen dieser Elemente vorgenommen, um letztlich relevante Vorhersageelemente zu identifizieren und die genauere Vorhersage des Laufverhaltens zu ermöglichen.

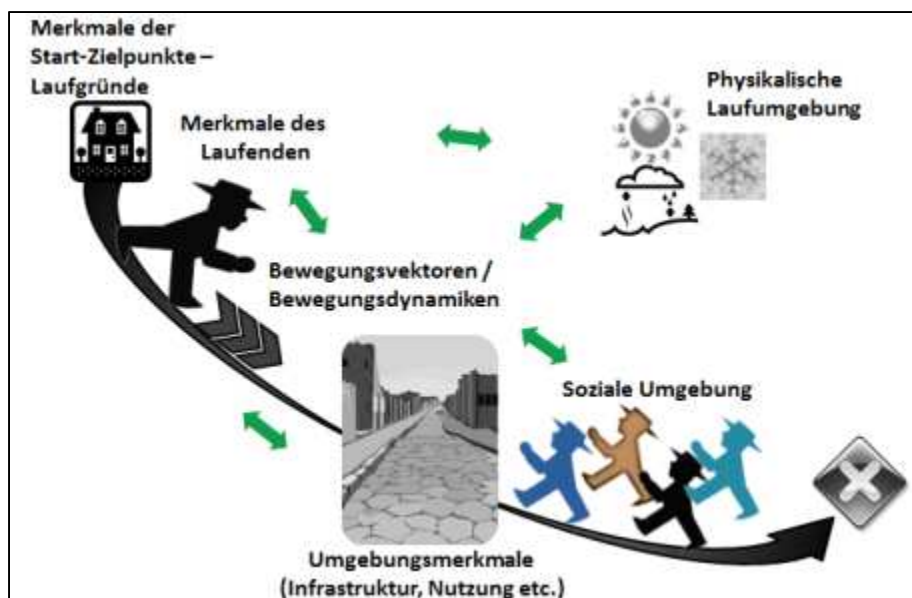


Abbildung 5-13. Zusammenhangsebenen und –faktoren mit den Lauf- und Bewegungsverhalten von Fußgängern

---

## 5.1.8 Tracking/Positionierung

---

### 5.1.8.1 Anforderungen an das Positionierungssystem

Da sich FRAMES mit der Unfallvermeidung bei VRUs beschäftigt ist es von Nöten ein hoch präzises Ortungssystem zu entwickeln, dessen Ungenauigkeiten und Fehlertoleranzen möglichst gering sind. Hierbei spielt die Genauigkeit der absoluten Position nur eine kleinere Rolle, während die relative Positionierung zwischen zwei Verkehrsteilnehmern das Hauptaugenmerk darstellt.

Zusätzlich soll das System ohne großen finanziellen Mehraufwand betrieben werden können und als einfacher Nachrüstsatz verfügbar sein, der mit geringem Aufwand in jede Art von Fahrzeug eingebaut und auf Seiten der schwächeren Verkehrsteilnehmer handhabbar genutzt werden kann.

Die Ortung der VRUs soll unabhängig von Sichthindernissen möglich sein, so dass sich Unfälle mit Herausgetreten aus einer Verdeckung abdecken lassen.

#### 5.1.8.1.1 RELATIVE POSITIONIERUNG

---

Unter relativer Positionierung werden hier alle Systeme zusammengefasst, die die Position eines VRUs in Relation zu einem anderen Verkehrsteilnehmer bestimmen. Damit fallen Systeme wie Rückfahrkameras und Abstandssensoren in diese Kategorie.

Während diese Systeme eine hohe Präzision vorweisen, sind sie verhältnismäßig teuer und lassen sich nur mit großem Aufwand in die Fahrzeuge integrieren. Außerdem sind gerade optische Ortungsmöglichkeiten immer an eine Sichtverbindung gebunden, so dass sich diese für die hier gestellten Anforderungen direkt ausschließen.

#### 5.1.8.1.2 ABSOLUTE POSITIONIERUNG

---

Die Absolute Positionierung umfasst jegliche Art der Positionsbestimmung, die sich unabhängig zu anderen Verkehrsteilnehmern in einem festen Referenzsystem aufbauen lässt. Somit lassen sich Global Navigation Satellite Systems (GNSS) in diese Kategorie einordnen.

GNSS sind global verfügbar und mit günstigen Empfängern auszuwerten. Moderne mobile Kommunikationsgeräte wie Laptops, Tablets oder Smartphones verfügen meist direkt über integrierte Empfänger für GPS oder lassen sich kostengünstig mit einem solchen ausrüsten. Auch Fahrzeuge verfügen heute vermehrt über GPS-Empfänger, die zur Navigation genutzt werden.

Neben Satellitennavigationssystemen gibt es noch Funknavigationssysteme. Diese werden jedoch meist in der Schiff- oder Luftfahrt eingesetzt und sind weder flächendeckend verfügbar noch lassen sie sich kosteneffizient für FRAMES aufbauen.

Aufgrund der hohen Verfügbarkeit des Systems und der Möglichkeit einer kostengünstigen Nachrüstung von Empfängern, wurde sich im Rahmen von FRAMES für ein GNSS basiertes Positionierungssystem entschieden.

---

### 5.1.8.2 Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS setzen sich in Europa aus drei grundlegenden Systemen zusammen, die alle von der Grundfunktionalität gleich sind, sich allerdings in den Bereichen Ausbau und Abdeckung unterscheiden. Bei diesen drei Systemen handelt es sich um GPS, GLONASS und Galileo. Im Anschluss wird erläutert, welches System für FRAMES gewählt wurde und wieso diese Wahl getroffen wurde.

In allen Systemen wird die gesuchte Position in Bezug zu einem Satellitensystem bestimmt. Hierbei übermitteln die Satelliten ihre Position, die Uhrzeit und Laufbahninformationen an den entsprechenden Empfänger. Dieser kann dann mittels der empfangenen Daten, genauer der übermittelten Zeit, die Entfernung zum Satelliten berechnen. Befindet sich der Empfänger nun im Empfangsbereich von drei Satelliten, kann er einen „2D fix“ berechnen. Hierbei lässt sich nur die Position auf einer theoretisch flachen Erdoberfläche berechnen, der Empfänger wird also auf Normal Null (Meereshöhe) gesehen. Befindet sich der Empfänger nun im Empfangsbereich von vier oder mehr Satelliten, lässt sich auch die Höhe berechnen und der Empfänger hat einen sogenannten „3D fix“. Durch wiederholte Positionsbestimmungen lassen sich die Distanzen zu den jeweils vorherigen Positionsbestimmungen ermitteln, womit dann wiederum die Richtung, Geschwindigkeit und Beschleunigung des Empfängers berechnet werden kann.

Mittels dieser Positionierungstechnik lässt sich die Position mit einer Genauigkeit im einstelligen Meterbereich bestimmen. Während dies für die hier gestellten Anforderungen nicht ausreichend ist, gibt es jedoch Methoden und Techniken, die Genauigkeit auf ein ausreichendes Maß zu verbessern.

### **Global Positioning System - GPS**

GPS stellt das heute bekannteste und auch am weitesten ausgebaute System dar. Die Entwicklung des Systems begann 1972 und seit 1993 hat es seine volle Betriebsbereitschaft erreicht. Während das System ursprünglich für militärische Zwecke entwickelt wurde, hat sich noch vor Inbetriebnahme der zivile Nutzen des Systems herausgestellt, weswegen es als duales System benutzt wird. Da sich mit Hilfe von Basisstationen und Korrektursignalen die Genauigkeit des zivil nutzbaren Teils des Systems bis auf wenige Zentimeter verbessern lässt, wurde die Selective Availability eingeführt. Hierbei wird das GPS Signal mit einem künstlichen Rauschen versehen, was die Genauigkeit in den dreistelligen Meterbereich verschlechtert. Dieses künstliche Rauschen wurde jedoch im Jahr 2000 abgeschaltet, wodurch sich die Genauigkeit des Systems um den Faktor zehn verbesserte. Durch kontinuierliche Weiterentwicklungen und Ausbautätigkeiten hat sich die Positionierung bis heute noch weiter verbessern, was dazu geführt hat, dass die Genauigkeit von GPS mittlerweile bei zehn bis dreizehn Metern liegt.

Das Global Positioning System - GPS benutzt fünf Frequenzen für verschiedenste Funktionen und Informationen (L1-L5). Die zwei für die Ortung wichtigsten Frequenzen sind momentan L1 (1575,42 MHz) und L2 (1227,60 MHz). Auf der L1 Frequenz liegen alle Informationen die zur Positionsbestimmung benötigt werden. Auf der L2 Frequenz liegen nur zusätzliche, genauere Informationen für die Positionierung, die nur von Zweifrequenzempfängern ausgelesen werden können. Da dieses genauere Signal militärischen Nutzen hat und es vor gewollten Störeinflüssen geschützt werden soll, wird es nur verschlüsselt übertragen.

### **Positionsbestimmung**

Zur Positionsbestimmung werden, wie zuvor erwähnt, die Entfernungen zu den Satelliten berechnet. Dies erfolgt durch das Vergleichen des Sendezeitstempels, das vom Satelliten in das Signal eingebaut wird, und dem Zeitstempel des Signalempfangs. Die durchschnittliche Zeit zwischen Senden des Satelliten und Erreichen des Empfängers liegt bei 0,07 Sekunden. Es zeichnet sich ab, dass für eine genaue Positionsbestimmung eine möglichst genaue Zeitbestimmung essentiell ist. Die GPS-Satelliten verfügen deshalb über Atomuhren, die redundant aufgebaut sind. Da normale GPS-Empfänger jedoch nicht über Atomuhren verfügen, ist die Zeit, die dieser selbst berechnet, im Vergleich sehr ungenau. Durch diese Ungenauigkeit in der Zeitbestimmung wird somit auch die berechnete Entfernung



zum Satelliten unpräziser. Solange diese Ungenauigkeit noch nicht aus der Entfernung heraus gerechnet ist, wird diese als Pseudo-Range bezeichnet. Erreichen nun den Empfänger die Signale von drei Satelliten, kann er aus den Pseudo-Ranges zu den verschiedenen Satelliten den Zeitfehler errechnen und seine interne Uhr auf die Atomuhren der Satelliten synchronisieren. Damit wird die Pseudo-Range zur eigentlichen Range und der Empfänger hat die genaue Entfernung zum Satelliten. Mit Hilfe dieser drei Satelliten kann der Empfänger nun seine Position auf der zweidimensional aufgespannten Erdoberfläche berechnen. Dies ist möglich, da er den Erdmittelpunkt, dessen Position und Entfernung bekannt ist, als vierten Satelliten nutzt und sich immer in einer Entfernung von 6360 km zu diesem befindet. Somit sieht der Empfänger sich immer auf Meereshöhe, was allerdings bei größeren Höhenunterschieden zu Fehlern bei der Positionierung führen kann.

### **Probleme und Nachteile von GPS**

Die Nutzung von GPS ist allerdings mit einigen Problemen behaftet, für die es jedoch mehr oder minder kostenaufwendige Lösungen gibt. Zum ersten dauert es zu Beginn der Positionsbestimmung eine gewisse Zeit, bis die Position wirklich genau ist. Dies hängt meist mit veralteten Bahndaten der Satelliten zusammen. Jeder Empfänger verfügt über einen sogenannten Almanach, welcher die Bahndaten aller GPS-Satelliten beinhaltet. Dieser Almanach ist unter anderem Teil des von den Satelliten ausgestrahlten GPS Signals. Bahndaten sind meist nur für vier Stunden aktuell, müssen also relativ häufig aktualisiert werden. Die Übertragungslänge der von den Satelliten ausgesendeten Informationen beträgt ca. 12 Minuten. Im schlimmsten Fall muss der Empfänger einen kompletten Nachrichtenzyklus warten bis er alle Informationen erhalten hat. Dieses Problem lässt sich mit Assisted-GPS umgehen. Hierbei werden die Bahninformationen der Satelliten über eine bestehende Datenverbindung heruntergeladen, so dass der Empfänger nicht auf die Daten aus der recht langsamen GPS-Verbindung (50bit/s) warten muss.

A-GPS übermittelt auch einen gültigen Zeitstempel, so dass sich der Empfänger deutlich schneller auf die Zeitstempel der Satelliten synchronisieren kann.

Das Satellitensignal wird durch physikalische Begebenheiten stark beeinflusst. Den größten Fehlerfaktor erzeugt hierbei die Ionosphäre der Erde. Der Atmosphärenteil verzögert das Signal merklich, wodurch es zu deutlichen Laufzeitunterschieden kommen kann. Trotz dessen, dass die Sendefrequenzen von GPS speziell so gewählt wurden, dass sie möglichst resistent gegen diese Störungen sind, kann die Genauigkeit der Positionsbestimmung deutlich schwanken. GNSS Augmentation Systems übermitteln aktuelle Ionosphären Daten an die Empfänger und bieten somit eine Möglichkeit diese Ungenauigkeiten auszugleichen.

#### **5.1.8.2.1 GLONASS**

---

Bei GLONASS handelt es sich um ein sowjetisches Projekt, das vergleichbare Ortungsmöglichkeiten wie GPS bieten soll. Der Aufbau des Netzes begann in den 80er Jahren und war 1995, ein Jahr nach GPS, abgeschlossen. Nach Erreichen der vollen Konstellation wurden jedoch keine weiteren Satellitenstarts durchgeführt, wodurch sich die Zahl der aktiven Satelliten bis 2001 auf nur noch 6 reduzierte. Mit Beginn des neuen Jahrtausends wurde das System jedoch wieder aufgebaut, so dass es 2009 eine volle globale Abdeckung erreicht hat. Im Gegensatz zu GPS sind alle Signale von GLONASS unverschlüsselt, wodurch es kein, für einen militärischen Gebrauch vorbehaltenes präziseres System gibt. Trotz dieser kompletten zivilen Nutzungsmöglichkeit ist die Genauigkeit des Systems nicht höher als die von GPS.



Durch die Umlaufbahnen der Satelliten bietet GPS besonders am Äquator die beste Abdeckung. GLONASS dagegen ist so ausgelegt, dass die Empfangsabdeckung an den Polen deutlich besser als bei GPS ist. Somit bietet GLONASS ein Ortungssystem, das in Regionen nutzbar ist, die aufgrund ihrer geografischen Lage nur schlechten bis gar keinen GPS empfang haben. Daher lässt sich GLONASS sehr gut in einem Parallelbetrieb mit GPS nutzen, da sich dadurch eine unter Umständen bessere Satellitenabdeckung ergibt.

### 5.1.8.2.2 GALILEO

---

Am Ende der 1990er Jahre entstand in der Europäischen Union der Bedarf an einem eigenen GNSS System. Die bestehenden Systeme, GPS und GLONASS, haben alle einen militärischen Hintergrund. Hierbei besteht immer die Möglichkeit, dass während eines Konfliktes die zivil nutzbaren Signale verschlechtert oder gar blockiert werden. Um dem vorzubeugen und unabhängig von anderen Staaten über eine globale Positionierungsmöglichkeit zu verfügen, wurde Galileo entwickelt. Galileo unterteilt sich hierbei in verschiedene Signale, die für unterschiedliche Verwendungszwecke vorgesehen sind. In erster Linie verfügt es, wie ähnliche Systeme, über ein frei verfügbares Signal zur privaten Nutzung. Dieses bietet eine Genauigkeit von ungefähr einem Meter, ist somit also nominell genauer als GPS oder GLONASS. Weiterhin bietet Galileo ein kommerzielles Navigationssignal mit höherer Präzision, welches verschlüsselt ist und nur gegen Lizenzgebühren genutzt werden kann, ein Signal für Safety of Life Services bei denen eine bestimmte Präzision garantiert wird und bei Ausbleiben dieser Fehlermeldungen verschickt werden kann und ein zusätzliches Signal, das ebenfalls hochgenau ist und den teilnehmenden Staaten für hoheitliche Aufgaben vorbehalten ist. Neben diesen verschiedenen Diensten bietet Galileo einen Search and Rescue Service, bei dem Notfallsender, von den Satelliten aus geortet und entsprechende Stellen über einen solchen Notfall informiert werden können und der Sender des Notfalls über Erhalt des Notfallsignals in Kenntnis gesetzt werden kann.

Auf Druck der USA hin wurde das ursprünglich davor vorgesehene Frequenzspektrum durch ein neues ersetzt, da das alte Spektrum zu nahe an den Frequenzen von GPS lag. Dadurch wäre es nicht möglich gewesen, das Galileo Signal zu stören ohne GPS zu stören, worin die USA eine Bedrohung sahen. Sollte es zu einem Angriff auf Angehörige der USA kommen und bei diesem Angriff Galileo zur Navigation genutzt werden, hätte die USA die Satelliten zerstört. Auf diese Drohung hin wurde das Spektrum so abgeändert, dass die Störung von Galileo ohne Auswirkungen auf GPS möglich sei. Durch diese Änderung ist es allerdings möglich, GPS zu stören ohne damit Galileo zu beeinflussen. Galileo lässt sich zukünftig ebenfalls parallel zu GPS und GLONASS nutzen, allerdings befindet sich das System momentan noch in der Testphase und wird voraussichtlich erst 2019 voll aufgebaut sein.

### 5.1.8.2.3 GNSS AUGMENTATION SYSTEMS

---

Neben den Navigationssystemen selbst, gibt es auch diverse Zusatzsysteme die dazu gedacht sind, die Positionierung der Navigationssysteme selbst zu verbessern. Seit der Abschaltung der Selective Availability stellen atmosphärische Störungen den größten Ungenauigkeitsfaktor dar. Zusätzliche Ungenauigkeiten kommen von ungenauen Bahndaten oder nicht synchronisierten Uhren.

Während die Bahndaten der Satelliten zwar im GPS-Signal übermittelt werden und sich die Empfänger auf die Uhren der Satelliten synchronisieren, dauert die Übertragung und Synchronisation recht lange. Informationen über atmosphärische Störungen werden ebenfalls im Signal übermittelt.

Um diese Informationen jedoch schneller und aktueller übertragen zu können, gibt es verschiedene Zusatzsysteme, die die Positionsfindung beschleunigen und die Positionsgenauigkeit verbessern sollen. Hierbei werden unterschiedliche Systeme genutzt, um die Informationen zu übertragen. Einer-

seits werden geostationäre Satelliten verwendet die eine bestimmte geographische Region abdecken oder funkbasierte Systeme, die die Informationen innerhalb ihres Empfangsradius propagieren.

#### 5.1.8.2.3.1 SBAS

---

Die bekanntesten SBAS-Systeme sind Wide Area Augmentation System (WAAS) der USA und European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS) der europäischen Union. Die Systeme bestehen immer aus einer oder mehreren Bodenstationen und mehreren Satelliten. Daten über Satellitenstellung und Atmosphärenstörungen die von den Bodenstationen erhoben werden sind nur lokal gültig, was bedeutet, dass die Systeme meist nur für regional begrenzte Gebiete eingesetzt werden. Die grundlegende Idee zur Einführung solcher Systeme bestand darin, die Zuverlässigkeit und Genauigkeit von GNSS soweit zu verbessern, dass sie für kritische Dienste, wie die Positionierung bei Landeanflügen, verwendet werden können. Die Systeme sind allerdings öffentlich verfügbar, wodurch sie in vielschichtigen Szenarien als Verbesserungsmöglichkeit genutzt werden können. Die Genauigkeit wird hierbei von den normalen zehn Metern bei GPS bis auf drei Meter verbessert. Moderne GNSS Empfänger verfügen meist direkt über die Fähigkeit auch SBAS Signale aufzufangen und auszuwerten, wodurch sich kostengünstig das bestehende GNSS Signal verbessern lässt.

#### 5.1.8.2.3.2 GROUNDBASED

---

GBAS Systeme erfüllen die gleichen Kriterien wie SBAS Systeme, verbreiten hierbei die Korrektursignale jedoch meist über terrestrischen Funk. Dabei ist die gesteigerte Genauigkeit abhängig von der verwendeten Technik und kann bis in den Zentimeterbereich verbessert werden. Der Gültigkeitsbereich der berechneten Atmosphärenstörung variiert hierbei je nach verwendeter Technik. Dieser kann sich von zwanzig Kilometer bis hin zu Gebieten, ähnlich groß wie bei SBAS Systemen (beispielsweise ganz Europa), erstrecken. Dies hängt auch insbesondere von der Genauigkeit der berechneten Abweichung ab, wodurch sich für Systeme mit kleinem Gültigkeitsbereich meist auch eine höhere Genauigkeit ergibt. Während SBAS meist einen kostenneutralen Service anbieten, sind fast alle GBAS Systeme mit finanziellem Mehraufwand verbunden. Die Nutzung bestehender, großflächiger Systeme, wie Differential GPS (DGPS), ist meist mit hohen Lizenzkosten verbunden, wodurch diese für das hier gestellte Szenario einer kosteneffizienten Variante, nicht ganz zutreffend sind. Kleinere differential GNSS Systeme, im speziellen Realtime Kinematics (RTK), bieten hochpräzise Daten in direkter Nähe zu einer Basisstation, jedoch haben diese nur einen sehr begrenzten Gültigkeitsbereich, eine maximale Distanz zur Basisstation von zwanzig Kilometern. Alle diese Techniken werden meist mit so genannten „2-Frequenz-Empfängern“ genutzt. Hierbei handelt es sich um Empfänger, die im Falle von GPS neben dem L1 Band auch das L2 Band auswerten können. Hierbei wird jedoch nicht das GPS Signal selbst ausgewertet, sondern dessen Trägerfrequenz, da diese deutlich weniger störanfällig ist.

Im Zuge von FRAMES wurde sich für GPS entschieden. GPS verfügt momentan über die beste Marktdurchdringung. GNSS fähige Endgeräte unterstützen in erster Linie immer GPS. Erst in zweiter Instanz unterstützen sie gegebenenfalls alternative GNSS Systeme wie Galileo oder GLONASS. Durch die mögliche Parallelverwendung dieser Systeme wäre auch ein späterer Wechsel auf ein besser passendes System optional. Aktuell bietet GPS jedoch die größte Vielfalt. Während GLONASS eine momentan nutzbare Alternative zu GPS darstellt, bietet sich durch die Verwendung selbst kein Vorteil. Ganz im Gegenteil wirkt sich sogar die recht spärliche GLONASS Unterstützung aktueller Endgeräte hierbei negativ aus. Gerade aus europäischer Sicht hat Galileo das größte Potential, da es sich hierbei um ein europäisches Projekt handelt und die in Europa verfügbaren Augmentation Systeme ebenfalls mit Galileo kompatibel sind. Allerdings wird das System erst 2019 betriebsbereit sein, was für FRAMES als Machbarkeitsstudie momentan keine Option darstellt.

---

---

## 5.2 BETRIEBSBEOBACHTUNGEN

---

---

Im Rahmen des FRAMES-Projektes wurden bisher an drei Standorten Beobachtungen des betrieblichen Verkehrs-, Interaktions- und Bewegungsverhaltens durchgeführt. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf den Bewegungsstrukturen und den Hauptinteraktionsformen zwischen den unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern sowie auf Konflikt- und Beinaheunfallsituationen. Ziel war es, typische und potenzielle Gefährdungssituationen zu erfassen und zu analysieren, die bei der Entwicklung des Fahrerassistenzsystems zu berücksichtigen sind.

---

### 5.2.1 Methodisches Vorgehen

---

Zur Analyse der betrieblichen Verkehrssituationen und des Bewegungs- und Interaktionsverhaltens, wurde auf ein multimethodales Vorgehen zurückgegriffen. Die verwendeten Methoden sind in Tabelle zusammenfassend dargestellt.

Es zeigt sich, dass das jeweils an den unterschiedlichen Standorten gewählte multimethodale Vorgehen essentiell für die umfassende Bewertung der betrieblichen Verkehrssituationen sowie das Bewegungs- und Interaktionsverhalten war. Im Rahmen der verschiedenen Vorgehensweisen konnten Informationen aus der einen Quelle mit korrespondierenden Informationen anderer Quellen verglichen werden (gegenseitige Validierung), außerdem ließen sich über die unterschiedlichen Zugangswege exklusive Informationen gewinnen, die aus den jeweils anderen Quellen nicht zugänglich waren. Es ließen sich Informationen auf allen relevanten Einflussebenen extrahieren (Personen und einmalige bzw. wiederkehrende Verhaltensweisen, geographische, zeitliche und ortsbezogene Umweltbedingungen, Betriebsmerkmale und -bedingungen, überbetriebliche Einflüsse), so dass die Bewertung der betrieblichen Verkehrssituation und des Verkehrsverhaltens umfassend möglich war. Insbesondere die an Standort 3 durchgeführten Videoanalysen und Mitarbeiterbefragungen brachten erhebliche zusätzliche Erkenntnisse über Expositionszeiten, Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmergruppen, unbeeinflusste Verhaltensweisen). Alle Auswertungen erfolgten personenunspezifisch und anonymisiert. Den Betrieben bzw. Niederlassungen wurden Berichte übersandt, die neben den Ergebnissen auch verkehrspsychologische Empfehlungen über Möglichkeiten zur Sicherheitserhöhung enthielten. Die gegebenen Empfehlungen wurden von den Verantwortlichen an den Standorten/Betrieben positiv aufgenommen, geprüft und zu einem Teil auch umgesetzt. Konkrete Folgen waren Umorganisationen der Verkehrsstrukturen, die verkehrssicherheitliche Weiterbildung der Mitarbeiter, Veränderungen betrieblicher Regelungen und die Einführung technischer Einrichtungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Tabelle 5-5. methodisches Vorgehen bei den Betriebsbeobachtungen

Methode	Standorte	Beschreibung
<b>Geländebegehung</b>	1,2,3	Analyse der Geländestrukturen inkl. der freigegebenen Fahr-, Park- und Laufbereiche  Analyse der allgemeinen und ortsspezifischen betrieblichen Verkehrsregeln
<b>Initialinterviews (explorativ, offen)</b>	1,2,3	Erfragen von betrieblichen Regelungen zum Lauf- und Verkehrsverhalten, Beschreibung typischer Situationen (Arbeitsabläufe, Expositionszeiten der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer, Fahrzeuglast (zeitlich und räumlich), kritische Interaktionspunkte etc.) Zielgruppen: Führungskräfte, Mitarbeitervertretung und betriebliche Arbeitssicherheits- und Verkehrsexperten
<b>Archivdatenanalyse</b>	1,2,3	v.a. betriebliche Unfalldatenanalyse (soweit vorhanden) unter Nutzung von betriebseigenen Aufzeichnungen
<b>Verhaltensbeobachtungen (nicht teilnehmend)</b>	1,2,3	Beobachtung des betrieblichen Verkehrsverhaltens durch geschulte Beobachter und schriftliche Dokumentation der beobachteten Interaktionen bzw. Verkehrssituationen und des Verhaltens der einzelnen Verkehrsteilnehmergruppen auf vorbereiteten Beobachtungsbögen
<b>Verhaltensbeobachtungen (teilnehmend)</b>	1,3	Begleitung betriebseigener Fahrzeuge im Rahmen der alltäglichen Tätigkeitsausführung (Schwerpunkt liegt auf der Wahrnehmung der Verkehrssituation aus Fahrersicht bzw. wahrnehmbaren Verhaltensweisen der beobachteten Fahrer)
<b>Mitarbeiterinterviews</b>	1,2,3	Befragung von Mitarbeitern zu den eigenen verkehrs- bzw. verkehrssicherheitsbezogenen Wahrnehmungen, Erfahrungen und Erlebnissen, Abfragen von Belastungsfaktoren und Ressourcen mittels vorbereiteter halbstrukturierter Interviewbögen
<b>Mitarbeiterbefragung</b>	3	Fragebogen zur allgemeinen Arbeitssituation (Belastungen, Beanspruchungen, Handlungs- und Entscheidungsspielräumen), Sicherheits- und Gesundheitskultur, Fahr- und Bewegungsverhalten auf dem Betriebsgelände (auch wahrgenommene Fehlverhaltensweisen), Weiterbildungserfahrungen im Verkehrsbereich, betriebliches Regelwissen eigenen Unfallereignissen, sicherheits- und verkehrssicherheitsbezogenen Einstellungen
<b>Fahrerinterviews</b>	1,3	Befragung von externen Fahrern (Zulieferer, Subunternehmer, organisationsinterne aber betriebsexterne Fahrer) zu ihrer Wahrnehmung der betrieblichen Fahr- und Verkehrssituation
<b>Videoanalyse</b>	3	Analyse der betrieblichen Verkehrssituation unter Zuhilfenahme von Videoaufnahmen der festinstallierten Sicherheitskameras – Schwerpunktanalyse Verhalten, Fehlverhalten und kritische Interaktionen
<b>Geschwindigkeitsmessungen</b>	3	Nutzung von Geschwindigkeitsmessungen zum Informationsabgleich und der Verifizierung

## 5.2.2 Betriebliches Verkehrsverhalten Standort 1 - Logistikdienstleister

Die Beobachtungen des betrieblichen Verkehrsverhaltens fanden an Standort 1 im Zeitraum vom 29.10.-31.10.2012 statt. Bei dem Standort handelt es sich um eine Lager- und Warenumschlagseinrichtung. Insgesamt sind dort regelmäßig etwa 1000 Personen auf dem Betriebsgelände beschäftigt. Durchschnittlich wird das Gelände täglich von etwa 80 externen Fahrzeugen angefahren. Gleichzeitig verkehren dauerhaft mehrere betriebseigene Fahrzeuge zur Umsetzung von Containern im gesamten Betriebsbereich. Die Hauptanfahrtszeiten der anliefernden und abholenden Fahrzeuge liegen täglich zwischen 05.30 und 14.00 Uhr in unterschiedlichen Bereichen des Geländes. Die nachfolgende Abbildung 5-14 zeigt eine Skizze des gesamten Betriebsgeländes inklusive der beobachteten Zonen und Hauptanfahrtswege.

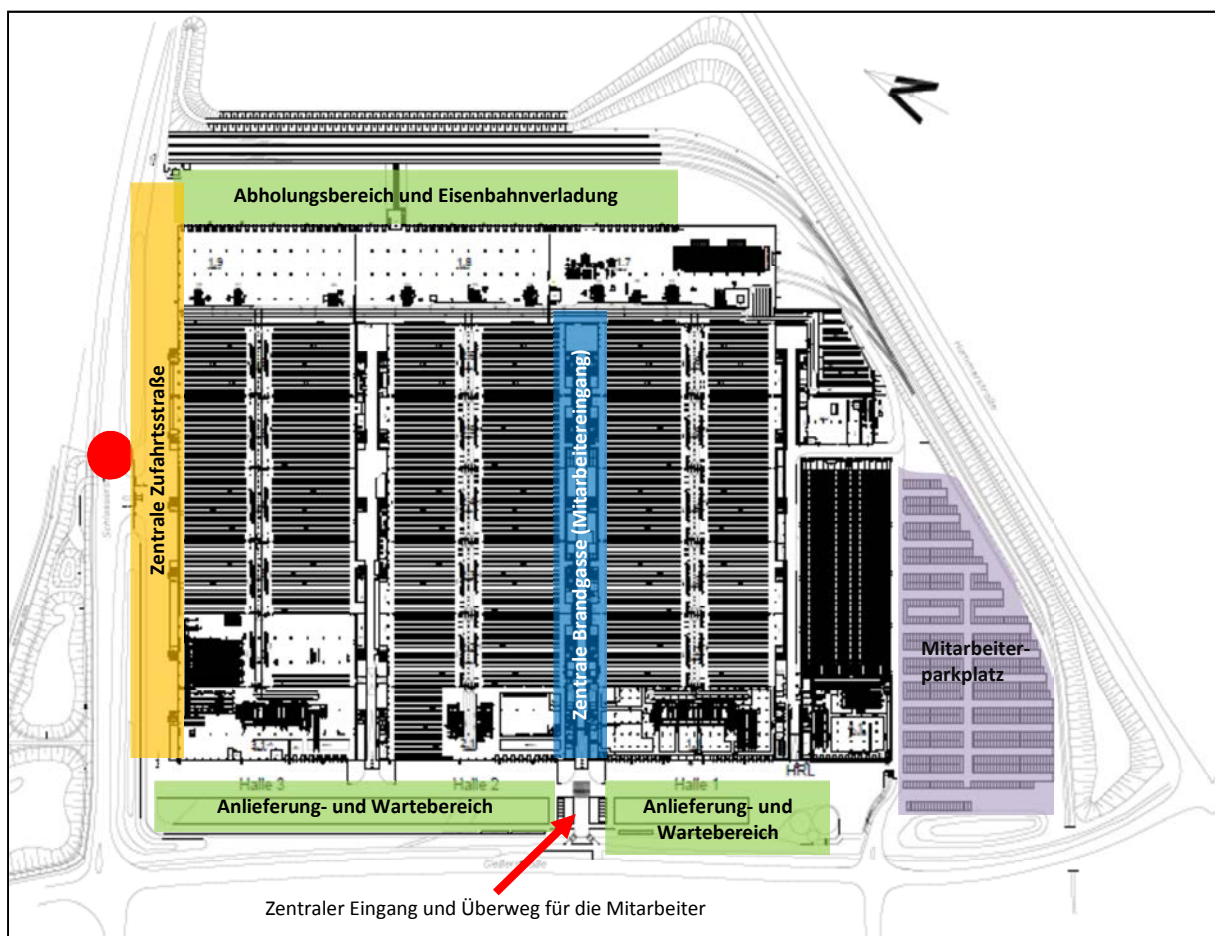


Abbildung 5-14. Lageskizze Standort 1

Der Gebäudekomplex besteht aus 3 nebeneinander stehenden Hallen, die jeweils durch Brandgassen voneinander getrennt sind. An Halle 1 schließt sich in südöstlicher Richtung ein Hochregallager an.

An der nordwestlichen Seite des Geländes ist die Hauptzufahrt zu dem Gelände (roter Punkt). Die Einweisung der Fahrer erfolgt durch den Pförtner. Bei der Einfahrt auf das Gelände hat der Fahrer die Möglichkeit in nordöstlicher Richtung auf die zentrale Zufahrtsstraße einzubiegen, um zur rückwärtigen Seite des Geländes zu gelangen. Hier befinden sich der zentrale Abholungsbereich und die Schienenverladeranlage. Biegt der Fahrer in südwestlicher Richtung ab, gelangt er in den Anlieferungs- und Wartebereich an der Gebäudefront der Hallen. In mittlerer Position zwischen den Hallen 2 und 3 befindet sich die zentrale Brandgasse mit den Anlieferungs- und Abholungsbereichen für Serviceaufgaben (bspw. Müll, Lebensmittellieferungen). Die Brandgasse dient gleichzeitig als zentraler Mitarbeiteringang.

Standort 1 zeichnet sich durch folgende betriebliche (Verkehrs-) Regelungen aus, die hier kurz zusammenfassend dargestellt werden sollen.

1. Auf dem Betriebsgelände gilt eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h.
2. Personen, die als Fußgänger in den Außenbereichen des Geländes unterwegs sind, sind verpflichtet Warnkleidung zu tragen.
3. Generell ist es Betriebsangehörigen untersagt, als Fußgänger in den Außenbereichen unterwegs zu sein. Diese Regelung gilt prinzipiell, Ausnahmen ergeben sich für Wartungs-, Instandsetzungs-, Hof- und Sicherheitspersonal.
4. Der Zugang zum Gelände erfolgt für alle Mitarbeiter über einen zentralen Überweg. Alternative Zugangswege existieren nicht bzw. dürfen nicht benutzt werden.
5. Die Länge des Überwegs beträgt ca. 25m. Lediglich im letzten Teil des Überwegs (ca. 5m) besteht die Möglichkeit der direkten Interaktion zwischen Fahrzeugen und Fußgängern. Sämtliche anderen Bereiche des zentralen Zugangs/Überwegs wurden aufgrund von Verkehrskonflikten in der Vergangenheit baulich soweit verändert, dass keine Möglichkeit zum direkten Fahrzeug-Fußgängerkontakt bestehen sollte.
6. Der zentrale Überweg geht unmittelbar in einen als Brandgasse bezeichneten Trennweg zwischen zwei Hallen über. Diese Brandgasse dient sowohl den Mitarbeitern als einziger Zugangsweg in die Gebäude als auch den anliefernden Service- und Entsorgungsfahrzeugen als Servicezugang. Auch hier wurde versucht, sowohl strukturell als auch regelungsbasiert, eine weitestgehende Trennung von Personen und Fahrzeugen zu erreichen. Rückwärtsfahrten in der Brandgasse sind nur mit Einweiser erlaubt.
7. Die anliefernden Speditionen sind verpflichtet, ihren Fahrern Sicherheitskleidung zur Verfügung zu stellen bzw. die Fahrer über betrieblich gewünschte Verhaltensweisen bzw. Verhaltensregeln zu informieren.
8. Die anliefernden Fahrer dürfen sich ebenfalls nur zum Betreten der Halleninnenbereiche (über gesonderte Zugänge an den entsprechenden Ladetoren) oder zur weiteren Bearbeitung der Frachtpapiere in den Wareneingangs- bzw. Warenausgangsbüros zu Fuß auf dem Gelände bewegen. Ein umsichtiges Bewegen in den Park- und Wartezeiten (an der Frontseite des Gesamtkomplexes) ist außerdem zulässig.

Folgende Merkmale des Betriebes sind für die Beurteilung des Bewegungs- und Verkehrsverhaltens weiterhin wichtig:

1. Die dort arbeitenden Mitarbeiter sind zumeist bereits einige Jahre im Unternehmen tätig und haben damit eine gewisse Erfahrung mit den örtlichen Gegebenheiten.
2. In Gesprächen wurde deutlich, dass die Mehrzahl der Mitarbeiter dem Thema *Betriebliche Verkehrssicherheit* ein starkes Interesse entgegenbringt. Diese Einschätzung wurde auch durch die Befragung der Leitungspersonen und des Sicherheitspersonals bestätigt.
3. Die bisherigen, insbesondere auf räumlich-strukturelle Expositionsvermeidung und Einhaltung der Sicherheitsregeln bzw. Verhaltensvorschriften ausgerichteten Bemühungen der betrieblichen Sicherheits- und Arbeitssicherheitsverantwortlichen führten zu einer geringen und gleichzeitig abnehmenden Häufigkeit von Unfällen und Beinaheunfällen, so dass insgesamt von einer sowohl vertikal als auch horizontal umfassenden betrieblichen Bearbeitung und Reflektion der betrieblichen Verkehrssicherheit ausgegangen werden kann.



### 5.2.2.1 Planung und Durchführung der Datenerhebung

Im Vorfeld der Datenerhebung wurden verschiedene Instrumente zur Analyse des betrieblichen Verkehrs- und Bewegungsverhaltens vorbereitet. Um einen möglichst umfassenden Einblick in das Verkehrsverhalten der Mitarbeiter bzw. der externen Zulieferer zu bekommen, wurden an den unterschiedlichen Beobachtungspunkten sowohl das Verhalten der Fußgänger als auch der Fahrzeuge bzw. Fahrer beobachtet und etwaige Begegnungen oder Konflikte zwischen diesen mittels vorbereiteter Beobachtungsbögen protokolliert. Darüber hinaus wurden auch Interviews mit den Mitarbeitern des Unternehmens (insbesondere Führungskräfte und Sicherheitspersonal) und den anliefernden Fahrern durchgeführt. Zusätzlich wurde am letzten Tag der Datenerhebung durch drei Beobachter zeitgleich eine Fahrbegleitung durchgeführt. Die Entwicklung der Beobachtungs- und Interviewbögen erfolgte auf Basis eigener Vorerfahrungen, der zur Verfügung stehenden allgemeinen und betriebspezifischen Informationen zum betrieblichen Fahr- und Laufverhalten bzw. spezifischer örtlicher Bedingungen und unter Nutzung der verfügbaren Literatur. Vor der Durchführung der Beobachtung wurden alle Instrumente sowohl durch Experteneinschätzungen als auch durch Testanwendungen auf ihre Tauglichkeit hin überprüft. Im Rahmen der Testanwendungen wurden auch die Beobachter-schulungen durchgeführt.

Die Beobachtungen wurden im Oktober 2012 an mehreren Tagen ganztägig geführt. Sie erfolgten durch vier bis fünf geschulte Beobachter, welche gleichzeitig an unterschiedlichen Standorten tätig waren. Insgesamt konnten während der Tage über 300 auswertbare Beobachtungen betrieblichen Verkehrs- und Konfliktverhaltens gemacht werden. Zusätzlich wurden 25 Interviews geführt. Die folgende Tabelle 5-6. gibt eine Übersicht über die Verteilung und einzelnen Besonderheiten in den einzelnen Beobachtungsbereichen wieder.

Tabelle 5-6. Übersicht über die durchgeführten Beobachtungen und Interviews an Standort 1

Zone	Objekt	Anzahl
<b>Überweg</b>	FG	197
<b>Brandgasse</b>	FG / FZ	10
<b>Anlieferungsbereich</b>	FZ	23
<b>Abholungsbereich</b>	FZ	8
<b>Zentrale Zufahrt</b>	FZ	81
<b>Interviews</b>	Fahrer	10
	Mitarbeiter	15

### 5.2.2.2 Ausgewählte Ergebnisse

#### 5.2.2.2.1 ZENTRALER ZUFAHRTSBEREICH

Insgesamt wurden im Bereich der zentralen Zufahrtstraße 81 Verkehrssituationen beobachtet. Aufgrund der eingangs vorgestellten betriebsinternen Begrenzungen des Fußgängerverkehrs auf dem Gelände, erfolgten Beobachtungen von Fußgängern in diesem Bereich selten.

Tabelle 5-7. Gesamtanzahl der Beobachtungen in den An- und Abfahrtbereichen am Standort

Beobachtete Fahrzeuge	Anzahl	Prozent
<b>LKW (über 7,5t)</b>	38	47%

<b>LKW (bis 7,5t)</b>	10	12%
<b>Umsetzer (Swopper /Terberg/Mobiler)</b>	20	25%
<b>PKW mit/ohne Anhänger</b>	9	11%
<b>Fußgänger</b>	4	5%
<b>Gesamt</b>	81	

Die nachfolgend dargestellten Auswertungen der Beobachtungen des Fahr- bzw. Fahrerverhaltens müssen vor dem Hintergrund der überhaupt sichtbaren Verhaltenssequenzen interpretiert werden. Zum Teil waren während der Beobachtungen an einzelnen Standorten Verhaltensweisen des Fahrers nicht sichtbar bzw. konnten nicht zweifelsfrei identifiziert werden.

