

Abschlussbericht DGUV-Forschungsprojekt

-----*FRAMES*-----

Frühwarnsystem zur adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung und
Sicherheitsförderung – Phasen 2-3

2015-2018

ABSCHLUSSBERICHT

zum

Forschungsprojekt 367

der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

(DGUV e.V.)

FRAMES

FRÜHWARNSYSTEM ZUR ADAPTIVEN
MENSCH-FAHRZEUG-ERKENNUNG UND
SICHERHEITSFÖRDERUNG

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	C
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	F
TABELLENVERZEICHNIS	H
ZUSAMMENFASSUNG	I
ABSTRACT	III
1. TITEL UND LAUFZEIT DES PROJEKTES	1
2. GESAMTÜBERSICHT ZENTRALER ERGEBNISSE	1
2.1. Weitere Ergebnisse	3
3. FORSCHUNGSZWECK UND ZIELSTELLUNG	6
3.1. Einleitung und Überblick	6
3.2. Nutzen für die Unfallversicherungsträger	7
3.3. Erwartete Ergebnisse und praktische Umsetzung	7
4. AUSGANGSBASIS UND PROBLEMSTELLUNG	9
5. VORHABENSZIELE UND FORSCHUNGSFRAGEN	11
5.1. Technikfragen	11
5.2. Verhaltensfragen	12
6. METHODIK DER DURCHGEFÜHRTEN FORSCHUNGSARBEITEN	13
6.1. Literatur- und Datenbankanalysen	15
6.2. Analyse des innerbetrieblichen Verkehrsflusses und des Verkehrsverhaltens	16
6.3. Ableitung der Testszenarien auf Basis der innerbetrieblichen Daten	17
6.4. Methodische Ansätze zur Analyse der Risikokompensation im Experiment	18

6.5. Risikokompensationsverhaltensweisen	21
6.5.1 <i>Im kontrollierten Betriebsalltag und simulierten Realkontext</i>	21
6.6. Reduktion der Risikokompensation	27
6.6.1 <i>Entwicklung der Experimentalmethodik zum Einsatz im kontrollierten Betriebsalltag und im simulierten Realkontext</i>	27
6.7. Übertragung der Verhaltensdaten in Algorithmen des Transpondersystems	31
6.8. Prototyp-Verbesserung I & II: Erhöhung der Messgenauigkeit	32
6.9. Prototyp-Verbesserung I & II: Reduktion des Systems in Größe und Gewicht	32
7. ERGEBNISSE	33
7.1. Erfassung von Verhaltenswerten der Fahrradfahrer und Fußgänger im Betrieb	33
7.2. Ergebnisse der Risikokompensationsanalysen	34
7.2.1 <i>Experimentelle Analyse der Risikokompensation</i>	34
7.2.2 <i>Experimentelle Untersuchung von Risikokompensationseffekten bei Fußgängern</i>	39
7.2.3 <i>Untersuchung der Zusammenhänge und Einflussfaktoren auf Risikokompensationseffekte im Experiment</i>	43
7.2.4 <i>Zusammenfassung und Ausblick zur Risikokompensation</i>	76
7.3. Systemtest unter kontrollierten Realbedingungen im Unternehmen	81
7.4. Prototyp-Verbesserung I & II: Erhöhung der Messgenauigkeit	82
7.4.1 <i>Kommunikationssystem</i>	82
7.4.2 <i>Warnung des Fußgängers</i>	86
7.4.3 <i>Sicherheit und Datenschutz</i>	86
7.4.4 <i>Positionierung</i>	88
7.5. Prototyp-Verbesserung I & II: Gewichts- und Größenreduktion	92
7.5.1 <i>Hardware des Fußgängers</i>	92
7.5.2 <i>Fußgängersystem Mark 2 (VRU-Mk2)</i>	93
7.5.3 <i>Fußgängersystem Mark 3 (VRU-Mk3)</i>	96
7.6. Hardware des Fahrzeugsystems	98
7.6.1 <i>Fahrzeugsystem Mark 1 (Fzg-Mk1)</i>	98
7.6.2 <i>Fahrzeugsystem Mark 2 (Fzg-Mk2)</i>	99
7.7. Fußgängersimulator (Eigenentwicklung)	100

7.8. Prinzip der Teststrecke	100
7.9. Aufbau der Traverse und Steuerung des Fußgängers	101
7.9.1 <i>Ablauf einer Simulation</i>	103
7.9.2 <i>Komponente der Traverse</i>	103
7.10. Ergebnisse zur Positionierung und Verhaltensprädiktion	107
7.10.1 <i>Master-Thesis zur Prädiktion von Fußgängertrajektorien</i>	107
7.10.2 <i>Studie zur Indoor-Positionierung</i>	108
8. AUSBLICK	109
9. “LESSONS LEARNED”	112
10. NOTWENDIGE SCHRITTE	113
LITERATUR	114
ANHANG	124
UNTERSCHRIFTENSEITE	125
STATISTISCHE KENNWERTE DER SIGNIFIKANTEN INTERAKTIONSEFFEKTE	126
AUFKLÄRUNGSBLATT – RISIKOKOMPENSATION	127