Tabelle 5-8. Prozentuale Anteile beobachtbaren Fahrverhaltens in der An- und Abfahrtzone

<b>Fahrverhalten in der Zufahrt zum Gelände / der Zufahrtsstraße</b>	<b>Gesamt</b>	<b>Prozent</b>
<b>unangemessenes Einfahren (hohe Geschwindigkeit / starke Beschleunigung / kein Stoppen vor der Einfahrt auf das Gelände / unangemessene Lenkbewegungen bzw. Spurwechsel bei der Einfahrt)</b>	29	34,80%
<b>keine Fahrtrichtungsanzeige bei der Geländeeinfahrt</b>	37	45,68%
<b>Überschreiten der Geschwindigkeitsbegrenzung (Schätzung)</b>	9	11,11%

Tabelle 5-9. Prozentuale Anteile beobachtbaren Fahrerverhaltens in der An- und Abfahrtzone

<b>Verhalten des Fahrers</b>	<b>Gesamt</b>	<b>Prozent</b>
<b>keine beidseitigen Orientierungsreaktionen bei der Einfahrt / Ausfahrt</b>	10	12,35%
<b>keine sichtbare Orientierung über voraus liegenden Fahrbereich</b>	4	4,94%
<b>Ausführung fahrfremder Tätigkeiten</b>	38	46,91%
<b>nicht beide Hände am Lenkrad</b>	13	16,05%

Betrachtet man die Anteile unangemessenen Verhaltens bzw. Fehlverhaltens bei der Einfahrt, wird deutlich, dass nicht erfolgte Fahrtrichtungsanzeigen (46%), das Ausführen fahrfremder Tätigkeiten (47% telefonieren, Frachtpapiere lesen etc.) bzw. insgesamt offensives Einfahren (35%) am häufigsten zu beobachten waren. Auffällig häufig waren weiterhin das einhändige Einlenken bei der Einfahrt auf das Gelände (16%) und nicht erfolgte beidseitige Orientierungsreaktionen über den Querungsverkehr (12%). Die nachfolgende Abbildung 5-15 zeigt exemplarisch die zeitgleiche Ausfahrt bzw. Einfahrt mehrerer Fahrzeuge am Haupteingang des Standorts. Die dargestellte Situation stellt sehr deutlich das auch an anderen Stellen mehrfach beobachtete geringe Raumangebot für die einfahrenden bzw. rangierenden Fahrzeuge dar.



Abbildung 5-15. Unübersichtliche Einfahrtsituation im Bereich des zentralen Betriebseingangs





Abbildung 5-16. Beispielsituationen in der Anfahrszone zu den Anlieferungs- und Abholungsbereichen (unterschiedliche Standorte)

#### 5.2.2.2 ANLIEFERUNGS- UND ABHOLUNGSBEREICHE

Die Verhaltensbeobachtungen in den Anlieferungszonen der Wareneingangs- und –ausgangsbereiche hatten vor allem das Anfahr- und Rangierverhalten der Fahrzeuge, aber auch das Laufverhalten der ausgestiegenen Fahrer zum Ziel. Mit Bezug auf die Zielstellungen des FRAMES-Projekts lassen sich folgende Rückschlüsse ziehen:

In den Wareneingangs- und –ausgangsbereichen wurden häufiger räumlich enge und zeitgleiche Parallelbewegungen von Fahrzeugen und Personen beobachtet. An dem beobachteten Standort waren dies vor allem Personenbewegungen von Fahrern, die in Interaktionen mit anderen an- und abfahrenden Fahrzeugen standen. Kennzeichen dieser Interaktionen sind vor allem räumliche Enge und insbesondere in den Rangierbereichen eine schlechte Einsehbarkeit des rückwärtigen Bereichs für die anfahrenen Fahrzeuge bei gleichzeitig stattfindenden Personenbewegungen in diesen Bereichen (vgl. Abbildung 5-17). Diese Personen können in vielen Fällen von den LKW-Fahrern nicht gesehen werden, da sie sich auch teilweise unter abgestellten Brücken, unter ihren Fahrzeugen oder zwischen Fahrzeug und Anhänger bewegen.

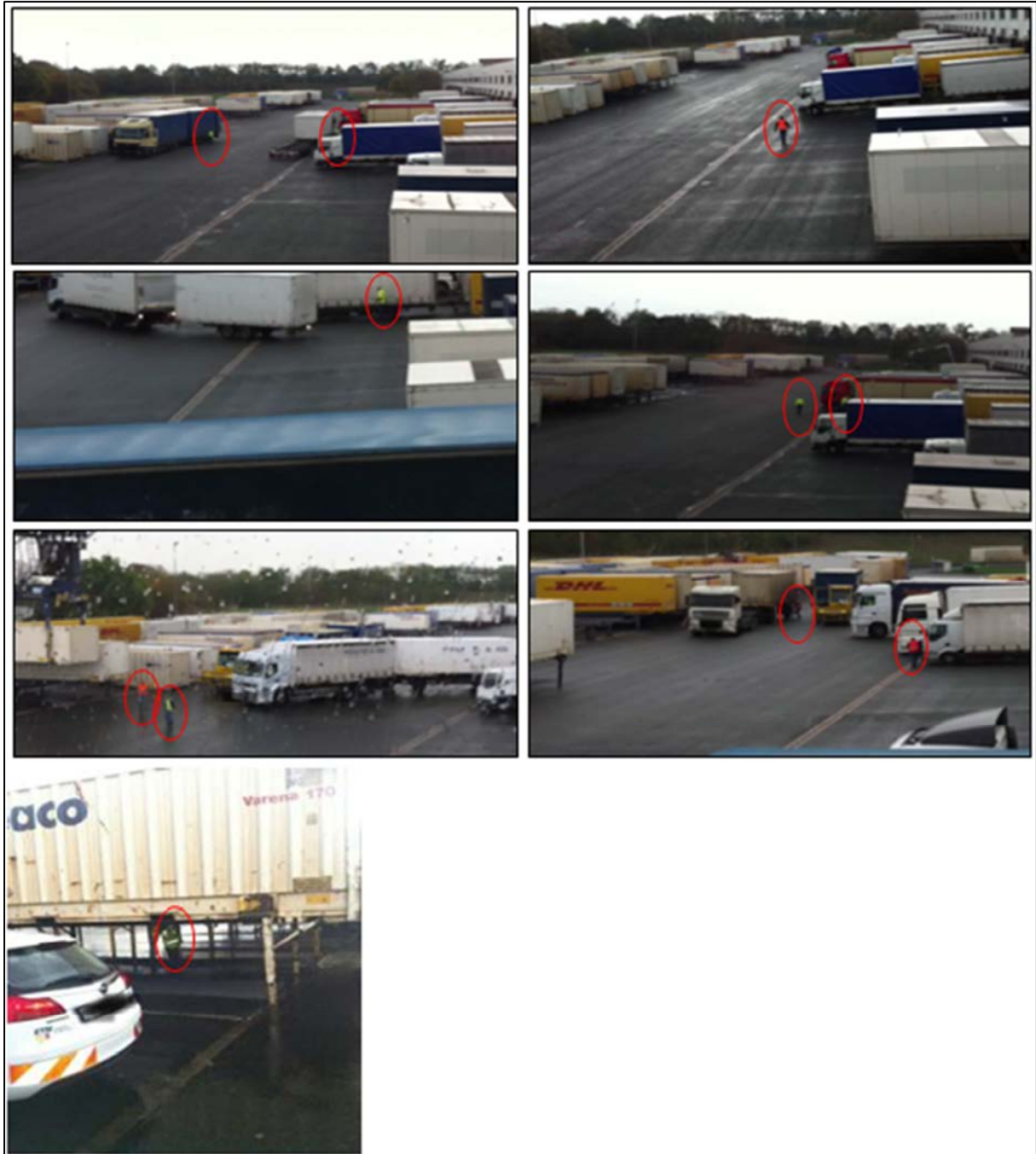


Abbildung 5-17. Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Personen in Anlieferungs- und Abholungsbereichen

Zu den Hauptzeiten von Anlieferung und Abholung waren bei verschiedenen Gelegenheiten Mehrfachbewegungen zu beobachten. Das bedeutet, dass innerhalb eines eng umgrenzten Bereichs mehrere Fahrzeuge ankamen und abfuhren und sich zeitgleich Fahrer stehender Fahrzeuge auf diesen Fahrbahnen und Anlieferungsbereichen außerhalb ihres Fahrzeuges bewegten. Zum Teil müssen diese Interaktionen als kritisch bewertet werden. Ein Beispiel für solche Parallelbewegungen zeigen die Fahr- bzw. Laufsequenzen in Abbildung 5-18. Ein wendendes Fahrzeug (weißer LKW) fährt relativ schnell und sehr dicht vor der Front eines stehenden anderen Fahrzeugs (rotes Fahrerhaus) vorbei. Zwei Personen nähern sich dieser Situation auf der Beifahrerseite des stehenden Fahrzeugs und lau-

fen dann zwischen dem fahrenden und dem stehenden Fahrzeug seitwärts in Richtung der Beobachterposition.

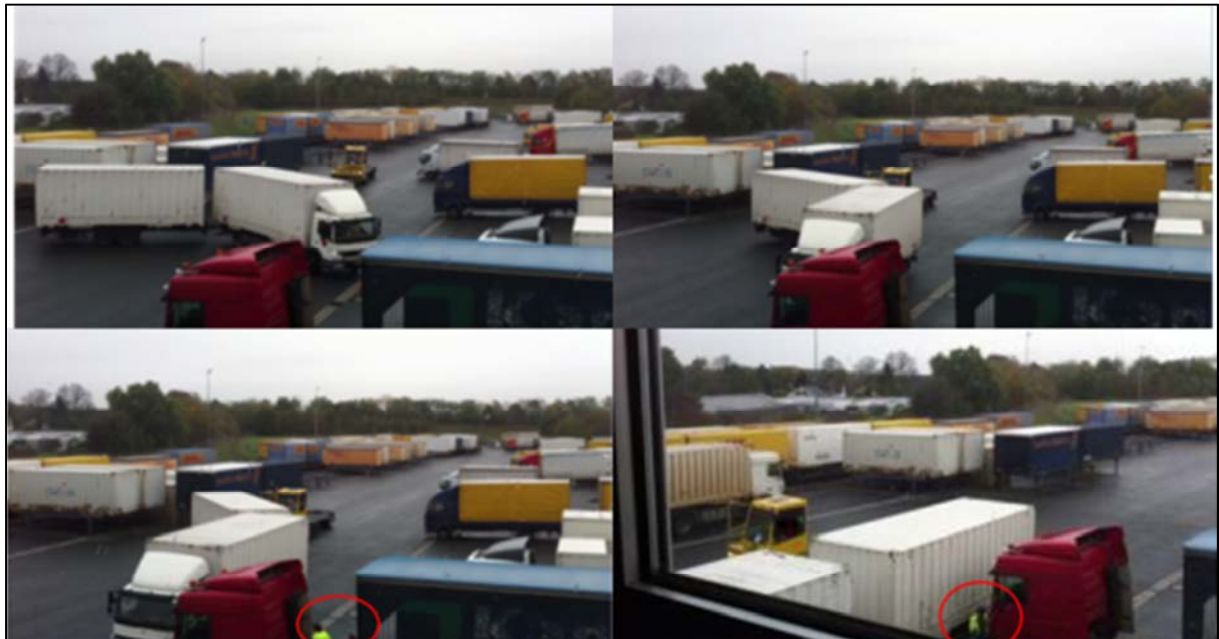
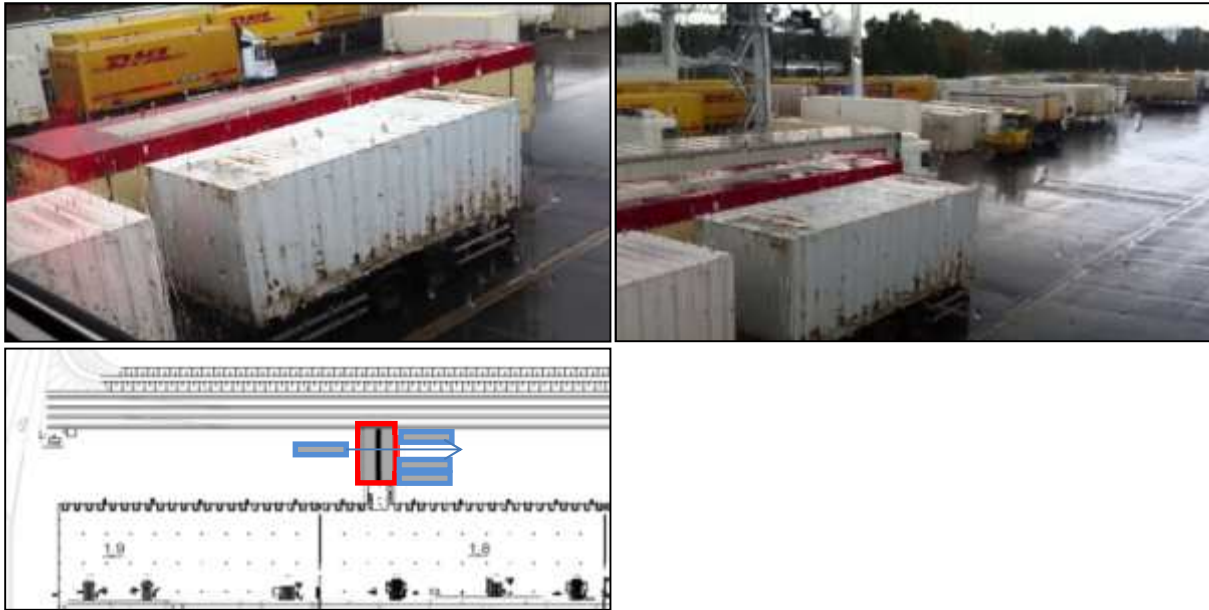


Abbildung 5-18. Parallele Fahr- und Laufsequenzen im Anlieferungsbereich mit abschließender selbstgefährdender Verhaltensweisen zweier Fußgänger

Trotz klarer betrieblicher Regelungen zu den Stand- und Parkflächen für die Fahrzeuge war wiederholt zu beobachten, dass Fahrzeuge auf gekennzeichneten Park- und Halteverbotsbereichen abgestellt wurden, wodurch sich Sicht- und Laufbehinderungen für Fußgänger ergaben. Die dargestellte Situation in Abbildung 5-19 verdeutlicht eine solche Situation. Die Fahrzeuge parken hier unmittelbar vor einem Fußgängerüberweg, der aus Sicherheitsgründen für den Zugang der Kranführer der hinter der Lieferzone liegenden Zugbeladungsbereiche geschaffen wurde und verhindern damit zum Einen die Einsehbarkeit der Anfahrszone für querende Fußgänger. Zum Zweiten ist der verbleibende Fahrbereich für weitere Fahrzeuge sehr eng. Der Kartenausschnitt verdeutlicht die hier aufgenommene Situation schematisch. Darüber hinaus waren auch in diesen Bereichen wiederholt kleinere Geschwindigkeitsübertretungen zu beobachten. Interessanterweise war dies auch dann der Fall, wenn aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und der räumlichen Enge ein defensives Fahrverhalten angezeigt gewesen wäre.

In zwei Bereichen des Betriebsgeländes konnten regelmäßig Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern beobachtet werden. Dabei wurden sowohl das Laufverhalten der Mitarbeiter am zentralen Zugang zum Betriebsgelände als auch die Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Mitarbeitern in der Brandgasse beobachtet. Die Brandgasse ist sowohl zentrale Rettungsgasse für den Brandfall als auch die Anfahrszone für Servicefahrzeuge. Außerdem liegt hier der zentrale Mitarbeitererein- und -ausgang und der Pausenbereich.



<sup>5</sup> Abbildung 5-19. Regelwidriges Parkverhalten von Fahrzeugen in den Anlieferungs-zonen

Für die Beobachtungen an dem zentralen Überweg kann zusammenfassend festgestellt werden:

1. Die Mehrzahl der beobachteten Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Mitarbeitern an dem zentralen Übergang ist als relativ unkritisch zu bewerten. Anfahrende Fahrzeuge beachten üblicherweise den Vorrang der querenden Fußgänger. Trotzdem konnte zweimalig individuelles Verhalten von Fahrern beobachtet werden, bei dem gar nicht oder erst sehr spät auf ankommende Fußgänger reagiert wurde. In einem Fall musste ein deutlich sichtbarer Fußgänger stoppen und ein Fahrzeug passieren lassen. In einem zweiten Fall wurde gesehen, dass ein Fahrer Frachtpapiere las, während sein Fahrzeug auf den Übergang zurollte. Ein ankommender Fußgänger nahm dies nicht wahr und betrat den Überweg. Wenige Meter vor dem Überweg und dem darauf befindlichen Fußgänger orientierte sich der Fahrer über den vor ihm liegenden Fahrbereich und stoppte das Fahrzeug aber erst unmittelbar vor dem Übergang.
2. Das Laufverhalten der Mitarbeiter auf dem zentralen Überweg ist durch geradlinige Bewegungen und eine durchschnittliche Laufgeschwindigkeit gekennzeichnet. Deutlich langsamere oder schnellere Laufgeschwindigkeiten konnten nur sehr vereinzelt wahrgenommen werden.
3. Kennzeichnend für das Laufverhalten der Fußgänger auf dem Überweg ist ebenfalls häufiger eine nicht ausreichende Orientierungsreaktion über den Querungsverkehr und häufiger zu beobachtende Parallelhandlungen bei der Überquerung der Fahrbereiche (rauchen, das Suchen in Taschen, telefonieren).
4. Zum Arbeitsbeginn oder zum Arbeitsende konnten häufiger Gruppensituationen beobachtet werden. Hierbei war auffällig, dass die Orientierungsreaktionen über querenden Verkehr deutlich seltener zu beobachten waren.
5. Vereinzelt wurden Fahrer beobachtet, die sich auf dem Gelände bewegten. Häufiges Ziel war dabei das im Bereich des Hochregallagers (HRL) gelegene Wareneingangsbüro. Hier sind teilweise sehr lange Laufwege aus der Wartezone vor den Hallen 2/3 festzustellen. Die beobachteten Fahrer bewegten sich dabei häufig direkt auf oder an den Rändern der Fahrbereiche, auch während der Anwesenheit weiterer Fahrzeuge.



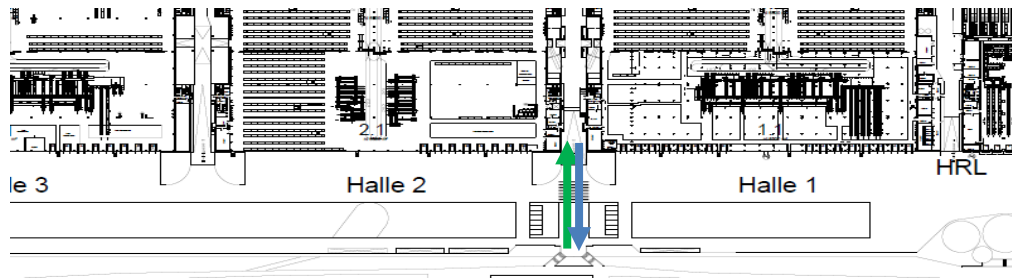


Abbildung 5-20. Skizze des zentralen Übergangs mit Hauptlauf- und Fahrbereichen

1. Der Serviceverkehr in der Brandgasse stellt den Hauptgefährdungsfaktor für die dort zeitweise befindlichen Mitarbeiter des Betriebes dar. Es konnten mehrere Situationen beobachtet werden, in denen sich Fahrzeuge und Mitarbeiter sehr dicht aneinander vorbei bewegten. Insbesondere Fahrzeuge, die vor Ort beladen werden (Müll- und Entsorgungsfahrzeuge) stellen aufgrund der Beladungstätigkeit inklusive des Rückwärtsfahrens und Aufladens eine Gefährdung dar.
2. Bei einer Rangieraktion fuhr der Fahrer die Radmutterkappen am LKW ab, er konnte auch beim Abladen weder die Fußgänger vor ihm, noch hinter ihm beobachten. Bei einsetzendem Regen verließ der Einweiser sofort die Brandgasse und alle weiteren Rangiervorgänge fanden ohne Einweiser statt.
3. Es muss allerdings festgestellt werden, dass insbesondere das wenig selbstschützende Verhalten der Fußgänger in diesem Bereich das größte Risiko darstellt. Dichtes Vorbeigehen an stehenden und bewegten Fahrzeugen und weitere offensive Verhaltensweisen ließen sich mehrfach beobachten.
4. Zu Schichtwechsel und Arbeitsende drängten sich mehrfach und verschiedene Personen zwischen einem rüttelnden und abladenden Containertransport und der rechten Seitenwand durch einen ca. 25 cm schmalen Spalt zwischen LKW und Betonwand vor der Pforte. Ein weiterer kletterte über die Deichsel eines Anhängers. Hier ist eine massive Eigengefährdung festzustellen. Hier ist der Weg von einem Gebäudeteil zur Pforte nur dann zu überqueren, wenn kein LKW dort ablädt. Da das Schichtende ein hoher Anreiz ist, wird empfohlen in dieser Zeit nicht abzuladen.

#### 5.2.2.2.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER BEOBACHTUNGEN AN STANDORT 1

Die vorgefundene Verkehrssituation am Standort ist durch ein zeitweise hohes Verkehrsaufkommen auf dem gesamten Betriebsgelände und insbesondere in den Anfahrts- und Anlieferungsbereichen gekennzeichnet. Während dieser Stoßzeiten ist die Verkehrssituation zwangsläufig unübersichtlich.

Folgende Beobachtungsaspekte der betrieblichen Verkehrssituation sind besonders interessant:

- Keine klare Lauf- und Fahrbereichstrennung möglich, sodass Ausweichverhalten aufgrund rangierender und/oder stehender Fahrzeuge eine eindeutige Vorhersage verhindert, wo sich andere Verkehrsteilnehmer befinden können bzw. aus welcher Richtung sich die Fahrzeuge nähern
- Zeitweise hohe Verkehrsdichte und häufig konfligierende Zielstellungen der dort fahrenden oder laufenden Verkehrsteilnehmer

- Zeitweise schlechte Einsehbarkeit von Fahrstrecken, Kurven, Anlieferungsbereichen durch temporäre oder stationäre Sichtblockaden – vorausschauendes, gefahrenantizipierendes Fahren ist dadurch deutlich erschwert
- Räumliche Enge in den Rangierbereichen
- Teilweise unvorsichtiges und wenig selbstschützendes Verhalten der vor Ort befindlichen Fahrer und Fußgänger
- Regelverletzungen der externen Fahrer mit teilweise erheblichem Gefährdungspotential

Damit lassen sich aus den Beobachtungen am Standort 1 folgende erste projektrelevante Erkenntnisse ableiten:

1. Fußgänger:
  - a. Das Laufverhalten der Fußgänger war durch hauptsächlich geradliniges und normal schnelles Gehen gekennzeichnet. Es wird vorläufig daraus geschlussfolgert, dass das betriebliche Gehen überwiegend zielorientiert und zielstrebig erfolgt.
  - b. In Fußgängerbereichen und an Überwegen war trotz anwesender fahrender Fahrzeuge ein vermindertes Orientierungs- und Eigensicherungsverhalten der Fußgänger festzustellen.
  - c. In den Beladebereichen war trotz teilweise erheblichen Rangierverkehrs räumlich naher und teilweise wenig eigensichernder Fußgängerverkehr zu beobachten.
2. Fahrer/Fahrzeuge:
  - a. Es sind häufiger Parallelhandlungen oder die Ausführung fahrfremder Tätigkeiten bei den Fahrern zu beobachten. Dies gilt insbesondere für die Anfahrt an die Rangierbereiche.
  - b. Ebenfalls lassen sich Geschwindigkeitsübertretungen, fehlende Fahrtrichtungsanzeigen oder temporäre (notwendige) Spurwechsel feststellen.
  - c. Während des Rückwärtsfahrens oder -rangierens haben die Fahrer keine Möglichkeiten, den rückwärtigen Bereich vollständig einzusehen.
  - d. Aufgrund zeitgleicher An- und Abfahrten anderer Fahrzeuge und des parallelen, kaum vorhersagbaren und nicht sichtbaren Fußgängerverkehrs, ist insbesondere die vollständige Wahrnehmung der Vorgänge in den Rampenbereichen sehr schwierig.

Die folgenden Grafiken veranschaulichen exemplarisch Bewegungsmuster, wie sie an Standort 1 beobachtet wurden. Sie verdeutlichen nochmals, dass das betriebliche Verkehrsverhalten durch parallele und schwer vorhersagbare Bewegungen (insbesondere hinsichtlich der Richtung) unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer gekennzeichnet ist.

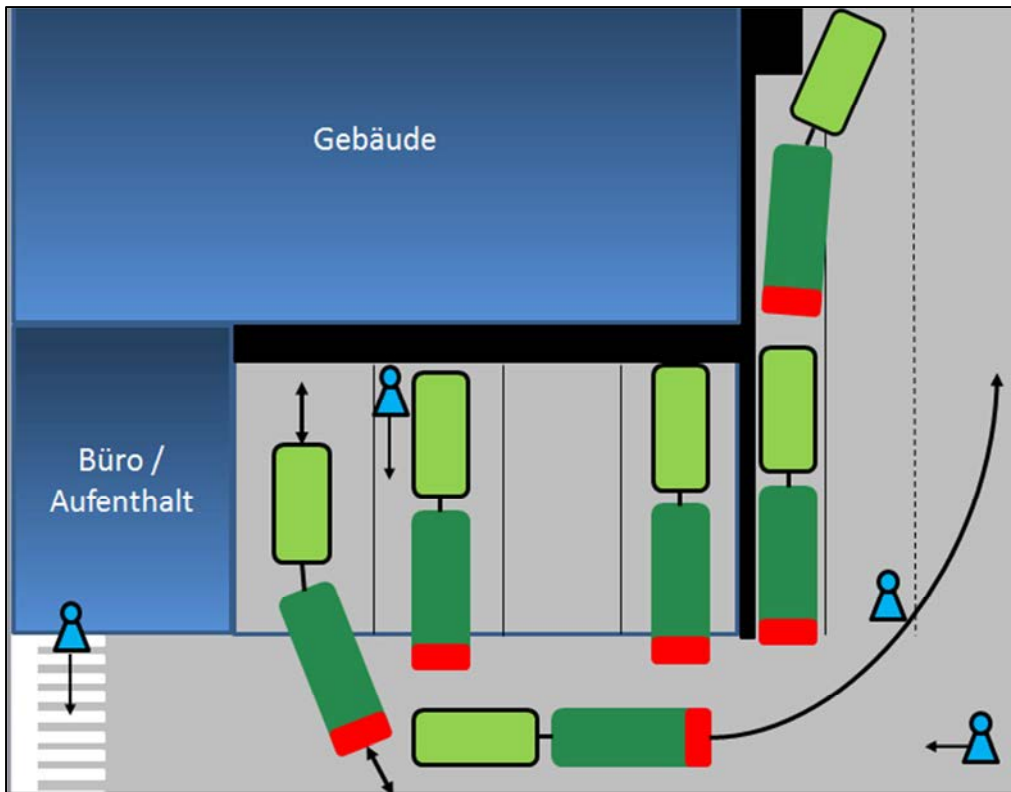


Abbildung 5-21. Exemplarische Darstellung von Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer an Standort 1 – Bild 1

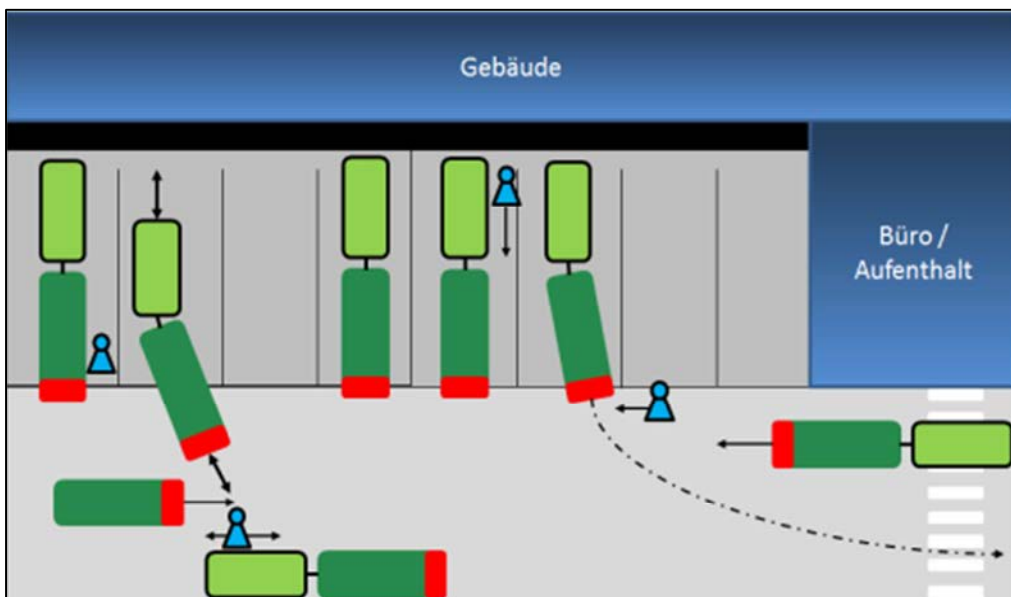


Abbildung 5-22. Exemplarische Darstellung von Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer an Standort 1 – Bild 2

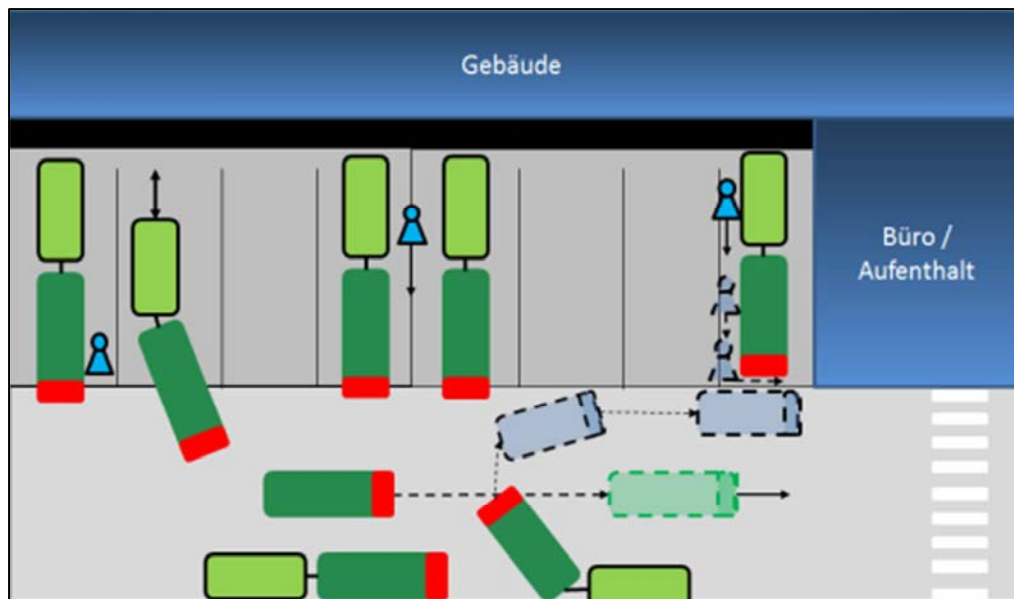


Abbildung 5-23. Exemplarische Darstellung von Parallelbewegungen unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer an Standort 1 – Bild 3

Die beobachteten betrieblichen Lauf- und Fahrsituationen lassen einen sicherheitserhöhenden Effekt durch den Einsatz des FRAMES-Sicherheitssystems erwarten. Die teilweise hohe Verkehrsdichte, die dabei bestehende gleichzeitige räumliche Enge und die auftretenden Fußgänger-Fahrzeug-Interaktionen mit bestehender Sichtbehinderung stellen eine Umgebungskonfiguration dar, für die das System spezifiziert werden kann.

### 5.2.3 Betriebliches Verkehrsverhalten Standort 2 - Müllheizkraftwerk

Die Beobachtungen des betrieblichen Verkehrs- bzw. Bewegungsverhaltens an Standort 2 fand am 10./11.12.2012 statt. Die Beobachtungen konzentrierten sich insbesondere auf den zentralen Rampenbereich, d.h. auf die Anfahrt auf die Rampe und den Rückwärtsfahr- bzw. Rangierverkehr an die Tore zu den Müllbunkern. Der folgende Kartenausschnitt illustriert die Anfahrsituation auf der Rampe.



Abbildung 5-24. Kartenausschnitt der zentralen Rampe Müllheizkraftwerk Ruhleben

Das Müllheizkraftwerk wird von unternehmenseigenen Fahrzeugen mehrfach am Tag angefahren. Es handelt sich hierbei vorrangig um Müllsammelfahrzeuge, die den Restmüll (graue bzw. schwarze Tonnen) des gesamten Stadtbereichs der Verbrennung zuführen. Außerdem fahren auch andere ge-



werbliche Fahrzeuge und private Anlieferer Verbrennungsmüll zur Anlage, so dass insgesamt ca. 200 Fahrzeuge pro Tag die Entladetore anfahren. Die zeitliche Verteilung der Anfahrten ist dabei durch ein bis zwei Spitzenzeiten von jeweils etwa einer Stunde Dauer gekennzeichnet. Üblicherweise liegt die erste Entladespitze je nach Wochentag und Witterungsbedingungen zwischen 08.30-10.00 Uhr, während die zweite Spitze zeitlich zwischen 12.30-14.00 Uhr liegt. Die Zeiten zwischen den beiden Spitzen vor 08.30 Uhr bzw. nach 14.00 Uhr sind durch ein deutlich geringeres Fahrzeugaufkommen gekennzeichnet.

Auf der Rampe befindet sich vor den Entladetoren ein Containerbau, in dem sich die Leitstelle für die Zuweisung einzelner Fahrzeuge zu den jeweiligen Toren befindet. In dieser Leitstelle ist jeweils ein Mitarbeiter beschäftigt, während die weiteren Beschäftigten (zwischen 2-5 Personen) insbesondere Reinigungsaufgaben im Rampen- und Torbereich wahrnehmen. Dies ist notwendig, da beim Entladen der Fahrzeuge regelmäßig eine gewisse Menge des Mülls auf der Rampe verbleibt, der dann manuell durch die dort beschäftigten Mitarbeiter in die Müllbunker verbracht wird. Der typische beobachtete Ablauf ist dabei wie folgt:

1. Die beladenen Fahrzeuge erreichen das Betriebsgelände und werden nach der Einfahrt in die Pforte gewogen.
2. Danach fahren die Fahrzeuge in den Zufahrtsbereich zur Rampe und warten an den dort installierten Ampelanlagen so lange, bis sie durch die Leitstelle auf der Rampe „grünes Licht“ zum Befahren der Rampe erhalten.
3. Wenn die Fahrzeuge den oberen Teil der Rampe erreicht haben, wird Ihnen durch Lichtanlagen im Bereich jedes Tores signalisiert, welche Tore angefahren werden können. Da das MHKW in den letzten Jahren erweitert wurde, unterteilt sich der gesamte Rampenbereich in einen neuen Teil A, welcher den Fahrern weitestgehend automatisiert signalisiert, ob Tore angefahren werden können und einen älteren Teil B, bei dem üblicherweise die Leitstelle die Anfahrt regelt.
4. Die Fahrzeuge fahren vorwärts bis zum nächsten freien Tor. Die Beifahrer sind verpflichtet auszusteigen, um die Fahrer als Einweiser bei der Rückwärtsanfahrt an das Entladetor zu unterstützen und den rückwärtigen Fahrbereich zu sichern. Das Fahrzeug setzt dann rückwärts zurück bis in die Endposition und der Fahrer beginnt den Entladevorgang durch das Öffnen der hinteren Entladevorrichtung.
5. Nach erfolgtem Entladevorgang schließt einer der Beifahrer die aufgeklappte Entladevorrichtung, dann steigen die Beifahrer eines Fahrzeugs wieder zu und das Fahrzeug verlässt die Rampe.
6. Gleichzeitig zum Fahrzeugverkehr sind die bereits angesprochenen Mitarbeiter im Rampenbereich unterwegs, um bereits angefahrene und verunreinigte Tore zu reinigen und für die nächste Anfahrt vorzubereiten.

Die durchschnittliche beobachtete Entladezeit eines Fahrzeugs liegt bei etwa 3-5 Minuten. Die folgende Bilderserie verdeutlicht die beschriebene Situation exemplarisch. Beginnend mit dem Bild oben links ist die Anfahrtssequenz vom zentralen Eingang bis in die Entladeposition dargestellt.

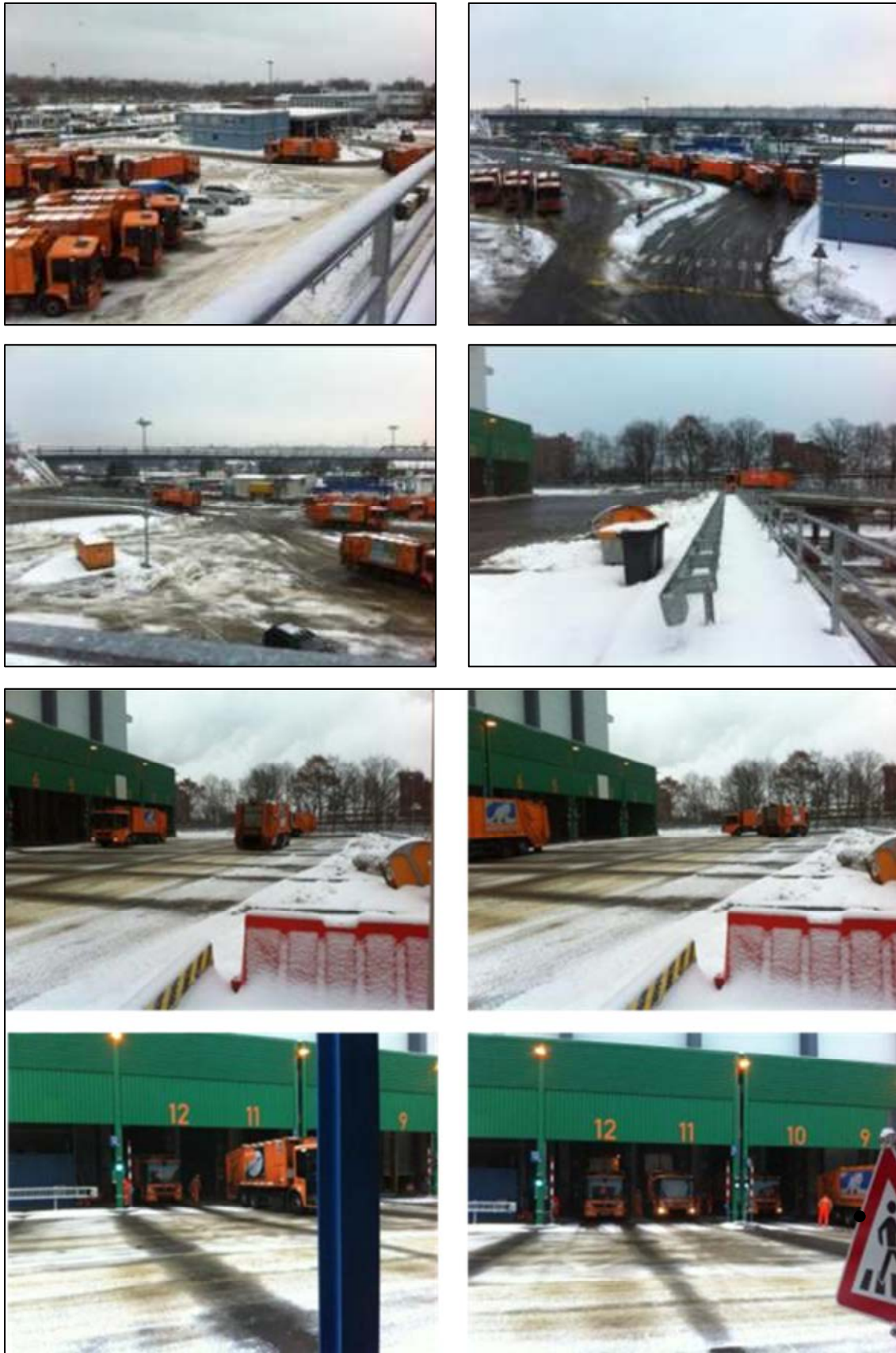


Abbildung 5-25. Anfahrtsequenz im BSR Müllheizkraftwerk Ruhleben

### 5.2.3.1 Ausgewählte Ergebnisse

Während der Beobachtungen wurde deutlich, dass die Verkehrssituation durch einen wiederholten Wechsel zwischen Zeiten sehr hohen Verkehrsaufkommens und Zeiten sehr geringer Verkehrsauslastung gekennzeichnet ist. Während der Spitzenzeiten ist die Situation durch ein erhebliches Fahrzeugaufkommen bei gleichzeitiger räumlicher Enge charakterisiert. Häufig waren dann einander sehr nahe Parallelbewegungen von Fahrzeugen und Fußgängern festzustellen. Zwischen diesen Lastzeiten war die Verkehrssituation jedoch deutlich ruhiger, dann waren nur vereinzelt Anfahrten durch firmeneigene Fahrzeuge oder Fremdunternehmen zu beobachten.

Bezogen auf sicherheitsrelevante Beobachtungen des Mitarbeiterverhaltens kann die Verkehrssituation zu den Lastzeiten wie folgt gekennzeichnet werden:

1. **Regelmäßige Überschreitungen der u.a. baulich bedingten zulässigen Anfahrsgeschwindigkeiten.** Sehr deutlich war das zu beobachtende Interesse der Fahrzeugbesetzungen, den Entladevorgang so schnell wie möglich durchzuführen, um die nächste Tour beginnen zu können. Dies konnte u.a. durch regelmäßige Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf der Rampe nachvollzogen werden. Nach Schätzungen der Beobachter und den Berichten der Mitarbeiter liegen die Anfahrsgeschwindigkeiten deutlich oberhalb des zulässigen Bereichs. Dies muss insbesondere wegen des welligen Straßenbelags, des wiederholt zu beobachtenden Beinaheaufsetzens der Fahrzeuge und der während der Beobachtungen herrschenden Witterungsbedingungen als ein erhebliches Risiko für die dort beschäftigten Mitarbeiter gewertet werden. Als ebenfalls unangemessen wurde das sehr offensive Beschleunigungs- und Bremsverhalten einiger Fahrer bewertet.
2. **Schnelles und ausladendes Rangieren bei der Anfahrt an die Tore.** Das Rangieren und Rückwärtsfahren erfolgte wiederholt sehr schnell und nicht mit der gebotenen Sorgfalt (einhändig, Parallelhandlungen wie trinken, rauchen etc.) und vergleichsweise offensiv.
3. **Fehlende oder nicht ausreichend selbstsichernde Einweisungen der rückwärtsfahrenden Fahrzeuge durch die Beifahrer.** Das Einweiserverhalten der Beifahrer war ebenfalls wiederholt unangemessen (mit Rücken zum Fahrer ohne Blickkontakt und winkend) oder fand nicht statt (Beifahrer blieb sitzen).
4. **Starke Parallelbewegungen von Fahrzeugen und Personen in den Rangierbereichen bei gleichzeitig vorliegender räumlicher Enge.** Die damit im Zusammenhang stehende potentielle Gefährdung der Beifahrer zeitgleich entladender Fahrzeuge an den Nebentoren oder der beschäftigten Mitarbeiter auf der Rampe durch unvorsichtiges Rückwärtsfahren konnten vereinzelt beobachtet werden, wurde den Beobachtern aber durch die auf der Rampe tätigen Mitarbeiter ebenfalls anhand exemplarischer Schilderungen berichtet.

Aufgrund der geschilderten Situation ist das Eigensicherungsverhalten der auf der Rampe tätigen Mitarbeiter ausgeprägt. Dies konnte zum einen im Rahmen der Beobachtungen festgestellt werden. Aber auch in den durchgeführten Interviews wurde ebenfalls von mehreren Mitarbeitern auf die erhöhte Gefährdungssituation hingewiesen. Im Rahmen der berichteten Erlebnisse konnten folgende konkreten wiederholt auftretenden Szenarien selbst beobachtet oder aber aus den Berichten der Mitarbeiter nachvollzogen werden:

1. **Reinigung des Entladebereichs eines Tores.** Ein Fahrer eines ankommenden Fahrzeugs fährt rückwärts an das entsprechende Tor und übersieht den Mitarbeiter im rückwärtigen Bereich. Dies wird u.a. häufig durch das Fehlen eines Einweisers oder die nicht korrekte Ausführung

der Einweisung verursacht. Der betroffene Mitarbeiter ist gezwungen seine Tätigkeit zu unterbrechen und muss dem Fahrzeug ausweichen.

2. **Zeitgleiches Abladen von Fahrzeugen an benachbarten Toren.** Fahrzeugbesatzungen sitzen in den Fahrzeugen oder befinden sich außerhalb ihrer Fahrzeuge. Die Mitarbeiter des MHKW befinden sich ebenfalls in diesem Bereich und reinigen die Toranfahrlen. Die dadurch vorliegenden schlecht vorhersagbaren Bewegungen bzw. Bewegungsmuster der Mitarbeiter erzeugen eine schwer abschätzbare Gefährdungssituation bei zusätzlich dauerhaft an- bzw. abfahrenden Fahrzeugen.
3. **Aussteigende Beifahrer.** Die Besatzungen bereits abladender Fahrzeuge steigen aus und laufen tlw. sehr dicht hinter rückwärts anfahrenden Fahrzeugen an den Nebentoren, um zu den auf der Rampe befindlichen Toiletten zu gelangen.
4. **Handabladebereich.** Zwischen den neuen (Inbetriebnahme 2012) und alten Torbereichen liegt ein etwas zurückgesetzter Entladebereich für so genannte Handabloader. Die Kontrolle der Ladung dieser Fahrzeuge obliegt dem Rampenpersonal. Nach Kontrolle der Ladung oder erfolgter Abladung verlassen die Mitarbeiter diesen Bereich, um zum Leitstand zurückzukehren oder andere Tätigkeiten aufzunehmen. Treten diese Mitarbeiter hinter den Seitenbegrenzungen hervor (siehe Abbildung 5-28, rechte Bilderserie), befinden sie sich sofort auf dem Anfahrtsbereich für ankommende Fahrzeuge. Mehrere Mitarbeiter berichteten hier von Beinaheunfallsituationen / Konfliktsituationen mit ankommenden Fahrzeugen.
5. **Gefährdung der Mitarbeiter beim Überqueren des Rampenbereichs auf dem dafür vorgesehenen Fußgängerüberweg.** Beobachtet wurden hier beispielsweise zwei Fahrzeuge, die gleichzeitig hinter und vor dem Mitarbeiter vorbeifuhren und ihn damit zum Stehenbleiben auf dem Mittelstreifen zwangen, da beide Fahrzeuge parallel den Überweg kreuzten. Ein Ausweichen des Mitarbeiters in einer Gefährdungssituation wäre nicht möglich gewesen. Auf Nachfrage bestätigten die Mitarbeiter, dass solche oder ähnliche Situationen häufiger zu beobachten sind.
6. **Bauliche Besonderheiten.** Die befragten Mitarbeiter berichteten neben der Gefährdung durch an- und abfahrende bzw. rangierende Fahrzeuge auch von zwei baulichen Besonderheiten der neuen Rampenbereiche, die aus ihrer Sicht ihre verkehrsbezogene Sicherheit beeinflussen. Zum einen wurde festgestellt, dass das über den Rampenbereichen angebrachte Schutzdach zu hoch angebracht worden sei, wodurch ein wirksamer Schutz vor Schnee/Regen nicht gegeben sei. Dies führt in der Folge zu Schneeverwehungen, Vereisungen und Glätte im unmittelbaren Rangierbereich. Insbesondere bei teilweise oder vollständig geöffneten Toren besteht neben der allgemeinen Rutschgefahr eine erhöhte Absturzgefahr für die dort befindlichen Mitarbeiter (Reinigungskräfte und/oder Einweiser). Ein weiteres, durch die Mitarbeiter zur Sprache gebrachte Thema, waren die im neunten Abschnitt A nicht mehr vorhandenen Schranken (siehe auch 1.), mit denen die Mitarbeiter in den alten Rampenbereichen Tore sperren können. Dies erfolgt nach Aussage der Mitarbeiter insbesondere dann, wenn dort größere Reinigungsarbeiten durchzuführen sind. In den neuen Rampenbereichen sollen anstatt dessen Pylone aufgestellt werden, um ein Tor entsprechend abzusichern. Allerdings ist es nach Aussage eines Mitarbeiters aber bereits vorgekommen, dass die Fahrer die aufgestellten Pylone übersehen haben und die entsprechenden Tore trotzdem angefahren wurden. Auch wenn die Absicherung des rückwärtigen Bereichs mit Pylonen nur eine Möglichkeit darstellt, (alternativ sind bspw. Lichtschranken mit Signalton an den verriegelten Toren denkbar oder andere adäquate Maßnahmen) muss einschränkend an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass das Aufstellen der Pylone nur einen letzten Schritt zur Si-

cherung des zu reinigenden Bereichs darstellt. Zunächst sollte der dort beschäftigte Mitarbeiter das zu reinigende Tor sperren, so dass es als gesperrt angezeigt wird und es nicht mehr angefahren wird. Eine zweite Maßnahme liegt beim Beifahrer, dessen Aufgabe insbesondere die Absicherung des rückwärtigen Fahrbereichs darstellt, so dass das fälschliche Anfahren eines gesperrten Tores durch den Einweiser bemerkt werden sollte. Eine dritte Sicherungsmaßnahme stellen dann die Pylone dar, welche nochmals als Warnvorrichtung dienen.

7. **Parkbereich unterhalb der Rampe.** Neben den Beobachtungen auf der Rampe wurden ebenfalls Beobachtungen im unterhalb der Rampe gelegenen Park- und Haltebereich gemacht. Hier konnte zu den Hauptzeiten ein erheblicher paralleler Fußgänger- (u.a. Fahrzeugbesatzungen) und Fahrzeugverkehr festgestellt werden. Die Überquerungen der Straße bzw. der Fahrbereiche erfolgte durch die Mitarbeiter dabei häufiger unter Vernachlässigung der vorhandenen Überwege.
8. **Zustand der Fahrzeuginnenräume.** Weitere generelle Beobachtungen beziehen sich auf den Zustand der Fahrzeuginnenräume bzw. das Verhalten der Beifahrer in den Fahrzeugen. Es konnte häufiger beobachtet werden, dass die Beifahrer nicht angeschnallt, in halb liegender Position in den Fahrzeugen saßen und teilweise sogar ihre Füße auf dem Armaturenbrett abgestellt hatten. Dieses Verhalten stellt sowohl eine erhebliche Eigengefährdung als auch eine Fremdgefährdung für die anderen Mitfahrenden dar. Darüber hinaus konnte ebenfalls beobachtet werden, dass auf den Armaturenbrettern vieler Fahrzeuge eine Vielzahl von Objekten abgelegt wurden. Teilweise handelte es sich dabei um Flaschen o.ä. schwerere Objekte. Auch hierdurch ist eine deutliche Gefährdung der Insassen bei einem Unfall oder einer unerwarteten Bremsung zu erwarten.

Es lässt sich somit festhalten, dass die Situation auf der Rampe, insbesondere zu den Lastzeiten, durch die Beobachter durchaus als gefährdend wahrgenommen wurde. Die Gefährdungswahrnehmung der Mitarbeiter selbst wich bei Nachfragen davon anfangs bei Einzelnen zwar ab, allerdings wurde bei wiederholtem Nachfragen und der Darstellung selbst beobachteter Situationen deutlich, dass die Mitarbeiter diese Gefährdungen bestätigten. Im Ergebnis stellen für die Mitarbeiter insbesondere die hohen Anfahrsgeschwindigkeiten, das teilweise sehr offensive Anfahren der Tore und die schnellen und teilweise nicht ausreichend gesicherten Rangiervorgänge die Hauptgefahren dar. Ein weiteres Kernergebnis der Beobachtungen ist das Gefährdungspotential durch die komprimierten Anlieferungszeiten. Der Wechsel zwischen dem sehr hohen Fahrzeugaufkommen zu den beiden Hauptanlieferungsintervallen und den vergleichsweise ruhigen Zwischenzeiten ist insbesondere aus Platz- und Übersichtsgründen nicht optimal. Eine Vergrößerung der Zeitfenster und damit eine bessere Verteilung der Anlieferungen führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Entzerrung dieser Situation und damit zur Verringerung der Unübersichtlichkeit und damit der Stresssituation durch die gleichzeitigen Parallelbewegungen der Mitarbeiter und der Fahrzeuge.

Bezüglich der konkreten Unfallsituationen im Rampenbereich wird im Übrigen ergänzend festgestellt, dass keine konkreten Unfallsituationen aus dem beobachteten Bereich bekannt sind. Darüber hinaus wurde allerdings wiederholt von kritischen Situationen oder Beinaheunfallsituationen berichtet.





Abbildung 5-26. Beispiel für die räumliche Enge bei paralleler Entladung mehrerer Fahrzeuge an benachbarten Ladetoren

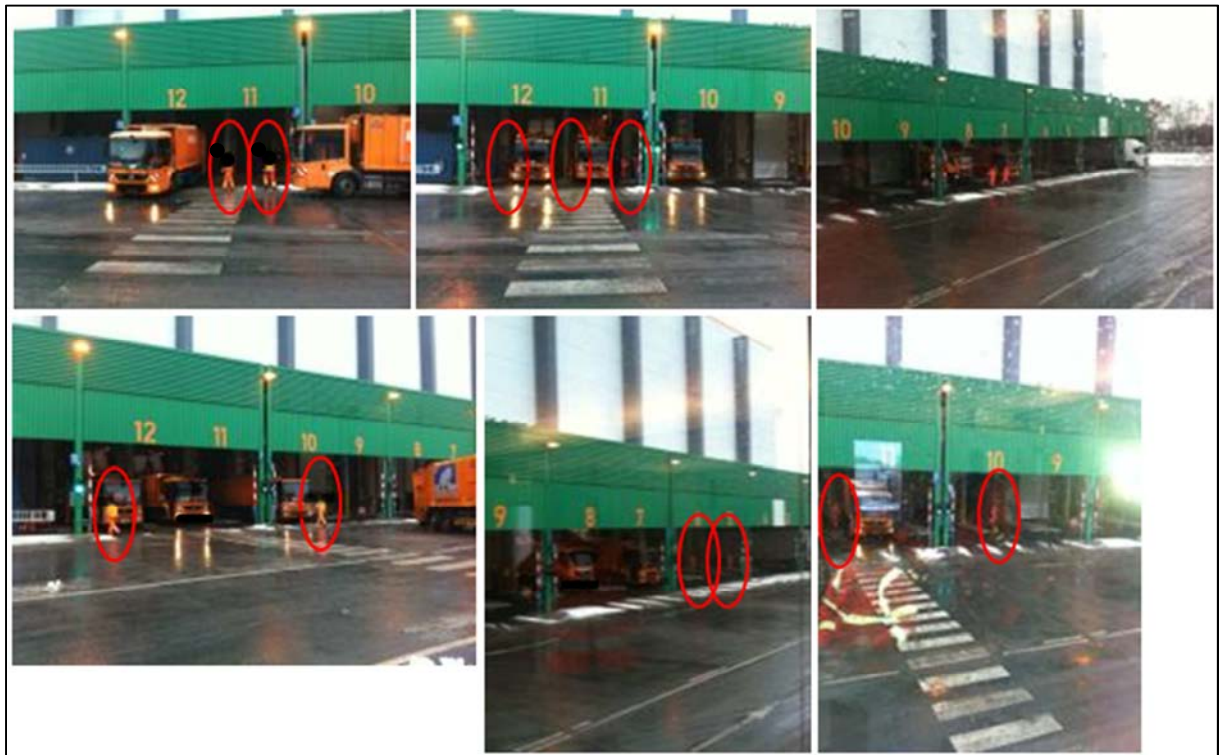


Abbildung 5-27. Beispiele für die Interaktionen zwischen Fahrzeugen und Personen im Bereich der Ladetore

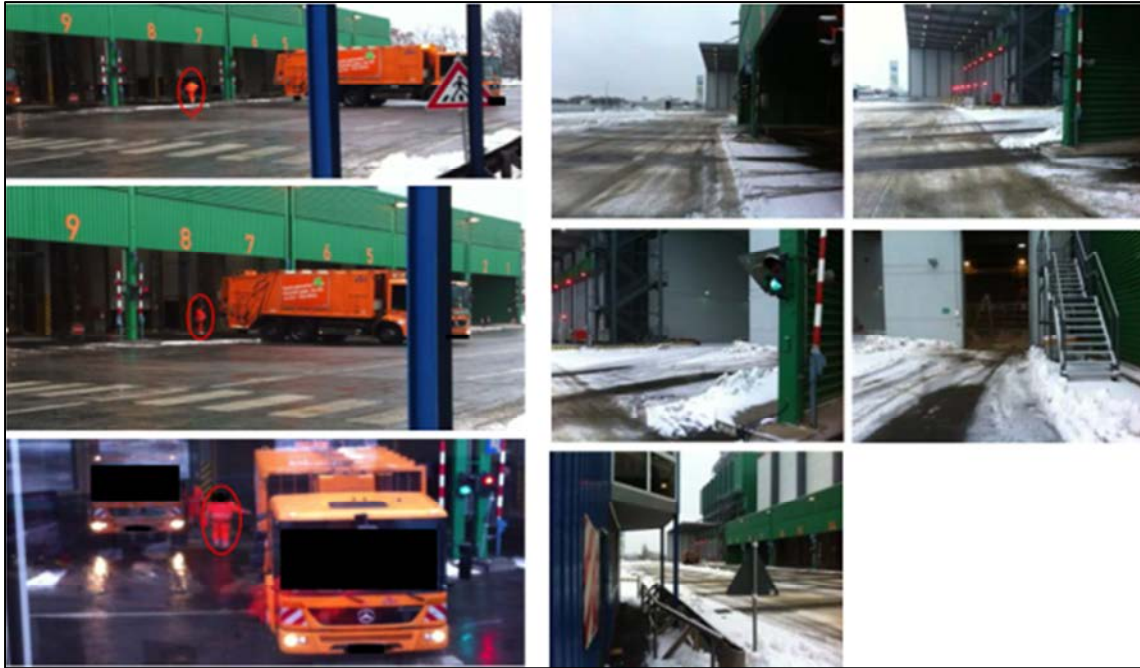


Abbildung 5-28. Linke Bilderserie: Beispiele für das Einweisen von Fahrzeugen an den Entladetoren / Rechte Bilderserie: Situation am Handabladebereich



Abbildung 5-29. Fahrzeug-Personen-Kontakte im Bereich des Parkplatzes vor der Betriebskantine



### 5.2.3.2 Fazit aus den Analysen

Die vorgefundene betriebliche Verkehrssituation ist zunächst durch klare betriebsintern kommunizierte Regelungen und durch ein umfassendes Verkehrsleitkonzept gekennzeichnet. Alle diesbezüglich geführten Interviews mit dem Arbeitssicherheitspersonal und den betrieblichen Leitungspersonen sowie die Beobachtungen zeigen eine intensive Auseinandersetzung und Reflektion bzw. Reflektionsbereitschaft der Mitarbeiter und des Leitungspersonals über die betriebliche Verkehrssituation. Die im Rahmen der Beobachtungen identifizierten Veränderungsmöglichkeiten beziehen sich daher vor allem auf spezifische beobachtete Verkehrssituationen, so z.B. im Zusammenhang mit einzelnen Entladeorten oder einzelnen Hochlast- bzw. Spitzenzeiten oder berichteten Gefährdungssituationen. Die vorgefundenen Gefährdungs- bzw. Konfliktsituationen von Personen und Fahrzeugen im Bereich der Rampe resultieren vorrangig aus einer Kombination des täglichen und lediglich temporär hohen Verkehrsaufkommen mit allen daraus folgenden Adaptationsprozessen auf Seite der dort befindlichen Mitarbeiter, der räumlichen Enge während der Spitzenzeiten und individuellen bzw. teilweise kollektiven Regelverstößen, vermutlich aus Gründen der Zeitersparnis und aus Gründen der fehlenden Perspektivenübernahme der jeweils anderen Verkehrsteilnehmer.

### 5.2.3.3 Projektbezogene Erkenntnisse

Für die Zielstellungen des FRAMES-Projektes lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

1. Die Expositionszeiten auf der Rampe waren sehr kurz. Die ungefähre Standzeit der Fahrzeuge an den Entladetoren liegt bei ca. 3 Minuten. Inklusive An- und Abfahrt beträgt die durchschnittliche Verweildauer der Fahrzeuge ca. 5 Minuten. Die Bewegungsstruktur der Fußgänger ist durch relativ kurze Wege und zielgerichtetes Laufverhalten gekennzeichnet. Somit ist für alle betroffenen Verkehrsteilnehmer eine hohe Frequenz aus an- und abfahrenden Fahrzeugen und sich dort bewegenden Personen festzustellen.
2. Zu den Hochlastzeiten lassen sich regelmäßig Parallelbewegungen mehrerer Fahrzeuge bzw. Personen beobachten. Insbesondere die Personenbewegungen sind zu diesen Zeiten aufgrund sich ständig verändernder Hindernissituationen nur schwer vorhersagbar.
3. Werden nebeneinander liegende Entladetore gleichzeitig benutzt, ist eine erhebliche räumliche Enge festzustellen.

Die beobachteten betrieblichen Lauf- und Fahrsituationen lassen einen sicherheitserhöhenden Effekt durch den Einsatz des FRAMES-Sicherheitssystems erwarten. Die hohe Verkehrsdichte, die gleichzeitige räumliche Enge und die schwierige Vorhersagbarkeit der parallel stattfindenden Fußgängerbewegungen stellen eine Umgebungskonfiguration dar, für die das System spezifiziert werden kann.

Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch typische beobachtete Parallelbewegungsmuster:

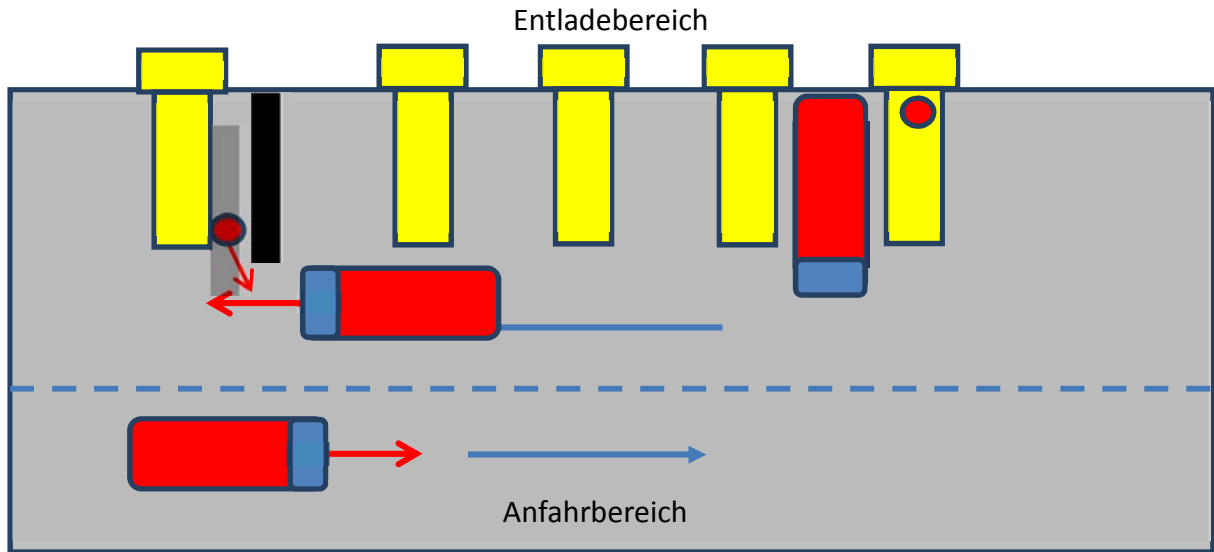


Abbildung 5-30. Szenario Handabladebereich. Mitarbeiter verlässt den Handabladebereich, gleichzeitig nähert sich ein Fahrzeug

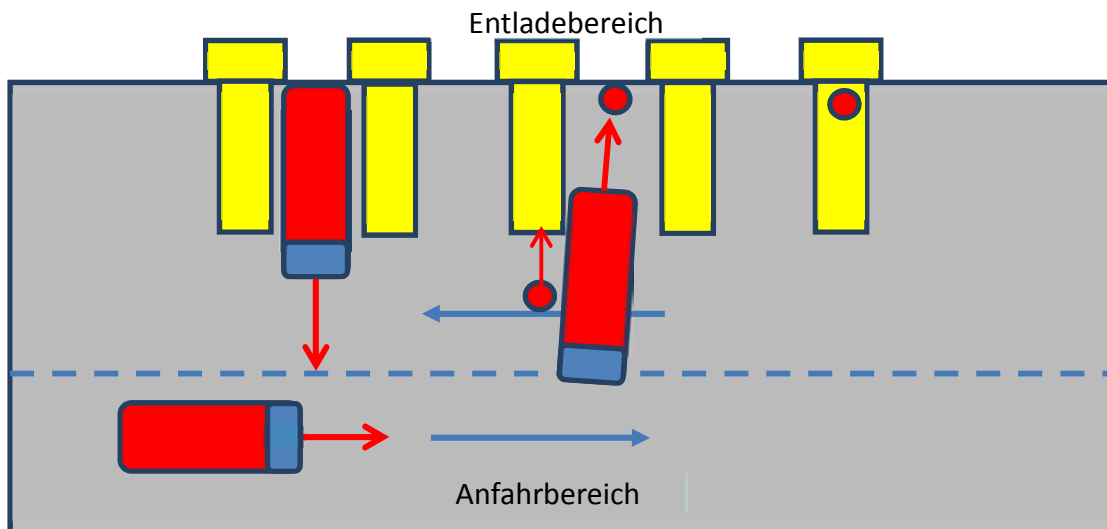


Abbildung 5-31. Szenario Übersehen eines Mitarbeiters im rückwärtigen Bereich beim Rangieren. Mehrere Bewegungen von Fahrzeugen mit vermutlicher Ablenkung des Fahrers, ungünstiger Positionierung und schlechten Sichtverhältnissen des Einweisers

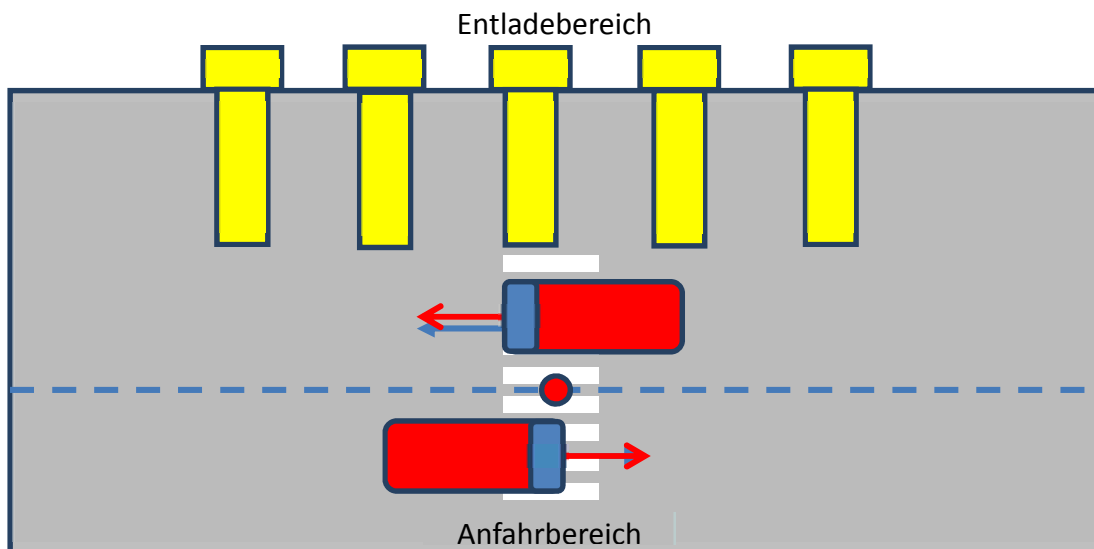


Abbildung 5-32. Szenario Missachtung des Vorrangs auf dem Überweg. Blockade eines querenden Mitarbeiters durch zwei Fahrzeuge

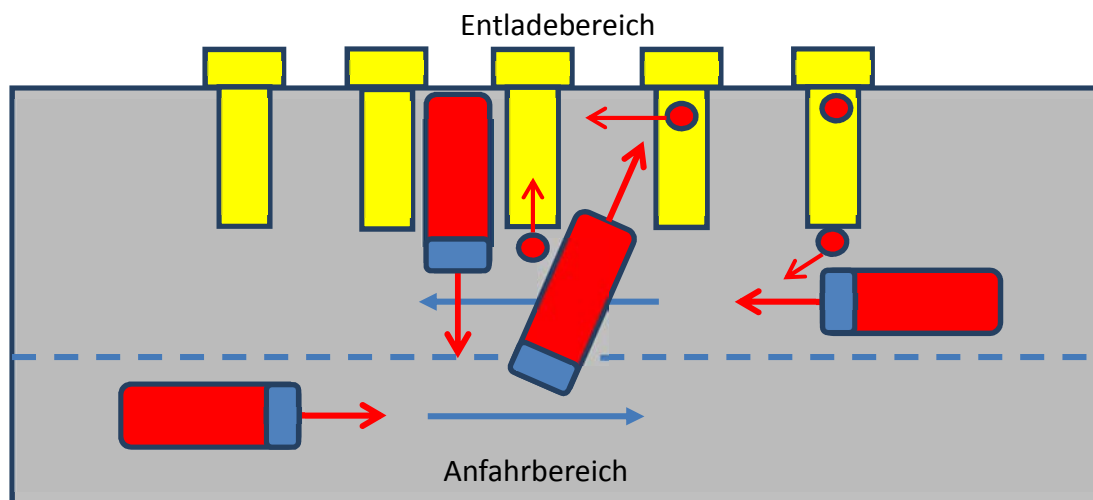


Abbildung 5-33. Szenario Mehrfachbewegungen. Mehrere schlecht vorhersagbare Bewegungen bei bestehender räumlicher Enge, Ablenkungsgefahr und individuellem Gefährdungsverhalten

#### 5.2.4 Betriebliches Verkehrsverhalten Standort 3 - Logistikdienstleister

Die Analyse des betrieblichen Verkehrsverhaltens an Standort 3 wurden im Mai 2013 durchgeführt. Bei dem Standort handelt es sich um eine Niederlassung eines Logistikdienstleisters. Insgesamt sind an Standort 3 mehrere Hundert Mitarbeiter beschäftigt. Auf dem Gelände sind unterschiedliche Abteilungen untergebracht. Den größten Bereich nimmt dabei eine Warenverteilung ein, in der ankommende und abgehende Lieferungen regional und überregional verteilt werden. Außerdem befinden sich zwei Abteilungen auf dem Gelände, welche die Lieferungen zum Endkunden bringen. Die folgende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des Geländes. Die nachstehende Übersicht zeigt die grundlegende Geländestruktur und die Verkehrssituation an Standort 3. Zusätzlich zu den farbig markierten Bereichen sind alle weißen Bereiche Fahr- und –Bewegungsflächen.

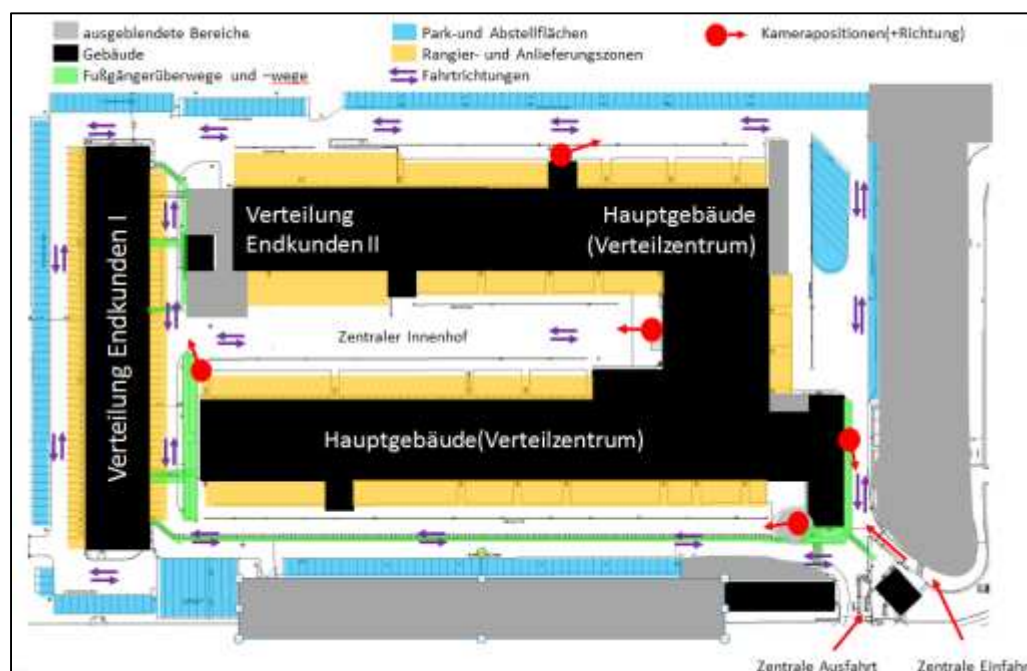


Abbildung 5-34. Lageskizze Standort 3

Das Gelände ist durch eine komplexe Verkehrssituation gekennzeichnet. Zusammenfassend lassen sich folgende Merkmale der Verkehrssituation darstellen:

1. Die Höchstgeschwindigkeit auf dem Gelände beträgt 30 km/h.
2. Es ist ganztägig ein hohes Verkehrsaufkommen festzustellen. Hauptlastzeiten liegen am Morgen (ca. 7.00-9.30 Uhr) und am Nachmittag (ab. 14.00 bis ca. 18.00).
3. Es sind nahezu ganztägig Parallelbewegungen von Fahrzeugen und Personen auf dem Gelände festzustellen. Diese erreichen ebenfalls morgens und nachmittags die höchsten Werte.
4. Es gibt kein generelles Laufverbot für Mitarbeiter auf dem Gelände.
5. Das Tragen von Warnwesten ist für Fußgänger verpflichtend.
6. Grundsätzlich gibt es auf dem Gelände keine Einbahnstraßenregelung, allerdings wurde für bestimmte Fahrzeugtypen das Befahren ausgewählter Straßen bzw. das bidirektionale Fahren auf diesen Fahrwegen untersagt.
7. Aufgrund der Platz- und Verkehrssituation ergibt sich regelmäßiger Kontakt zwischen dem Rangierverkehr, den Fußgängern und den durchfahrenden Fahrzeugen.
8. Die Verkehrssituation auf dem Gelände ist insgesamt durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet.

### 5.2.4.1 Planung und Durchführung der Datenerhebung

Die Datenerhebungen fanden ganztägig an allen Beobachtungstagen statt. Dabei kamen folgende Methoden zum Einsatz:

1. Mitarbeiterfragebogen (Themenbereiche: Belastungen und Beanspruchungen, Handlungs- und Entscheidungsspielraum, Einschätzung der betrieblichen Verkehrssituation inkl. beobachteter Fehlverhaltensweisen der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmergruppen, eigene Unfallererfahrung, eigene verkehrssicherheits- bzw. allgemein sicherheitsbezogene Einstellungen, Sicherheits- und Gesundheitskultur, Weiterbildungserfahrungen)
2. Mitarbeiterinterview (Themenbereiche: Allgemeine Arbeitssituation, subjektive Beurteilung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsverhaltens, eigene Maßnahmen und Schulungen zur Verkehrssicherheit)
3. Fahrerinterviews (betriebsexterne Fahrer; Themenbereiche: Beurteilung der Verkehrssituation am Standort generell und im Vergleich zu anderen Standorten, eigene Unfallererfahrung)
4. Beobachtungen (teilnehmend und nicht teilnehmend; Erfassung des Beobachtungsortes auf einer Standortkarte, Verschriftlichung der beobachteten Situationen, Beurteilung von Verhaltensweisen des/der Beteiligten)

Im Vorfeld des genannten Beobachtungszeitraums wurden weitere Methoden angewendet bzw. weitere Daten vom Unternehmen zur Verfügung gestellt:

1. Führungskräfte- und Expertenfragebögen zum Thema betriebliche Verkehrssicherheit; unterschiedliche Versionen mit verschiedenen inhaltlichen Schwerpunkten; generelle Themenbereiche: Arbeitssituation der Mitarbeiter, Sicherheits- und Gesundheitskultur, Arbeitsbelastungen, betriebsinterne Verkehrssituation, Fahrzeugspezifika der betriebseigenen Fahrzeuge, Einschätzungen des Fahrerverhaltens auf dem Gelände, bereits erkannte verkehrssicherheitsliche Probleme, betriebliche Verkehrsregeln, Unterweisungen, Mitarbeiterschulungen und bereits erfolgte Verkehrssicherheitsmaßnahmen, Unfallhistorie des Geländes, eigene Anmerkungen)
2. Videoaufnahmen (48h-Aufnahmen von Kameras auf dem Gelände an 5 Standorten)

3. Auswertungen der Geschwindigkeitsmessungen mittels VIASIS-System
4. Unfalldokumentationen

Im Ergebnis liegen folgende Daten vor:

Tabelle 5-10. Datenbasis an Standort 3

Methode	Rücklauf
Mitarbeiterfragebogen	64 vollständig ausgefüllte FB
Mitarbeiterinterviews	42
Führungskräftebefragung (inkl. Sifas und PR/BR)	3x Abteilungsleiter 1x Betriebs-/Personalrat 1x Fachkräfte für Arbeitssicherheit 2x Leitung / Personal 2x Verkehrsexperten
Beobachtungen	Ca. 80 verkehrsbezogene bzw. sicherheitsrelevante Einzelbeobachtungen (zusätzlich: Dokumentation wiederholt beobachteter Regelverstöße bzw. verkehrsbezogene Auffälligkeiten ≈100 Beobachtungen)
Interviews externe Fahrer	11

#### 5.2.4.2 Ausgewählte Ergebnisse an Standort 3

Bezüglich der Fragestellungen des FRAMES-Projektes zum betrieblichen Laufverhalten bzw. der Interaktionsformen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern konnten auch an Standort 3 weitere Antworten gefunden werden bzw. die Einschätzungen aus den Standorten 1 und 2 bestätigt und weiter differenziert werden.

1. Obwohl die Mitarbeiter an Standort 3 baubedingt z.T. längere Strecken zurücklegen als an Standort 1 und 2, ist auch hier vorrangig ein zielgerichtetes Laufverhalten auf den dafür vorgesehenen Überwegen bzw. Laufwegen festzustellen. Insbesondere am Morgen und am Nachmittag sind erhebliche Personenbewegungen zu beobachten.
2. Fahrer, die sich als Fußgänger auf dem Gelände bewegen, bewegen sich im Gegensatz zu den Mitarbeitern der Niederlassung häufig ausgehend von den Stellplätzen ihrer Fahrzeuge außerhalb der dafür vorgesehenen Laufwege. Diagonales Kreuzen der Fahrwege, das Stehen an oder auf Fahrwegen und Bewegungen an den Fahrzeugen in den Fahrbereichen sind häufig festzustellen.
3. Da an Standort 3 nur an den beiden Stirnseiten des Hauptgebäudes räumlich getrennte Laufwege für Fußgänger existieren, sind insbesondere auf den langen Seiten des Hauptgebäudes und in den Bereichen der Nebengebäude verkehrssicherheitlich relevante Parallelbewegungen von Fußgängern und Fahrzeugen festzustellen. Diese ergeben sich insbesondere während der Hauptanlieferungszeiten zu Arbeitsbeginn am Morgen und zu Arbeitsende am Nachmittag. Da es sich bei diesen Fahrwegen um beidseitig befahrbare Anfahrt- und Durchfahrtsstraßen handelt, sind zeitgleich komplexe Verkehrssituationen aus durchfahrenden und rangierenden Fahrzeugen sowie sich bewegenden Fußgängern zu beobachten.
4. Das Tragen der vorgeschriebenen Warnwesten durch Fußgänger erfolgt nicht in dem gebotenen Umfang. Entsprechende bestätigende Einschätzungen nehmen sowohl die Mitarbeiter als auch die Führungskräfte vor.

5. Zusätzlich zu den teilweise erheblichen Parallelbewegungen ist festzustellen, dass die gefahrenen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge nach Einschätzung der Beobachter und nach Auskunft der Mitarbeiter oft oberhalb des vorgesehenen Bereichs liegen. Die betrieblich durchgeführten Messungen der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten bestätigen diese Einschätzungen.
6. Parallel konnte regelmäßig beobachtet werden, dass das Parken an nicht dafür vorgesehenen Orten, wie beispielsweise in der zweiten Reihe der Fahr- und Laufwege oder in der Nähe der Fahr- und Rangierzonen, erfolgte. Die sich daraus ergebenden z.T. temporären Sichtbehinderungen für Fußgänger bzw. durchfahrende Fahrzeuge stellen eine erhebliche Gefährdung dar. Zeitgleich ist festzustellen, dass auch Umsetzbehälter wiederholt in Bereichen abgestellt werden, die als Lauf- oder Fahrwege genutzt werden. Die Befragungen der externen Fahrer bestätigen, dass die Platzsituation an Standort 3 als zu gering eingeschätzt wird.
7. In nahezu allen Straßenabschnitten auf dem Betriebsgelände finden Fahrzeugbewegungen in und aus allen möglichen Richtungen statt.

Die grundlegenden Ergebnisse an Standort 3 bestätigen die Eindrücke der ersten beiden Beobachtungen. Im Gegensatz zu Standort 1 (generelles Laufverbot in den Außenbereichen für betriebseigene Mitarbeiter) und Standort 2 (Expositionsvermeidung für Rampenmitarbeiter während der Hauptlastzeiten) sind an Standort 3 sowohl bau- als auch arbeitsablaufbedingt, höhere Expositionszeiten und damit Laufentfernungen sowie deutlich stärkere Parallelbewegungen von Fahrzeugen und Fußgängern festzustellen. Zusätzlich ist das Verkehrsaufkommen an Standort 3 höher als an den beiden anderen Standorten. Aufgrund der überwiegend fehlenden getrennten Laufbereiche für Fußgänger, das Parkverhalten der Fahrzeuge und dem erheblichen Platzmangel auf dem Gelände konnten wiederholt Situationen und Interaktionen zwischen einzelnen Verkehrsteilnehmern beobachtet werden, die als kritisch zu bewerten sind. Die grundlegenden Interaktionsformen gleichen für die Rangierbereiche, denen von Standort 1 und Standort 2, weitere typische Formen für Standort 3 werden im Folgenden schematisch dargestellt und erläutert.

Abbildung 5-35 und Abbildung 5-36 zeigen exemplarisch wiederholt beobachtete Interaktionen zwischen unterschiedlichen Gruppen von Verkehrsteilnehmern auf dem Betriebsgelände, die zum Einen durch Park- und Halteverstöße von Fahrzeugen und zum Anderen durch das ungünstige Abstellen von Wechselbrücken geschaffen werden. In Abbildung 5-35 ist zu sehen, dass durch das Abstellen von Fahrzeugen und Wechselbrücken in den Fahrbereichen Engpässe erzeugt werden, die den durchfahrenden Verkehr behindern. Insofern sich parallel auch Fußgänger in diesen Bereichen bewegen, sind an den Engstellen kritische Interaktionen zu erwarten. Für die Fußgänger ist nur schwer zu erfassen, aus welchen Richtungen Fahrzeuge sich auf sie zubewegen, die Fahrer wiederum haben durch die Sichtbehinderungen nur wenig Reaktionszeit bei entgegen kommenden Fahrzeugen oder plötzlich auftauchenden Fußgängern. Abbildung 5-36 zeigt sicherheitsrelevante Situationen, die durch die spezifischen Bedingungen an Standort 3 zusätzlich begünstigt werden. Die Bewegungen der Fußgänger finden auf einem als Überweg gekennzeichneten Teil des Fahrweges statt. Die zurück gelegten Strecken der Fußgänger auf diesem Überweg sind erheblich, die Expositionszeiten der Fußgänger auf den Fahrbereichen belaufen sich auf 2-4 Minuten. Es konnten wiederholt Situationen beobachtet werden, in denen Fußgänger Fahrzeugen ausweichen mussten, die aufgrund des Park-, Abstell- und Fahrverhaltens anderer Fahrzeuge auf den gekennzeichneten Fußgängerbereichen fuhren. Ebenso ist aus Gründen der ortsspezifischen Verkehrsanlage und aus Platzgründen das mehrmalige Kreuzen des Überwegs durch Fahrzeuge notwendig, was insbesondere vor dem Hintergrund paralleler Rangier- und Fahrbewegungen anderer Fahrzeuge zu Sicht- und Bewegungsbehinderungen für die Fahrer

führt, welche dann wiederum Sicherheitsgefährdungen für die Fußgänger zur Folge haben können. An Standort 3 wurde mittlerweile die Verkehrsführung für die Fußgänger überarbeitet, so dass in Zukunft diese Art von Fußgängerbewegungen nicht mehr auftreten sollen. Ungelöst ist aber an dieser Stelle weiterhin das Problem der sich als Fußgänger bewegendem Fahrer in diesen Bereichen.