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Übersicht der nach den untersuchten Einflussfaktoren variierten Experimentalbedingungen.....</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 2: Grundaufbau des simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung an das computergestützte Experimentaldesign.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 3: Ablaufdiagramm des simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung an das computergestützte Experimentaldesign aus Fahrerperspektive.....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 4: Dummy-Traversen-Konstruktion.....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 5: Grundaufbau des erweiterten simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung ans computergestützte Experimentaldesign.....</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 6. Erweiterte Dummy-Traversen-Konstruktion mit Fußgängertestumfeld.....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 7: Ablaufdiagramm des erweiterten simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung an das computergestützte Experimentaldesign aus Fahrer- und Fußgängerperspektive.....</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 8: Veränderung der Bremsstärke nach Durchgängen.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 9: Übersicht über die nachweisbaren signifikanten Interaktionseffekte für die untersuchten Einflussfaktoren/Experimentalbedingungen.....</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 10: Interaktion und Verlauf der Faktoren Verkehrsaufkommen und durchschnittliche Geschwindigkeit.....</i>	<i>46</i>
<i>Abbildung 11: Interaktion und Verlauf der Faktoren Ablenkung und durchschnittliche Geschwindigkeit.....</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 12 Interaktion und Verlauf der Faktoren Zeitdruck und durchschnittliche Geschwindigkeit.....</i>	<i>47</i>
<i>Abbildung 13: Mittelwertunterschiede der variierten Warnmodi für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten.....</i>	<i>48</i>
<i>Abbildung 14: Mittelwertunterschiede der variierten Warnmodi die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten.....</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 15: Mittelwertunterschiede der variierten Warnstufen für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremsstärken.....</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 16: Mittelwertunterschiede der variierten Warnmodi für die Gruppe der Fußgänger für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 17: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten.....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 18: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerwahrscheinlichkeiten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 19: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerwahrscheinlichkeiten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Kollisionen.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 20: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerwahrscheinlichkeiten und -arten für das über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks angegebenen Systemvertrauen.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 21: Interaktion der Faktoren systembezogene Interaktivität und Kollisionsanzahl.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 22: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessene Kollisionsanzahl.....</i>	<i>55</i>

<i>Abbildung 23: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten aus Fußgängersicht für die durchschnittliche Geschwindigkeit.....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 24: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessene Kollisionsanzahl</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 25: Veränderung der durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit nach Durchgängen</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 26: Nachrichtenfluss in Phase 1&2.....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 27: Phase 3 Nachrichtenfluss</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 28: GPS-Empfänger.....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 29: Positionsmessreihe mit GPS.....</i>	<i>89</i>
<i>Abbildung 30: Positionsmessreihe mit SBAS</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 31: Positionsmessreihe mit RTK.....</i>	<i>91</i>
<i>Abbildung 32: Mark-2 - Rucksack.....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 33: Smartwatch</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 34: Mark-2 Trägerplatte.....</i>	<i>95</i>
<i>Abbildung 35: Mark-3- Weste</i>	<i>97</i>
<i>Abbildung 36: Fzg.-Mark-1 Platte.....</i>	<i>98</i>
<i>Abbildung 37: Fzg.-Mark-1 HMI.....</i>	<i>98</i>
<i>Abbildung 38: Fzg.-Mark 2 Platte.....</i>	<i>99</i>
<i>Abbildung 39: Teststrecke.....</i>	<i>101</i>
<i>Abbildung 40: Realfoto Fußgängersimulator 1</i>	<i>102</i>
<i>Abbildung 41: Untersuchungsdurchlauf Fußgängersimulator.....</i>	<i>104</i>
<i>Abbildung 42: Dummyaufbau Simulator.....</i>	<i>104</i>
<i>Abbildung 43: Realfoto Fußgängersimulator 2.....</i>	<i>106</i>
<i>Abbildung 44: Aufgezeichneter Track für Referenzszenario RS 2.....</i>	<i>107</i>
<i>Abbildung 45: Geschwindigkeit/Zeit-Diagramm für Referenzszenario RS 2.....</i>	<i>107</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1. Tabellarische Übersicht der Vorhabensziele der Phasen 2 und 3</i>	13
<i>Tabelle 2. Gegenüberstellung der zeitlichen Planungs- und Durchführungsabfolge der Arbeitspakete</i>	14
<i>Tabelle 3. Überblick der Simulationsszenarien zum Testlauf des Systems unter kontrollierten Realbedingungen</i>	17
<i>Tabelle 4. Variation der Untersuchungsbedingungen nach situationalen und technischen Einflussfaktoren</i>	18
<i>Tabelle 5. Zieldefinition der Ausprägungen der Kompensationskompensation im Experiment (exemplarisch für 3 Kompensationsvariablen)</i>	28
<i>Tabelle 6. Übersicht der erhobenen Variablen in den verschiedenen Testszenarien</i>	29
<i>Tabelle 7. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge)</i>	36
<i>Tabelle 8 Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge ohne Fußgänger</i>	36
<i>Tabelle 9. Mittelwertvergleich der subjektiven Risikobewertungen zwischen den Bedingungen OS und MS</i>	37
<i>Tabelle 10: Mittelwertvergleich der Laufverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge)</i>	40
<i>Tabelle 11: Mittelwertvergleich der Laufverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge ohne Fahrzeug</i>	41
<i>Tabelle 12 . Mittelwertvergleich der subjektiven Risikobewertungen zwischen den Bedingungen OS und MS</i>	41
<i>Tabelle 13: Überblick der Mittelwertunterschiede für die verschiedenen Systembedingungen und Fehlerarten</i>	51
<i>Tabelle 14: Mittelwertvergleich der realen Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge)</i>	59
<i>Tabelle 15: Mittelwertvergleich der realen Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=5 Durchgänge ohne Fußgänger</i>	60
<i>Tabelle 16: Mittelwertvergleich der subjektiven Risikobewertungen zwischen den Bedingungen OS und MS</i>	61
<i>Tabelle 17: Übersicht zum Vergleich der Mittelwerte der Risikokompensationsvariablen nach Durchgängen</i>	64
<i>Tabelle 18: Übersicht zum Vergleich der Mittelwerte der Risikokompensationsvariablen nach Interaktionsstufen</i>	67
<i>Tabelle 19: Übersicht - Mittelwertvergleich der Risikokompensationsvariablen nach Systembedingungen</i>	70
<i>Tabelle 20: Übersicht - Mittelwertvergleich der Risikokompensationsvariablen nach Systembedingungen</i>	71
<i>Tabelle 21: Übersicht - Mittelwertvergleich der Risikokompensationsvariablen nach Systembedingungen und Verkehrsteilnehmergruppe</i>	74
<i>Tabelle 22: Nachrichten der Phasen 1&2</i>	83
<i>Tabelle 23: Nachrichten der Phase 3</i>	85
<i>Tabelle 24: Mark-1 Komponenten</i>	92
<i>Tabelle 25: Mark-2 - Komponenten</i>	93
<i>Tabelle 26: Mark-3 - Komponenten</i>	96

Zusammenfassung

Dieser Abschlussbericht umfasst die Forschungsarbeiten der zweiten und dritten Phase des FRAMES-Projektes.