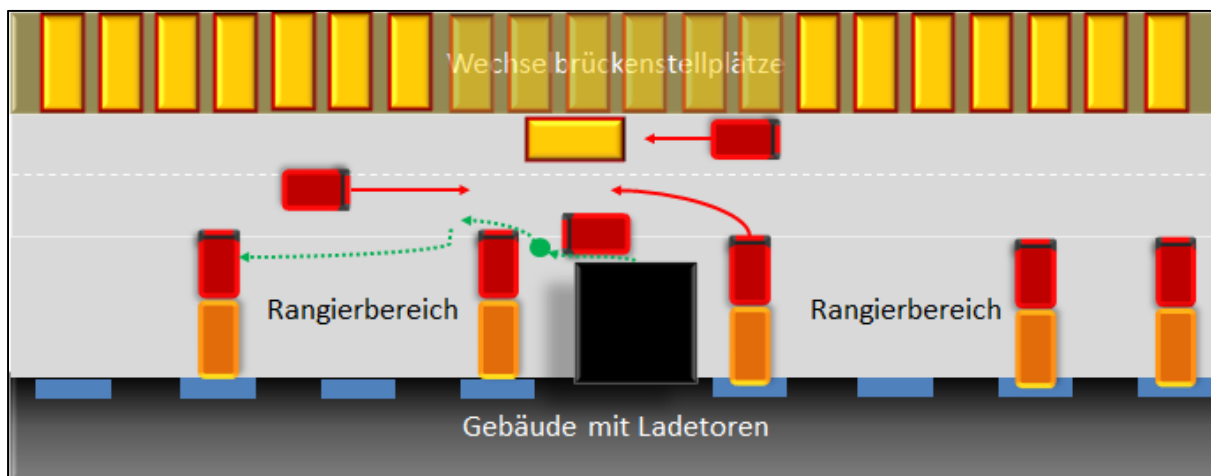


Abbildung 5-35. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr I

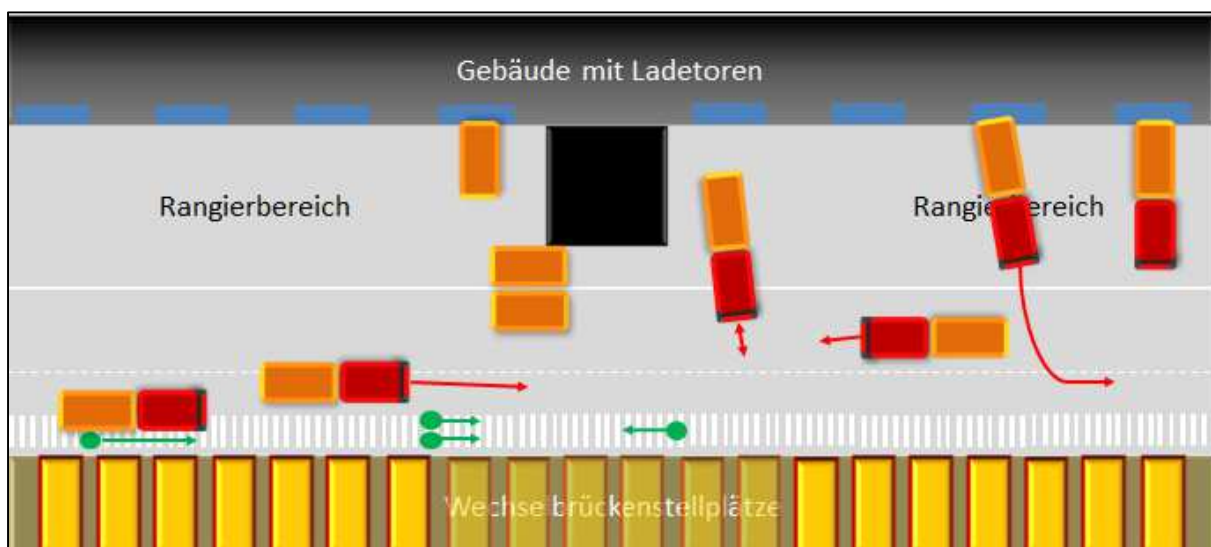


Abbildung 5-36. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr II

Abbildung 5-37 zeigt exemplarisch Situationen, die an der Hauptzu- und -durchfahrtstraße beobachtet wurden. Die durch die Wechselbrücken an der linken Seite des Bildes blockierten Stellplätze für Fahrzeuge (1) führen zum Parken von Fahrzeugen auf der Einfahrtspur und somit zu einer erheblichen Sichtbehinderung für ankommende und abfahrende Fahrzeuge. Nimmt man dann zusätzlich die unter (2) dargestellten und wiederholt beobachteten Personenansammlungen in den Blick, ergibt sich hier eine Kombination aus Sichtblockaden, engen Fahrbereichen, ständigem Gegenverkehr und, aufgrund der schlechten Einsehbarkeit, kaum vorhersagbarem Fahrzeug- und Personenverhalten. In dem gesamten Bereich sind erhebliche Personenbewegungen festzustellen, bei diesen Personen handelt es sich zumeist um externe Fahrer. Erwähnenswert ist ebenfalls, dass die unter (3) markierte Fläche am Morgen durch die betriebseigenen Fahrer genutzt wird, um vor dem Verlassen des Betriebsgeländes die unter (4) markierte Betriebskantine aufzusuchen. Insgesamt ist dieser Geländebereich ebenfalls durch erhebliche schwer vorhersagbare Personen- und Fahrzeugbewegungen gekennzeichnet.



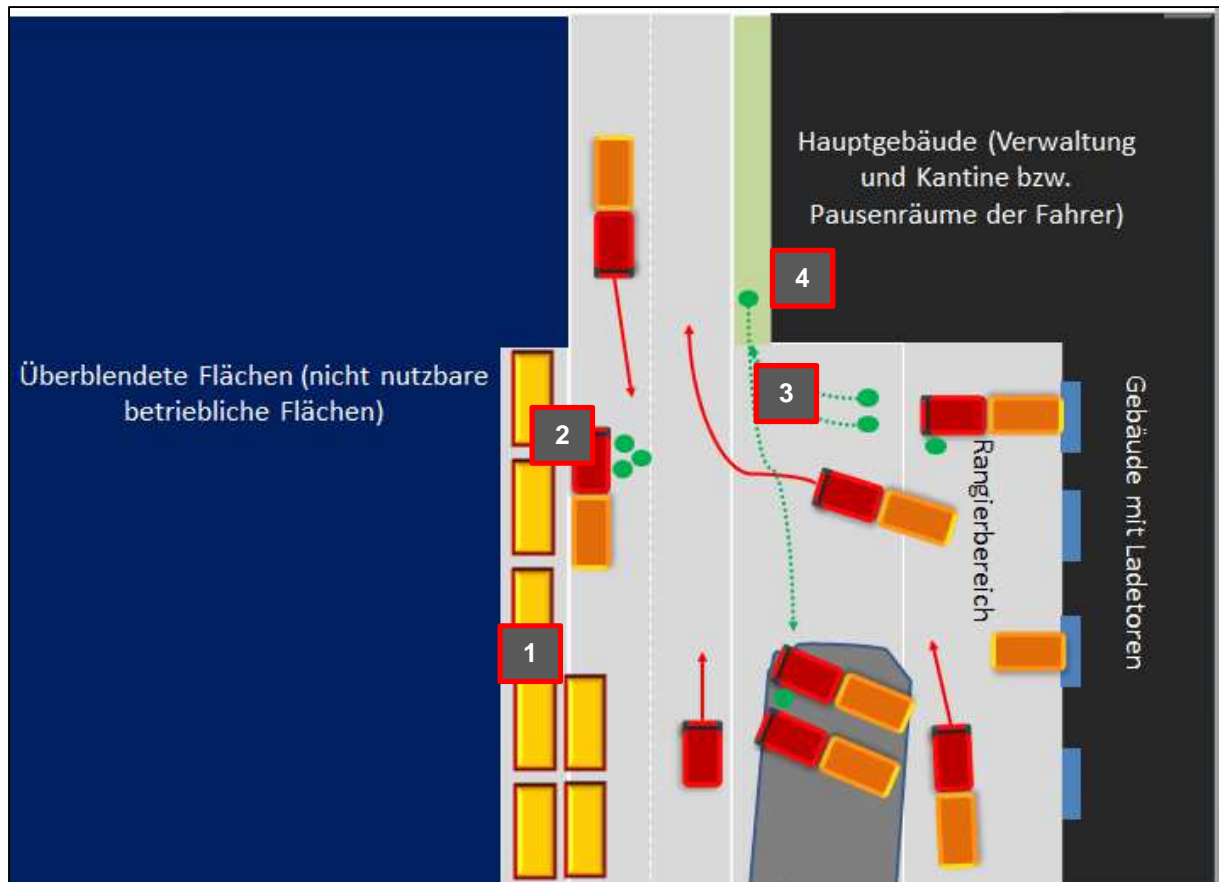


Abbildung 5-37. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr III

Abbildung 5-38 zeigt einen weiteren Bereich des Geländes zwischen dem u-förmigen Hauptgebäude mit der dort befindlichen zentralen Einfahrt in den zentralen Innenhof und dem dahinter befindlichen Verteilzentrum für die Endkundenzulieferung. In diesem Bereich sind insbesondere morgens und am Nachmittag erhebliche Parallelbewegungen zwischen Fahrzeugen (insbesondere LKW und Zulieferfahrzeuge-Transporter) und Fußgängern festzustellen. Bei den Fußgängern handelt es sich insbesondere um Fahrer der Transportfahrzeuge, die zu ihren Fahrzeugen laufen, den unter (1) markierten Pausenraum aufsuchen oder ihre Fahrzeuge be- und entladen. Vor dem Hintergrund des FRAMES-Projektes waren vor allem die Halb- oder Vollverdeckungen von Fußgängern, insbesondere im Kreuzungsbereich, relevant. Es konnten auch hier Situationen beobachtet werden, in denen abbiegende Fahrzeuge den unter (2) markierten Überweg erst sehr spät einsehen und auf anwesende Fußgänger reagieren konnten, da abgestellte Fahrzeuge direkt im Ausfahrtsbereich eine Einsehbarkeit des voraus liegenden Fahrbereichs erschwerten. Auch der, unter (3) markierte, Überweg war teilweise durch abgestellte Fahrzeuge blockiert, so dass querende Fußgänger selbst erst spät den Straßenbereich einsehen konnten oder durch Fahrer gesehen wurden.

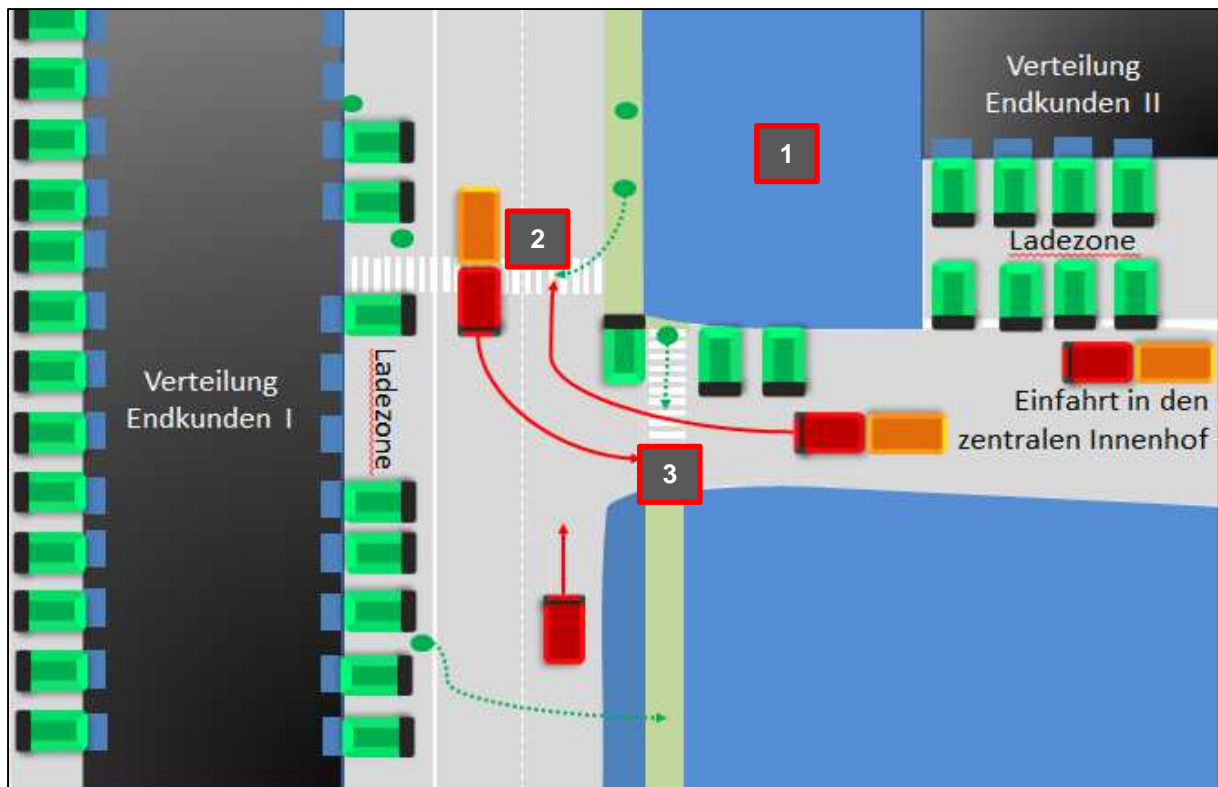


Abbildung 5-38. Parallelverkehr von durchfahrenden Fahrzeugen, Fußgängern und Rangierverkehr IV

### 5.2.5 Projektrelevante Erkenntnisse zum betrieblichen Verkehrsverhalten

Ausgangspunkte für die Beobachtungen des betrieblichen Verkehrsverhaltens war die Frage, welche Interaktions- und Bewegungsmuster bei Fahrzeugen und bei Fußgängern im betrieblichen Kontext zu beobachten sind. Im Ergebnis können nach der Auswertung der Beobachtungen an den drei Standorten die folgenden deskriptiven Erkenntnisse festgehalten werden:

1. Im betrieblichen Kontext sind, unter Beachtung der jeweiligen Standortspezifika, eher kurze bis mittellange Laufwege festzustellen.
2. Das Laufverhalten der Fußgänger kann im betrieblichen Kontext als überwiegend zielgerichtet beschrieben werden. Scheinbar zielloses Umherlaufen oder Spaziergehen von Fußgängern konnte nicht beobachtet werden.
3. Bezüglich der beobachteten Laufgeschwindigkeiten kann festgehalten werden, dass in der Regel normales bis zügiges Laufen zu beobachten ist. Sehr langsames oder sehr schnelles Laufen konnte an allen Standorten nicht beobachtet werden (s.a. (4)).
4. An Standort 1 und an Standort 3 konnte vereinzelt nicht ausreichend selbstsicherndes Verhalten von Fußgängern bei der Straßenüberquerung (v.a. diagonales Queren der Straßen, Nichtnutzen von Überwegen, schnelles Queren von Straßen bei sich nähernden Fahrzeugen) beobachtet werden.
5. Neben der zielgerichteten Bewegung von Fußgängern, sind in den Bereichen der Be- und Entladetore oder Park- und Halteflächen fahrzeugnahe Bewegungen von Fußgängern festzustellen. Dabei handelt es sich häufig um Fahrer, die Fahrzeuge sichern, überprüfen bzw. be- und entladen. Merkmale dieser Bewegungen sind räumlich nahe Parallelbewegungen der Fuß-

gänger und rangierender Fahrzeugen sowie Halb- oder Vollverdeckungen der Personen durch andere Fahrzeuge oder andere Sichthindernisse.

6. Grundsätzlich fahren die Fahrzeuge auf Betriebsgeländen in Abhängigkeit von den betrieblichen Regelungen eher mit geringen Geschwindigkeiten. An Standort 1 und 3 beträgt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit 30 km/h, an Standort 2 im Bereich der Entladezone 10 km/h. Überschreitungen der erlaubten Höchstgeschwindigkeiten wurden an allen drei Standorten berichtet und beobachtet bzw. an Standort 3 auch gemessen.
7. Das Fahrverhalten der Fahrer kann als zielgerichtet und effizienzorientiert beschrieben werden. Die Fahrer berichten häufiger von Zeitdruck und sind bestrebt, die Dauer der betrieblichen Be- und Entladevorgänge möglichst zu minimieren. Dies gilt insbesondere auch vor dem Hintergrund der betrieblichen Prozesse und Arbeitsabläufe, die eine effiziente und zeitsparende Be- und Entladung der Fahrzeuge fordern.
8. An allen Standorten war festzustellen, dass die Fahrer neben der reinen Fahrtätigkeit Parallelhandlungen (insbesondere essen, trinken, rauchen, telefonieren, lesen) ausführen. Damit zusammenhängend wurden insbesondere einarmiges Lenken, fehlende oder nicht ausreichende Blick- und Orientierungsreaktionen und fehlende Fahrtrichtungsanzeigen beobachtet. Dies gilt für alle beobachteten Fahrsequenzen (Fahrt zur Be- und Entladung auf geraden Strecken und in Kurven, Rangiervorgänge, Abfahren von den Be- und Entladestellen).
9. Ebenfalls häufiger ist fehlendes Eigensicherungsverhalten bei den Fahrern festzustellen. Dies bezieht sich während des Fahrens auf das Nichtanlegen von Sicherheitsgurten, das Fahren mit nicht geschlossenen Sicherheitstüren (Standort 3) zum Laderaum und das Fahren mit geöffneten Ladetüren. Außerhalb der Fahrzeuge konnte ebenfalls das Nichtanlegen der betrieblich geforderten Warnwesten beobachtet werden. Diesbezüglich ergaben sich standortspezifisch zwischen Standort 1 und 3 deutliche Unterschiede, für Standort 2 war dies aufgrund der vorgeschriebenen Arbeitskleidung nicht zu beobachten.
10. Das Parkverhalten von Fahrzeugen im betrieblichen Kontext unterscheidet sich in Abhängigkeit von der standortspezifischen Steuerung und Kontrolle bzw. in Abhängigkeit vom spezifischen betrieblichen Platzangebot von dem Park- und Halteverhalten vom öffentlichen Raum. Das Abstellen von Fahrzeugen in nicht dafür vorgesehenen Bereichen konnte mit unterschiedlicher, aber insgesamt vergleichsweise hoher Intensität, sowohl an Standort 1 als auch an Standort 3 beobachtet werden. Aufgrund der besonderen Situation an Standort 2 waren Parkverstöße im Bereich der Entladerampe nicht zu beobachten. Durch das nicht vorhersagbare temporäre Abstellen von Fahrzeugen, Wechselbrücken, Anhängern etc. werden Veränderungen des potentiellen Bewegungs- und Fahrraumes erzeugt, die Veränderungen im Verkehrsverhalten anderer Verkehrsteilnehmer bedingen. Diese Situationen bergen vor dem Hintergrund der zeitgleich stattfindenden unterschiedlichen Bewegungsvorgänge (Rangieren, Durchfahrt, Laufen) ein erhebliches Gefährdungspotential.
11. Die Bewegungen von Fahrzeugen und Fußgängern erfolgen häufig zeitlich parallel in gemeinsam geteilten Lauf- und Fahrbereichen. Räumliche Abtrennungen für Fußgänger existieren nur teilweise.
12. Aufgrund der häufig gemeinsam genutzten Verkehrsbereiche ist die Vorhersage von Personen und Fahrzeugen an genauen Orten innerhalb des Geländes schwierig. Dies trifft insbesondere für die Richtungen zu, aus denen sich Personen und Fahrzeuge auf einen gegebenen Punkt zubewegen.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass die Merkmale des betrieblichen Verkehrs- und Bewegungsverhaltens und der daraus resultierenden Gefährdungen, die Leistungspotentiale und Anwendungsbereiche eines transponderbasierten Frühwarnsystems vollständig ansprechen. Die schlechte Vorhersagbarkeit von Fahrzeug- und Personenbewegungen, die parallelen Bewegungen von Personen und Fahrzeugen in den gleichen Bereichen, die unterschiedlichen Bewegungsformen, insbesondere der Fahrzeuge (durchfahrend, rangierend, (irregulär) parkend), die bestehenden zielorientierten und offensiven Verkehrsbewegungen u.a. durch gleichzeitig bestehenden Zeitdruck, das häufig nicht ausreichende Fremd- und Eigensicherungsverhalten und die teilweise geringen Platzangebote bzw. die fehlende Übersichtlichkeit und nicht immer gegebene Einsehbarkeit der Fahr- und Laufbereiche sprechen für die Unterstützung des Verkehrsteilnehmers durch ein externes Warn- bzw. Assistenzsystem. Sicherheitssteigernde Effekte durch die Informierung und ggf. Warnung der Verkehrsteilnehmer sind vor dem Hintergrund weiterer Aspekte, wie Systemgenauigkeit und möglicher Verhaltensadaptationen unter Systemnutzung, anzunehmen.

---

---

### 5.3 UNFALLDATENAUSWERTUNGEN

---

---

Ein weiterer Zugangsweg zur Analyse des betrieblichen Verkehrs- und Interaktionsverhaltens ist die Auswertung von Unfalldaten. Durch die Auswertung von Unfallsituationen können kritische betriebliche Bewegungs- und Interaktionsmuster extrahiert und wiederkehrende Unfallszenarien und -konfigurationen bestimmt werden. Auf deren Basis können dann weitere Potentialbeurteilungen des Systems vorgenommen werden.

Leider muss festgestellt werden, dass die im öffentlichen Verkehrsraum üblichen, wissenschaftlichen Auswertungen des Verkehrsunfallgeschehens, im betrieblichen Kontext nicht oder nur unzureichend vorgenommen werden bzw. für externe Forschungsgruppen nicht zugänglich sind. Diesbezügliche Anfragen bei Unternehmen blieben mit wenigen Ausnahmen ohne Erfolg. Insofern der Forschungsgemeinschaft doch Daten zur Verfügung gestellt wurden, handelte es sich bei diesen um reine statistische Auswertungen von Schadensmeldungen. Aus diesen ließen sich aber keine Unfallsituationen oder Unfallhergänge extrahieren, da die Daten nicht für diese Zwecke gesammelt, aufbereitet und kodiert wurden.

Was für die betriebliche Sammlung und Aufbereitung des Verkehrsunfallgeschehens festgestellt wurde, gilt auch für die zentrale Sammlung und Auswertung von Unfallhergängen oder von Unfallsituationen durch die Unfallversicherungsträger. Nachfragen bei verschiedenen UVTen ergaben, dass keine Sammlung von Unfallhergängen erfolgt bzw. die Daten aus den Unfallanzeigen lediglich in metakodierter und kategorisierter Form erfasst werden. Diese Form der Unfalldatensammlung ist für die Analyse des Unfallgeschehens nicht geeignet, da sich hieraus keine betrieblichen Unfallszenarien bzw. Unfallsituationen extrahieren lassen. Angesichts des hohen Informationswertes allein schon dieser Beschreibungen für allgemeine und standortspezifische sekundär- und primärpräventive Strategien der Verkehrsunfallvermeidung, ist das Fehlen solcher Daten unverständlich und sollte durch die gesetzlichen Unfallversicherungsträger dringend überdacht werden (vgl. auch Geiler und Musahl, 2003). Eine Ausnahme stellt die Sammlung der in den offiziellen Unfallanzeigen der gesetzlichen Unfallversicherungen erforderlichen Angaben zum Unfallhergang, durch die Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution (BGHW), dar. Diese wurden digitalisiert erfasst und können über eine Stichwortsuche extrahiert werden. Diese, bei aller zwangsläufigen Unvollständigkeit bzw. Subjektivität der Daten, begrüßenswerte Sammlung von Unfallhergängen ist allerdings aufgrund der Einführung neuer Datenbanken nun auch hier seit 2013 nicht mehr verfügbar. Die BGHW hat der For-

schungsgemeinschaft stichwortbezogene Datenbankeinträge aus den Jahren 2008-2012 zur Verfügung gestellt. Diese Daten stellen die Datenbasis für die folgenden Analysen dar.

### 5.3.1 Unfalldaten der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution

Insgesamt wurde der Forschungsgemeinschaft eine Auswahl von Unfallbeschreibungen von meldepflichtigen Arbeitsunfällen beim innerbetrieblichen Transport von Mitgliedsbetrieben der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution im Bereich Großhandel zur Verfügung gestellt. Die Auswahl der Unfallbeschreibungen erfolgte über eine Volltext-Schlagwortsuche. Schlagwörter, die für die Auswahl der Beschreibungen verwendet wurden waren LKW, Lastkraftwagen, Ameise, Stapler, Flurförderfahrzeug, FFZ, Ameise und Stapler. Durch diese Schlagwortsuche in der Datenbank wurden die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Rohdatensätze zur Verfügung gestellt. Neben der Unfallbeschreibung aus der Unfallanzeige enthalten die Datensätze auch das Unfalldatum und die in der Unfallanzeige angegebene Unfallzeit.

Tabelle 5-11. Anzahl Unfallbeschreibungen nach Jahren und insgesamt

Jahr	Anzahl
<b>2008*</b>	8137
<b>2009*</b>	7528
<b>2010</b>	7881
<b>2011</b>	5851
<b>2012*</b>	1819
<b>Gesamt</b>	31216

Für die Beurteilung des Datenmaterials ist es essentiell festzuhalten, dass die Auswahl keine systematische Auswahl darstellt, sondern lediglich auf Basis der verwendeten Schlagwörter zustande kam. Insofern können die Erkenntnisse aus den Daten nur erste Anhaltspunkte für das betriebliche Verkehrsunfallgeschehen bieten, sie stellen aber keine erschöpfende oder prototypische Auswahl für Unfallsituationen oder beteiligte Verkehrsteilnehmergruppen dar. Insbesondere bleibt die Frage des Verkehrsunfallgeschehens von Mitgliedsbetrieben anderer Unfallversicherungsträger zwangsläufig unbeantwortet. Nochmals soll an dieser Stelle auf den Wert dieses Datenmaterials verwiesen werden. Zwar liegt eine systematische Auswertung der Daten nicht im Fokus der hier vorliegenden Auswertungen, allerdings kann diese insbesondere vor dem Hintergrund der Unfallentstehung bzw. der Unfallsituationen wertvolle Informationen für eine zielgerichtete Unfallprävention liefern.

Außerdem ist es wichtig anzumerken, dass die übersendeten Berichte nicht zwangsläufig Unfallsituationen beschreiben, die in die Kategorie Verkehrsunfall fallen. Zwar werden aufgrund der Schlagwortsuche in jedem Fall Fahrzeugbezeichnungen verwendet, allerdings können diese beispielsweise auch lauten: „Beim Heruntersteigen von der Hebebühne des LKW ausgerutscht und Fuß verdreht.“ o.ä. Insofern war es notwendig, die Daten nach der ersten deskriptiven Auswertung zu lesen und auszuwählen.

Das weitere Vorgehen der Unfalldatenanalyse war wie folgt:

1. Deskriptive Auswertungen der Gesamtdatensätze (Monate, Wochentage, Tageszeit)
2. Bereinigung der Rohdatensätze
3. Inhaltsanalyse
  - a. Formale Auswahl der auszuwertenden Unfallberichte nach der Länge des Textes - Ausschluss von Berichten mit weniger als 75 Zeichen
  - b. Weitere Auswahl des vorsortierten Datenmaterials mittels Stichwortsuche (Bsp.: Verhalten des Fußgängers vor/während der Unfallsituation „geh(en), gegang(en), ging, läuf(t), lauf, lief, renn, rann(te)“ oder „steh(en),stand(en)“; Verhalten des Fahrers bzw. des Fahrzeugs „fuhr, gefahr(en), fahr(en)“, „wend(en), dreh(en), rangier(en)“

### 5.3.1.1 Erste deskriptive Analysen der Gesamtdatensätze

Um einen ersten Überblick über die Daten zu erlangen, wurden deskriptive Analysen berechnet. Es sollte der Frage nachgegangen werden, ob die in der Literatur beschriebenen saisonalen bzw. tageszeitlichen Schwankungen im Unfallgeschehen (z.B. Griswold, 2011) grundsätzlich auch im betrieblichen Kontext nachgewiesen werden können.

Für die Berechnung der Verteilung betrieblicher Verkehrsunfälle über die einzelnen Monate eines Jahres wurden aus den Rohdaten die Daten der nachfolgenden Tabelle berechnet.

Tabelle 5-12. betriebliche Verkehrsunfälle nach Monaten und Jahren

	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Januar</b>	642	664	671	560	250
<b>Februar</b>	669	605	709	506	182
<b>März</b>	609	628	694	560	167
<b>April</b>	767	581	639	529	134
<b>Mai</b>	616	557	598	538	165
<b>Juni</b>	732	645	691	438	149
<b>Juli</b>	753	656	663	449	169
<b>August</b>	656	597	621	488	159
<b>September</b>	694	662	631	477	137
<b>Oktober</b>	748	670	625	467	173
<b>November</b>	700	716	667	466	120
<b>Dezember</b>	548	547	676	373	14
<b>gesamt</b>	8134	7528	7885	5851	1819

Damit ergibt sich die in Abbildung 5-39 aufgestellte prozentuale Verteilung von meldepflichtigen Unfällen über alle fünf Jahre (2008-2012) auf die Monate Januar-Dezember. Es wird deutlich, dass im Januar und Februar die vergleichsweise höchsten anteiligen Werte festzustellen sind. Im Dezember sind die Unfallzahlen vergleichsweise niedrig. Da sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Jahren 2008-2011 und dem Jahr 2012 im monatlichen Unfallaufkommen zu ergeben scheint, wurden die Analysen für die ersten vier Jahre nochmals gesondert berechnet. Auch hier liegen die anteiligen Unfallzahlen für den Monat Dezember unter denen der anderen Monate, insgesamt ist das Bild allerdings ausgeglichener (vgl. Abbildung 5-40).

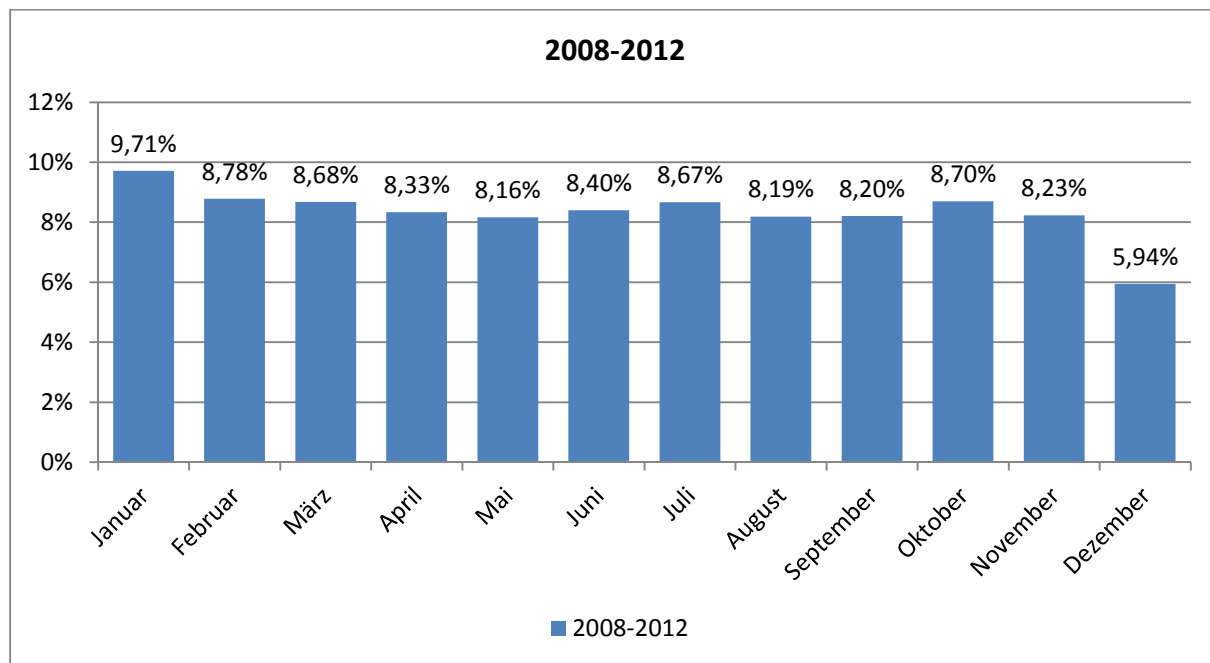


Abbildung 5-39. Prozentuale Unfallverteilung über die Monate (2008-2012; N=31.217)

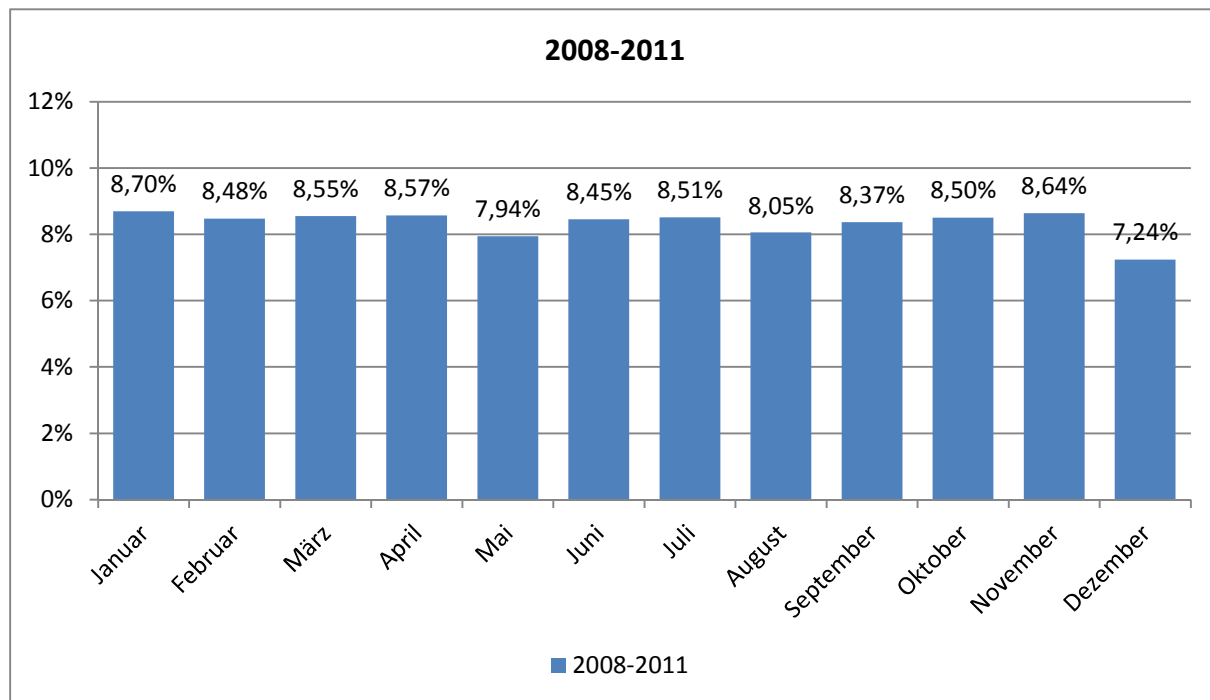


Abbildung 5-40. Prozentuale Unfallverteilung über die Monate (2008-2011; N=29.398)



In ähnlicher Weise wie für die monatliche Verteilung des Unfallgeschehens wurden auch Analysen für Schwankungen über die Wochentage berechnet. Auch hier sind die absoluten Zahlen in der folgenden Tabelle einzusehen. Berechnet man die Zahlen über die Wochentage auch in Relation zu den Gesamtzahlen, ergeben sich für die fünf Jahre die in Abbildung 5-41 aufgelisteten prozentualen Anteile. Bereits hier lässt sich ein Abfall der Unfallzahlen von Montag bis Freitag feststellen. Dieser Effekt wird nochmals deutlicher, wenn man die Zahlen über die fünf bzw. vier ersten Jahre aggregiert (vgl. Abbildung 5-42 und Abbildung 5-43)

Tabelle 5-13. Verkehrsunfälle im betrieblichen Verkehr nach Wochentagen und Jahren

	2008	2009	2010	2011	2012
<b>Montag</b>	1731	1692	1790	1307	443
<b>Dienstag</b>	1664	1510	1550	1207	327
<b>Mittwoch</b>	1611	1469	1535	1176	346
<b>Donnerstag</b>	1418	1322	1429	1034	298
<b>Freitag</b>	1349	1195	1244	911	321
<b>Samstag</b>	263	235	245	161	65
<b>Sonntag</b>	98	105	92	55	19
<b>gesamt</b>	8134	7528	7885	5851	1819

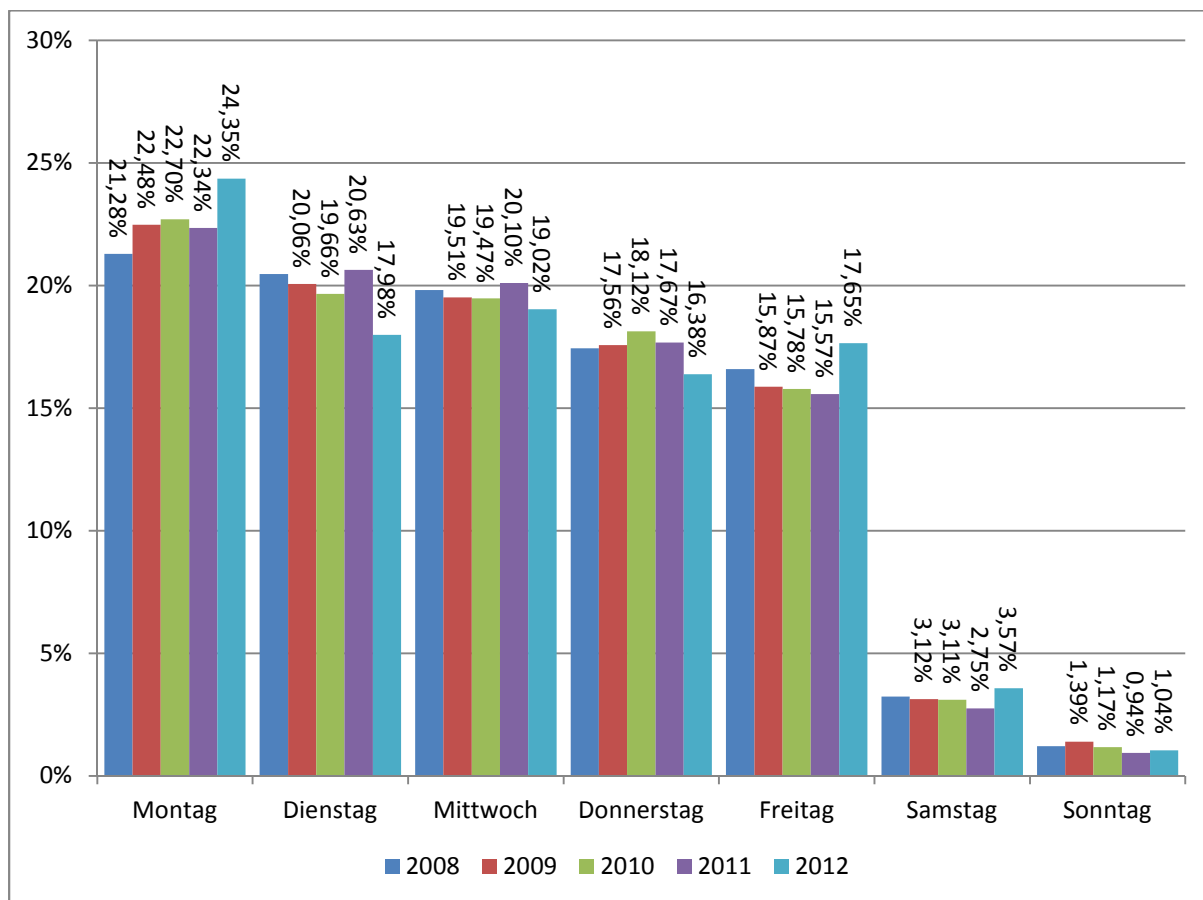


Abbildung 5-41. Verteilung der Unfälle über die Wochentage (2008-2012; N=31.217)

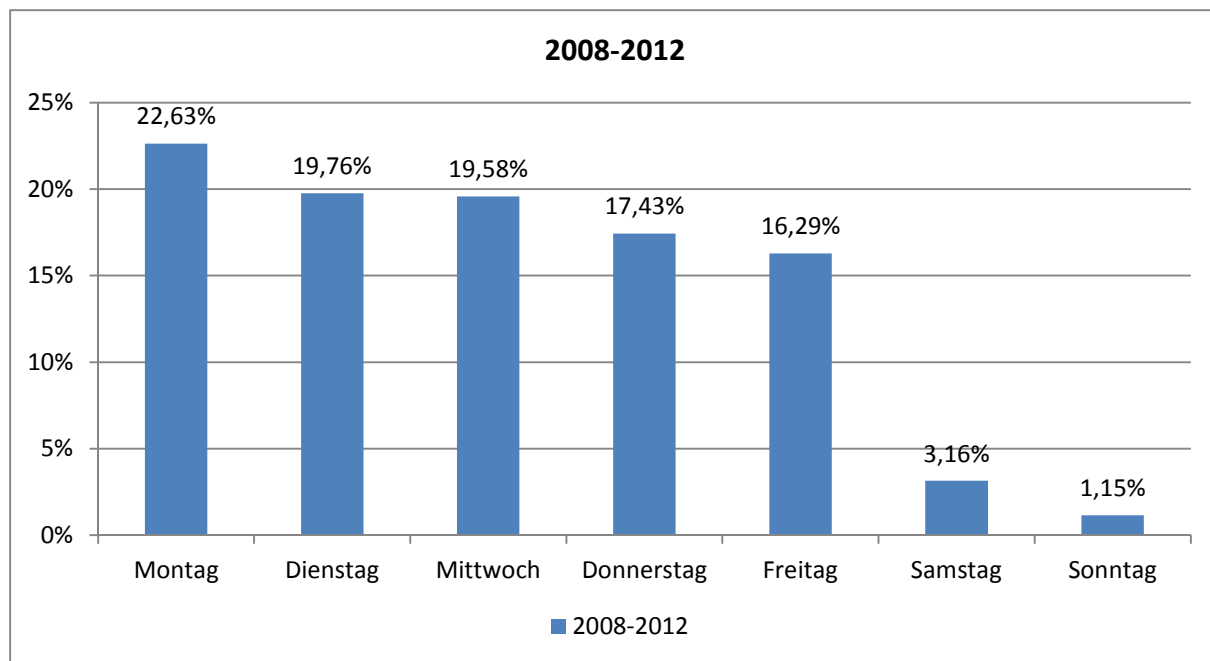


Abbildung 5-42. Verteilung der Unfallbeschreibungen über die Wochentage (aggregiert von 2008-2012; N=31.217)

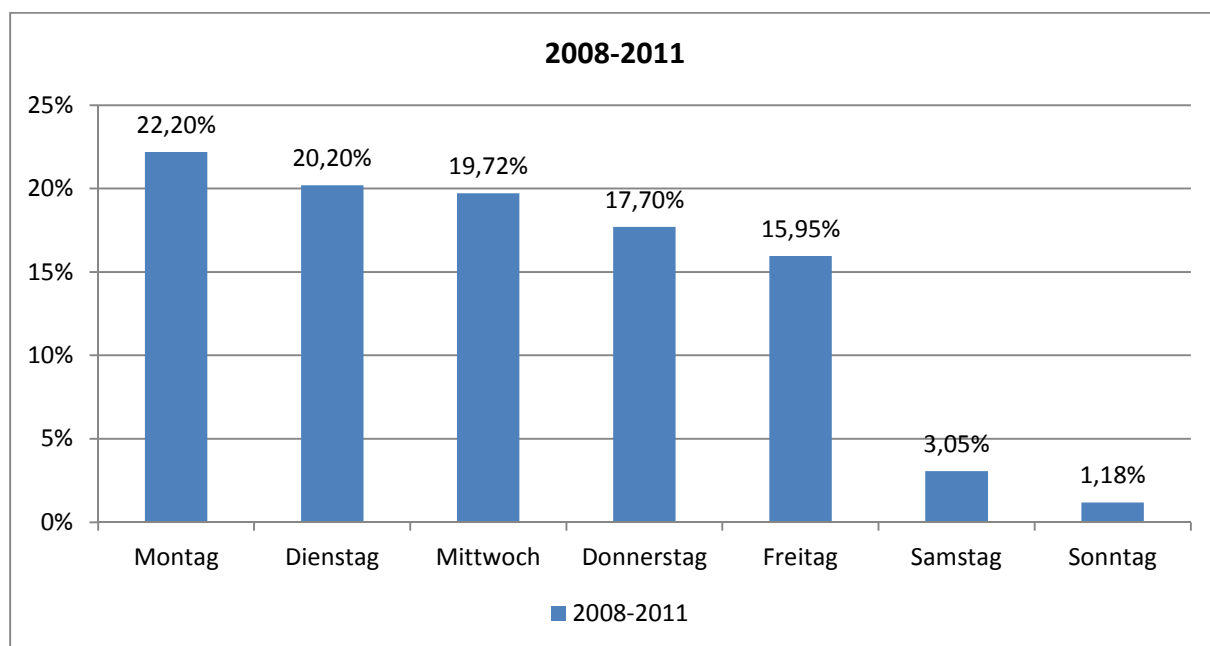


Abbildung 5-43. Verteilung der Unfallbeschreibungen über die Wochentage (aggregiert von 2008-2011; N=29.398)

Eine weitere Analyse betrifft die Verteilung von Unfällen über den Tag, Hierfür wurden ebenfalls Auswertungen vorgenommen. Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen einzusehen. In Allen Abbildungen wird deutlich, dass tageszeitlich offensichtlich zwei Zeiträume existieren, in denen die Unfallgefährdung höher liegt. Diese Zeiträume liegen zwischen 09.00-12.00 Uhr und zwischen 14.00-16.00 Uhr.