Im Forschungs- und Entwicklungsprojekt FRAMES wurde ein Frühwarnsystem entwickelt und getestet, das den Benutzern die Möglichkeit bietet, auch bei Sichtverdeckungen durch Gebäude oder anderen Hindernisse, über die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer in der unmittelbaren Umgebung der eigenen Verkehrsbewegung informiert und vor sich potentiell anbahnenden Konfliktsituationen oder Unfällen, gewarnt zu werden.

Insbesondere die so genannten schwächeren Verkehrsteilnehmer, wie Fußgänger und Fahrradfahrer, sollen durch eine frühzeitige Warnung in die Lage versetzt werden, selbst einen Unfall zu vermeiden. Während herkömmliche Systeme nur im Fahrzeug eine Warnung bei vorrangig sichtbaren Gefahrenquellen ermöglichen, erfolgt die Warnung beim FRAMES-System gleichzeitig und kooperativ, um alle Beteiligten über die sich anbahnende Gefährdung zu informieren. Diese Eigenschaften des Systems erscheinen daher insbesondere für typische Verkehrssituationen bspw. auf Betriebsgeländen von Nutzen, die häufig durch fluktuierende Verkehrs- und Kontaktdichten verschiedener Verkehrsteilnehmergruppen, streng auftragsbezogene Transport- und Rangiervorgänge, häufige Sichtverdeckungen und uneindeutige Verkehrsregelungen gekennzeichnet sind.

Aus früheren Analysen anderer mobiler und stationärer technischer Sicherheitseinrichtungen ist allerdings bekannt, dass durch die Sicherheitswirkungen solcher Systeme immer auch mit reaktiven Verhaltensanpassungen (Risikokompensationseffekte) der Nutzer festzustellen sind. Diese Effekte wirken sich oftmals auf den Nettonutzen der Systeme aus. Da sie allgemeingültige menschliche Funktionsprinzipien widerspiegeln, müssen sie in ihrem systemspezifischen Ausmaß, ihrer jeweiligen Richtung und ihrer Allgemeingültigkeit, bereits bei der Systemkonzeption zentrales Thema betrachtet werden. Daher war es von Beginn an das Ziel des FRAMES-Projekts, diese Effekte für die vorliegende Lösung zu bestimmen, einzugrenzen und die sich daraus ergebenden Gegenmaßnahmen von Beginn an zu integrieren oder über vorausgehende und begleitende Nutzerschulungen zu reduzieren. Nach allen vorliegenden Ergebnissen sind beide o.g. Zielstellungen im FRAMES-Projekt erreicht worden.

Die Prüfung der grundlegenden Systemleistung bzw. -eignung und der o.g. Verhaltenseffekte erfolgte in mehreren Schritten durch Computersimulationen, bei kontrollierten Fahrten auf dem Testgelände unter Nutzung einer selbst konzipierten Fußgängersimulationsanlage unter Nutzung von "Fußgängerdummys" sowie bei Realsituationen auf einem Logistikgelände eines Transportunternehmens. Die getesteten Verkehrssituationen und -interaktionen basieren auf betrieblichen und öffentlichen Unfalldatenauswertungen sowie mehrfach durchgeführten mehrtägigen betrieblichen Analysen mit dem Schwerpunkt der Interaktionsformen zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen. Die kooperierenden Unternehmen der Logistikbranche, der chemischen Industrie und der Abfallwirtschaft erhielten damit nicht nur eine Analyse der unternehmenseigenen Verkehrssicherheit und der Verkehrsflüsse, sondern ebenfalls eine Vielzahl von fundierten Empfehlungen zur Sicherheitserhöhung ihrer Mitarbeiter.

Zusammenfassend zeigte sich bei den unterschiedlichen Testläufen durchaus ein beachtliches Schutzpotential des Systems durch bspw. reduzierte Unfallzahlen, während des Einsatzes. Gleichzeitig wurden aber auch erhöhte Aufprallgeschwindigkeiten und geringere Bremsstärken registriert, was mit einer veränderten Risikowahrnehmung der Fahrsituation und daraus abgeleiteten erhöhten Geschwindigkeitsverhalten in Zusammenhang gebracht werden konnte. Eine solche Kompensation fand allerdings nicht nur bei den Fahrern, sondern in vergleichbarem Ausmaß auch bei den schwächeren Verkehrsteilnehmern statt. Das daraus abzuleitende Übervertrauen in die Schutzwirkung des Systems, erfolgte dabei unmittelbar und speiste sich u.a. aus der Wahrnehmung der Systemwirkung. In der Folge verließen sich bspw. die ausgerüsteten Fußgänger aufgrund der gegenseitigen Warnung darauf, dass die Fahrzeuge anhalten würden und wählten selbst immer wieder selbstgefährdende offensive Verhaltensweisen. Im Zuge der Bestätigung der postulierten Verhaltensanpassungen wurden daher mehrere Maßnahmen, Trainings und andere Gestaltungsmaßnahmen entwickelt und getestet, um diese unerwünschten Effekte der Systemnutzung zu reduzieren.

Die vorliegenden Befunde zu den Verhaltensveränderungen in Reaktion auf umfassende technische Veränderungen müssen angesichts der ständig wachsenden Fülle von Fahrerassistenzsystemen und Automatisierungstechnologien deutlich stärker erforscht werden. Insbesondere die Erkenntnis, dass eine hohe Zuverlässigkeit des Systems, u.a. mit risikoerhöhenden bzw. sicherheitsreduzierenden Anpassungsreaktionen erkauft wird, die derzeit kaum von den Herstellern oder Nutzern oder den Vertretern der Behörden berücksichtigt oder auch nur wahrgenommen werden, müssen zukünftig umfassend analysiert werden. Es ist ansonsten sehr wahrscheinlich, dass die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Systeme bei der Unfallreduktion nicht ausgeschöpft werden und in unerwünschter Weise zu einer Veränderung des zukünftigen strukturellen Unfallgeschehens beitragen werden. Angesichts der unbestreitbaren Nützlichkeit einer technisch bedingten verbesserten Wahrnehmungsfähigkeit, sollte ihre Einführung daher unbedingt durch entsprechende Schulungs- und Unterweisungsmaßnahmen unterstützt werden, um den Nutzen eines solchen Frühwarnsystems erreichen zu können.

Das FRAMES-System wurde bis auf die Ebene eines Prototyps gebracht, für dessen Marktreife nun ein Verkleinerungsprozess und eine Vermarktung des Systems erfolgen müssten. Die Akzeptanz und das Interesse sind bei allen befragten und beteiligten Firmen und auch sonstigen Nutzern, sehr hoch.

Das FRAMES-System stellt mit seiner gleichberechtigten Kombination aus technischer Entwicklung und verhaltenswissenschaftlicher Basis ein Novum bei der Untersuchung hochentwickelter Assistenztechnologien im Bereich der Fahrerassistenz dar. Die Erkenntnis der Notwendigkeit der Fokussierung auf den zukünftigen Anwender und die Anpassung an dessen Verhaltensgrundlagen wird mit zunehmendem Leistungsumfang immer notwendiger, um unerwünschte Nebenwirkungen im vertretbaren Rahmen zu halten.

Für die betrieblichen Präventionsaufgaben sind diese Befunde sowie obligatorische weitergehende Untersuchungen im Arbeitsalltag und Straßenverkehrssituationen auf dienstlichen Wegen dringend angeraten.

Abstract

In the research and development project, an early-warning system was developed and tested to provide early warning of a potential accident, including the ability to provide concealed road users with hidden obstructions or other obstructions. This warning would be especially focused on "weak" users of roads on company properties or outside, such as pedestrians or cyclists. The double warning would help both participants to avoid accidents while car-based systems only warn one company of the potential accident. Thus the likelihood of avoiding accidents is greatly increased. At the same time, the repeatedly identified behavioral adjustments (risk compensation) were examined, as well as potential behavioral and design-based countermeasures for the technical system. Both goals have succeeded.

The system has been effectively validated in computer simulations, in controlled driving examinations with "dummy figures" as pedestrians and in real-life situations on a logistics company's premises. Reductions in the number of accidents could be measured, but increased impact speeds and lower brake forces. These findings were related to reduced risk perception and increased speed behavior when using the system. Such compensation also took place among the weaker road users, who grew in overconfidence on the system, namely the belief the vehicles would stop, even if they themselves were illegally stepping on the road. Several measures, training, design measures have been developed and tested.

It is precisely this area of human-machine interaction research that has to be faced with the constantly growing number of driver assistance systems and has to be put into action with appropriate training and instruction measures in order to achieve the full benefit of such an early warning system. A market maturity of the technical system would now have to take place after the prototype development of a reduction process and a marketing of the system. Acceptance and interest are very high among all surveyed and involved companies and other users.

This final report covers the research work of the second and third phases of the FRAMES project. In addition to the optimization and reduction of the technical system, typical in-house interactions of the different road user groups were carried out to generate the reference scenarios for the function and performance tests of the system. In addition to didactic-psychological measures, technical and environmental measures were also examined to determine whether and how undesirable behavioral adjustments can be reduced. Thus, it became clear that a high reliability of the system, goes in line with risk-increasing or safety-reducing adaptation reactions, which are currently hardly taken into account by the manufacturers or users or the representatives of the authorities. they are generally not even perceived as dangers, but are very likely to contribute to a change in the accident in an undesirable manner. With its equal combination of technical development and behavioral science basis, FRAMES is a novelty in the investigation of such systems and its conditions of use in the field of driver assistance. For occupational prevention tasks, therefore, these findings and further examinations in everyday work and road situations on official service are strongly advised.

1. TITEL UND LAUFZEIT DES PROJEKTES

Vollständiger Titel:

FRAMES - Frühwarnsystem zur adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung und Sicherheitsförderung Projektphase 2 und 3

Projektlaufzeit und Berichtszeitraum:

01.01.2014-31.12.2017 (Phasen 2-3)

2. GESAMTÜBERSICHT ZENTRALER ERGEBNISSE

Mit dem vorliegenden Projektbericht werden die Ergebnisse der Projektphasen zwei und drei des DGUV-Forschungsprojektes FRAMES (FP 667; Frühwarnsystem zur Adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung und Sicherheitsförderung) vorgelegt. Das insgesamt sechsjährige Projekt hatte die Entwicklung eines Assistenz- bzw. Frühwarnsystems zur Vermeidung der Entstehung von Verkehrsunfällen, insbesondere zwischen Fahrzeugen und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern zum Ziel.

Der dabei verfolgte Ansatz weist im Vergleich zu anderen Assistenzsystemen mehrere Besonderheiten auf. Eine Besonderheit besteht in der kooperativen Ausrichtung beim Bereitstellen von Warnungen vor sich anbahnenden kritischen Verkehrssituationen. Dahinter verbirgt sich die Idee, dass zur effektiven Verhinderung gefährlicher Verkehrssituationen, alle situativ beteiligten Verkehrsteilnehmer frühzeitig vor der Entstehung gefährlicher Verkehrssituationen, bzw. über potentielle Bedrohungen durch die Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer informiert werden. Damit ermöglicht das System jedem Beteiligten, die situative Bedrohung durch entsprechende Reaktionen zu reduzieren bzw. zu beenden.

Die technische Basis des Systems stellt der ETSI-ITS-G5 Standard dar, bei welchem es sich um die Zugangstechnologie für Frequenzbänder des intelligenten europäischen Verkehrssystems handelt und der somit die aktuelle und zukünftige Standardtechnologie der Car-to-X-Kommunikation zwischen unterschiedlichen Verkehrselementen (andere Fahrzeuge, Infrastruktur) darstellt. Entsprechende Umsetzungsvereinbarungen der europäischen Fahrzeughersteller liegen vor. Die dafür notwendigen technischen Komponenten werden dementsprechend in neuzugelassenen Fahrzeugen bereits verbaut. Das Aufsatteln des FRAMES-Systems auf einer zukünftig bereits serienmäßig in den Fahrzeugen enthaltenen Techniklösung, stellt hinsichtlich Ausrüstungskosten, Systemkompatibilitäten und Marktdurchdringung einen erheblichen Vorteil des FRAMES-Systems in Vergleich zu anderen extern entwickelten Assistenz- und Warnansätzen dar. Da ein interaktiv agierendes System aber nicht nur hohe Anforderungen an die technische Systemintegration stellt, sondern auch die menschlichen Nutzer, deren Anwendungsbereitschaft und Systemverständnis fordert, war es das Ziel, die technische Funktionsweise und die Nutzungsbedingungen, im Sinne einer menschengerechten Technikperspektive angemessenen an die Bedürfnisse, Fähigkeiten und Verhaltensvoraussetzungen der Nutzer anzupassen. Die Begründung für diesen zweiten Schwerpunkt liefern u.a. die Ergebnisse vieler Studien zur menschlichen Interaktion mit hochentwickelten Assistenz- und Automatisierungstechnologien. Diese Studien konnten