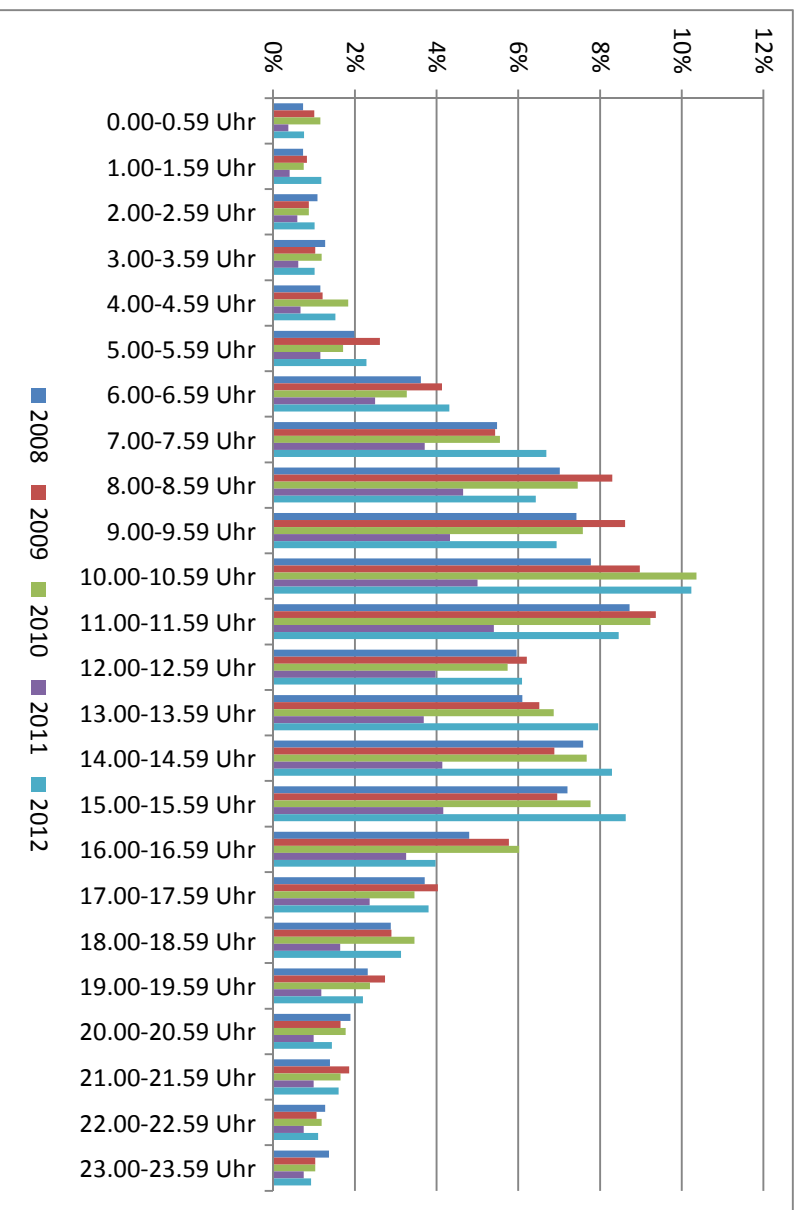


Abbildung 5-44. Unfallgeschehen über Tageszeiten (Kategorisierung stündlich N=16.205)

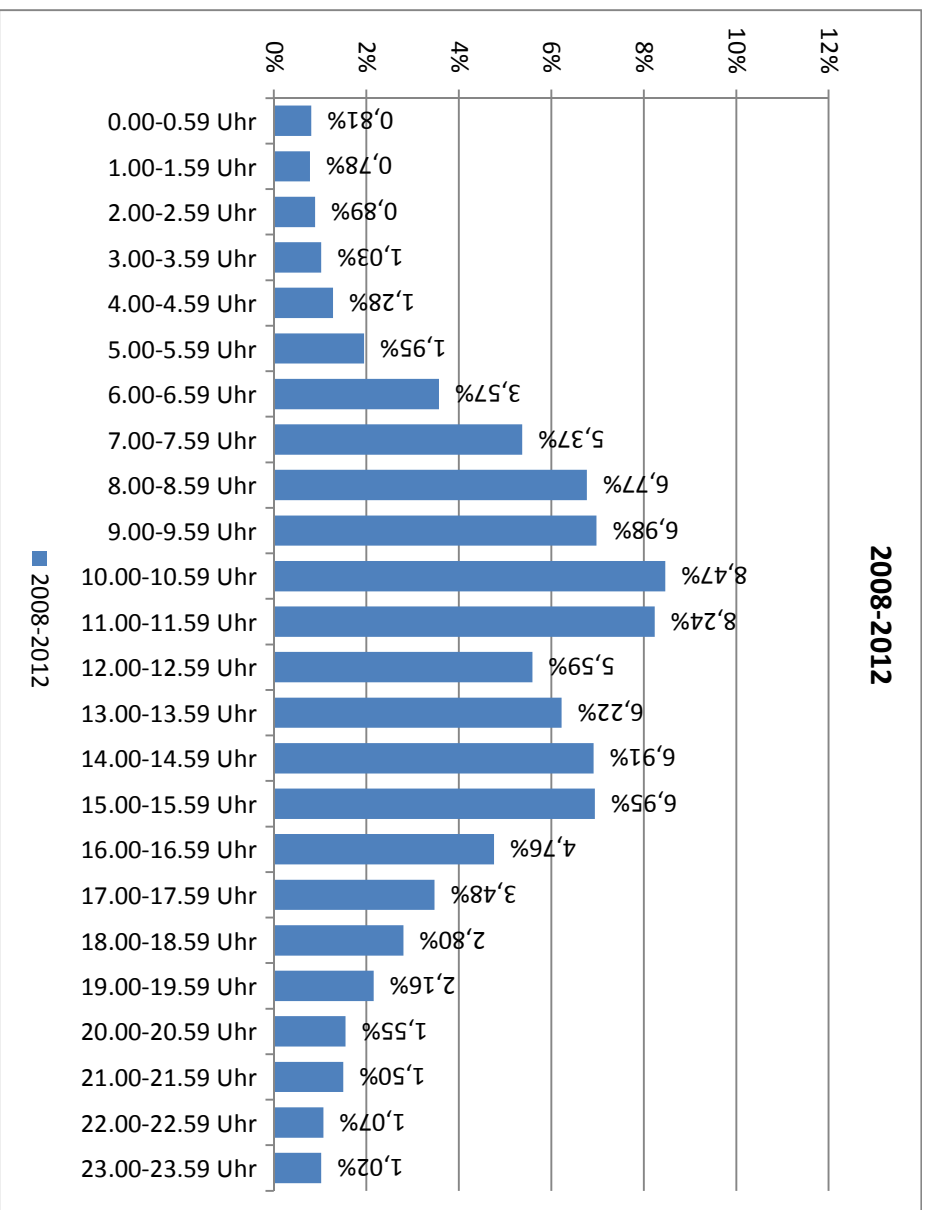


Abbildung 5-45. Unfallgeschehen über Tageszeiten (aggregiert von 2008-2012; N=16.205)

Eine letzte Auswertungsvariante wurde berechnet, um zu prüfen, ob sich die Unfallzeiten über einzelne Wochentage unterscheiden. Auch hier kann festgehalten werden, dass sich die zweigipflige Verteilung über nahezu alle Wochentage in allen geprüften Jahren nachweisen lässt. Die nachfolgende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Verteilung der Unfallzahlen über die Wochentage und Tageszeiten beispielhaft für die Jahre 2008-2011.

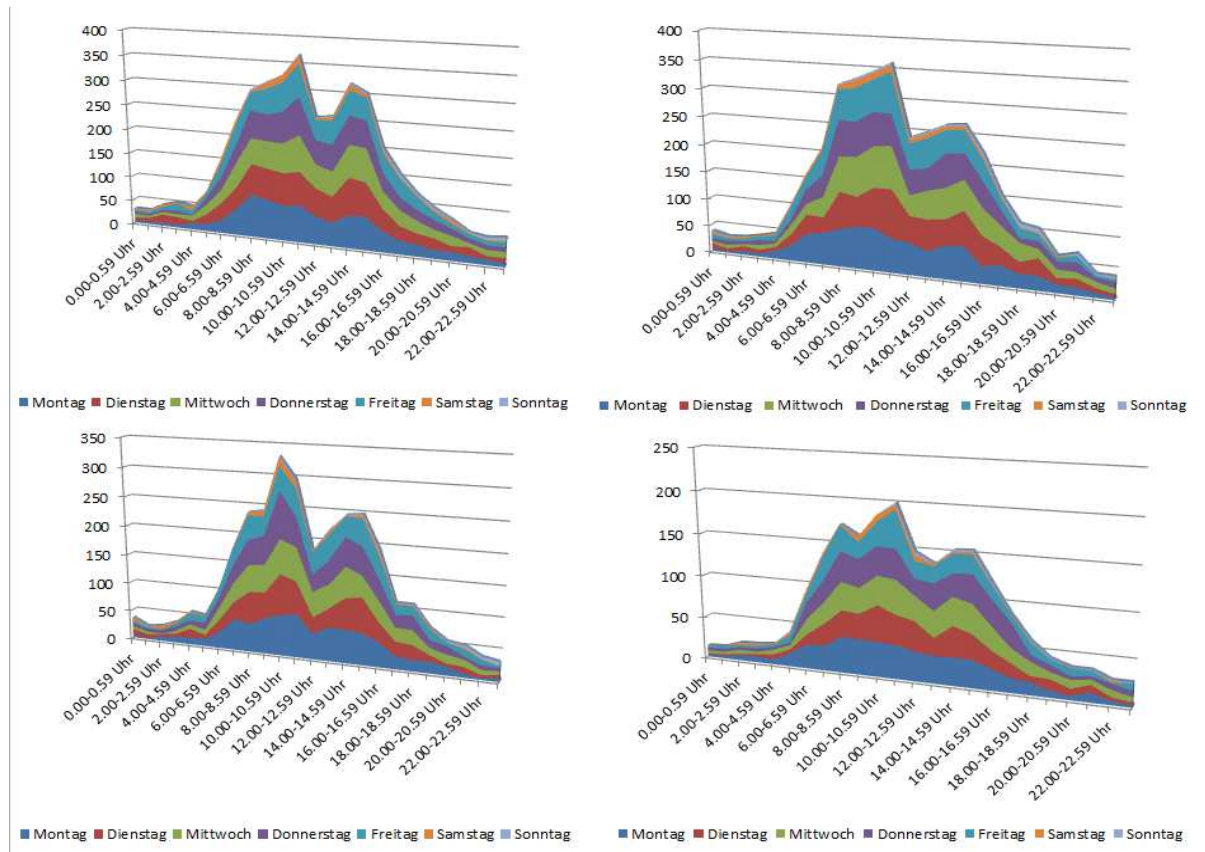


Abbildung 5-46. Verteilung der Unfallberichte über Tageszeiten und Wochentage (Jahre 2008 (links oben) bis 2011(rechts unten))

### 5.3.1.2 Deskriptive Analyse der ausgewählten Datensätze

Die Unfallkurzberichte wurden mittels einer Textlängenauswahl und einer Stichwortsuche vorsortiert. Danach wurden die verbleibenden Berichte ausgewählt und kategorisiert. Als Ergebnis konnten aus den Gesamtdatensätzen der Jahre 2010-2012 insgesamt etwa 170 Unfallereignisse zwischen Fahrzeugen und Fußgängern bzw. Radfahrern für eine weitere Auswertung identifiziert werden.

Für die Darstellung typischer betrieblicher Unfallsituationen wurden die Unfallberichte zunächst nach der Bewegungsrichtung des Fahrzeugs (Rückwärts- oder Vorwärtsfahrt, Abbiegen in Kurven und Unfälle im Rahmen von Rangiervorgängen) und weiterer situationspezifischer Merkmale (Sichtverdeckungen, plötzliche Bewegungen aus dem Stand, konfligierende Parallelbewegungen, Übersehen des anderen Verkehrsteilnehmers etc.) weiter aufgeschlüsselt. Als Ergebnis lassen sich folgende projektrelevante Unfallsituationen spezifizieren:

1. Die überwiegende Mehrzahl der detailliert ausgewerteten Unfallberichte benennen als eine der Hauptursachen des jeweiligen Unfalls das Übersehen des Unfallgegners, die Sichtverdeckung des Unfallgegners unmittelbar vor dem Kontakt durch Objekte (Regale, Paletten, Ware) oder Fehlurteile über die den Ort oder die Bewegungsrichtung des späteren Unfallgegners (insbesondere bei Be- und Entladetätigkeiten).

2. Ebenfalls häufig wird von konfligierenden, zumeist sich gegenseitig kreuzenden Parallelbewegungen berichtet. Diese ergeben sich insbesondere vor dem Hintergrund von Sichtverdeckungen und den Bewegungen von Fußgängern im toten Winkel der Fahrzeuge.
3. Die geschilderten Unfallsituationen stehen häufiger in Kontakt mit Rückwärtsfahrten und Rangiertätigkeiten in der Nähe von Objekten oder Sichtverdeckungen. Unfälle zwischen Fußgängern und Fahrzeugen bei Vorwärtsfahrten stehen v.a. in Zusammenhang mit dem plötzlichen Auftauchen von Fußgängern hinter Verdeckungen o.ä. oder Bewegungsrichtungswechseln (z.B. Abbiegen) seitens der Fahrzeuge.
4. Insofern das Verhalten der Fußgänger als hauptsächlich ursächlich für den Unfall angesehen werden kann, ist festzustellen, dass häufig von plötzlichen Bewegungen des Fußgängers berichtet wird (drehen aus dem Stand und Start des Bewegungsvorgangs, aus dem Stand rückwärts in die Fahrwege bzw. in den Rangierbereich von Fahrzeugen laufen, im Rahmen von Be- und Entladetätigkeiten in den Arbeitsbereich von bspw. Staplern bewegen, um Anweisungen zu geben)

Beispielhaft werden im Folgenden einige Unfallberichte aus der Analyse vorgestellt:

Tabelle 5-14. Ausgewählte Unfallbeschreibungen aus Unfallanzeigen der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution

Nr.	Unfallbeschreibung
<b>Fahrzeug-Fahrzeug-Unfälle</b>	
<b>1</b>	Herr K. war mit der elektrischen Ameise im Außenbereich tätig und wollte wieder durch das Schnelllauftor in den Innenbereich fahren. Kollege B. war mit dem Stapler im Innenbereich und wollte von dort in den Außenbereich. Herr B. fuhr rückwärts durch das Tor und hat dabei das rechte Bein zwischen Stapler und Ameise eingequetscht. Er hatte sich vorher nach hinten rechts vergewissert, dass Herr K. noch weit weg ist. Nach nochmaligem Schauen nach vorne und wiederholtem Rückwärtsschauen nach links war alles noch in Ordnung. Als er dann wieder nach hinten rechts geschaut hat, war es schon zur Kollision mit Herrn K. gekommen. Er wurde dann mit dem Rettungsdienst ins Krankenhaus gefahren.
<b>Fahrzeug-Fußgänger-Unfälle (Rückwärtsfahrt)</b>	
<b>2</b>	Laut Staplerfahrer kreuzte Herr R. ohne ersichtlichen Grund die Rückwärtsfahrt dessen. Der Staplerfahrer startete die Rückwärtsfahrt erst nachdem er sich umgeschaut hatte. Herr R hielt sich zu diesem Zeitpunkt auf der linken Seite des Leergutlagers auf. Der Staplerfahrer startete seine Rückwärtsfahrt und erfasste Herrn R ; dieser fiel zu Boden, der Staplerfahrer stoppte sofort die Weiterfahrt
<b>3</b>	Ein Mitarbeiter ist rückwärts mit dem Stapler aus einer Wechselbrücke herausgefahren, ohne nach hinten zu sehen. Herr L. kam gerade gelaufen und wurde durch den Stapler umgefahren. Er stürzte, wobei der Stapler mit einem Rad über das linke Bein fuhr.
<b>4</b>	Auf dem Weg von ihrem Büro zur Toilette passierte Frau T. den Wareneingangsbereich. Der dort tätige Kollege K. wollte den Bereich durch Rückwärtsfahren mit seinem Stapler gerade verlassen als Frau T. den Fahrweg des Staplers kreuzte. Beide Kollegen bemerkten die Annäherung nicht. Der Stapler erfasste die Kollegin und quetschte den rechten Fuß ein.

Tabelle 5-15. Ausgewählte Unfallbeschreibungen aus Unfallanzeigen der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution

Nr.	Unfallbeschreibung
<b>Fahrzeug-Fußgänger-Unfälle (Be- und Entladung)</b>	
5	Herr K. war aus seinem LKW ausgestiegen und wollte die Plane öffnen. Ein Kollege, der zu diesem Zeitpunkt ganz in der Nähe des LKWs mit dem Stapler rangierte, überfuhr beim Rückwärtsfahren Herrn K. Der Kollege hatte sich, bevor er rückwärtsfuhr, versichert, dass sich niemand hinter dem Stapler befindet und er sah niemanden. Es ist nicht nachvollziehbar, ob Herr K. sich im toten Winkel befand und vom Kollegen nicht gesehen wurde oder ob er nicht damit rechnete, dass der Kollege rückwärtsfährt und hinter den Stapler gelaufen ist.
6	Bei Wartungsarbeiten am LKW wurde Herr S. von einem PKW angefahren, da der Kollege ihn übersehen hatte.
7	Beim Beladen seines LKWs lief Herr S. seitlich an seinem LKW entlang. Ein Stapler, beladen mit zwei Paletten Sackware, fuhr neben Herrn S. in derselben Richtung. Herr S. blieb stehen, um die Antirutschmatten auf die Ladefläche zu legen. Dies bemerkte der Staplerfahrer nach eigener Aussage nicht und drückte Herrn S. mit seiner Ladung gegen den LKW.
8	Beim Überqueren des Betriebsgeländes übersah der UV einen rückwärtsfahrenden LKW, so dass er von diesem an geschubst wurde und zu Boden fiel.
9	Der UV wurde von einem rückwärtsfahrenden Lkw an der rechten Schulter gestreift dabei zog er sich eine Risswunde im Bereich des linken Kiefers zu als er auf ein Tor fiel.
10	Der Mitarbeiter ist mit dem Stapler rückwärts von der Rampe gefahren und mit einem LKW zusammengestoßen
11	Auf dem Firmengelände ist die UV hinter einem LKW vorbeigelaufen und von diesem erfasst worden, als dieser gerade zurücksetzte, so dass sie zu Boden stürzte.
12	UV nutzte den Stapler. Ein LKW Fahrer fuhr mit seinem LKW rückwärts und quetschte UV zwischen Gabelstapler und LKW ein
13	Beim Entladen des LKW lenkte der Staplerfahrer ein und übersah dabei den Fahrer, der in der Nähe des LKW stand. Der Fuß (li.) wurde zur Hälfte überfahren. Dabei wurde der li. kl. Zeh gequetscht.

Tabelle 5-16. Ausgewählte Unfallbeschreibungen aus Unfallanzeigen der Berufsgenossenschaft für Handel und Warendistribution

Nr.	Unfallbeschreibung
<b>Fahrzeug-Fußgänger Unfälle (plötzliche Bewegungen, Verdeckungen und fehlende Sichtbarkeit)</b>	
14	Ein MA fuhr mit dem Stapler ein Paket. Plötzlich tauchte eine Person zwischen den Paketen von rechts auf. Der MA bremste sofort. Der UV war dem Stapler so nahe, dass der Stapler auf dem linken Fuß zum Stehen kam. Der UV fiel zu Boden. Der MA setzte den Stapler sofort zurück, weil der Stapler noch auf dem Fuß stand.
15	Der Versicherte trat unvermittelt hinter einer Kiste hervor, war von einem sich nähernden Staplerfahrer nicht sichtbar und wurde von diesem angefahren. Der Versicherte kam zu Fall und geriet mit dem rechten Unterschenkel unter den Stapler (offener Bruch des Unterschenkels).
16	Im Betrieb ist Herr B. zu einem anderen Kollegen gelaufen, um einen Elektrohubwagen zu holen. Er sei hinter Europaletten gelaufen, so dass ihm die Sicht versperrt gewesen ist. Plötzlich ist um die Ecke ein Gabelstapler gekommen. Herr B. hat versucht auszuweichen, jedoch ist er mit dem linken Fuß unter die Gabel geraten, welche über seinen linken Fußrücken schliff.
17	Der UV war als Checker in der Fuhre eingesetzt. Er ist während des Checkvorganges rückwärtsgegangen und wurde durch einen in der Lehrabfertigungsspur anfahrenen Lkw berührt. Dadurch verlor er sein Gleichgewicht und stürzte.
18	Der Verunfallte befand sich im Produktionslager auf einer Trittleiter und wechselte Lampen aus. Ein MA rangierte mit einem Gabelstapler und berührte beim Rückwärtsfahren versehentlich die Leiter. Diese fiel mit dem Verunfallten zu Boden. Dabei entstand die Verletzung.
19	Es kam zu dem Unfall, weil der Verunfallte zu diesem Zeitpunkt den vorbeifahrenden Stapler akustisch nicht wahrnehmen konnte, da in unmittelbarer Nähe ein LKW mit laufendem Motor stand. So lief der Verunfallte vor den Stapler. Dieser erfasste ihn am rechten Fuß.
<b>Fahrzeug-Fußgänger-Unfälle (Vorwärtsfahrt)</b>	
20	Herr M. war am Unfalltag mit Kommissionierarbeiten beschäftigt. Er wollte nach der Auftragsannahme in die Straße 4 einfahren, konnte dies aber nicht, da die Durchfahrt durch einen Gabelstapler blockiert war. Herr M. schaute zurück, um so die Durchfahrt wieder verlassen zu können. Dies war aber nicht möglich, da ein anderes Fahrzeug bereits hinter ihm stand. Aus diesem Grund bewegte er sein FFZ sofort wieder vorwärts, ohne sich einen ausreichenden Überblick auf die zu befahrende Strecke zu verschaffen. Dadurch übersah er Frau R., die sich gerade auf dem Weg Richtung Leergutrampe befand und fuhr ihr mit dem Flurförderzeug über den linken Fuß.

Fasst man die Ergebnisse mit Blick auf die Systempotentiale und angestrebten Anwendungsbereiche des FRAMES-Frühwarnsystems zusammen, kann man bezogen auf die betrieblichen Unfallarten feststellen, dass die hier insbesondere in den Fokus genommene Unfallvermeidung durch Früherkennung von teilweise oder vollständig verdeckten Personen bzw. Fahrzeugen oder nicht sichtbaren Personen- bzw. Fahrzeugbewegungen eine besondere Relevanz besitzt. Aufgrund der häufig unübersichtlichen, teil- oder vollverdeckten Fahr- und Bewegungswege, der schlechten Vorhersagbarkeit der Richtung und Geschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer, verspricht ein System, welches über die



Informationen der Position und der Richtung der anderen Teilnehmer verfügt, ein erhebliches Unfallvermeidungspotential. Etwaige kompensierende Effekte durch die Nutzung eines solchen Systems auf Seite der Fahrer bzw. Benutzer werden aktuell durch die FRAMES-Forschungsgemeinschaft überprüft. Bisherige Analysen verweisen auf ein bestehendes Sicherheitspotenzial des Systems im Sinne einer Unfallreduktion, bei jedoch gleichzeitig bestehenden negativen Verhaltensanpassungen, die eine Wirksamkeit vermindern oder sogar aufheben könnten. Möglichkeiten zur Reduktion solcher Kompensationseffekte werden untersucht.

Über die Frage der Eignung des Systems hinaus, werden die vorliegenden Unfallberichte weiter bezüglich ihres Präventionspotentials durch die FRAMES-Forschungsgemeinschaft analysiert. Nochmals sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass eine Erweiterung der ohnehin zu erfolgenden Unfallanzeige durch Fragebögen bzw. detailliertere Beschreibungen der Unfallsituationen bzw. der Unfallentstehung ein erhebliches Präventionspotential aufweist. Die Eignung einer erweiterten Unfallanzeige sollte aus Forschungssicht durch die Unfallversicherungsträger unbedingt stärker in den Blick genommen werden.

---

### 5.3.2 Unfälle in den beobachteten Betrieben

---

Für die drei Betriebe, in denen im Rahmen des FRAMES-Projektes eine Beobachtung des Verkehrsverhaltens durchgeführt wurde (vgl. Abschnitt 5.1.8.15.1.8.1), konnten aus den Interviews mit den betrieblich verantwortlichen Personen ebenfalls zwei Verkehrsunfälle mit Personenschaden nachvollzogen werden. Einer der beiden Unfälle ereignete sich bei der Anfahrt an die zentrale Entlade-rampe an Standort 2 (siehe auch 5.2.3). Ein betriebseigenes Fahrzeug sollte vor der Entladung gewogen werden (Standardvorgehen). Nachdem das Fahrzeuggewicht beim ersten Wiegeversuch nicht bestimmt werden konnte, da das Fahrzeug nicht richtig auf der Waage stand, wurde der Fahrer gebeten, noch einmal auf die Waage zu fahren, um den Wiegevorgang zu wiederholen. Der Fahrer fuhr rückwärts auf die Waage und übersah dabei einen hinter dem Fahrzeug vorbei laufenden Mitarbeiter. Der Mitarbeiter wurde von dem Fahrzeug erfasst und verletzt. Ein weiterer Unfall mit Personenschaden ereignete sich an Standort 3, als der Fahrer eines betriebsinternen Umsetzfahrzeugs eine Werkstraße befuhr und dabei einen Mitarbeiter übersah, der sich in gleicher Fahrt- bzw. Laufrichtung wie das Fahrzeug auf dem Überweg befand. Der Fahrer fuhr an dem Mitarbeiter vorbei und kreuzte dann den Überweg um zu wenden. Dabei erfasste das Fahrzeug wahrscheinlich mit der Fahrzeugseite den Mitarbeiter.

Auch für diese beiden Unfälle kann gelten, was aus den Unfallanalysen der BGHW-Daten an Erkenntnissen gewonnen wurde. Unfälle im betrieblichen Kontext ergeben sich häufig aus Sichtverdeckungen und schwer vorhersehbaren Fahrt- bzw. Laufrichtungswechseln von Fahrzeugen und Fußgängern. Die geschilderten Unfälle haben sich nach allen zugänglichen Erkenntnissen daraus ergeben, dass die Fahrer nicht über die Anwesenheit der Fußgänger informiert waren bzw. diese nicht wahrnehmen konnten. Für die Fußgänger waren die unfallauslösenden Fahrzeugbewegungen ebenfalls nur schwer vorherzusagen (plötzliches Rückwärtsfahren, Wenden). Die genannten betrieblichen Unfallspezifika ergeben geeignete Anwendungsfälle des geplanten Frühwarnsystems.

---

---

## 5.4 ERGEBNISSE DER RISIKOKOMPENSATIONSANALYSEN

---

---

### 5.4.1 Theoretische Befunde

---

Grundsätzlich ist bei der Einführung und Anwendung von Fahrerassistenzsystemen mit hoher Wahrscheinlichkeit mit den sogenannten Risikokompensationseffekten zu rechnen. Das heißt, dass davon ausgegangen werden muss, dass sowohl Fahrzeugführer als auch nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Fahrradfahrer ihr Verkehrsverhalten in Reaktion auf die Einführung einer (technischen) Sicherheitsmaßnahme so anpassen, dass der intendierte Sicherheitsgewinn ausbleibt oder reduziert wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Verkehrsteilnehmer eine Änderung der Umwelt in der Weise zu Nutze machen, dass sie ihre zum Teil nicht mit der Verkehrssicherheit zu vereinbarenden Ziele (wie schnelles Ankommen, geringere Aufmerksamkeit, Selbst- und Sicherheitsüberschätzung, etc.) so noch besser erreichen können.

Zum großen Teil synonym zum Begriff der Risikokompensation (Wilde, 1986; Trimpop, 1994) wird (insbesondere) in der Verkehrspsychologie der Begriff der Verhaltensadaptation oder Verhaltensanpassung verwendet. Dieser wird nach Pfafferott und Huguenin (1991) wie folgt definiert:

„Adaptation (behavioral adaptations) ist unintendiertes Verhalten, das auftreten kann, wenn im Mensch-Straße-Fahrzeug-System Veränderungen eingeführt werden. Adaptation tritt als Reaktion der Verkehrsteilnehmer auf Veränderungen im Verkehrssystem auf; dabei werden persönliche Bedürfnisse befriedigt, was zu Wirkungen führen kann, die sich auf einem Kontinuum von positiv bis negativ für die Sicherheit lokalisieren lassen“ (OECD, 1990, S.23).

Negative Adaptationseffekte treten insbesondere dann auf, wenn es zu keiner Veränderung der zu Grunde liegenden Motivation und Werte von sicherem und unsicherem Verhalten kommt und dem Verkehrsteilnehmer stattdessen ein *falsches Gefühl von Sicherheit* vermittelt wird. Dabei erstreckt sich das Spektrum möglicher Adaptationsprozesse von unmittelbar auftretenden über zeitlich verzögerte bis hin zu gefahrenexpositions-verändernden Verhaltensanpassungsprozessen.

Von der theoretischen Grundlage her wird angenommen, dass, wenn eine Veränderung in der Umgebung stattfindet, dass dies die Annahme von Personen darüber beeinflusst, welchen Effekt eine solche Veränderung auf die Unfallrate hat. Dies wiederum spiegelt sich in dem wahrgenommenen Risiko der Situation wieder. Antizipiert eine Person beispielsweise, dass durch die Einführung einer Sicherheitsmaßnahme (wie z.B. technische Verbesserungen am Fahrzeug) die Unfallrate sinken wird, nimmt sie ein geringeres Risiko zu verunfallen wahr. So entsteht eine Diskrepanz in dem Sinne, dass das wahrgenommene Risiko geringer ist als das akzeptierte, wonach eine Anpassungshandlung mit dem Ziel dieses Ungleichgewicht aufzulösen erfolgt. Die Person verhält sich riskanter. Somit versteht man unter Risikokompensation ein Verhalten, dass durch eine Diskrepanz zwischen dem wahrgenommenen und dem akzeptierten Risiko ausgelöst wird und das Ziel verfolgt, das gewünschte Gleichgewicht wieder herzustellen.

Explizit zu erwähnen ist auch, dass Risikokompensationseffekte nicht allein auf Seiten der Fahrzeugführer auftreten, sondern auch bei Fußgängern verzeichnet werden können, wobei dies insbesondere in der Wechselbeziehung zwischen Fußgängern und motorisierten Verkehrsteilnehmern zu erwarten ist. So zeigen empirische Studien diesbezüglich, dass sich die Verkehrsteilnehmer riskanter verhalten, wenn sie glauben, sich auf den jeweils anderen verlassen bzw. ein Teil der Handlungsverantwortung an den anderen abgeben zu können. Dies ist ein Prozess, der speziell beim Einsatz wechselseitig kommunikativer Warnsysteme erwartet werden muss (siehe ausführlich Wilde 2007).

Die Folge der beschriebenen Kompensationseffekte ist, dass die Verkehrsteilnehmer schneller, unaufmerksamer oder in einer anderen Art und Weise riskanter fahren, was insbesondere dann problematisch wird, wenn Menschen oder Fahrzeuge **nicht** mit einem entsprechenden Warnsystem ausgestattet sind, da diese in der Konsequenz übersehen werden. Dieser Effekt tritt auch bei versteckten Assistenzsystemen, wie z.B. ABS auf, wie intensive Studien z.B. von Aschenbrenner und Biehl (1990) sehr deutlich aufzeigen konnten. Vor der Einführung und Empfehlung eines FAS sollte also unbedingt untersucht worden sein, ob, wie stark und wann solche unerwünschten Anpassungsprozesse stattfinden, um zum einen negative Effekte für die Sicherheit zu vermeiden und zum anderen eine Verringerung der positiven Effekte von Fahrerassistenzsystemen durch unerwünschte Verhaltensanpassungen (wie z.B. bei ESP, welches einen Sicherheitsnettonutzen trotz der Anpassungen aufweist, der jedoch ohne Kompensationseffekte noch höher ausfallen könnte) zu reduzieren.

---

### 5.4.2 Experimentalanalyse

---

Zur Untersuchung der Fragestellung, inwieweit bei Einführung eines adaptiven Frühwarnsystems zur Mensch-Fahrzeug-Erkennung mit Risikokompensationseffekten (Verhaltensadaptationen) zu rechnen ist - also ob sich die Verkehrsteilnehmer unvorsichtiger verhalten, weil sie wissen, dass sie gewarnt werden - wurde neben der Literaturrecherche ein computergestütztes Fahrexperiment programmiert, das die Funktionsweise eines solchen Systems abbilden und fahrspezifische Verhaltensweisen von Nutzern erfassen soll. Dabei wurde folgende Fragestellung untersucht:

Können Unterschiede in den objektiven Fahrverhaltensdaten und den subjektiven Einstellungs- und Verhaltenseinschätzungen der Versuchsteilnehmer zwischen den Systembedingungen mit und ohne Warnsystem festgestellt werden?

---

#### 5.4.2.1 Methodisches Vorgehen

In der Fahrsimulation wurde auf einem Monitor eine Fahrstrecke dargestellt, auf die systematisch variierend sichtbare und vorher nicht sichtbare Personen treten, die mal in den Gefährdungsbereich des Fahrzeugs geraten und mal nicht.

Die konkrete Aufgabe der „Spieler“ war, einen Wagen auf einer kurzen Strecke von einem Start- bis zu einem Zielpunkt zu bewegen. Je schneller dies erfolgte, desto mehr Punkte konnten erzielt werden, wobei ein möglichst hoher Punktestand das den Teilnehmern kommunizierte Ziel der Aufgabe war. Insgesamt war die Strecke in 2 Blöcken mit je 20 Fahrten abzufahren. In dem einen Block stand den Personen ein Assistenzsystem zur Verfügung, in dem anderen nicht. Bis auf diese Variation wurden alle weiteren Bedingungen zwischen den Blöcken konstant gehalten. Die Darbietung der Blöcke wurde dabei systematisch variiert, um Reihenfolgeeffekte ausschließen zu können. Die Warnung in der Assistenzsystem-Bedingung erfolgte visuell und auditiv mit Hilfe eines gefährdungsabhängigen farbig aufleuchtenden Bildschirms sowie eines parallelen Signaltons.

Eine bildliche Darstellung der Fahrsimulation in beiden Bedingungen findet sich in Abbildung 5-47 und Abbildung 5-48.

Zusätzlich zur Simulationsaufgabe wurden theoretisch relevante Kontrollvariablen, wie Risikobereitschaft, Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung, etc. zu Beginn und Fahrverhaltenseinschätzungen nach jedem Block erhoben.

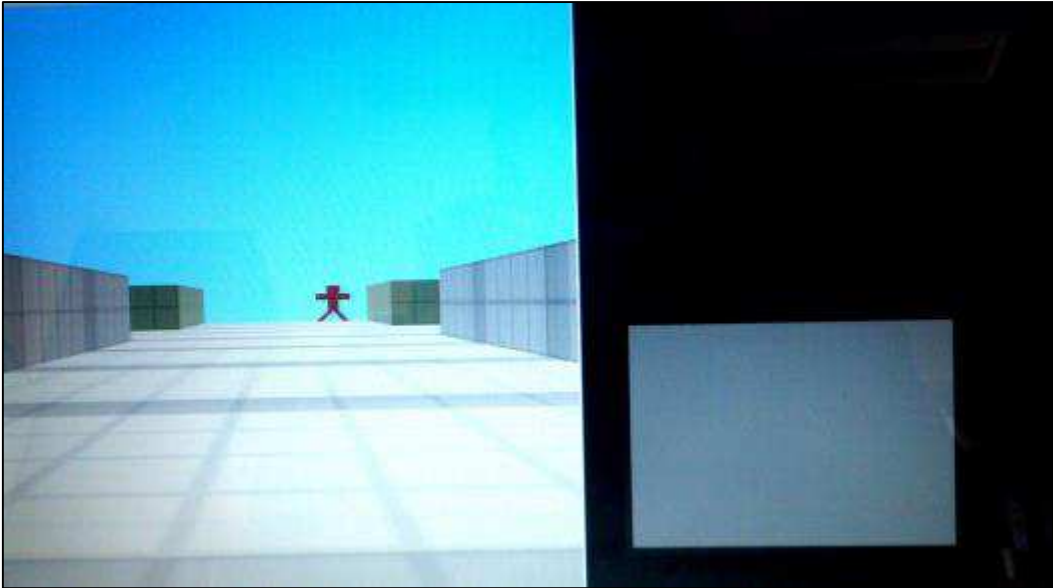


Abbildung 5-47. Screenshot der Fahrsimulation in der „Ohne System“-Bedingung

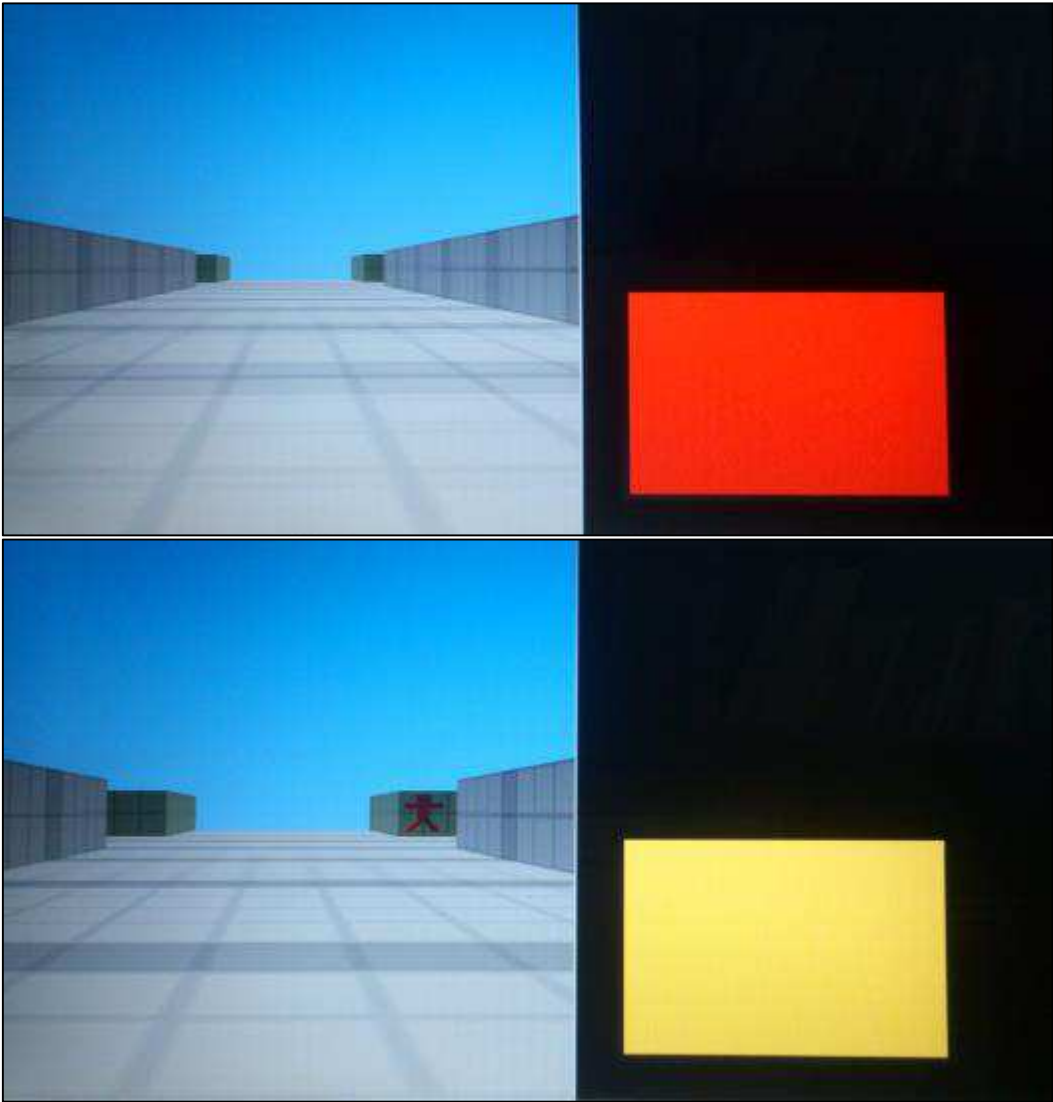


Abbildung 5-48. Screenshots der Fahrsimulation in der „Mit System“-Bedingung

Die Risikokompensation wurde mit Hilfe der verschiedenen gemessenen objektiven Verhaltensdaten und subjektiven Verhaltenseinschätzungen und Einstellungen, die auf Basis der theoretisch fundierten Recherchen definiert wurden, operationalisiert. In der folgenden Tabelle findet sich eine Übersicht über die entsprechenden Variablen.