zeigen, dass beim Einsatz hochentwickelter Sicherheitstechnologien mit Reaktionen bzw. Verhaltensanpassungen der menschlichen Nutzer zu rechnen ist. Da diese Anpassungsreaktionen u.a. in Abhängigkeit von den Systemspezifika durchaus auch in eine sicherheitsreduzierende Richtung gehen können, haben diese Effekte bei nicht ausreichender Beachtung durchaus das Potential, den angestrebten Sicherheitsgewinn zu reduzieren oder zu nivellieren. Daher muss ein Assistenzsystem neben der technischen Zuverlässigkeit immer auch den menschlichen Nutzungs- und Verhaltensvoraussetzungen entsprechen, wenn es den möglichen Sicherheitsgewinn auch tatsächlich in der realen Anwendung erreichen soll. Daher bestand das Ziel darin, eine, für Systemnutzer, einfache, robuste, verständliche, zustandstransparente und zuverlässige Sicherheitstechnologie zur Verfügung zu stellen. Diese Kombination ist letztlich nur durch eine nutzerorientierte Entwicklungsperspektive zu erreichen, was seit dem Beginn des Forschungsprojektes und immer noch, einen neuartigen Ansatz im Bereich der verkehrsbezogenen Assistenz und Automatisierung darstellt.

In der Zusammenschau lassen sich die Ergebnisse des gesamten FRAMES-Projektes und insbesondere der zweiten und dritten Projektphase wie folgt zusammenfassen:

Nachdem bereits die ersten Machbarkeitsanalysen und deren Ergebnisse in der ersten Projektphase 2012/13 aufzeigten, dass das technische System hinsichtlich der erreichbaren Positionsgenauigkeit und -aktualität und der erreichbaren Vorwarnungszeiten durchaus zur angestrebten Unfallreduktion geeignet erschien und sich auch das Potential einer kombinierten technischen und verhaltensbezogenen Entwicklung zeigen ließ, wurde mit Beginn der zweiten Phase die technische Weiterentwicklung des Systems vorangetrieben.

Ebenso wurden die innerbetrieblichen Verhaltensanalysen zur Absicherung der Test- und Referenzszenarien aus der ersten Phase, weiter intensiviert. Die daraus gewonnenen Daten wurden zur Testung des FRAMES-Systems verwendet. Neben der ursprünglichen Analyse von Betriebsgeländen von Logistikunternehmen konnte das eigens entwickelte Instrumentarium auch erfolgreich auf andere Arten innerbetrieblicher Verkehre (insbesondere strukturell stadtdähnliche Großgelände) ausgeweitet werden. Es bestätigten sich die Erkenntnisse, dass die typischen Interaktionen zwischen nichtmotorisierten und motorisierten Verkehrsteilnehmern aus der Logistik- und Entsorgungsbranche auch in anderen Umgebungen zu finden sind, gleichzeitig erweiterten sie diese v.a. um Erkenntnisse zum innerbetrieblichen Radverkehr. Ein weiterer positiver Nebeneffekt war, dass sie damit auch bei den beteiligten Unternehmen zu einem vertiefenden Verständnis der eigenen innerbetrieblichen Verkehrsstrukturen und -prozesse beitrugen. Die entwickelten Instrumente und Konzepte und deren Ergebnisqualität, können dabei als ein weiteres positives Ergebnis des Forschungsprojektes gelten. Eine Weiterentwicklung dieses modularen Analysebaukastens, ist angesichts der messbaren Verbesserungen der innerbetrieblichen Verkehrsflüsse und der Verringerung kritischer Verkehrssituationen, auch unabhängig von FRAMES empfehlenswert. Die Leistungsfähigkeit des Instrumentariums wurde durch die beteiligten Unternehmen bestätigt und konnte darüber hinaus auch im Rahmen von Prä-Post-Analysen nachgewiesen werden.

Um eine intensive Analyse von möglichen Technikeffekten zu ermöglichen, wurden in den beiden abschließenden Projektphasen ebenfalls mehrere computerbasierte Fahrexperimente durchgeführt. Die Zielstellung bestand darin, das Wissen über mögliche Konsequenzen einer solchen Warnsystemnutzung für das menschliche Fahrverhalten weiter aufzuklären. Hierfür wurden mehrere der extrahierten Referenzszenarien aus den o.g. Analyseschritten in eine eigens geschriebene Computersimulation übersetzt und im Zuge

eines spielähnlichen Szenarios unter Veränderung einer Vielzahl von Randparametern getestet.

Da die Ergebnisse von Simulationen allein aufgrund des anderen Settings immer nur begrenzte Gültigkeit für die Realität besitzen können, bildeten Realfahrexperimente den Abschluss des Verhaltensanalyseteils. Um die Referenzszenarien für die Teilnehmer der Experimente weitestgehend realistisch und plausibel zu gestalten wurde ein Fußgängersimulator entwickelt, der unter Zuhilfenahme einer elektrischen Zugseilkonstruktion und mehrerer Sensorsysteme den Test des Systemeffektes und in einer zweiten Ausbaustufe sogar ein kompetitives Szenario zwischen zwei menschlichen Teilnehmern (Fußgänger und Fahrzeug) ermöglichten. Auch diese Konstruktion wurde auf mehreren Betriebsgeländen unter hohem Aufwand in verschiedenen Varianten durchgeführt, was aktuell ebenfalls hinsichtlich Konstruktion, getesteten und beantworteten Fragestellungen, Durchführungsstabilität und Ergebnisqualität bzw. -menge einzigartig sein dürfte.