Tabelle 5-17. Variablenübersicht Risikokompensationsmessung

Objektive Messdaten	Einstellungen und Verhaltenseinschätzungen
<b>Erreichte Gesamtpunktzahl</b>	Risikobewertung
<b>Anzahl der Kollisionen</b>	Risikomotivation
<b>Durchschnittliche Geschwindigkeit</b>	Emotionales Befinden
<b>Die Gesamtzahl aller Beschleunigungsvorgänge</b>	Beanspruchung
<b>Die Gesamtzahl aller Bremsvorgänge</b>	Risikokompensation
<b>Die durchschnittliche Beschleunigungsstärke</b>	
<b>Die durchschnittliche Bremsstärke</b>	

#### 5.4.2.2 Erste Ergebnisse der Risikoanalysen (noch in Bearbeitung)

Die Reaktionen der Fahrer in beiden Blöcken - ohne Assistenzsystem und mit Assistenzsystem – wurden untersucht. So erfolgte ein systematischer Vergleich verschiedener Operationalisierungen von Kompensationsverhaltensweisen.

In die Auswertung des Experiments gingen die Daten von bisher N = 21 Versuchspersonen ein (weitere werden derzeit erhoben), von denen 7 Männer und 14 Frauen im Alter zwischen 19 und 35 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 27 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung alle Personen einen Führerschein, wobei 35% über 1-3 Jahre, 40% über 4-10 Jahre und 25% über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügen. 8 Personen führten das Experiment in der Reihenfolge „Ohne System, mit System“ und 13 Personen in der Reihenfolge „Mit System, ohne System“ durch.

Es wurde untersucht, ob eine Veränderung der objektiven Fahrverhaltensdaten und subjektiven Einschätzungen zwischen den Systembedingungen nachzuweisen ist. Dies erfolgte mit Hilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben, der die Fragestellung untersucht, ob die Mittelwertdifferenz in beiden Bedingungen null ist. Da jedoch nicht allein von Interesse ist, ob ein Effekt besteht oder nicht, sondern auch wie groß dieser ist, wurde im Falle signifikanter Ergebnisse die Effektstärke Cohens d berechnet, um die praktische Bedeutsamkeit des Mittelwertunterschieds abschätzen zu können.

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Analyse der Mittelwertunterschiede der objektiven Verhaltensdaten zur Untersuchung der Forschungsfrage findet sich in Tabelle 5-18..

Zur korrekten Deutung dieser wurde zusätzlich eine differenzierte Betrachtung getrennt nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke vorgenommen. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 5-199 und Tabelle 5-20.20.

Tabelle 5-18. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS (über alle Durchgänge)

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	t(df)	SE	p	d
<b>Gesamtpunktzahl</b>	38,52	52,91	-14,39	-3,89 (20)	3,69	<b>.001**</b>	0.66
<b>Anzahl der Kollisionen</b>	1,33	0,43	0,90	3,396 (20)	0,27	<b>.003**</b>	0.60
<b>Durchschnittsgeschwindigkeit</b>	19,08	19,29	-0,21	-0,91 (20)	0,22	.371	
<b>Gesamtzahl Beschleunigungen</b>	36,86	32,33	4,52	3,63 (20)	1,25	<b>.002**</b>	0.63
<b>Gesamtzahl Bremsvorgänge</b>	21,86	16,24	5,62	3,23 (20)	1,74	<b>.004**</b>	0.59
<b>Summe durchschnittliche Beschleunigungsstärke</b>	67,58	72,70	-5,12	-3,18 (20)	1,61	<b>.005**</b>	0.58
<b>Summe durchschnittliche Bremsstärke</b>	-37,12	-28,86	-8,26	-3,32(20)	4.29	<b>.003**</b>	0.60

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem); MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; t = t-Wert; df = Zahl der Freiheitsgrade; SE = Standardfehler; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; d = Effektstärke; \*p < .05 \*\*p < .01, \*\*\*p < .001

Tabelle 5-19. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge mit Fußgänger

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	t(df)	SE	p	d
<b>Gesamtpunktzahl</b>	9,92	8,75	1,17	0,52 (20)	2,25	.607	
<b>Durchschnittsgeschwindigkeit</b>	18,60	17,51	1,09	4,48 (20)	1,11	<b>.000***</b>	0.71
<b>Gesamtzahl Beschleunigungen</b>	18,48	20,00	-1,52	-2,93 (20)	0,52	<b>.008**</b>	0.55
<b>Gesamtzahl Bremsvorgänge</b>	12,52	13,71	-1,19	-1,19(20)	0,99	.246	
<b>Summe durchschnittliche Beschleunigungsstärke</b>	34,63	34,97	-0,34	-0,40 (20)	0,83	.692	
<b>Summe durchschnittliche Bremsstärke</b>	-19,33	-24,19	4,85	5,27(20)	-0,92	<b>.000***</b>	0.77

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem); MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; t = t-Wert; df = Zahl der Freiheitsgrade; SE = Standardfehler; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; d = Effektstärke; \*p < .05 \*\*p < .01, \*\*\*p < .001

Tabelle 5-20. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge ohne Fußgänger

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	t(df)	SE	p	d
<b>Gesamtpunktzahl</b>	28,60	44,17	-15,57	-5,93 (20)	2,62	<b>.000***</b>	0.80
<b>Durchschnittsgeschwindigkeit</b>	19,60	21,50	-1,90	-6,14 (20)	0,31	<b>.000***</b>	0.81
<b>Gesamtzahl Beschleunigungen</b>	18,38	12,33	6,04	6,92 (20)	0,87	<b>.000***</b>	0.84
<b>Gesamtzahl Bremsvorgänge</b>	9,33	2,52	6,81	6,82 (20)	0,99	<b>.000***</b>	0.84
<b>Summe durchschnittliche Beschleunigungsstärke</b>	32,95	37,74	-4,79	-3,32 (20)	2,49	<b>.000***</b>	0.60
<b>Summe durchschnittliche Bremsstärke</b>	-17,79	-4,67	-13,12	-6,09(20)	2,16	<b>.000***</b>	0.81

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem); MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; t = t-Wert; df = Zahl der Freiheitsgrade; SE = Standardfehler; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; d = Effektstärke; \*p < .05 \*\*p < .01, \*\*\*p < .001

**Gesamtpunktzahl:**

Die Gesamtpunktzahl der Blöcke über jeweils alle 20 Durchgänge, 10 mit und 10 ohne Fußgängeraufkommen (vgl. Tabelle 5-18) zeigt einen signifikanten Unterschied auf ( $t(20) = -3.89, p = .001$ ). Die negative Mittelwertdifferenz weist dabei aus, dass in der Bedingung „Mit System“ im Durchschnitt über alle Teilnehmer 14,39 Punkte mehr erreicht werden als in der „Ohne-System“-Bedingung.

Die differenzierte Betrachtung getrennt nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke zeigt, dass dies insbesondere auf den bedeutsamen Unterschied in der Gesamtpunktzahl der Blöcke in allen Fällen ohne Fußgänger zurückzuführen ist (vgl. Gesamtpunktzahl in Tabelle 5-19 und 5-20). Während sich also die erreichte Punktzahl in allen Durchgängen mit Fußgänger zwischen den Bedingungen nicht unterscheidet ( $t(20) = 0.52, p = .607$ ) ist der Unterschied in den Durchgängen ohne Fußgängeraufkommen hoch signifikant ( $t(20) = -5.93, p = .000$ ). Dies zeigt auch die Effektstärke, die mit einem Wert von  $d = 0.80$  auf einen großen Effekt verweist (vgl. Tabelle 5-20).

**Anzahl der Kollisionen:**

Die Anzahl der Kollisionen weist zwischen den Bedingungen einen signifikanten Unterschied auf ( $t(20) = 3.40, p = .003$ ) (vgl. Tabelle 5-18). Im Mittel über alle Personen geschehen ohne Warnsystemunterstützung 1,33 Kollisionen im Vergleich zur Bedingung „Mit System“ mit nur 0,43 Kollisionen. Die Effektstärke von  $d = 0.60$  weist hier auf einen mittleren bis großen Effekt hin.

**Durchschnittsgeschwindigkeit:**

Die Durchschnittsgeschwindigkeit weist im Vergleich der Bedingungen über alle 20 Durchgänge keine Unterschiede zwischen „Mit System“ und „Ohne System“ – Bedingung auf ( $t(20) = -0.91, p = .371$ ) (vgl. Tabelle 5-18). Die differenzierte Betrachtung zeigt hingegen ein anderes Bild. In allen 10 Fällen, in denen ein Fußgänger auftauchte, wurde die Strecke in der „Ohne System“-Bedingung im Mittel mit einer höheren Geschwindigkeit absolviert ( $t(20) = 4.48, p = .000$ ) (vgl. Tabelle 5-19). In allen Durchgängen ohne Fußgängeraufkommen, ist die erreichte Durchschnittsgeschwindigkeit „Mit System“ hingegen höher ( $t(20) = -6.14, p = .000$ ) (vgl. Tabelle 5-20).

**Gesamtzahl der Beschleunigungsvorgänge:**

Die Gesamtanzahl aller Beschleunigungsvorgänge des Testblocks weist in der „Ohne System“-Bedingung einen signifikanten Mittelwertunterschied zur „Mit System“- Bedingung auf ( $t(20) = 3.63, p = .002$ ). Ohne System wird im Mittel 4,5mal häufiger die Geschwindigkeit erhöht als mit System (vgl. Tabelle 5-18).

Die nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke differenzierte Betrachtung zeigt jedoch, dass dieser Unterschied für alle Durchgänge mit Fußgänger in die entgegengesetzte Richtung zeigt ( $t(20) = -2.93, p = .008$ ) (vgl. Tabelle 5-19). Findet eine Warnung statt (ein Fußgänger taucht in der „Mit System“-Bedingung auf), zeigen sich im Mittel 1,5 Beschleunigungsvorgänge mehr als in den Durchgängen mit Fußgängeraufkommen in der „Ohne System“-Bedingung. In den Durchgängen ohne Fußgänger weist der bedeutsame Unterschied wiederum in dieselbe Richtung wie in der Gesamtbetrachtung aller Durchgänge ( $t(20) = 6.92, p = .000$ ). Hier wird ohne System deutlich häufiger beschleunigt als mit System (vgl. Tabelle 5-20).



**Summe der durchschnittlichen Beschleunigungsstärke:**

Die Summe der durchschnittlichen Beschleunigungsstärke für alle Durchgänge eines Testblocks weist einen negativen Unterschied im Mittelwert zwischen den Bedingungen auf ( $t(20) = -3.18, p = .005$ ). Mit System wird demnach stärker beschleunigt als ohne System (vgl. Tabelle 5-18).

Die differenzierte Betrachtung getrennt nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke zeigt, dass dies insbesondere auf den bedeutsamen Unterschied in der Beschleunigungsstärke in allen Fällen ohne Fußgänger zurückzuführen ist ( $t(20) = -3.32, p = .000$ ) (vgl. Tabelle 5-20). In den Durchgängen mit Fußgängeraufkommen unterscheidet sich die Beschleunigungsstärke hingegen nicht ( $t(20) = -0.40, p = .692$ ) (vgl. Tabelle 5-19).

**Gesamtzahl der Bremsvorgänge:**

Die Gesamtanzahl aller Bremsvorgänge des Testblocks weist in der „Ohne System“-Bedingung einen signifikanten Mittelwertunterschied zur „Mit System“- Bedingung auf ( $t(20) = 3.23, p = .004$ ). Ohne System wird im Mittel 5,6mal häufiger die Geschwindigkeit verringert als mit System (vgl. Tabelle 5-18).

Die nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke differenzierte Betrachtung zeigt, dass dieser Unterschied für alle Durchgänge mit Fußgänger nicht signifikant ist ( $t(20) = -1.19, p = .246$ ) (vgl. Tabelle 5-19). Die Durchgänge ohne Fußgänger weisen wiederum einen bedeutsamen Unterschied auf ( $t(20) = 6.82, p = .000$ ). Hier wird „Ohne System“ durchschnittlich 6,81mal häufiger gebremst als „Mit System“. Mit einer Effektstärke von  $d = 0.84$  ist hier ein deutlicher Effekt zu verzeichnen (vgl. Tabelle 5-20).

**Summe der durchschnittlichen Bremsstärke:**

Die Summe der durchschnittlichen Bremsstärke für alle Durchgänge eines Testblocks weist einen negativen Unterschied im Mittelwert zwischen den Bedingungen auf ( $t(20) = -3.32, p = .003$ ). Das bedeutet hier, dass „Mit System“ im Mittel weniger stark gebremst wird als „Ohne System“ (vgl. Tabelle 5-18).

Die Betrachtung getrennt nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke zeigt ein differenziertes Bild. Während in allen Fällen ohne Fußgänger ein bedeutsamer Unterschied in dieselbe Richtung zu verzeichnen ist, wie in der Gesamtbetrachtung ( $t(20) = -6.09, p = .000$ ) (vgl. Tabelle 5-20), zeigt sich in den Durchgängen mit Fußgängeraufkommen hingegen, dass „Mit System“ stärker gebremst wird als „Ohne System“ ( $t(20) = 5.27, p = .000$ ) (vgl. Tabelle 5-19).

Die Ergebnisse des Mittelwertvergleichs der subjektiven Fahrverhaltenseinschätzungen, die nach jedem Block erfolgte, sind in der folgenden Tabelle 5-21. dargestellt.

Tabelle 5-21. Mittelwertvergleich der subjektiven Fahrverhaltenseinschätzungen zwischen den Bedingungen OS und MS

Skala	M OS	M MS	M – Differenz	t(df)	SE	p	d
Risikobewertung (der Fahrsituation)	3,16	2,39	0,77	3,17 (20)	0,24	.005**	0.57
Risikomotivation	3,01	2,98	0,03	0,57 (20)	0,56	.576	

<b>Emotion – positive Befindlichkeit</b>	3,22	3,12	0,10	1,48 (20)	0,07	.154
<b>Emotion – negative Befindlichkeit</b>	2,84	2,74	0,10	0,62 (20)	0,17	.540

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem); MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; t = t-Wert; df = Zahl der Freiheitsgrade; SE = Standardfehler; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; d = Effektstärke; \*p < .05 \*\*p < .01, \*\*\*p < .001

**Risikobewertung der Fahrsituation:**

Die Bewertung des Risikogehalts der Fahrsituation wurde mit Hilfe dreier Items erfasst. Dabei sollten die Teilnehmer angeben, wie riskant sie die Situation erlebt haben und wie sicher sie sich waren, dass sie oder andere Personen jede Kollision vermeiden können. Diese Skala weist einen signifikanten Unterschied im Mittelwert zwischen den Bedingungen auf (t(20) = 3.17, p = .005). „Ohne System“ wird die Fahrsituation riskanter eingeschätzt als „Mit System“.

**Risikomotivation:**

Die Risikomotivation wurde mit Hilfe dreier Items zur Erfassung der Wichtigkeit der Erzielung einer hohen Punktzahl und Vermeidung von Kollisionen gemessen. Die Motivation ein riskanteres Verhalten zu zeigen unterscheidet sich im Mittel zwischen den Systembedingungen jedoch nicht (t(20) = 0.57, p = .576).

**Emotionale Befindlichkeit:**

Die Variablen der positiven und negativen Aktivierung, die jeweils eine Skala aus vier Items bildeten, zeigen im Durchschnitt keinen Unterschied zwischen Bedingung „Mit System“ und „Ohne System“.

**Selbsteinschätzung des Kompensationsverhaltens:**

Weiterhin wurden die Teilnehmer gebeten, ihre Verhaltensänderung zwischen den Bedingungen einzuschätzen. Dabei sollten sie angeben, wie sich ihre Fahrweise „Ohne System“ darstellte im Vergleich zur Bedingung „Mit System“. Die Einschätzungen waren auf einer 5-stufigen Skala vorzunehmen, wobei ein Wert von 3 als „keine Veränderung“ zu interpretieren ist. Werte kleiner und größer als 3 entsprechen einer Veränderung in die in der Tabelle 5-22. je nach Item dargestellten Richtung.

Tabelle 5-22. Mittelwerte der Veränderungseinschätzung verschiedener Kompensationsvariablen von MS zu OS

Skala		M	SD
<b>Risikobewertung der Fahrsituation</b>	Ich empfand die Situation als <b>(1)sicherer – riskanter(5)</b>	<b>3,67</b>	<b>0,89</b>
<b>Risikomotivation</b>	Keine Kollisionen und eine sehr hohe Punktzahl war mir <b>(1)wichtiger – unwichtiger(5)</b>	<b>2,17</b>	<b>0,84</b>
<b>Emotionale Befindlichkeit</b>	Emotional fühlte ich mich <b>(1)besser/positiver - schlechter/negativer(5)</b>	<b>3,17</b>	<b>0,84</b>
<b>Geistige und körperliche Beanspruchung</b>	Geistig und körperlich fühlte ich mich <b>(1)entlastet/weniger beansprucht - belastet/mehr beansprucht(5)</b>	<b>3,75</b>	<b>0,75</b>
<b>Riskantes Fahren</b>	Ich fuhr insgesamt <b>(1)vorsichtiger – riskanter(5)</b>	<b>2,08</b>	<b>0,99</b>

<b>Schnelles Fahren</b>	Ich fuhr insgesamt <b>(1)langsamer – schneller(5)</b>	<b>2,42</b>	<b>0,90</b>
<b>Aufmerksames Fahren</b>	Ich fuhr insgesamt <b>(1)aufmerksamer – unaufmerksamer(5)</b>	<b>1,83</b>	<b>0,94</b>

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem); MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert, Ein Mittelwert von 3 entspricht keiner Veränderung;

Die Selbsteinschätzung der Teilnehmer bezüglich ihrer Veränderung von Wahrnehmung und Verhalten zwischen den Bedingungen unterstützt die Ergebnisse der Veränderungsanalysen auf Basis der objektiven und subjektiven Verhaltens- und Erlebensvariablen.

Die Personen empfinden die Situation „Ohne System“ als riskanter (M = 3,67), Kollisionen zu vermeiden und eine hohe Punktzahl zu erreichen ist ihnen in dieser Bedingung wichtiger (M = 2,17), sie fühlen sich etwas negativer (M = 3,17) und beanspruchter (M = 3,75), fahren aber vorsichtiger (M = 2,08), langsamer (M = 2,42) und aufmerksamer (M = 1,83).

#### 5.4.2.3 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse:

Die Ergebnisse zeigen einerseits auf, dass unter dem Einsatz des Systems weniger Kollisionen verursacht werden als ohne Assistenz. Damit kann resümiert werden, dass das Warnsystem ein Sicherheitspotenzial bezüglich des Kriteriums des Unfallsaufkommens aufweist. Von einem verkehrssicherheitslichen Nutzen eines solchen Systems kann von daher auf experimenteller Basis grundsätzlich ausgegangen werden.

Bezüglich der Beantwortung der Fragestellung nach dem Auftreten möglicher Risikokompensationseffekte durch einen Systemeinsatz sind jedoch über die Unfallzahl hinaus die Ergebnisse der weiteren Kompensationskriterien entscheidend. Diese weisen auf einen deutlichen Verhaltensanpassungseffekt hin, der wiederum in seiner Konsequenz das mögliche Sicherheitspotenzial des Systems verringern oder unter spezifischen Umständen sogar zu einem gegenteiligen Effekt (Erhöhung der Unfallzahl) führen kann.

So weisen alle weiteren objektiv erfassten Verhaltensvariablen auf ein Vorkommen sicherheitsabträglicher Verhaltensweisen unter dem Systemeinsatz hin.

Zum einen werden „Mit System“ bedeutsam mehr Punkte erreicht als „Ohne System“. Dies kann nach den Analysen nicht nur auf eine geringere Kollisionsanzahl (Kollisionen gehen mit Punkteabzüge einher), sondern auch auf ein riskanteres Fahrverhalten zurückgeführt werden. So zeigt sich, dass die Versuchsteilnehmer insbesondere in allen Durchgängen ohne Fußgängeraufkommen mit einer deutlich höheren Durchschnittsgeschwindigkeit unterwegs sind, wenn sie ein Assistenzsystem zur Verfügung haben. In diesen Fällen zeigt das System „keinen Fußgänger“ an. Die Teilnehmer verlassen sich auf diese Information und zeigen daher deutlich weniger „Sicherheitsverhalten“, z.B. im Sinne einer Geschwindigkeitsreduzierung bzw. einer generell geringeren Anfahrtsgeschwindigkeit als ohne Systemunterstützung. Dies legt auch die Betrachtung der Bremsvorgänge nahe, in der sowohl die Anzahl als auch die Stärke der Geschwindigkeitsreduzierungen betrachtet wurden.

„Ohne System“ wird wesentlich häufiger gebremst als „Mit System“. Dieser Unterschied ist auf alle Durchgänge, in denen kein Fußgänger die Straße kreuzte zurückzuführen. Erhalten die Teilnehmer also die Systeminformation, dass keine Gefahr droht (indem keine Warnung vor einem kreuzenden Objekt gegeben wird), so finden in 10 Durchgängen durchschnittlich nur 2,5 Bremsvorgänge statt,

wohingegen ohne Systemunterstützung nahezu in jedem Durchgang ( $M = 9,33$ ) einmal gebremst wird. Erhalten die Personen die Information, dass eine Kollision droht, wird hingegen genauso häufig gebremst, wie in den vergleichbaren Durchgängen ohne Systemunterstützung. Eine Erhöhung des Sicherheitsverhaltens durch die Warnung selbst ist damit nicht zu verzeichnen. Zudem zeigt sich nicht nur eine deutliche Reduzierung in der Anzahl der Bremsvorgänge unter Systemnutzung, sondern zugleich auch geringere Bremsstärke in den Fällen, in denen das System kein Fußgängeraufkommen anzeigt. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeit nicht nur seltener, sondern wenn überhaupt, dann auch nur wesentlich weniger reduziert wird. In allen Fällen mit Fußgängeraufkommen ist hier jedoch eine Sicherheitswirkung des Systems zu verzeichnen. So zeigt sich, dass nach der Information über einen sich nähernden Fußgänger zwar nicht bedeutsam häufiger, aber zumindest stärker gebremst wird, also in dem Sinne ein positives Fahrverhalten zu verzeichnen ist, als dass die Geschwindigkeit auf ein deutlich kleineres Niveau herabgesetzt wird, als ohne eine entsprechende Warnung in der „Ohne System“-Bedingung. Die Betrachtung der Anzahl und Stärke der Beschleunigungsvorgänge unterstützt diese Fahrverhaltensinterpretationen. So lassen sich „Ohne System“ zwar mehr Beschleunigungsvorgänge verzeichnen, was jedoch nicht allein als Risikoverhalten verstanden werden darf, sondern simulationsbedingt darauf zurückzuführen ist, dass auch häufiger gebremst wurde, ohne System also auch häufiger ein Sicherheitsverhalten gezeigt wurde. Mit der durchschnittlichen Beschleunigungsstärke verhält es sich ähnlich. Diese ist „Mit System“ bedeutsam höher. Es wird dementsprechend stärker beschleunigt, was jedoch auch die Folge des positiven Systemeffekts einer zuvor stärker reduzierten Geschwindigkeit sein kann.

Zusammenfassend kann an Hand der vorliegenden objektiven Daten festgehalten werden, dass sich ein Sicherheitspotenzial des Systems zeigt, indem vor allem weniger Kollisionen auftraten und in den konkreten gegebenen Gefahrensituationen z.T. ein stärkeres Sicherheitsverhalten gezeigt wurde. Zum anderen weist das Verhalten aber auch auf deutlich gegenteilige Effekte hin, die einerseits zeigen, dass trotz der Warnung nicht vorsichtiger gefahren wird als ohne und andererseits, dass das Sicherheitsverhalten immer dann auf ein wesentlich geringeres Niveau abfällt, wenn die Personen sich auf das System verlassen und glauben, dass keine Gefahr droht. In diesen Fällen wird sowohl weniger häufig als auch weniger stark gebremst und mit einer höheren Geschwindigkeit gefahren.

Dass dies nicht nur an Hand der objektiven Verhaltensdaten nachweisbar ist, sondern Kompensationseffekte zum Teil von den Nutzern auch selbst bewusst wahrgenommen werden, zeigen die Ergebnisse der direkten Kompensationsbefragung, bei der die Teilnehmer gebeten wurden anzugeben, inwiefern sich ihr Verhalten zwischen den Bedingungen verändert hat. Die Personen geben an, „Mit System“ riskanter, schneller und unaufmerksamer zu fahren.

Des Weiteren zeigen sich darüber hinausgehend auch deutliche Kompensationseffekte auf Einstellungs- und Bewertungsebene. So bewerten die Teilnehmer die Situation „Mit System“ weniger gefährlich als „Ohne System“. Dies zeigt sich sowohl in der Unterschiedsanalyse der einzelnen Situationsbefragungen nach jedem Block als auch in der direkten Kompensationsbefragung nach Beendigung des Experiments. Letztere Erhebung verweist zudem darauf, dass sich die Teilnehmer unter Systemeinsatz geistig und körperlich weniger beansprucht und sich insgesamt in ihrem emotionalen Befinden besser/positiver fühlen.

Diese Ergebnisse stützen klar bisherige theoretische Annahmen und empirische Untersuchungen, die aufzeigen, dass Unfälle allein kein hinreichendes Kriterium zur Messung der Verkehrssicherheit darstellen und sich Kompensationseffekte in den verschiedensten Aspekten zeigen können, zu denen nicht nur schnelleres und unaufmerksames Fahren gehören, sondern auch Veränderungen zu

Grunde liegender Einstellungen, Wahrnehmungen und Bewertungen. Dies ist insofern als hoch relevant einzuschätzen, als dass jene Adaptationen zu der Konsequenz führen können, dass das mögliche Sicherheitspotenzial des Systems verringert wird. Dies bedeutet, dass ohne Kompensationseffekte die eigentliche Sicherheitswirkung, im Sinne einer Unfallreduzierung, noch größer sein könnte. Auf der anderen Seite sind durch das Auftreten der Verhaltensadaptationen auch gegenteilige Effekte, in Richtung einer Erhöhung der Unfallzahl oder einer Zunahme der Unfallschwere denkbar. Eine Kompensation im Sinne häufigerer Unfälle bzw. Fahrzeug-Fußgänger-Konflikte konnte nach den bisherigen Ergebnissen nicht nachgewiesen werden, ist jedoch keinesfalls auszuschließen, da eine Vielzahl von Bedingungen und Umständen, die zu einem solchen Effekt führen können, noch nicht in die Untersuchung eingingen.

---

## 5.5 ERGEBNISSE GPS/RTK

---

Alle Positionierungsergebnisse beziehen sich auf reine GPS Daten. Es wurde bewusst darauf verzichtet die erhaltenen Messpunkte noch zu filtern und zu glätten um eine bestmögliche Positionierungsgrundlage zu haben, die in den Folge-Phasen des Projektes als Basis dienen soll.

Angaben zur Positionsgenauigkeit sind immer so zu Interpretieren, dass 90% der Messpunkte innerhalb eines Kreises mit dem angegebenen Radius liegen.

### GPS

Der erste Prototyp des Systems wurde mit normalem GPS aufgebaut. Hierbei wurden handelsübliche GPS-Empfänger verwendet wie sie in Abbildung 5-49 beispielhaft dargestellt sind.



Abbildung 5-49: GPS-Empfänger

Die Ergebnisse mit dieser Art von Empfänger waren nur bedingt brauchbar. Die Genauigkeit der Position lag im Bereich von 15 Metern. Zusätzlich fluktuierte die Distanz zwischen zwei verschiedenen Empfängern so stark, dass das System die gestellten Anforderungen nicht erfüllen konnte. Bei einer gemessenen Entfernung zwischen den zwei Punkten von 3 Metern variierte die Position bis zwischen 0 und 10 Metern. Die Ausrichtung der gemessenen Strecke wurde hierbei völlig außer Acht gelassen. Neben der fehlenden Genauigkeit war auch ein „Schleppseileffekt“ zu beobachten. Hierbei hängt die über das GPS berechnete Position gegenüber der tatsächlichen Position nach. Somit werden Richtungswechsel oder Kollisionen erst sehr verspätet registriert. Dieser Effekt ist zum Teil auf eine zu geringe Abtastrate des GPS Signals zurück zu führen.

Um diese Probleme zu verkleinern wurden die GPS Empfänger durch hochwertigere Systeme ausgetauscht. Diese sind zwar keine handelsüblichen Produkte, verfügen jedoch über eine höhere Abtastrate und bessere Antennen. Hierdurch wird der Schleppseileffekt verringert und durch die gesteigerte Qualität der Antennen die Genauigkeit der Position verbessert. In Abbildung 5-50 ist eine Messrei-

he mit diesem Aufbau dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Messreihe an einem stationären Empfänger aufgenommen wurde, was die Positionsgenauigkeit gegenüber mobilen Empfängern deutlich verbessert.

Die Position ist stabiler als die des ersten Aufbaus, liegt jedoch mit 7m immer noch deutlich über den geforderten Genauigkeiten. Die Distanz zwischen zwei verschiedenen Messpunkten schwankt hierbei immer noch recht stark, wodurch sich das System ebenfalls nicht für die gestellten Szenarien eignet. Der Schleppseileffekt tritt hierbei zwar abgeschwächt auf, ist allerdings immer noch deutlich nachweisbar.

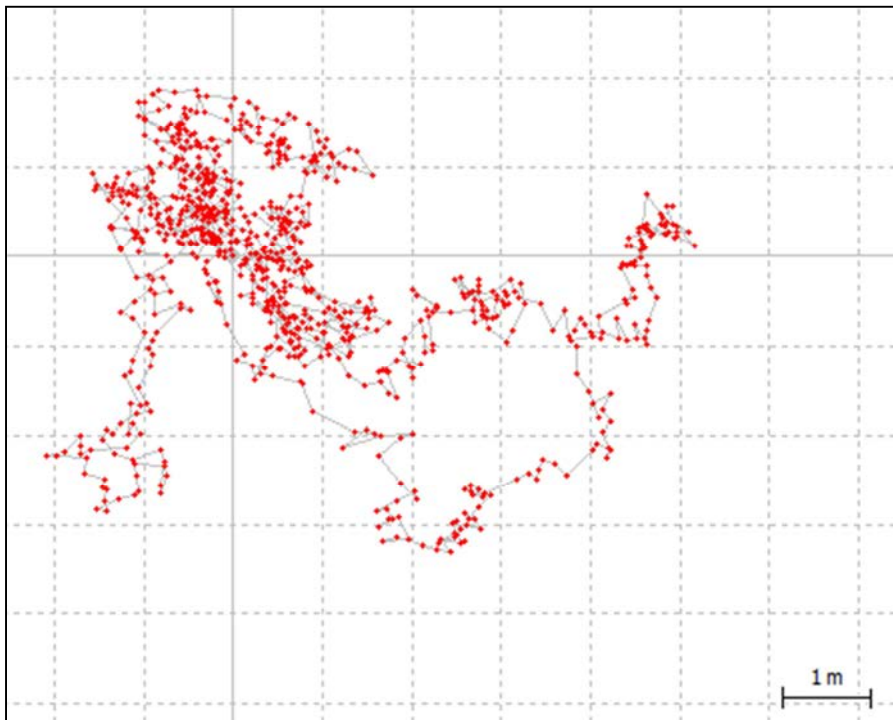


Abbildung 5-50: Positionsmessreihe mit GPS

## SBAS

Als nächster Schritt wurde SBAS, genauer EGNOS, zur Verbesserung der Position hinzu gezogen. Die verbesserten Daten die EGNOS bietet, können jedoch nur genutzt werden, wenn sich der Empfänger auch im Empfangsbereich des entsprechenden Satelliten befindet. Aufgrund dessen, dass geostationäre Satelliten in Zentraleuropa nur recht niedrig über dem Südlichen Horizont stehen, bei EGNOS sind es  $30^\circ$ , wird der Empfang der Satelliten deutlich erschwert. Gerade in bebauten Gebieten kann es häufig zu Abdeckungen und dem entsprechend Verlust des Satellitenempfangs kommen.

Solange der Empfänger hierbei kein Signal des EGNOS Satelliten erhält, hat er nur gewöhnliches GPS, was bedeutet, dass die Position die gleiche Genauigkeit hat, wie sie im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde.

EGNOS wurde ebenfalls mit dem ersten Prototyp des Systems getestet, was allerdings auch nicht zu ausreichend guten Ergebnissen geführt hat.

In Abbildung 5-51 ist eine Messreihe mit den hochwertigeren Empfängern dargestellt. Hierbei ist ebenfalls zu beachten, dass die Messung stationär erfolgte. Die Position hat sich gegenüber normalem GPS deutlich verbessert und liegt jetzt bei 3 m Ungenauigkeit. Der Schleppseileffekt hat sich wie-

derum verringert ist allerdings immer noch zu spüren. Die Abweichung der Distanz zweier Punkte liegt hierbei nur noch bei 3 m.

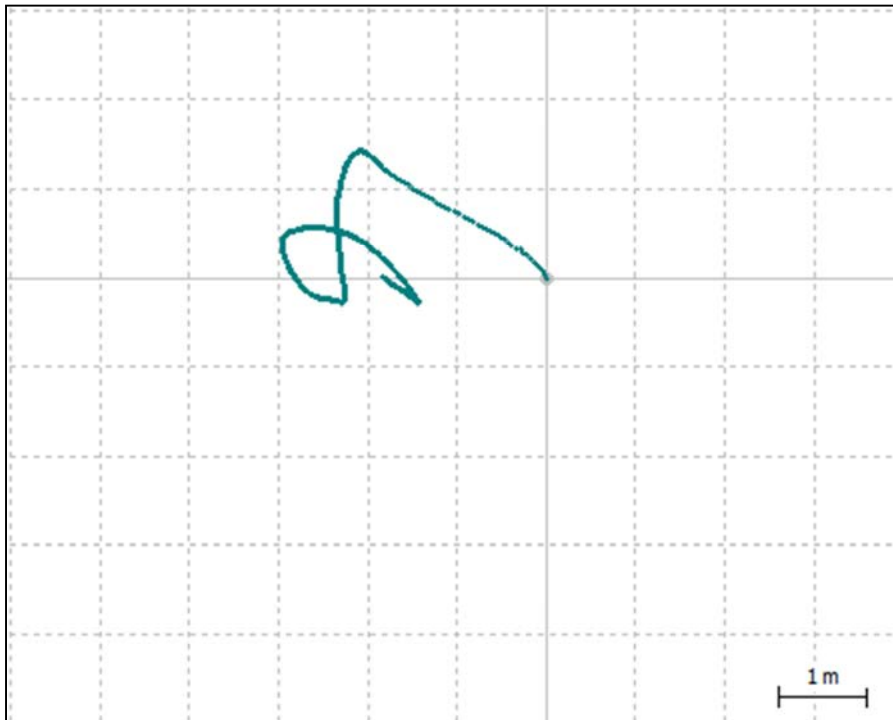


Abbildung 5-51: Positionsmessreihe mit SBAS

## RTK

Um diese Abweichungen noch weiter zu verringern wurde ein so genanntes RTK System aufgebaut. Hierbei wird eine Basisstation eingerichtet, deren Position möglichst genau bekannt sein muss. Diese leitet dann die empfangenen GPS Signale an die „Rover“, die mobilen GPS Empfänger, weiter. Aus diesen Signalen können nun die Rover eine möglichst genaue Abweichung der GPS-Position von der eigentlichen Position errechnen und diese dann auf ihre eigene GPS-Position aufrechnen. Fehler durch atmosphärische Störungen oder fehlerhafte Laufbahndaten werden fast vollständig eliminiert, wodurch sich Positionsungenauigkeiten bis auf wenige Zentimeter reduzieren. Neben der erhöhten Genauigkeit einzelner Empfänger, lässt sich auch die Distanz zwischen zwei Punkten recht genau feststellen. Durch die Tatsache dass alle Empfänger mit den Daten der Basisstation arbeiten und aus diesen ihre Fehlerkorrekturen erarbeiten, verfügen alle über dieselben Abweichungen. Dadurch werden die Distanzen zwischen den Empfängern sehr stabil, auch wenn die Positionsbestimmung selbst starte Abweichungen aufzeigen würde. Der größte Nachteil an diesem Aufbau ist, dass sich die Rover nur in einer bestimmten Distanz zur Basisstation befinden dürfen, da die errechneten Fehlerkorrekturen nur innerhalb dieser Distanz gültig sind. Diese Distanz, 20 Kilometer, ist jedoch viel größer als die Reichweite der verwendeten Übertragungstechnologie, wodurch sich dieses Problem relativiert. Außerdem muss den Rovern die Position der Basisstation möglichst genau vorliegen, wodurch diese vorkonfiguriert werden müssen. Hierdurch ergeben sich auch Problematiken bei der Nutzung mehrerer Basisstationen und dem Wechsel zwischen den Sendebereichen zweier Basisstationen. Im RTK Betrieb lassen sich zusätzlich noch SBAS Systeme verwenden, allerdings hat sich durch deren Verwendung keine nominelle Verbesserung der Position erreichen lassen.



In Abbildung 5-52 ist eine Messreihe im RTK Betrieb zu sehen. Wie zu erkennen ist liegt die Positionsgenauigkeit deutlich unter der der vorher getesteten Ortungssysteme. Die Abweichung liegt nun im Bereich weniger Zentimeter, was für FRAMES ausreichend ist. Auch die Distanz zwischen zwei Messpunkten ist ausreichend stabil und die Abweichung hier liegt unter einem Meter, bei guten Empfangsverhältnissen sogar unter einem halben Meter. Auch der Schleppseileffekt hat sich gegenüber den anderen Ortungsmöglichkeiten wieder ein Stück verbessert. Auch hier ist jedoch wieder zu beachten dass es sich bei den Messungen um stationäre Empfänger gehandelt hat, die Position eines mobilen Empfängers ist etwas ungenauer.

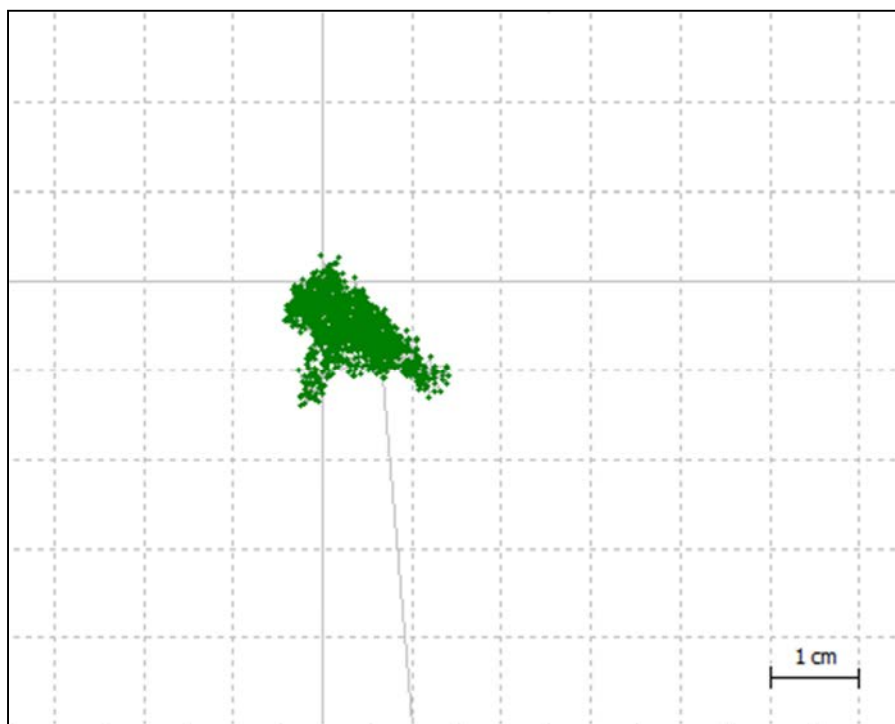


Abbildung 5-52: Positionsmessreihe mit RTK

Mit RTK lässt sich die Positionierung soweit verbessern dass sie den Anforderungen, die FRAMES an diese stellt, entspricht. Da es sich in der ersten Phase des Projektes um die Durchführung einer Machbarkeitsstudie handelt ist die Technologie vollkommen ausreichend. Zum aktuellen Zeitpunkt bietet RTK eine kosteneffiziente Möglichkeit ein ausreichend genaues Ortungssystem aufzubauen, welches die in den gestellten Szenarien aufkommenden Distanzen abdecken kann.