2.1. Weitere Ergebnisse

1. Die vorgenommenen technischen Weiterentwicklungen und Anpassungen (kontinuierliche Systemverkleinerungen und geringerer Stromverbrauch zur Erhöhung der Nutzbarkeit und zur Anwendungsflexibilisierung, Genauigkeitsverbesserungen) wurden erfolgreich umgesetzt. Das System ist deutlich verkleinert und leichter, darüber hinaus der prototypähnliche Abschlussentwurf zu Demonstrationszwecken bereits in eine Warnweste integriert und testweise genutzt. Hinsichtlich der mobilen Nutzungsmöglichkeiten im innerbetrieblichen Einsatz zeigte sich, dass v.a. die zunehmende Verkleinerung des Systems und der geringere Energiebedarf der Komponenten, die mobile Einsetzbarkeit des Systems (v.a. hinsichtlich Tragbarkeit und Einsatzzeiten) verbessern konnten. Es ist zu erwarten, dass sich angesichts der in der Projektlaufzeit rasant fortschreitenden technischen Standards, weitere Optionen zu weiteren Nutzungsverbesserungen zeigen werden.
2. Die technische Eignung eines auf ETSI-IST-G5 basierenden Ansatzes zur sichtunabhängigen Positionierung und Identifizierung potentieller Unfallgegner ist nach den Projektergebnissen ebenfalls gegeben, der Informationsaustausch zwischen den beteiligten Systemnutzern erfolgte in den getesteten Versuchsdurchgängen hinreichend schnell und konnte zur verlässlichen Berechnung von Positions- und Bewegungsvektoren bzw. zur Kollisionsbereichsprognose verwendet werden.
3. Die Ursprungsidee einer frühzeitigen Identifikation von Gefährdungen und der gegenseitigen Warnung der Beteiligten bereits in der Anbahnungsphase einer Gefährdung, hat sich ebenfalls bewährt. Fahrzeugführer werden bereits vor dem Erscheinen eines Fußgängers im Sichtbereich über dessen Anwesenheit und Gefährdung informiert und können frühzeitig reagieren. Den demgegenüber deutlich höheren Bewegungsfreiheitsgraden der Fußgänger/Radfahrer, wird durch die kooperative Warnung erstmals effektiv Rechnung getragen, was das Unfallvermeidungspotential des Systems deutlich verbessert. Mit dem nun vorliegenden Projektabschluss kann geschlussfolgert werden, dass die Eignung des Ansatzes der kooperativen Warnung für die Gefahrensituationsvermeidung für unterschiedliche Szenarien als hinreichend gut belegt angesehen werden kann.
4. Die bereits angesprochene hohe Innovationsgeschwindigkeit im Bereich der automobilen Assistenz- und Automatisierungstechnologien erzeugte im Verlaufe der letzten vier Jahre (der Phasen 2 & 3) auch immer wieder Anpassungsnotwendigkeiten des FRAMES-Systems an die veränderten technischen Schwerpunktsetzungen und die gesetzlich-gesellschaftlichen Rahmenbedingungen bzw. die Projektziele. So wurden einige der ursprünglich geplanten

Einsatzbereiche des Systems während des Projektverlaufs zugunsten der Fokussierung auf den innerbetrieblichen Einsatzbereich zurückgestellt. Die damit einhergehende Anpassung der relevanten Nutzungsszenarien (bspw. durch die deutlich stärkere Ausrichtung auf das Rückwärtsfahren und Rangieren, veränderte Umgebungsbedingungen und andere Verkehrsteilnehmergruppen und deren Merkmale, stellten bis zum Projektende eine erhebliche Herausforderung für die Einsatzzuverlässigkeit des Systems dar.

5. Schwierigkeiten ergaben sich bei dem System aus den hohen Anforderungen für eine dauerhafte genaue Positionierung mittels GPS etc. und den Eigenschaften der, zur Kommunikation zwischen den Systemen der Verkehrsteilnehmer, verwendeten Funkübertragungen. Sowohl die Positionierung als auch die Kommunikation werden hierbei durch die zumeist hohen und engen Bebauungen, das Vorhandensein von massiven Metallobjekten (z.B. Rohrsysteme, Container, Metallverkleidungen von Gebäuden etc.) teils massiv beeinflusst. Auf Basis verschiedener Anpassungen konnten hierbei umfassende Stabilisierungsverbesserungen erreicht werden, allerdings stellten die geschilderten Gegebenheiten bis zuletzt Hindernisse für die Systeme dar.
6. Entsprechend ist festzustellen, dass während des Einsatzes eines solchen Systems durchaus mit Systemausfällen und Ortungsungenauigkeiten gerechnet werden muss. Einen Ausweg bei solchen ungünstigen Bedingungen bieten zwar lokale Signalverstärker bzw. Ortungsanker, was aber wiederum eine finanzielle Mehrbelastung für die Unternehmen bedeuten könnte. Zwar werden diese Systeme zukünftig Teil der Verkehrsinfrastruktur sein, es ist allerdings zu erwarten, dass eine flächendeckende Abdeckung in innerbetrieblichen und innerstädtischen Bereichen erhebliche Zeiträume benötigen wird.
7. Weitere potentiell kritische Resultate haben die von Beginn an postulierten verhaltensadaptiven Effekten bei den Systemnutzern ergeben. Hierzu kann festgestellt werden, dass eine durch den menschlichen Systemnutzer wahrgenommene und als zuverlässig akzeptierte technisch-interaktive Sicherheitserhöhung, vergleichsweise schnell Verhaltensanpassungen bedingt, die zu weniger aktiv-eigensichernden Verhaltensweisen und sicherheitsbeeinflussenden Effekten der Verantwortungsdiffusion hin zum überwachenden Assistenzsystem (des eigenen und dem des potenziellen Kollisionsgegners) führen.
8. In mehreren Experimenten wurde deutlich, dass die Probanden der „technisch gestützten Sicherheitssteigerung“ vertrauen, was unmittelbaren Einfluss auf das Eigensicherungsverhalten zu haben scheint. Dies äußert sich bspw. in verringerter Bremsbereitschaft, geringerer Bremsstärke, einem stärker reaktiven Verhalten während des Fahrens; bei Fußgängern: offensivere Lauf- und Straßenüberquerung, weniger Blickbewegungen in den kreuzenden Fahrbereich etc.).
9. Es wurden erstmalig Erkenntnisse über das Verhalten von Fußgängern und Radfahrern im Betrieb in Wechselwirkung mit Frühwarnsystemen gewonnen und ein Instrumentarium geschaffen, solche Bewegungs- und Verhaltensmuster zu erfassen. Dabei stellt sich heraus, dass die schwächeren Verkehrsteilnehmer sehr ähnlich zu den Fahrzeugnutzern reagieren.
10. Völlig neu sind auch die Erkenntnisse darüber, wie sich die Verkehrsteilnehmer verhalten, wenn eine wechselseitige Nutzung erfolgt, also beide Verkehrsteilnehmergruppen ein System haben oder auch nur glauben, dass der andere über ein solches verfügt. In beiden Fällen steigt die Erwartung, der Andere solle sich anpassen und vorsichtiger verhalten, während das eigene Verhalten in die risikoorientierte, schnellere, unaufmerksamere oder anders kompensierende Verhaltensweise umgewandelt wird!
11. Darüber hinaus hat sich der Verhaltensbezogene Teil des Projektes mit der Frage beschäftigt, wie diese unerwünschten Effekte reduziert werden können und dazu in Simulationen und Realsituationen eine Reihe von Möglichkeiten entwickelt.
12. Zum Beispiel scheinen Informationen zum wahrscheinlichen Verhalten, zu den Grenzen des Systems und der zu erwartenden Reaktionen eine Wirkung zu zeigen, was Konsequenzen für