Mit fortschreitender Technik werden sich bessere Positionierungssysteme ergeben die in den weiteren Phasen des Projektes untersucht und evaluiert werden können.

---

## 5.6 SYSTEMVERGLEICHE (ANDERE ASSISTENZSYSTEME)

---

Bei den Fahrerassistenzsystemen, welche sich mit der proaktiven Erkennung von Fußgängern beschäftigen, gibt es im Wesentlichen zwei Hauptgruppen, nach denen diese typisiert werden können. Dies sind zum einen die klassischen, sensorbasierten Systeme und zum anderen transponderbasierte Systeme zu der auch das in FRAMES entwickelte gehört.

Die sensorbasierten Systeme nutzen im Fahrzeug installierte Sensoren um Fußgänger zu erkennen. Typischerweise werden hierbei Laserscanner (LIDAR), Radarscanner (RADAR), Videokameras (Video) oder eine Kombination dieser Sensoren verwendet.

Bereits in den letzten Jahren wurde z.B. von Volvo ein System zur Erkennung von Fußgängern mit Hilfe von RADAR und Video eingeführt, das bei Detektion eines Fußgängers automatisch ein Ausweichmanöver oder eine Notbremsung einleiten kann. Dieses System nutzt das RADAR um die Richtung und Entfernung zum Fußgänger zu bestimmen. Mittels der Videokamera wird dann analysiert ob es sich bei dem erkannten Hindernis wirklich um einen Fußgänger handelt. Dies ist in Abbildung 5-53 dargestellt. Nach Angaben von Volvo ist das System in der Lage bis zu Tempo 35 km/h Kollisionen zu vermeiden. Allerdings weist Volvo explizit darauf hin, dass Fußgänger nicht immer erkannt werden: Die Silhouette des Fußgängers muss vollständig sichtbar sein und sich ausreichend vom Hintergrund abheben. Bei Dunkelheit, schlechten Sichtverhältnissen oder Verdeckung (Voll- als auch Teilverdeckung) des Hindernisses kann das System nicht arbeiten.

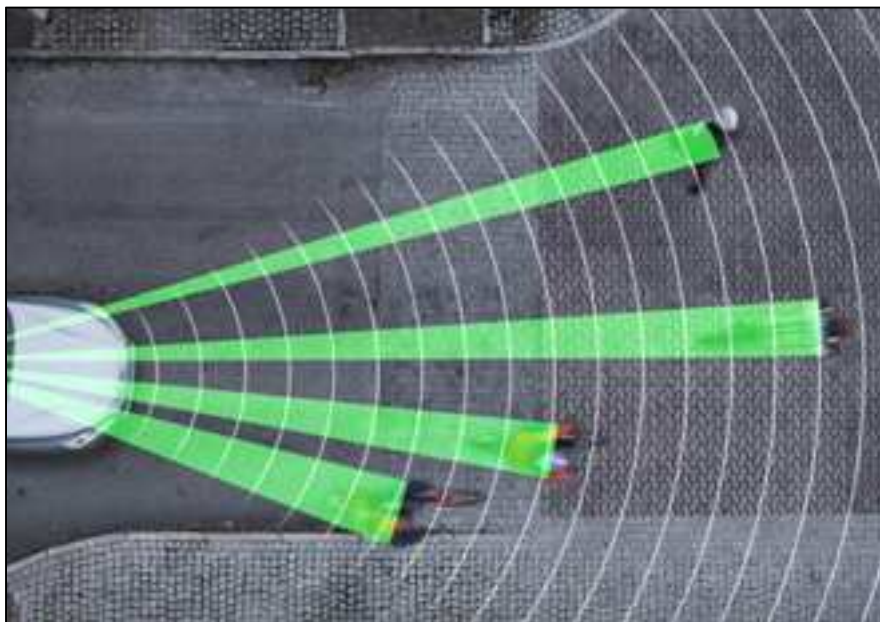


Abbildung 5-53: Funktionsweise Fußgängererkennung (Quelle: Volvo)

Der Fahrzeughersteller Mercedes verfolgt mit seinem 2009 vorgestellten System einen anderen Ansatz: Hier wird anstelle des Radargerätes eine Stereobildkamera verwendet. Dieses System nutzt, analog zum menschlichen Auge, zwei Kameras. Durch einen Vergleich der beiden Bilder kann eine Winkelberechnung und Triangulation der Hindernisse erfolgen. So kann das Fahrzeug in einem Korridor von 30 m Länge und 8 m Breite vor dem Fahrzeug Fußgänger erkennen. Das System ist auf Fußgänger optimiert, die von rechts vor das Fahrzeug laufen, da eine Überwachung des gesamten Sichtbereichs der Kameras zu rechenintensiv wäre. Auch dieses System kann lediglich Fußgänger erkennen, die vollständig sichtbar vor dem Fahrzeug stehen. Mercedes schätzt, dass das System in der nächsten Fahrzeuggeneration serienreif sein wird.

In der zweiten Kategorie, transponderbasierte Systeme, ist vor allem die Forschungsinitiative KO-FAS (Kooperative Fahrerassistenz) mit ihrem Tochterprojekt KO-TAG zu nennen. KO-TAG hat ein System entwickelt, bei dem der Fußgänger einen Transponder trägt. Dieser sendet auf einer Frequenz die nahe bei dem in FRAMES verwendeten ETSI ITS G5 Standard liegt; tatsächlich sind die in KO-TAG verwendeten Frequenzen zur Standardisierung vorgesehen, wurden allerdings noch nicht standardisiert oder ein Zeitplan hierfür erstellt. Das Fahrzeug verfügt über ein fest eingebautes Antennen-

Array in der Fahrzeugfront. Dieses Array empfängt die Signale die vom Transponder gesendet werden und kann über die Messung der Signallaufzeit sowie die Phasenverschiebung des Signales die Richtung und Abstand des Transponders bestimmen. Die Prädiktion der Bewegung des Fußgängers erfolgt hierbei über das sogenannte „physiologische Bewegungsmodell“ welches auch bei der Algorithmentwicklung von FRAMES berücksichtigt wird. Um die Positionierung zu verbessern nutzt das System eine Monokamera mit deren Hilfe der Winkel zum Hindernis gemessen werden kann.

Im Vergleich zu FRAMES ergeben sich folgende wesentliche Unterschiede der vorgestellten Systeme:

Die sensorgestützten Systeme können prinzipiell bedingt keine Fußgänger hinter Verdeckungen detektieren, da diese die Sensoren abschatten. Eine frühzeitige Warnung des Fahrers, bevor der Fußgänger hinter der Verdeckung hervor tritt, kann somit nicht erfolgen. Auch hängen diese Systeme sehr stark von den aktuellen Lichtverhältnissen ab; bei Dunkelheit funktioniert keines der sensorgestützten Systeme und auch das transponder-gestützte KO-TAG leidet an Funktionalität, da die Monokamera nicht mehr zur Verbesserung der Winkelgenauigkeit eingesetzt werden kann. Das KO-TAG System ist zwar prinzipiell in der Lage Hindernisse hinter einer Verdeckung zu detektieren, leidet hier allerdings unter Einbußen bei der Positionsgenauigkeit, da sich durch die fehlende Sichtverbindung zwischen Transponder und Fahrzeug die Signallaufzeit/Phasenverschiebung ändert.

Auch liegt der Schwerpunkt aller dieser Systeme auf der Warnung des Fahrers bzw. sogar einem Fahrzeugeingriff. Der Ansatz der „kooperativen Warnung“, wie er in FRAMES verfolgt wird, wird von diesen Systemen nicht unterstützt oder nicht betrachtet.

---

---

### 5.7 BESCHREIBUNG SYSTEMDEMONSTRATION

---

---

Die Demonstration der Funktionsweise des FRAMES-Systems erfolgte am 02.07.2013 auf einem Betriebsgelände des FRAMES-Kooperationspartners Deutsche Post/DHL. Zur Demonstration waren alle Mitglieder des Fachbeirates der FRAMES-Studie eingeladen. Die Wahl des Demonstrationsortes fiel auf ein Betriebsgelände, um die Funktionsweise des Systems unter möglichst realen Bedingungen zu demonstrieren.

---

#### 5.7.1 Demonstrationsaufbau

---

Zur Demonstration wurde eine Zufahrtstraße mit direkt angeschlossenen Park- und Verladeflächen ausgewählt (blau gekennzeichnet, vgl. Abbildung 5-54). Auf der Fläche wurden Wechselbrücken abgestellt, um die unter Realbedingungen häufig anzutreffenden Sichtblockaden als Unfallursache zu simulieren (orange). Zur Verbesserung der Positionierungsergebnisse wurde eine sogenannte Roadside-Station (RSU) mit einer RTK-Basisstation (siehe Kapitel 5.5) installiert (rote Markierung). Diese dient dazu, die systembedingten Abweichungen der Positionierungsdaten der Fahrzeuge bzw. Fußgänger zu reduzieren, indem Korrekturdaten über Standard WLAN an alle Teilnehmer in Funkreichweite versendet werden.

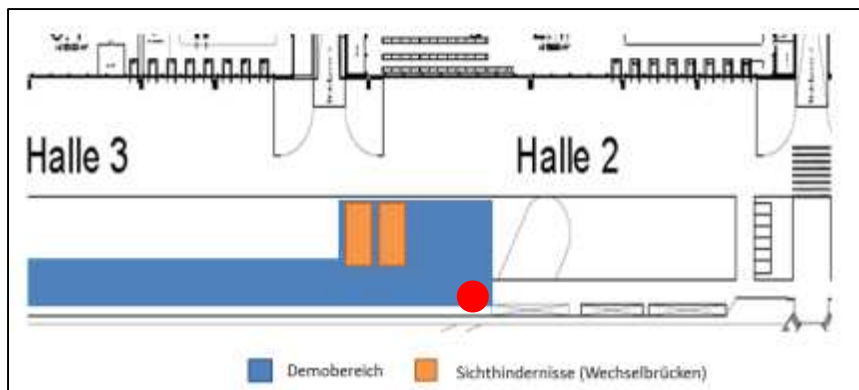


Abbildung 5-54. Aufbau und Örtliche Struktur der Demonstrationszone am 02.07.2013

Die grundlegende Funktionsweise des Systems (zwei Systeme, ein Fahrzeug und ein Fußgänger) kann wie folgt beschrieben werden:

1. Ein Fahrzeug befährt einen Bereich und sendet seine Position und Fahrtrichtung Richtung kontinuierlich.
2. Das System eines sich im gleichen Bereich befindenden Fußgängers ist passiv und wertet die eingehenden Fahrzeug-Informationen aus.
3. Wenn sich der Fußgänger und das Fahrzeug einander annähern und diese Annäherung registrieren, erfragt das Fußgängersystem beim Fahrzeug mittels HANM-Nachricht (Hazard-Area-Notification-Message) den aktuellen Gefahrenbereich des Fahrzeugs (Hazard-Area-Response-Message, HARM-Nachricht).
4. Das Fahrzeug sendet daraufhin mit der HARM-Nachricht seinen Gefahrenbereich an den Fußgänger
5. Das Fußgängersystem prüft daraufhin, ob es sich im HARM-Bereich des Fahrzeugs bewegt.
6. Bewegt sich der Fußgänger in diesem Warnbereich sendet das System eine Warnung (Hazard-Warning-Message, HWM-Nachricht) und löst damit in beiden Systemen den Warnton aus.

Die geschilderte Funktionsweise des Fahrzeug-Gefahrenbereichs kann nochmals in der folgenden Abbildung nachvollzogen werden.

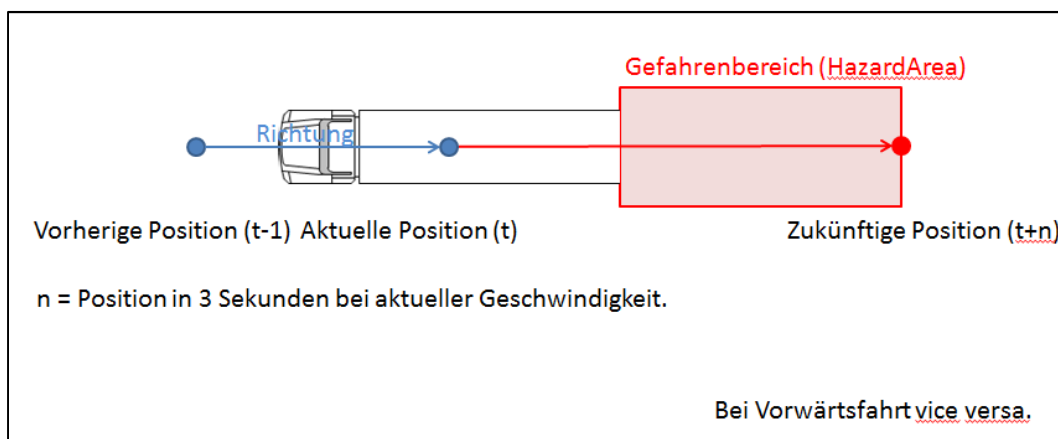


Abbildung 5-55. Berechnung des Gefahrenbereichs

Da sich der Gefahrenbereich mit veränderten Geschwindigkeiten entsprechend verändern muss, ist es geplant, dass sich dieser automatisch an die Fahrsituation und das Fahrzeug anpasst. Als diesbezügliche grundlegende Prämissen können definiert werden:

1. Die minimale Breite des Gefahrenbereichs ist die Breite des Fahrzeugs
2. Bei höheren Geschwindigkeiten muss sich der Gefahrenbereich anpassen und damit breiter und länger werden.
3. Die Informationen über das Fahrzeug bzw. die Fahrsituation müssen dem System zur Verfügung stehen.

Da die Prämisse 3 aufgrund fehlenden Zugangs zu den Fahrzeugsensoren für die Demo nicht umsetzbar war, wurden die Demonstrationen mit festen Geschwindigkeiten und darauf angepassten und fest eingestellten Gefahrenbereichen durchgeführt. Wenn zukünftig auf die Sensordaten des Fahrzeugs zugegriffen werden kann, wird sich der Gefahrenbereich variabel an die jeweilige Fahrsituation anpassen.

In ähnlicher Weise wie bei der Geschwindigkeit, war auch die Fahrtrichtung des Fahrzeugs nicht aus den Informationen der Fahrzeugelektronik abrufbar. Auch hier gilt, dass zukünftig die Informationen des Fahrzeugs über das Einlegen eines Ganges direkt an das System gegeben werden, welches die entsprechenden Informationen zur Berechnung des Gefahrenbereichs verwenden wird. Alternativ kann über die zusätzliche Kopplung des Systems an einen elektronischen Kompass eine weitere Verbesserung der adaptiven Gefahrenbereichsanpassung erreicht werden. Für die Demonstration wurde dem System die aktuelle Fahrtrichtung manuell vorgegeben.

Die Warnung der Verkehrsteilnehmer durch das System erfolgte bei den Fußgängern auditorisch durch einen lauten Warnton, sowie haptisch durch Vibration des Mobilgerätes. Die Fahrer wurden über ein gekoppeltes visuelles und auditorisches Warnsystem informiert. Die folgende Abbildung zeigt die Anzeige des Systembildschirms für den Fahrer.

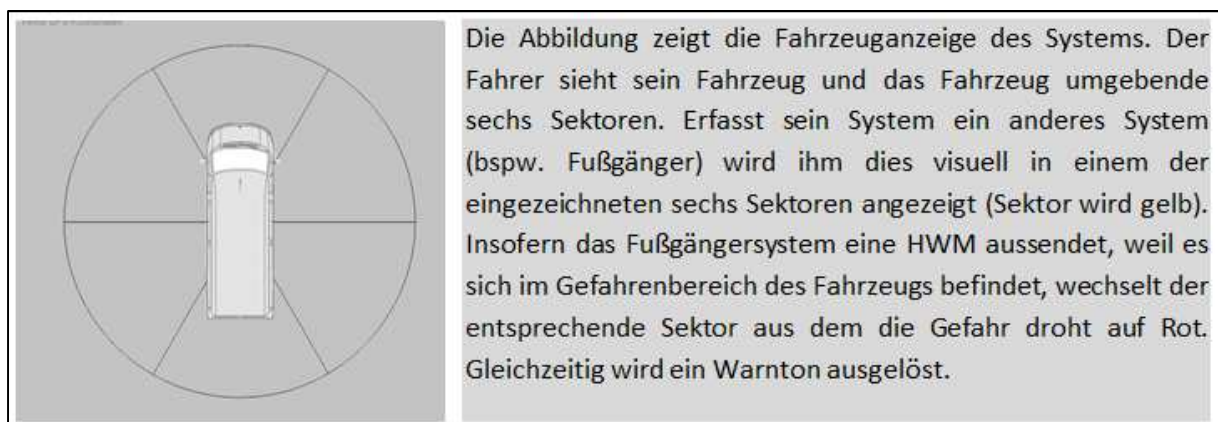


Abbildung 5-56. Systemansicht des Fahrers

---

## 5.7.2 Funktionsweise des Systems

---

Das System setzt sich insgesamt aus drei verschiedenen Komponenten zusammen:

- Der Rucksackeinheit
- Dem Fahrzeugaufbau
- Der Basisstation

### **Rucksackeinheit**

In Abbildung 5-57 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Rucksackeinheit in geschlossener und offener Form dargestellt. Die gesamte Einheit wiegt ungefähr 10 Kilogramm und dient zur Kommunikation mit über 802.11 p und zur Nutzung von RTK als Ortungssystem.

Abbildung 5-58 zeigt den Aufbau des Komponententrägers des Rucksacks. Dieser besteht aus einem LinkBird, einem Microspace, einem WLAN-Router, einer Batterie und diversen Antennen. Der Link-Bird dient als 802.11p Router und übernimmt die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern. Der Microspace stellt den Applikationsrechner dar. Dieser übernimmt die Positionierung mittels GPS bzw. RTK und nutzt 802.11a zur Kommunikation mit der Basisstation. Der GPS-Receiver ist direkt mit dem Microspace verbunden. Der WLAN-Router wird für den Anschluss des Smartphones benötigt und dient als Ethernetswitch für den restlichen Aufbau. Die Batterie übernimmt natürlich die Stromversorgung des Rucksacks und macht den Großteil des Gewichts aus. Der Rucksack selbst wurde wegen Abstrahlungen der verschiedenen Kabel und den daraus resultierenden Störungen der GPS Antenne mit Metallplatten und -folien ausgekleidet. Vom Grundaufbau unterscheidet sich der Komponententräger des Rucksacks kaum von dem des Fahrzeuges. Die einzelnen Komponenten wurden nur kompakter verbaut und der Träger wurde durch eine Batterie und einen WLAN fähigen Router ergänzt. Momentan verfügt der Rucksack über 3 WLAN -Geräte, deren Zahl jedoch zukünftig noch reduziert werden kann. Im aktuellen Prototyp sind diese für Debugging -und Testzwecke getrennt verbaut.





Abbildung 5-57. Rucksack



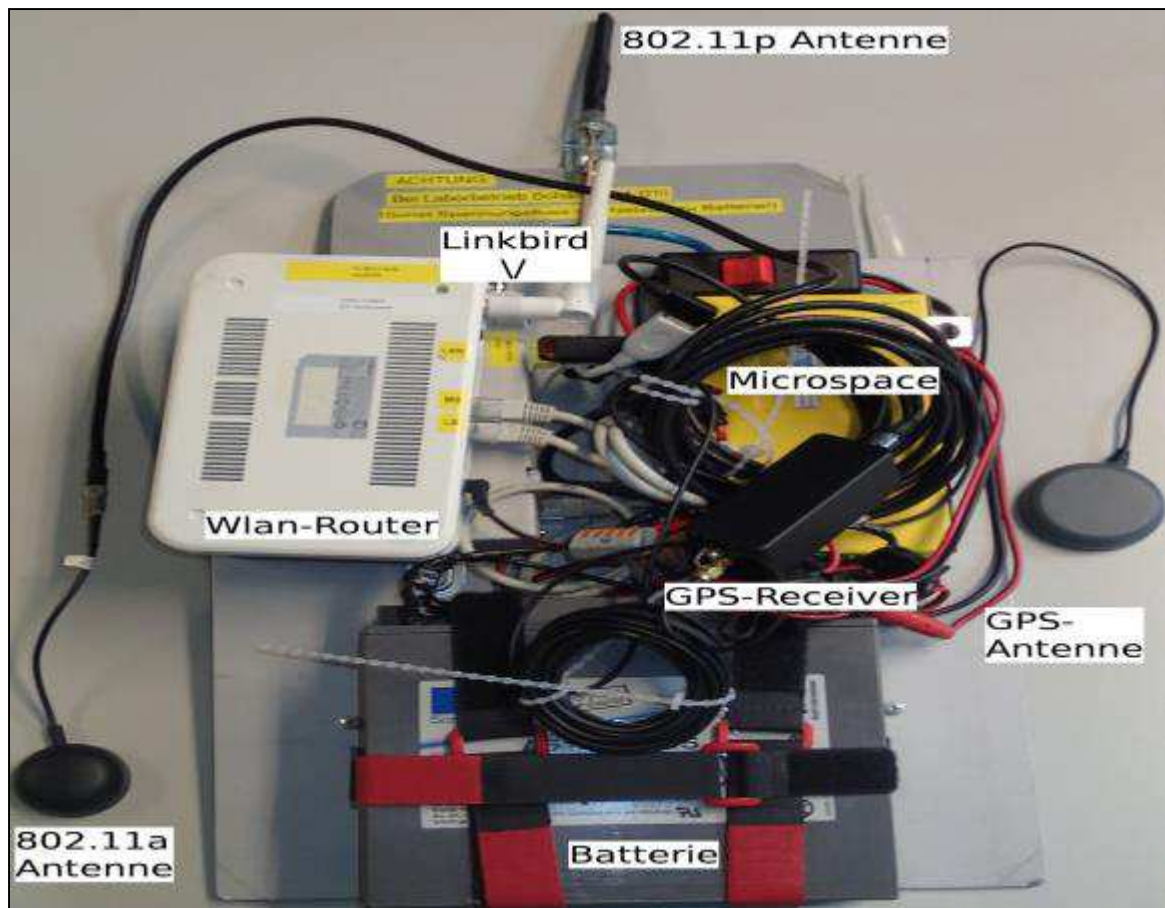


Abbildung 5-58. Komponententräger Rucksack

### Fahrzeugaufbau

Die Fahrzeugplatte besteht aus drei Komponenten. Ein Switch für die Netzwerk-Kommunikation, ein LinkBird der als 802.11p Router dient und ein Microspace der als Applikationsrechner dient und die Positionierung übernimmt. Das System kann mit einem beliebigen Rechner verbunden werden der dann die Oberflächendarstellung übernimmt.

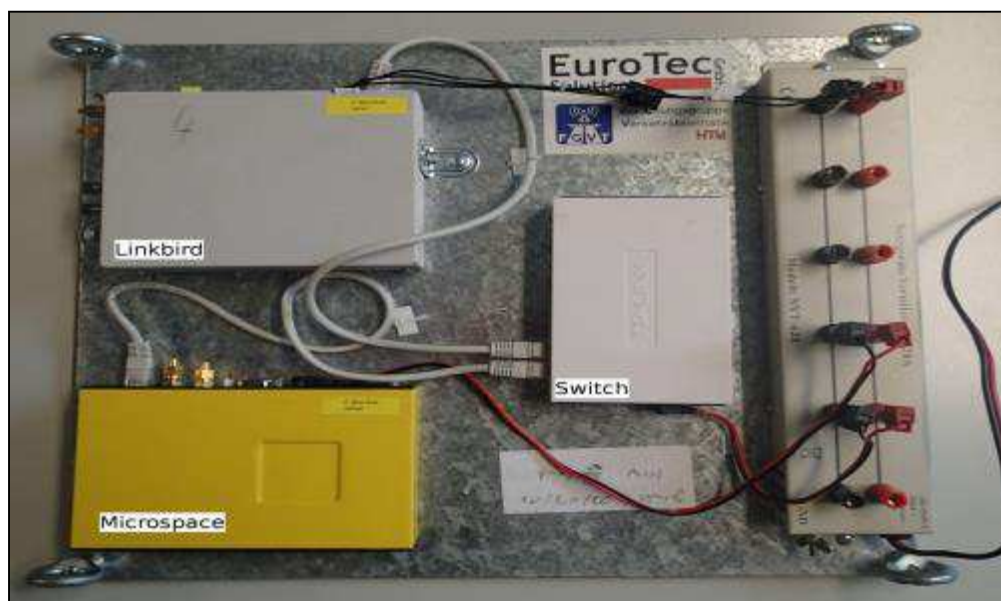


Abbildung 5-59. Komponententräger Fahrzeug

### Basisstation

Die Basisstation dient zum Versenden der RTK-Daten. Sie verfügt über einen GPS-Empfänger und einen integrierten Computer. Der Computer leitet den Datenstrom des GPS um und sendet diesen über ein Adhoc-802.11a Netzwerk an die Rover weiter. Abbildung 5-60 ist der Aufbau der Basisstation dargestellt. Das gelbe Gehäuse beinhaltet den Computer. Dieser dient momentan nur als RTK-Basisstation, kann allerdings in zukünftigen Szenarien auch andere Aufgaben übernehmen. Die schwarze Box unterhalb der gelben ist der GPS-Receiver.

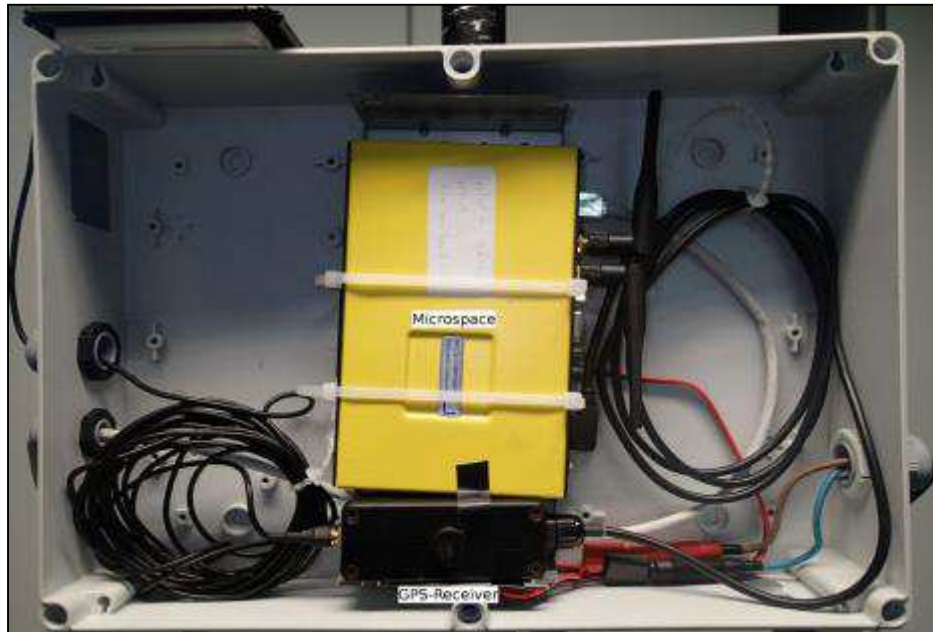


Abbildung 5-60: Basisstation

Abbildung 5-61 zeigt eine Gesamtansicht der Basisstation.



Abbildung 5-61: Basisstation Komplettansicht

### 5.7.3 Demonstrationsszenarien

Auf Basis der durchgeführten Betriebsbeobachtungen und Unfallanalysen mehrere, im betrieblichen Alltag häufig anzutreffende, Szenarien ausgewählt und für die Vorstellung vorbereitet. Die ausgewählten Szenarien haben nach allen vorliegenden Unfalldatenanalysen und Beobachtungen eine universelle Bedeutung. Das Hervortreten von Personen in die Fahr- und Rangierbereiche ist ein regelmäßig zu beobachtender Vorgang auf Betriebshöfen und auch eine wesentliche Unfallursache im Rahmen von Fahrzeug-Personen-Unfällen. Insbesondere das Rückwärtsfahren bzw. das Rückwärtsrangieren während zeitgleicher Personenbewegungen ist im Betriebsverkehr ein großes Problem. Im öffentlichen Verkehrsraum trifft diese Situation insbesondere für Müllsammelfahrzeuge zu, welche sich besonders rückwärts in engen und unübersichtlichen Nebenstraßen zwischen Fahrzeugen und Passanten bewegen. Dies trifft für nahezu alle Betriebshöfe auch auf das Einweisen von Fahrzeugen zu. Häufig erfolgen Einweisungen durch Mitarbeiter oder Einweiser im öffentlichen Straßenverkehr nicht korrekt. Diese stellen sich in den rückwärtigen Fahrbereich von Fahrzeugen oder laufen bei längeren Anfahrten mit dem Rücken zum Fahrzeug in Richtung Zielzone. Auch das Auftauchen weiterer Personen im rückwärtigen Bereich während des Rangiervorgangs wird in Unfallberichten häufig erwähnt. Insgesamt können mit den hier erfassten Szenarien eine Vielzahl von Unfall- und Beinaheunfallsituationen im betrieblichen Kontext und öffentlichen Raum abgedeckt werden.

1. **Einweiserszenario:** Eine Person weist ein rückwärtsfahrendes Fahrzeug ein und gelangt im Verlaufe des Szenarios in den rückwärtigen Fahrbereich des Fahrzeugs. Unterschreitet die Person einen definierten Abstand zum Fahrzeug, wird bei beiden Teilnehmern eine akustische Warnung ausgegeben.

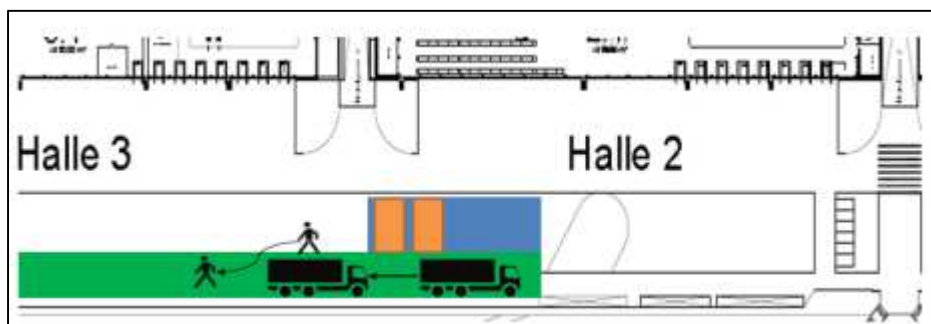


Abbildung 5-62. Skizze des Einweiserszenarios

2. **Durchläuferszenario I:** Eine Person befindet sich zunächst verdeckt seitlich eines rückwärts rangierenden Fahrzeugs (bspw. am Verladetur). Das Fahrzeugsystem informiert den Fahrer über die Anwesenheit der nicht sichtbaren Person. Läuft die Person dann in den rückwärtigen Warnbereich des Fahrzeugs, lösen beide Systeme eine akustische Warnung aus.

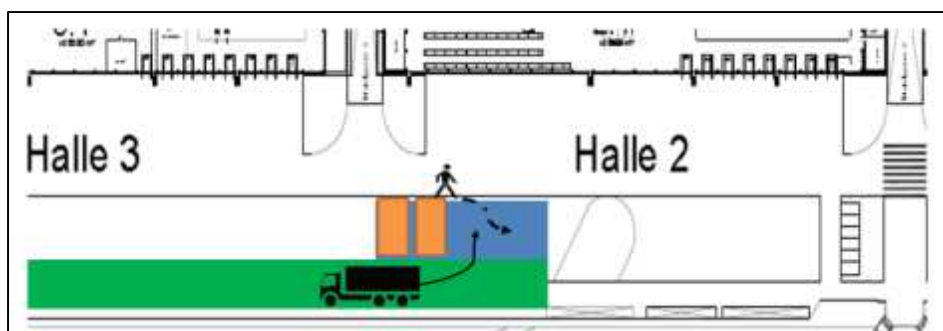


Abbildung 5-63. Skizze des Durchläuferszenarios

3. **Durchläuferszenario II:** Ein Fahrzeug fährt vorwärts auf einer Straße. Am Rand der Straße befinden sich mehrere Sichthindernisse (hier: Wechselbrücken) zwischen denen sich in unmittelbarer Straßennähe, aber vollständig sichtverdeckt eine Person aufhält. Das Fahrzeug nähert sich der Person. Erreicht die dem Fahrzeug vorauslaufende Warnzone den Transponderbereich der Person, wird der Fahrer bereits jetzt über die Anwesenheit eines Fußgängers informiert bzw. bei einer Querungsbewegung des Fußgängers frühzeitig (noch während der Sichtverdeckung) gewarnt.

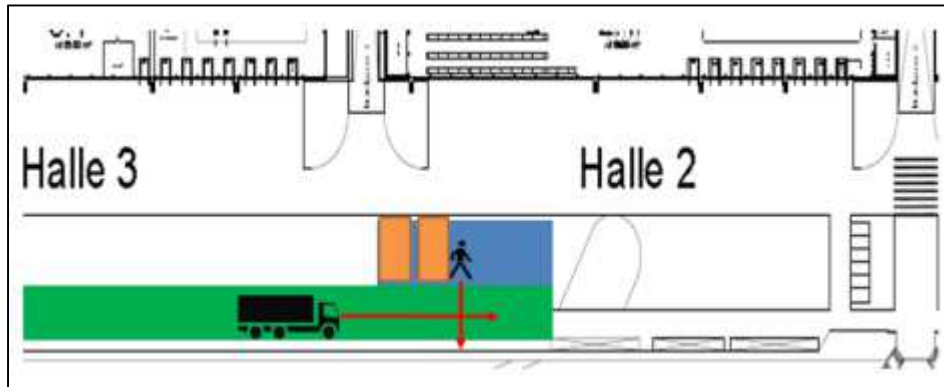


Abbildung 5-64. Skizze des Durchläuferszenarios

---

#### 5.7.4 Ergebnisse der Systemdemonstration und Fazit

---

Folgende Ergebnisse der Systemdemonstration können festgehalten werden:

1. Das System hat seine Eignung nachgewiesen, insbesondere verdeckte Personen in unterschiedlichen Verkehrssituationen zu erkennen und andere Verkehrsteilnehmer rechtzeitig über deren Anwesenheit zu informieren bzw. ggf. zu warnen.
2. Die Demonstrationen waren grundsätzlich sowohl für Vorwärts- und Rückwärtsfahrten und für die Rangiersituation erfolgreich.
3. Probleme bestehen momentan noch mit der Zuverlässigkeit des Systems. Diese werden u.a. durch die nicht für den mobilen Einsatz konzipierten Systemkomponenten (z.B. Wärmeentwicklung) und die noch zu verbessernde Fehleranfälligkeit der gewählten Funk- und Übertragungstechniken (z.B. Ausfall des Signals durch Funkschatten) erzeugt, können aber in den Folgephasen 2 und 3 durch den Einsatz mobiler bzw. neuer Komponenten erheblich reduziert werden.
4. Der Einsatz weiterer Sensortechnik im Fahrzeug (Fahrzeugdaten) und beim Fußgänger (Inertialsensorik, statistische Bereinigung durch Kalman-Filter) ist in Phase 2 und 3 nötig und verspricht nochmals erhebliche Verbesserungen in der Positionierungsgenauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems.
5. Im Ergebnis der Systemdemonstration erklärten die anwesenden Fachbeiratsmitglieder die Demonstration als erfolgreich. „Das System schaut um die Ecken!“

Der in der Demonstration für die Projektphase 1 angestrebte Funktionsnachweis des Systems ist erfolgt. Die grundlegende Eignung des Systems zur Frühwarnung auch bei verdeckten Personen oder Fahrzeugen konnte nachgewiesen werden.



---

---

## 6 DISKUSSION

---

---

---

---

---

### 6.1 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

---

---

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der ersten Phase sehr deutlich, dass die Erkennung und wechselseitige Frühwarnung einen signifikanten Beitrag zur Unfallverhütung leisten kann. Diese literaturbasierte Erkenntnis wird durch die Erfassung und Analyse von konkreten Unfallzahlen der Berufsgenossenschaften und von Verhaltensbeobachtungen in Testunternehmen bestätigt. Verhaltensanpassungen im unerwünschten Sinne, aber auch eine insgesamt verringerte Unfallzahl konnten deutlich im Experiment bestätigt werden. Darüber hinaus zeigt das Frühwarnsystem in einer Demonstration, dass es in der Lage ist, auch verdeckte Ziele frühzeitig zu erkennen und entsprechende Warnungen an beide Verkehrsteilnehmer zu senden.

Die näheren Zusammenhänge werden im Folgenden diskutiert.

---

#### 6.1.1 Verhaltensaspekte

---

Die Ergebnisse der Literaturanalysen verdeutlichen, dass das Laufverhalten von Fußgängern durch Merkmale der Person (z.B. Alter, Geschlecht, Einstellungen), aber insbesondere auch durch Merkmale der unmittelbaren Laufumgebung beeinflusst wird (Vorhandensein von Fußgängerwegen, räumliche Anordnung von Überwegen, Ampelanlagen, Verkehrsaufkommen, andere Fußgänger, Einzelperson oder Laufgruppe etc.). Darüber hinaus ergeben sich Zusammenhänge für weitere Umgebungsmerkmale (Wetter, Temperatur, Wochentag, Tageszeit, Jahreszeit etc.) und natürlich auch für soziale Merkmale des Laufverhaltens (Anzahl weiterer Fußgänger im Bereich, Laufen als Einzelperson oder als Gruppe) und für den Laufgrund im weiteren Sinne (Weg zur Arbeit, Einkaufen, Spazieren gehen etc.). Die überwiegende Zahl der Laufsituationen ist durch verhältnismäßig kurze Wege auf mehr oder weniger bekannten Strecken gekennzeichnet. Für die Verhaltensvorhersage sind ebenfalls Verhaltensweisen relevant, die sich beobachtbar unmittelbar vor potentiellen Kontaktsituationen mit anderen Verkehrsteilnehmern (bspw. bei Straßenüberquerung) ergeben. Hier werden Fragen der durchschnittlichen Wartezeit von Fußgängern an befahrenen Straßen, damit in Zusammenhang stehenden beobachtbaren bzw. messbaren Marker-Verhaltensweisen für die Straßenüberquerung und die Akzeptanz von Lücken zwischen Fahrzeugen für die Überquerung von Straßen besonders relevant. Im Rahmen der Entwicklung von Algorithmen und Modellen zur Verhaltensvorhersage von Fußgängern müssen die relevanten Variablen und Merkmale identifiziert werden, um letztlich zu einer effizienten Kurzzeitvorhersage des Verhaltens zu gelangen.

Aus den betrieblichen Beobachtungen des Laufverhaltens von Fußgängern und der typischen Kontaktsituationen zwischen Fußgängern und Fahrzeugen und den betrieblichen Unfallanalysen ist deutlich geworden, dass insbesondere die Art der Kontaktsituationen als auch die Häufigkeit und Relevanz in diesen Kontexten erhöht sind. Aufgrund der besonderen Verkehrssituationen, bei denen neben den durchfahrenden Fahrzeugen auch regelmäßig rangierende und rückwärtsfahrende Fahrzeuge beachtet werden müssen, ergeben sich zum Teil ähnliche, aber auch deutlich andere Kontakt- und Interaktionssituationen als üblicherweise im öffentlichen Verkehrsraum. Unterschiede ergeben sich insbesondere bezogen auf die geteilten Bewegungsräume, die gefahrenen Geschwindigkeiten, die Häufigkeit und Qualität von, auf engstem Raum, stattfindenden Parallelbewegungen mit subjektiv nicht immer eindeutig bestimmbar Richtungverhalten. Ähnlichkeiten ergeben sich wiederum bezüglich der grundsätzlichen, die Laufsituationen bestimmenden Merkmale und Parameter. Als

Fazit für den betrieblichen Bereich wird festgestellt, dass der Einsatz eines positionsbestimmenden und bewegungsprognostizierenden Systems erhebliches Potential für Verbesserungen in der betrieblichen Verkehrssicherheit beinhaltet. Dies gilt auch insbesondere vor dem Hintergrund der räumlichen Begrenzung des Betriebsgeländes und des damit eingeschränkten Bewegungsraumes. Somit sind Betriebsgelände und der betriebliche Verkehr ideale Testbereiche für die weitere Entwicklung und Justierung des Systems.

Es wird die Aufgabe der weiteren Phasen sein, auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse aus den Literaturstudien, den Beobachtungen und den Unfalldatenauswertungen mehrere Varianten von Vorhersagealgorithmen zu entwickeln und deren Eignung für die Prognose zu prüfen. Zu den im Rahmen der Beobachtungen eingesetzten Methoden kann festgestellt werden, dass sich das gewählte multimethodale Vorgehen eindeutig bewährt hat. Die allgemeinen Erkenntnisse aus den Literaturanalysen, gepaart mit den Ergebnissen der Beobachtungen von Lauf- und Interaktionssituationen im normalen Verkehrsverhalten haben einen erheblichen Erkenntnisgewinn erbracht. Insbesondere die Durchführung der betrieblichen Beobachtungen wurde durch die kooperierenden Betriebe sehr positiv bewertet und hat in der Folge dazu geführt, dass durch die Forschungsgruppe vorgeschlagene Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in den Betrieben diskutiert und umgesetzt wurden. Somit kann neben dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn insbesondere auch der betriebliche Nutzen aus den Beobachtungen als ein wesentlicher Gewinn bezeichnet werden. Sowohl der betriebliche Bedarf, das Verhältnis von Aufwand und Nutzen in der Anwendung als auch die Qualität der Ergebnisse sprechen für die Durchführung solcher Analysen auf Betriebsgeländen mit regelmäßigem Verkehrsaufkommen bzw. geteiltem Fahrzeug- und Personenverkehr.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass auch die Auswertungen der Unfallberichte aus den Unfallanzeigen der gesetzlichen Unfallversicherer weitreichende Erkenntnisse zur Struktur und zu häufig wiederkehrenden Unfallsituationen erbracht haben. Auch wenn die Unfallbeschreibungen häufig für eine tiefergehende Analyse nicht ausreichend sind, haben sich doch wiederkehrende Interaktions- oder Kontaktsituationen extrahieren lassen, die sowohl für die FRAMES-spezifische Analyse von Unfallsituationen und der damit in Zusammenhang stehenden Potentialbeurteilung des Systems geeignet sind als auch bei weitergehender Bearbeitung für eine bedarfsgerechte Anpassung der betrieblichen Präventionsarbeit Potential bieten. Nimmt man diese Unfallsituationen als Ausgangspunkt für (branchenspezifisch) wiederholt auftauchende Unfallsituationen, erweitert diese um konkret betriebliche Beobachtungen des alltäglichen Verkehrs- und Interaktionsgeschehens, können in Erweiterung bestehender Systeme zur betrieblichen Gefährdungsbeurteilung (bspw. GUROM) sehr umfangreiche, gleichzeitig sehr genaue und an die spezifischen betrieblichen Notwendigkeiten angepasste Maßnahmen entwickelt werden. Wichtig ist vor diesem Hintergrund, dass die FRAMES-Forschungsgemeinschaft den Unfallversicherungsträgern empfiehlt, eine umfassendere Analyse der betrieblichen Verkehrsunfallsituationen zu prüfen. Da der Zugang zu den Daten qua formaler Position und Gesetzeslage sehr einfach ist, müssen die vorliegenden Formulare lediglich erweitert und angepasst werden, um einen ersten, aber bereits sehr tiefen Einblick in typische Unfallsituationen im Betrieb zu erlangen. Allein daraus ließen sich gut angepasste Präventionsmaßnahmen ableiten.