generelle Sicherheitsunterweisungen, aber auch für spezifische individuelle Situationen, z.B. beim Auffahren auf das Werksgelände, bei der Nutzung eines Dienstfahrzeuges mit Frühwarnsystemen etc. hat.

13. Die weiter oben dargelegte Problematik einer dauerhaft hochgenauen Ortung, kann vor diesen Ergebnissen nun ggf. auch anders interpretiert werden, da eine dauerhaft korrekte Ortung und inkl. korrekter Frühwarnung ggf. den „Sicherheitsgewöhnungseffekt“ noch verstärkt. Dies würde dann im Umkehrschluss bedeuten, dass die durch Systemausfälle induzierte Unsicherheit bei den menschlichen Nutzern zu einer längeren eigenständig-aktiven Aufmerksamkeit und Situationsüberwachung führt. Allerdings kann auch Misstrauen resultieren, was letztlich aber auch in einer stärkeren Verantwortungsrückübernahme für die Fahraufgabe resultieren dürfte. Da sich die geschilderten Effekte erheblich variabel und vielgestaltig zeigen, sind weitere intensive Auswertungen unabdingbar, da die Konsequenzen der Effekte unmittelbare Auswirkungen auf die Art, den Umfang und die Strukturen des zukünftigen Unfallgeschehens haben werden.
14. Ein weiterer technischer Lösungsansatz könnte demnach in der kontrollierten temporären Inaktivierung des Warnsystems mit Rückübergabe an den menschlichen Verkehrsteilnehmer liegen. Dieses Verfahren wird aktuell von den meisten Assistenz- und Automatisierungssystemen bei Unklarheiten zum Systemstatus und der Funktionsgüte angewendet. Aus Perspektive der Verkehrssicherheit wäre es zwar wünschenswert, zwei aktive und funktionierende Systeme gleichzeitig zu betreiben, allerdings ist es angesichts der hier vorliegenden Befunde zumindest sehr naheliegend, dass der menschliche Nutzer seinen Kontrollaufwand bei funktionierender Technik bis zum Erreichen eines individuell tolerablen „Gefährdungsniveaus“ anpasst.
15. Schließlich wurden Designkriterien des endgültigen Systems entwickelt, die verschiedene Schulungs- und Warnungssysteme integrieren und somit die positiven unfallreduzierenden Wirkungen verstärken könnten, wenn sie dementsprechend produziert werden können.
16. Die alltägliche Nützlichkeit und Verbreitungsmöglichkeit eines solchen Systems muss jedoch genauso vertiefend in Zukunft analysiert werden, wie die Fülle an Reaktionsmöglichkeiten im Betrieb, z.B. unter hohem Zeitdruck. In der Akzeptanzbefragung dazu drückten mehrere Unternehmen, Verbände und Hersteller großes Interesse aus, dies einzusetzen, ohne jedoch die notwendigen Forschungsmittel bereitstellen zu können oder zu wollen.

3. FORSCHUNGSZWECK UND ZIELSTELLUNG

3.1. Einleitung und Überblick

Seit einigen Jahren werden von den verschiedensten Seiten große Bemühungen unternommen, um die Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation zur Vermeidung von Unfällen und zur erhöhten Verkehrseffizienz zu optimieren. Das Projekt FRAMES setzt mit seiner Konzeption und Zielstellung jedoch genau an den Stellen an, die andere Akteure in diesem Rahmen nur unzureichend berücksichtigen.

Denn leider werden bei all diesen Verfahren die schwächeren Verkehrsteilnehmer - Fußgänger und Radfahrer – zum Teil gar nicht oder nur ungenügend berücksichtigt, weshalb das Projekt FRAMES einerseits dazu dient, eben auch diese Zielgruppen vom technischen Fortschritt sicherheitlich profitieren zu lassen. Andererseits sollen auch die verhaltensbezogenen Anpassungen der Nutzer solcher Systeme betrachtet werden, um so die oftmals vorzufindende rein technikfokussierte Perspektive um den für das Sicherheits- bzw. Risikopotenzial elementaren menschenbezogenen Verhaltensaspekt zu erweitern. Hier besteht allgemein, besonders aber auch bezüglich der Gruppe der schwächeren Verkehrsteilnehmer, ein erhöhter Forschungs- und Schutzbedarf.

Eine Vielzahl von 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. Teil des Projektes, den die Forschungspartner der Professur für Kommunikationstechnik der HTW des Saarlandes dabei übernahmen, war die zur Systementwicklung notwendige Technologie zu erweitern und anzupassen, bei gleichzeitiger Nutzung der europaweiten Standards und Planungen für die Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation (ETSI-G5 802.11p).