---

### 6.1.2 Risikokompensationseffekte

---

Die Ergebnisse der Literatur- und Experimentalanalysen verdeutlichen, dass bei Einführung bzw. Nutzung eines Frühwarnsystems zur adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung auch mit negativen Verhal-

tensadaptationen zu rechnen ist, sodass in der Konsequenz das mögliche Sicherheitspotenzial des Systems verringert werden kann oder unter spezifischen Umständen sogar mit einem gegenteiligen Effekt (Erhöhung der Unfallzahl) zu rechnen ist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Personen sich auf das System verlassen und glauben, dass keine Gefahr droht.

Auf der Basis der bisherigen Ergebnisse stellen sich für Folgeuntersuchungen daher zahlreiche Aufgaben, die die Vermeidung derartiger Effekte betreffen.

Das Hauptaugenmerk liegt dabei also auf der Untersuchung, wie die schon bisherig nachgewiesenen negativen Verhaltensanpassungen reduziert werden können, um das Sicherheitspotenzial des Systems zu maximieren. Zu betrachtende Ansatzpunkte sind einerseits insbesondere die Systemgestaltung, bei der Aspekte wie Rückmeldung, Zuverlässigkeit und die generelle Funktionsweise zu variierende Komponenten darstellen. Andererseits sind auch konstruktions-unabhängige Faktoren und deren Wirkung auf das Auftreten von Kompensationseffekten zu betrachten. Dazu gehören beispielsweise die Systemeinführung und Schulungen im Umgang mit diesem (welche Informationen zum System müssen den Nutzern in welcher Form dargestellt werden) als auch allgemeine Weiterbildungen zur Erhöhung der Risikokompetenz der Verkehrsteilnehmer. Zusätzlich gilt es in diesem Rahmen auch zu untersuchen, inwiefern mit weiteren Kompensationseffekten zu rechnen ist. Vor allem jene, die nicht nur die positiven Effekte vermindern, sondern auch die gegenteilig wirkenden Effekte, also solche, die zu einem noch höheren Risiko als ohne Systemnutzung führen können.

---

---

## 6.2 STAND DER STANDARDISIERUNG UND DEREN AUSWIRKUNGEN

---

---

Bereits seit 1986, damals Begründet durch die Forschungsinitiative Prometheus, forschen Vertreter der Automobilindustrie an kooperativen Technologien. Bedingt durch den kooperativen Ansatz wurde die Forschung von Beginn an mit mehreren Partnern der Automobilindustrie durchgeführt, da die Entwickelten Konzept ihr größtmögliches Potential nur entwickeln können, wenn sie von allen Fahrzeugherstellern gleichermaßen unterstützt werden. Um dies zu fördern schlossen sich die Europäischen Automobilhersteller, Zulieferer sowie industriennahe Forschungsinstitute im Car-to-Car Communication Consortium zusammen. Aufgabe dieses Konsortiums ist es, die Automobilindustrie bei der Schaffung eines Interoperablen Systems zu unterstützen. Seit im Oktober 2009 durch das Mandat M/453 der Europäischen Kommission den Instituten CEN, CENELEC und ETSI der Normierungsauftrag für kooperative Systeme erteilt wurde, koordiniert das C2C-CC den Input der Industrie zu den Standardisierungsinstituten. Dies gewährleistet einen kontinuierlichen Austausch von Informationen zwischen den Standardisieren des Systems sowie der Industrie die dieses System später einsetzen soll.

Der Bereich der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation wird hierbei durch das Technische Komitee Intelligente Verkehrssysteme (Technical Comittee – Intelligent Transport Systems) der ETSI Standardisiert.

Das TC ITS hat hierbei bereits eine Reihe von Normen erlassen, welche unter anderem die Frequenznutzung regeln. Die ersten Frequenzen die in der Norm ETSI EN 301 893 definiert sind wurden 2009 durch eine Allgemeinzuteilung der Bundesnetzagentur (Vfg. 69/2009) für die Allgemeinheit freigegeben. Seit diesem Zeitpunkt dürfen in den Frequenzbereichen von 5.855 MHz – 5.875 MHz (dem sog. ETSI ITS G5A Band) Funkanwendungen die der Verkehrssicherheit bzw. -effizienz dienen, genutzt werden. Die weiteren Bänder ETSI G5B, G5C und G5D befinden sich noch in der Normungsphase.

Neben den Verwendeten Lizenzen werden durch die ETSI auch die Kommunikationsmechanismen definiert. Hierunter fallen ins besondere die Nachrichtenformate mittels denen Informationen zwi-



schen den verschiedenen Stationen ausgetauscht werden können. Bei den Nachrichtenformaten sind besonders die Cooperative Awareness Message (CAM), die in ETSI EN 302 637-2 definiert ist, sowie die Dezentralized Environmental Notification Message (DENM), die in ETSI EN 302 637-3 definiert ist zu erwähnen, da über diese Nachrichten das Groß der Sicherheitsanwendungen abgewickelt wird.

Das in FRAMES verwendete Kommunikationssystem LinkBird-MX (siehe Kapitel 5.7.1) nutzt die von ETSI spezifizierten und der BNetzA freigegebenen Frequenzen. Die zurzeit verwendeten Nachrichten sind proprietär, allerdings sind die verwendeten Datentypen und die Struktur der Software darauf ausgelegt, auf die von der ETSI vorgeschlagenen Nachrichten angepasst zu werden. Dies hat den Hintergrund das mit den Forschungsprojekten sim<sup>TD</sup> (zwischenzeitlich beendet) und CONVERGE (bis 2015 noch am Laufen) noch Input zu erwarten ist, an den das FRAMES System angepasst werden soll. Von CONVERGE ist sogar ein Framework geplant, dass die Integration der Anwendung in ein Fahrzeug oder Smartphone vereinfachen soll und das FRAMES System deutlich näher zu einer Marktreife rücken könnte. Da die HTW in beiden Projekten stark beteiligt ist, ist eine Anpassung der Systeme relativ einfach möglich.

---

---

### 6.3 RELEVANZ FÜR UNFALLVERHÜTUNG

---

---

Die potentielle Relevanz für die Unfallverhütung wurde bereits im Einleitungsabschnitt des Berichtes umfassend erläutert. Hier soll noch einmal festgehalten werden, dass es bereits jetzt am Ende der Machbarkeitsphase eine Reihe von Sicherheitseffekten gibt, die als Nebeneffekt der Studie auftauchen.

Zum einen bestehen jetzt erstmals multimodal gewonnenen Daten durch Befragung, Beobachtung, Videoanalysen, Unfalldaten über Bewegungen von Fußgängern und Fahrzeugen auf Logistikhöfen und Müllanlagen, die ohne weiteres übertragbar sind. Insbesondere die Methodik hat sich im Vergleich zu den anderen Unfalldaten als außerordentlich fruchtbar und valide herausgestellt.

Die Methode bietet eine deutliche Weiterentwicklung und einen wissenschaftlichen Fortschritt gegenüber allen anderen bisher existieren Verhaltensanalysen oder Verkehrskonflikttechniken dar und kann zukünftig in sehr vielen Unternehmen verwendet werden.

Die Rückmeldungen über gefährliche Zustände an die beteiligten Unternehmen wurden mit großem Interesse und mit sofortiger Umsetzungsbereitschaft sehr dankbar aufgenommen. Ein Einstieg in eine Beinahe-Unfallanalyse wurde insbesondere durch die Befragungen und Videoanalysen erzielt.

Die Risikokompensationsuntersuchungen konnten die negativen Effekte des Fahrerassistenzsystems deutlich aufzeigen, aber auch, dass dennoch ein Nettonutzen bestehen bleibt. Die Erhöhung des Nutzens und die Reduktion der Verhaltensanpassung stellen in der nächsten Phase eine wirkliche Herausforderung dar, die bisher zu keinem einzigen anderen Fahrerassistenzsystem je geleistet wurde und einen Durchbruch bei der Sicherheitsmaximierung solcher Systeme darstellen könnte.

Das System selbst konnte erfolgreich demonstrieren, dass auch vollständig verdeckte schwächere Verkehrsteilnehmer entdeckt werden. Wodurch eine Warn- und Reaktions- und damit Präventionsmöglichkeit entsteht. Neben diesem positiven Effekt konnte das System sein Alleinstellungsmerkmal darin nachweisen, dass auch der Fußgänger eine Warnung erhielt und somit als zweiter Akteur ebenfalls einen Unfall verhindern kann, ggfls. sogar für andere Personen in seiner Nähe, die keinen Transponder haben.

Die beteiligten Sicherheitsfachkräfte und Führungskräfte wurden durch die Maßnahmen stark motiviert, sich noch intensiver für die Sicherheit auf dem Werksgelände einzusetzen und haben ihr Interesse erklärt auch an weiteren Untersuchungsabschnitten gerne teilzunehmen, sodass auch ein Test im Realarbeitsprozess und ggfls, mit den seriennahen Prototypen dort gemacht werden kann.

---

---

## 7 UMSETZUNG- UND VERWERTUNGSPLAN

---

---

In den nächsten Schritten muss nun der Test in der Realsituation erfolgen, bzw. weitere Daten über Radfahrer, Schulkinder etc. und deren Bewegungsmuster erfolgen. Die Verhaltensanalysen können und werden bereits in anderen Forschungsprojekten und von den beteiligten Akteuren genutzt, das technische System jedoch bedarf unbedingt einer deutlichen weiteren Verkleinerung und Förderung, damit es den potentiellen nutzen entfalten kann, den die Machbarkeitsstudie andeutete.

---

---

### 7.1 „LESSONS-LEARNED“ FÜR PHASE 2/3

---

---

Wir haben gelernt, dass wir die nächsten Phasen gleichzeitig beantragen und bearbeiten sollten, um den Standardisierungs- und europaweiten Einführungsnutzen ausschöpfen zu können. Die Gründe dafür sind:

1. Der Technologiefortschritt ist so rasant, dass die Ortungsgenauigkeit vom Projektbeginn bis heute von ca. 5 Metern auf 50 cm in 95% der Fälle gesteigert wurde. Um an diesen Technologieschüben teilzuhaben und sie zu integrieren, muss das Projekt kontinuierlich weitergeführt werden.
2. Die Kooperationspartner in der Wirtschaft benötigen einen Planungs- und Entwicklungshorizont der über die 18 Monate bis zur nächsten Phase hinausgeht.
3. Die Verhaltensbeobachtungen und Gefährdungsanalysen sehen vor, in Phase 2 Radfahrer und in Phase 3 Fußgänger zu analysieren. Da insbesondere Schulen involviert werden, ist die Notwendigkeit der Freigabe, der Verhandlungen, der Kooperation verschiedener Behörden und Eltern sehr aufwändig, so dass nach Möglichkeit beide Beobachtungen (Fußgänger/Radfahrer) gleichzeitig gemacht werden sollten.
4. Da es sich hier um einen hoch kompetitiven Know-How Bereich handelt und die Beschäftigungssituation an Universitäten immer nur Verträge für die Laufdauer eines Projektes erlaubt, sollte die Laufdauer längerfristig bestehen, um die Wissensträger nicht zu verlieren. Gerade hoch umworbene Spezialisten wählen oftmals andere Beschäftigungsformen, wenn Sie erst Ende des Jahres erfahren, ob Projekte im neuen Jahr noch finanziert werden.
5. Da alle Begleitkreismitglieder bereits Geld und Zeit in das Projekt investiert haben, soll die Nutzungsmöglichkeit der Ergebnisse für alle Gruppierungen erzielbar verteilt werden, was durch eine 2-jährige Laufdauer schwierig umsetzbar wäre.
6. In Phase 3 ist die Kooperation mit vielen Organisationen, Herstellern öffentlicher Hand etc. vorgesehen, um ein Akzeptanz und Verbreitungskonzept vorzubereiten. Solche Prozesse benötigen viel Planungs- und Vorbereitungszeit, mit der bald begonnen werden sollte.

---

---

### 7.2 WEITERE NOTWENDIGE SCHRITTE

---

---

Bewilligung der Phasen 2 und 3. Die darin angestrebten Schritte werden im Projektantrag für Phasen 2 und 3 näher erläutert

---

---

## 8 LITERATUR

---

---

- Airault, V., Espié, S., Lattaud, C., & Auberlet, J. M. (Ed.) 2004. Interaction between pedestrians and their environment when road-crossing: A behavioural approach.
- Ajzen, I. From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior, pp. 11–39.
- Ajzen, I. (2005). Attitudes, personality, and behavior (2nd ed). Mapping social psychology. Maidenhead, Berkshire, England, New York: Open University Press.
- Alhajyaseen, W. K., Asano, M., & Nakamura, H. (2013). Left-turn gap acceptance models considering pedestrian movement characteristics. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 175–185. doi:10.1016/j.aap.2012.04.006
- Antonini, G., Bierlaire, M. and Weber, M. (Ed.) 2004. Simulation of pedestrian behavior using a discrete choice model calibrated on actual motion data.
- Aultman-Hall, L., Lane, D., & Lambert, R. R. (2009). Assessing Impact of Weather and Season on Pedestrian Traffic Volumes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2140(-1), 35–43. doi:10.3141/2140-04
- Aveni, A. F. (1977). The Not-So-Lonely Crowd: Friendship Groups in Collective Behavior. *Sociometry*, 40(1), 96. doi:10.2307/3033551
- Avineri, E., Shinar, D., & Susilo, Y. O. (2012). Pedestrians' behaviour in cross walks: The effects of fear of falling and age. *Accident Analysis and Prevention*, (44), 30–34.
- Berufsgenossenschaft für Transport und Verkehrswirtschaft (2010). BGI 5135 - Sicherheits-Check Entsorgungswirtschaft. Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung.
- Bernhoft, I. M., & Carstensen, G. (2008). Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. *Transportation Research Part F*, 11, 83–95.
- Blue, V. J., & Adler, J. L. (2001). Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(3), 293–312. doi:10.1016/S0191-2615(99)00052-1
- Borgers, A.W.J. and Timmermans, H.J.P. (1986). A model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas. *Geographical Analysis*, (18), 115–128.
- Brown, B. B., Werner, C. M., Amburgey, J. W., & Szalay, C. (2007). Walkable Route Perceptions and Physical Features: Converging Evidence for En Route Walking Experiences. *Environment and Behavior*, 39(1), 34–61. doi:10.1177/0013916506295569
- Bundesverband der Entsorgungswirtschaft (BDE). (2006). Prävention im Arbeitsschutz. Maßnahmen zur Kostensenkung. Verfügbar unter [http://www.bde.org/01seiten\\_b/documents/Arbeitsschutzbroschure.pdf](http://www.bde.org/01seiten_b/documents/Arbeitsschutzbroschure.pdf) [Zugriff vom 17.03.2011].
- Bundesverband der Unfallkassen (2005). Führen von Fahrzeugen. Gefährdungs- und Belastungskatalog (GUV-I-8727). Ausgabe August 2005. Bochum: Verlag Technik & Information.

- Bungum, T. J., Day, C., & Henry, L. J. (2005). The association of distraction and caution displayed by pedestrians at a lighted crosswalk. *Journal of Community Health*, 30(4), 269–279. doi:10.1007/s10900-005-3705-4
- Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A., & Zittartz, J. (2001). Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 295(3–4), 507–525. doi:10.1016/S0378-4371(01)00141-8
- Cambon de Lavalette, Brigitte, Tijus, C., Poitrenaud, S., Leproux, C., Bergeron, J., & Thouez, J.-P. (2009). Pedestrian crossing decision-making: A situational and behavioral approach. *Safety Science*, 47(9), 1248–1253. doi:10.1016/j.ssci.2009.03.016
- Cinnamon, J., Schuurman, N., & Hameed, S. M. (2011). Pedestrian Injury and Human Behaviour: Observing Road-Rule Violations at High-Incident Intersections. *PLoS ONE* 6(6): e21063. doi:10.1371/journal.pone.0021063
- Clifton, K. J., & Kreamer-Fults, K. (2007). An examination of the environmental attributes associated with pedestrian–vehicular crashes near public schools. *Accident Analysis and Prevention*, 39(4), 708–715.
- Das, S., Manski, C. F., & Manuszak, M. D. (2005). Walk or wait? An empirical analysis of street crossing decisions. *Journal of Applied Econometrics*, 20(4), 529–548. doi:10.1002/jae.791
- Delmelle, E. C., Thill, J.-C., & Ha, H.-H. (2012). Spatial epidemiologic analysis of relative collision risk factors among urban bicyclists and pedestrians. *Transportation*, 39(2), 433–448. doi:10.1007/s11116-011-9363-8
- Dommes, A., Cavallo, V., & Oxley, J. (2013). Functional declines as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 59(0), 135–143. doi:10.1016/j.aap.2013.05.017
- Dunbar, G. (2012). The relative risk of nearside accidents is high for the youngest and oldest pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 45(0), 517–521. doi:10.1016/j.aap.2011.09.001
- DVR (o. J). Aus der Statistik. Verfügbar unter: [http://www.dvr.de/site.aspx?url=html/betriebe\\_bg/kampagnen/jugend-aktion82\\_20.htm](http://www.dvr.de/site.aspx?url=html/betriebe_bg/kampagnen/jugend-aktion82_20.htm) [Zugriff vom 17.03.2011].
- Eberhardt, W., & Himbert, G. (1977). Bewegungsgeschwindigkeiten - Versuchsergebnisse nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer. *Der Verkehrsunfall*, 15(4), 79–84.
- Ebner, A. (2005). Selbstorganisierende Datenfunknetze für Anwendungen im Straßenverkehr. Cuvillier Verlag: Göttingen.
- Ellinghaus, D. & Steinbrecher, J. (1992). Fußgänger. Eine besondere Problemgruppe im Straßenverkehr. *Uniroyal-Verkehrsuntersuchung Nr. 17*. Köln/Aachen.
- Evans, D., & Norman, P. (1998). Understanding pedestrians' road crossing decisions: an application of the theory of planned behaviour. *Health education research*, 13(4), 481–489.

Ferguson, S. A., Preusser, D. F., Lund, A. K., Zador, P. L., & Ulmer, R. G. (1995). Daylight saving time and motor vehicle crashes: the reduction in pedestrian and vehicle occupant fatalities. *American Journal of Public Health*, 85(1), 92–95. doi:10.2105/AJPH.85.1.92

Finnis, K. K., & Walton, D. (2008). Field observations to determine the influence of population size, location and individual factors on pedestrian walking speeds. *Ergonomics*, 51(6), 827–842. doi:10.1080/00140130701812147

Follmer, R., Gruschwitz, D., Jesske, B., Quandt, S., Lenz, B., Nobis, C., . . . Mehlin, M. (2010). *Mobilität in Deutschland 2008: Ergebnisbericht. Struktur - Aufkommen - Emissionen - Trends*. Bonn und Berlin.

Frankiewicz, T., Hinsberger, A., Lorenz, T., Hilt, H.-J., Weber, S., Wieker, H. & Köster, F. (2011). Standortbestimmung und Integration von ITS Roadside Stations für die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität. AAET - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, 09.-10.02.2011, Braunschweig.

Funk, W. & Fassmann, H. (2002). *Beteiligung, Verhalten und Sicherheit von Kindern und Jugendlichen im Straßenverkehr*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 176. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (2003). *Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1. Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten*. Berlin.

Gehl, J. (1980). *Life Between Buildings: Using Public Space*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Gitelman, V., Balasha, D., Carmel, R., Hendel, L., & Pesahov, F. (2012). Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel. *Accident Analysis and Prevention*, 44(1), 63–73.

Granié, M.-A., Brenac, T., Montel, M.-C., Millot, M., & Coquelet, C. (2014). Influence of built environment on pedestrian's crossing decision. *Accident Analysis & Prevention*, 67(0), 75–85. doi:10.1016/j.aap.2014.02.008

Griswold, J., Fishbain, B., Washington, S., & Ragland, D. R. (2011). Visual assessment of pedestrian crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 301–306. doi:10.1016/j.aap.2010.08.028

Guéguen, N., & Pichot, N. (2001). The Influence of Status on Pedestrians' Failure to Observe a Road-Safety Rule. *The Journal of Social Psychology*, 141(3), 413–415. doi:10.1080/00224540109600562

Guo, H., Wang, W., Guo, W., Jiang, X., & Bubb, H. (2012). Reliability analysis of pedestrian safety crossing in urban traffic environment. *First International Symposium on Mine Safety Science and Engineering 2011*, 50(4), 968–973. doi:10.1016/j.ssci.2011.12.027

Gwehenberger, J. (2004). *Sicherheitspotenziale bei Lkw aus Sicht des Verkehrstechnischen Instituts der Deutschen Versicherer - Teil 2: Kleintransporter*. Vortrag

Halbritter, G. (2008). *Strategien für Verkehrsinnovationen: Verkehrstelematik Umsetzungsbedingungen Internationale Erfahrungen*. Berlin: edition sigma

- Hamed, M. M. (2001). Analysis of pedestrians' behavior at pedestrian crossings. *Safety Science*, 38(1), 63–82. doi:10.1016/S0925-7535(00)00058-8
- Harrell, W. A. (1991). Factors Influencing Pedestrian Cautiousness in Crossing Streets. *The Journal of Social Psychology*, 131(3), 367–372. doi:10.1080/00224545.1991.9713863
- Harrell, W. A. (1991). Precautionary Street Crossing by Elderly Pedestrians. *The International Journal of Aging and Human Development*, 32(1), 65–80. doi:10.2190/4XNE-WCBC-G9TY-NGYG
- Hatfield, J., & Murphy, S. (2007). The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalised and unsignalised intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 39(1), 197–205. doi:10.1016/j.aap.2006.07.001
- Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG).(2004). Unfallverhütungsvorschrift. Grundsätze der Prävention.
- Havârneanu, G. M., & Havârneanu, C. E. (2012). When norms turn perverse: Contextual irrationality vs. rational traffic violations. *Transportation Research Part F*, 15(2), 144–151.
- Helbing, D. (2007). Dynamics of crowd disasters: An empirical study. *Physical Review E*, 75(4), 46109. doi:10.1103/PhysRevE.75.046109
- Helbing, D., Molnár, P., Farkas, I. J., & Bolay, K. (2001). Self-organizing pedestrian movement. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(3), 361–383. doi:10.1068/b2697
- Hinsberger, A., Wieker, H., Ortgiese, M. & Roos, A. (2008). Extending the Scope of Vehicular Ad-Hoc Networks in Order to Protect Vulnerable Road Users, 15th World Congress on Intelligent Transportation Systems 2008, New York, USA.
- Hoffrage, U., Weber, A., Hertwig, R., & Chase, V. M. (2003). How to Keep Children Safe in Traffic: Find the Daredevils Early. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(4), 249–260. doi:10.1037/1076-898X.9.4.249
- Holland, C., & Hill, R. (2007). The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations. *Accident Analysis and Prevention*, 39(2), 224–237.
- Holland, C., & Hill, R. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: A simulation study. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1097–1106. doi:10.1016/j.aap.2009.12.023
- Holland, C. A., Hill, R., & Cooke, R. (2009). Understanding the role of self-identity in habitual risky behaviours: pedestrian road-crossing decisions across the lifespan. *Health Education Research*, 24(4), 674–685. doi:10.1093/her/cyp003
- Hoogendoorn, S. P., & Bovy, P. (2004). Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(2), 169–190. doi:10.1016/S0191-2615(03)00007-9
- Hoogendoorn, S. P., & Daamen, W. (2005). Pedestrian Behavior at Bottlenecks. *Transportation Science*, 39(2), 147–159. doi:10.1287/trsc.1040.0102

- Ishaque, M. M., & Noland, R. B. (2008). Behavioural Issues in Pedestrian Speed Choice and Street Crossing Behaviour: A Review. *Transport Reviews*, 28(1), 61–85. doi:10.1080/01441640701365239
- Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prevention*, 9(3), 205–209. doi:10.1136/ip.9.3.205
- Karsch, H. M., Hedlund, J. H., Tison, J., & Leaf, W. A. (2012). Review of Studies on Pedestrian and Bicyclist Safety, 1991-2007 (No. DOT HS 811 614). Washington D. C.
- Kaparias, I., Bell, Michael G. H., Miri, A., Chan, C., & Mount, B. (2012). Analysing the perceptions of pedestrians and drivers to shared space. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(3), 297–310. doi:10.1016/j.trf.2012.02.001
- Kays, R. (2005). *Elektronische Medien*. Berlin: VDE Verlag.
- Keller, C. G., Hermes, C., & Gavrilu, D. M. Will the Pedestrian Cross? Probabilistic Path Prediction Based on Learned Motion Features. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 386–395).
- Khatoon, M., Tiwari, G., & Chatterjee, N. (2013). Impact of grade separator on pedestrian risk taking behavior. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 861–870. doi:10.1016/j.aap.2012.07.011
- Khisty, C. J. (1985). Pedestrian Cross Flow Characteristics and Performance. *Environment and Behavior*, 17, 679–695.
- Kloiber, Bernhard: Fahrzeugkommunikation - IEEE 802.11p. URL [www7.informatik.uni-erlangen.de/~dulz/fkom/06/8.pdf](http://www7.informatik.uni-erlangen.de/~dulz/fkom/06/8.pdf)
- Knoblauch, R. L., & Pietrucha, Martin T. und Nitzburg, M. Field studies of pedestrian walking speed and start-time. *Transportation Research Record*, 1996.
- Koppen-Brauns, U. (2003). Verkehrsunfälle von Grundschulern auf dem Schulweg – eine Studie aus dem Rheinland. Analyse zu Unfallhergang, Risikofaktoren und Präventionsansätzen anhand der Unfalldaten des Rheinischen Gemeindeunfallversicherungsverbandes. Düsseldorf.
- Korte, C., & Grant, R. (1980). Traffic Noise, Environmental Awareness, and Pedestrian Behavior. *Environment and Behavior*, 12(3), 408–420. doi:10.1177/0013916580123006
- Langwieder, K. & Gwehenberger, J. (2001). Anforderungen an die passive Sicherheit bei Lkw-Kollisionen – Ergebnisse einer Repräsentativuntersuchung. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*.
- LaScala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. (2000). Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 32(5), 651–658.
- Lassarre, S., Papadimitriou, E., Yannis, G., & Golias, J. (2007). Measuring accident risk exposure for pedestrians in different micro-environments. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1226–1238.
- Leden, L., Gårder, P., & Johansson, C. (2006). Safe pedestrian crossings for children and elderly. *Accident Analysis and Prevention*, 38(2), 289–294.
- Lefkowitz, M., Blake, R. R., & Mouton, J. S. (1955). Status factors in pedestrian violation of traffic signals. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 51(3), 704–706. doi:10.1037/h0042000



Limbourg, M. (2008). Kinder unterwegs im Straßenverkehr. Reihe „Prävention in NRW“ der Unfallkasse NRW, Band 12. Düsseldorf.

Limbourg, M, Raithel, J. & Reiter, K. (2000). Jugendliche im Straßenverkehr. In J. Raithel (Hrsg.), Risikoverhalten im Jugendalter. Opladen: Leske + Budrich. Verfügbar unter <http://www.uni-due.de/~qpd402/alt/texte.ml/risiko-jugend.html> [Zugriff vom 17.03.2011].

Li, Y., & Fernie, G. (2010). Pedestrian behavior and safety on a two-stage crossing with a center refuge island and the effect of winter weather on pedestrian compliance rate. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), 1156–1163.

Lichtenstein, R., Smith, D. C., Ambrose, J. L., & Moody, L. A. (2012). Headphone use and pedestrian injury and death in the United States: 2004-2011. *Injury Prevention*, 18(5), 287–290. doi:10.1136/injuryprev-2011-040161

Lobjois, R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street-crossing decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 934–943. doi:10.1016/j.aap.2006.12.013

Luoma, J., & Peltola, H. (2013). Does facing traffic improve pedestrian safety? *Accident Analysis and Prevention*, 50, 1207–1210. doi:10.1016/j.aap.2012.09.023

Martin, A. (2006). Factors influencing pedestrian safety: A literature review. Published project report: Vol. 241. Wokingham: TRL.

Michon, J. A. A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do?, pp. 485–524.

Miguel, A. F. (2013). The emergence of design in pedestrian dynamics: Locomotion, self-organization, walking paths and constructal law. *Physics of Life Reviews*, 10(2), 168–190. doi:10.1016/j.plrev.2013.03.007

Miranda-Moreno, L. F., Morency, P., & El-Geneidy, A. M. (2011). The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1624–1634. doi:10.1016/j.aap.2011.02.005

Moussaïd, M., Perozo, N., Garnier, S., Helbing, D., & Theraulaz, G. (2010). The Walking Behaviour of Pedestrian Social Groups and Its Impact on Crowd Dynamics. *PLoS ONE* 5(4): e10047, 1–7. doi:10.1371/journal.pone.0010047

Moyano Díaz, E. (2002). Theory of planned behavior and pedestrians' intentions to violate traffic regulations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(3), 169–175. doi:10.1016/S1369-8478(02)00015-3

Nankervis, M. (1999). The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(6), 417–431. doi:10.1016/S0965-8564(98)00022-6

Nasar, J., Hecht, P., & Wener, R. (2008). Mobile telephones, distracted attention, and pedestrian safety. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 69–75. doi:10.1016/j.aap.2007.04.005

National Highway Traffic Safety Administration. (2009). Traffic Safety Facts 2008: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System.

Neider, M. B., Gaspar, J. G., McCarley, J. S., Crowell, J. A., Kaczmarek, H., & Kramer, A. F. (2011). Walking and talking: Dual-task effects on street crossing behavior in older adults. *Psychology and Aging*, 26(2), 260–268. doi:10.1037/a0021566

Neider, M. B., McCarley, J. S., Crowell, J. A., Kaczmarek, H., & Kramer, A. F. (2010). Pedestrians, vehicles, and cell phones. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 589–594. doi:10.1016/j.aap.2009.10.004

NZ Transport Agency. (2009). Pedestrian planning and design guide. Wellington, N.Z: NZ Transport Agency.

Oxley, J. (1995). An investigation of road crossing behaviour of older pedestrians. Report: no. 81. Clayton, Vic: Monash University Accident Research Centre.

Oxley, J. A., Ihlen, E., Fildes, B. N., Charlton, J. L., & Day, R. H. (2005). Crossing roads safely: An experimental study of age differences in gap selection by pedestrians. *Accident Analysis and Prevention*, 37(5), 962–971.

Oxley, J., Fildes, B., Ihlen, E., Charlton, J., & Day, R. (1997). Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 839–847. doi:10.1016/S0001-4575(97)00053-5

Papadimitriou E., Yannis G., Evgenikos P. (2011). About pedestrian safety in Europe. *Advances in Transportation Studies Section A*, (24), 5–14.

Papadimitriou, E., Theofilatos, A., & Yannis, G. (2013). Patterns of pedestrian attitudes, perceptions and behaviour in Europe. *Safety Science*, 53, 114–122.

Pingel, T. J. (2012). Characterizing the role of strategic disposition and orientation to risk in wayfinding. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(4), 427–437. doi:10.1016/j.trf.2012.03.003

Polizeipräsidium Münster (2011). Fachbericht zur Verkehrsunfallentwicklung in der Stadt Münster sowie auf den Autobahnen des Regierungsbezirkes Münster im Jahre 2010. Verfügbar unter [http://www.polizei-nrw.de/muenster/step-one/data/downloads/60/02/00/fachbericht-2010-pp-ms\\_030211.pdf](http://www.polizei-nrw.de/muenster/step-one/data/downloads/60/02/00/fachbericht-2010-pp-ms_030211.pdf) [Zugriff vom 17.03.2011].

Polizeipräsidium Trier (2011). Verkehrsunfallstatistik 2010. Verfügbar unter: [http://www.polizei.rlp.de/internet/nav/98e/presse.jsp?uMen=10a70d73-c9a2-b001-be59-2680a525fe06&page=1&pagesize=10&sel\\_uCon=5612071f-3cb9-3e21-c5ec-3f110b42f27b](http://www.polizei.rlp.de/internet/nav/98e/presse.jsp?uMen=10a70d73-c9a2-b001-be59-2680a525fe06&page=1&pagesize=10&sel_uCon=5612071f-3cb9-3e21-c5ec-3f110b42f27b) [Zugriff vom 17.03.2011].

Poschadel, S. (2006). Prototypische Kinderunfälle im innerstädtischen Straßenverkehr. Von Unfallanalysen über Präventionsmöglichkeiten zur Entwicklung eines Unfallmodells. Dissertation an der Fakultät für Psychologie der Ruhr-Universität Bochum. Verfügbar unter [www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/.../PoschadelSebastian/diss.pdf](http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/.../PoschadelSebastian/diss.pdf) [Zugriff vom 17.03.2011].

- Pulugurtha, S. S., Krishnakumar, V. K., & Nambisan, S. S. (2007). New methods to identify and rank high pedestrian crash zones: An illustration. *Accident Analysis and Prevention*, 39(4), 800–811.
- Robin, T., Antonini, G., Bierlaire, M., & Cruz, J. (2009). Specification, estimation and validation of a pedestrian walking behavior model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(1), 36–56. doi:10.1016/j.trb.2008.06.010
- Rohm, M. (2006). Bewegungsgeschwindigkeiten von Fußgängern. *Verkehrsrechtsreport*, (4), 136–139.
- Rosenbloom, T. (2009). Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(5), 389–394. doi:10.1016/j.trf.2009.05.002
- Rotton, J., Shats, M., & Standers, R. (1990). Temperature and Pedestrian Tempo : Walking Without Awareness. *Environment and Behavior*, 22(5), 650–674. doi:10.1177/0013916590225005
- Rudloff, C., Matyus, T., Seer, S., & Bauer, D. (2011). Can walking behavior be predicted? An analysis of the calibration and fit of pedestrian models (TRB 2011 Annual Meeting).
- Saelens, B. E., Sallis, J. F., & Frank, L. D. (2003). Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. *Annals of Behavioral Medicine*, 25(2), 80–91. doi:10.1207/S15324796ABM2502\_03
- Schmidt, S., & Färber, B. (2009). Pedestrians at the kerb – Recognising the action intentions of humans. *Transportation Research Part F*, 12(4), 300–310.
- Schwebel, D. C., Stavrinos, D., Byington, K. W., Davis, T., O’Neal, E. E., & Jong, D. de. (2012). Distraction and pedestrian safety: How talking on the phone, texting, and listening to music impact crossing the street. *Accident Analysis & Prevention*, 45(0), 266–271. doi:10.1016/j.aap.2011.07.011
- Seyfried, A., Steffen, B., & Lippert, T. (2006). Basics of modelling the pedestrian flow. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 368(1), 232–238. doi:10.1016/j.physa.2005.11.052
- Simpson, G., Johnston, L., & Richardson, M. (2003). An investigation of road crossing in a virtual environment. *Accident Analysis & Prevention*, 35(5), 787–796. doi:10.1016/S0001-4575(02)00081-7
- Sisiopiku, V. P., & Akin, D. (2003). Pedestrian behaviors at and perceptions towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data. *Transportation Research Part F*, 6(4), 249–274.
- Statistisches Bundesamt (2010). *Statistisches Jahrbuch*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Süßner, U. (2010). Innerbetrieblicher Transport In: Deutscher Verkehrssicherheitsrat. *Schriftenreihe Verkehrssicherheit Band 14: Risiko Raus – Fachliche Beiträge zu Themen der Kampagne*. Bonn: GWM.
- Stavrinos, D., Byington, K. W., & Schwebel, D. C. (2011). Distracted walking: Cell phones increase injury risk for college pedestrians. *Journal of Safety Research*, 42(2), 101–107. doi:10.1016/j.jsr.2011.01.004

- Sueur, C., Class, B., Hamm, C., Meyer, X., & Pelé, M. (2013). Different risk thresholds in pedestrian road crossing behaviour: A comparison of French and Japanese approaches. *Accident Analysis & Prevention*, 58(0), 59–63. doi:10.1016/j.aap.2013.04.027
- Thompson, L. L., Rivara, F. P., Ayyagari, R. C., & Ebel, B. E. (2013). Impact of social and technological distraction on pedestrian crossing behaviour: an observational study. *Injury Prevention*, 19(4), 232–237. doi:10.1136/injuryprev-2012-040601
- Tiemann, N. (2012). Ein Beitrag zur Situationsanalyse im vorausschauenden Fußgängerschutz. Retrieved from <http://books.google.de/books?id=CBnflgEACAAJ>
- Tolmie, A. (2006). The role of skills, attitudes and perceived behavioural control in the pedestrian decision-making of adolescents aged 11-15 years. Road safety research report: Vol. 68. London: Department for Transport.
- Transportation Research Board of the National Academies. (2005). Research on women's issues in transportation: Report of a conference; November 18-20, 2004, Chicago, Illinois. Transportation Research Board Conference Proceedings: Vol. 35. Washington: Transportation Research Board.
- Trimpop, R., Rabe, S. & Kalveram, A. (2010). Beruflicher Verkehr und Verkehr als Beruf. In H.P. Krüger (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Verkehrspsychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Tudeshki, H., Ehnes, H. & Könnecke, M. (2005). Wie sicher sind Radlader, Bagger und Co.?, *Industrie der Steine und Erden*, August/ Ausgabe 04/2005.
- Wakim, C., Capperon, S., & Oksman, J. (Eds.) 2004. A Markovian model of pedestrian behavior.
- Walker, E. J., Lanthier, S. N., Risko, E. F., & Kingstone, A. (2012). The effects of personal music devices on pedestrian behaviour. *Safety Science*, 50(1), 123–128. doi:10.1016/j.ssci.2011.07.011
- Weifeng, F., Lizhong, Y., & Weicheng, F. (2003). Simulation of bi-direction pedestrian movement using a cellular automata model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 321(3–4), 633–640. doi:10.1016/S0378-4371(02)01732-6
- Weinert, R., Schreckenber, D. & Wiebusch-Wothge, R. (2008): Reduzierung von Verkehrsunfällen mit Kinderbeteiligung in Hamm. Evaluation von Maßnahmen zur Förderung der Sicherheit von Kindern im Straßenverkehr 2001 – 2007. Schlussbericht. Erstellt im Auftrag der Stiftung für Kriminalprävention Münster-Hiltrup.
- Willis, A., Gjersoe, N., Havard, C., Kerridge, J., & Kukla, R. (2004). Human movement behaviour in urban spaces: implications for the design and modelling of effective pedestrian environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(6), 805–828. doi:10.1068/b3060
- Xi, H., & Son, Y.-J. (2012). Two-level modeling framework for pedestrian route choice and walking behaviors. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 22(0), 28–46. doi:10.1016/j.simpat.2011.11.002
- Xi, H., Son, Y.-J., & Lee, S. (2010) An integrated pedestrian behavior model based on Extended Decision Field Theory and Social Force model. In *Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2010 Winter* (pp. 824–836).

Yagil, D. (2000). Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians' self-reported behavior at signal-controlled crossings. *Transportation Research Part F*, 3(1), 1–13.

Yannis, G., Papadimitriou, E., & Evgenikos, P. (2011). About pedestrian safety in Europe. In A. Benedetto (Ed.), Vol. XXIV. *Advances In Transportation Studies. An International Journal. Section A & B* (pp. 5–14).

Zegeer, C. V., & Bushell, M. (2012). Pedestrian crash trends and potential countermeasures from around the world. *Safety and Mobility of Vulnerable Road Users: Pedestrians, Bicyclists, and Motorcyclists*, 44(1), 3–11. doi:10.1016/j.aap.2010.12.007

Zegeer, C.V., Nabors, D., Gelinne, D., Lefler, N., Bushell, M. (2010). FHWA Pedestrian Program Strategic Plan. Draft final report.

Zeus GmbH & Lehrstuhl für Verkehrswesen der Universität Bochum (2006). Reduzierung von Verkehrsunfällen mit Kinderbeteiligung in der Stadt Krefeld. Evaluation der Maßnahmen 1999 bis 2004. Endbericht. Erstellt im Auftrag der Stiftung für Kriminalprävention Münster-Hiltrup.

Zeus GmbH, Brilon Bondzio Weiser Ingenieurgesellschaft für Verkehrswesen mbH & Lehrstuhl für Verkehrswesen der Universität Bochum (2001). Reduzierung von Unfällen mit Kinderbeteiligung in Mönchengladbach. Kurzfassung. Erstellt im Auftrag der Stiftung für Kriminalprävention Münster-Hiltrup.

Zhu, M., Zhao, S., Coben, J. H., & Smith, G. S. (2013). Why more male pedestrians die in vehicle-pedestrian collisions than female pedestrians: a decompositional analysis. *Injury Prevention*, 19(4), 227–231. doi:10.1136/injuryprev-2012-040594

Zhuang, X., & Wu, C. (2012). The safety margin and perceived safety of pedestrians at unmarked roadway. *Transportation Research Part F*, 15(2), 119–131.

Zivotofsky, A. Z., Eldror, E., Mandel, R., & Rosenbloom, T. (2012). Misjudging Their Own Steps: Why Elderly People Have Trouble Crossing the Road. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(4), 600–607. doi:10.1177/0018720812447945