Die Erforschung der verhaltenswissenschaftlichen Daten und Maßnahmen zur Prävention, hier insbesondere die Problematik der Risikoadaptation, das heißt, dass Fahrzeugführer und auch Radfahrer und Fußgänger sich durch ein System sicherer fühlen und daraus resultierend beispielsweise schneller oder unaufmerksamer fahren und dabei Menschen oder Fahrzeuge ohne Transponder übersehen, wurde vom Lehrstuhl für Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie der FSU Jena übernommen. In diesem interdisziplinären Ansatz sollte dem Mangel an einer notwendigen ganzheitlicheren Betrachtung durch den gemeinsamen technik- und menschenzentrierten Fokus Rechnung getragen werden, um somit das Sicherheitspotenzial hochmoderner Technologien auch zum Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer frühzeitig nutzen zu können.

3.2. 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 betreffen. 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 ein Gewinn 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.

3.3. Erwartete Ergebnisse und praktische Umsetzung

Das Projekt hat zum Ziel, ein zuverlässiges technisches Assistenzsystem zur Unfallverhütung zu entwickeln. In Ergänzung zu den Ansätzen der Automobilindustrie und deren Zulieferern liegt der Fokus von FRAMES auf dem Schutz der so genannten schwächeren Verkehrsteilnehmer (Radfahrer, Fußgänger).

Aufgrund der hohen technischen Anforderungen an ein solchen Systems u.a. aufgrund der gänzlich anderen Bewegungsmerkmale dieser Gruppen im Vergleich zu Fahrzeugen, werden im Zuge der drei aufeinander aufbauenden Projektphasen normative und kritische innerbetriebliche Verkehrssituationen ausgewertet und als Referenzszenarien während der Technikentwicklung verwendet.

Aufgrund der besonderen Umgebungsbedingungen vieler Betriebsgelände, der vergleichsweise hohen Kontaktdichte zwischen Fahrzeugen und nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern auf Betriebsgeländen und der besonderen Komplexität bei deren Interaktionen im Rahmen von Rückwärtsfahr- und Rangiermanövern, wird der Einsatznutzen in bspw. strukturell ähnlichen öffentlichen Einsatzbereichen (Bsp.: unübersichtliche Verkehrsbereiche mit Mischverkehren, innerstädtische Bereiche mit eingeschränkter Fußwege- und Fahrbahntrennung oder unübersichtliche Verkehrsbereiche mit plötzlichen Verkehrsspitzen wie Schulen, Kindergärten etc.) bei der Konzeption des Systems in allen Entwicklungsschritten mitberücksichtigt.

Um zukünftige Ausweitungen der Anwendungsbereiche des Systems außerhalb des betriebsinternen Kontextes zu vereinfachen, werden u.a. auch die Unfalldaten- und Literaturanalysen sowie die betrieblichen Verkehrsanalysen genutzt, um die Vergleichbarkeit zwischen diesen Verkehrsbereichen zu bestimmen.

Da das innerbetriebliche Verkehrsgeschehen aufgrund seiner spezifischen Merkmale zusätzliche Gefährdungslagen und andere Interaktions- und Unfallarten beinhalten kann, wird die Technik so konzipiert, dass sie bspw. durch den zusätzlichen Betrieb stationärer Transponder auch eingesetzt werden kann, um Unfälle bspw. an Beladungsrampen oder temporär zeitgleich hoch frequentierten Verkehrsbereichen (Peaks) zu vermeiden.

Die gewonnenen Bewegungs- und Verhaltensmuster können zusätzlich zu Auslastungsanalysen des Betriebsgeländes, zur Vermeidung von Stausituationen in

Verkehrsspitzenzeiten, zur Verhütung von Beinaheunfällen und Unfällen dienen, da sie einen tieferen Einblick in die Verkehrsstrukturen und -prozesse und das tägliche Verkehrsverhalten unterschiedlicher Verkehrsteilnehmergruppen vermitteln und somit bauliche, organisatorische oder edukative Präventions- bzw. Umgestaltungsmaßnahmen ermöglichen, die über die Leistungsfähigkeit eines reinen Frühwarnsystems hinaus gehen.

Vor dem Hintergrund der immer leistungsfähigeren und lebensbereichsübergreifenden technischen Systeme ergeben sich zukünftig verstärkt Fragen beispielsweise zu den Themen Verhaltensanpassung der menschlichen Nutzer, Risikoerhöhung und Nettonutzenmaximierung, Sicherstellung einer normativen Nutzung, Reduzierung von Fehlnutzungen. Die Frage der ggf. sicherheitsverringenden Verhaltensveränderungen an hochentwickelte technische Systeme, die Unfallversicherungsträger bereits seit längerer Zeit beschäftigt und auch in der Vergangenheit in anderen Forschungsprojekten erforscht wurde, kann FRAMES aufgrund seiner umfassenden Verhaltensanalysen zur Beantwortung einer Vielzahl sicherheitsrelevanter Fragen, für den Verkehrsbereich erste Hinweise und ggf. Daten sowie darauf aufbauende Erkenntnisse liefern. Eine Auswahl der aktuellen und besonders zukünftig drängendsten Themen im Bereich des Straßenverkehrs sind:

1. Ausmaß der Verantwortungsabgabe, Ablenkungsneigung und der reduzierten Aufmerksamkeit durch Verantwortungsdiffusion und/oder Übervertrauen in die Sicherheitstechnologien
2. Funktions- und Leistungsumfänge der Systeme und ggf. darauf aufbauende Missverständnisse auf Seiten der menschlichen Nutzer inkl. daraus potentiell erwachsene Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits- und Verhaltenskonsequenzen
3. Anforderungen an die Technik und den menschlichen Nutzer bei Mensch-Technik-Interaktion zur Maximierung des Nettonutzens
4. Schulungs- bzw. Präventionskonzepte zum Erhalt der Eigen- und Fremdsicherungsmotivation bei menschlichen Nutzern hochentwickelter und zunehmend eigenständig entscheidender und agierender Technologien
5. Anforderungen an die manuellen Fahrfähigkeiten kommender Fahrergenerationen im Rahmen berufsbedingter Mobilität und Konsequenzen für die Prävention,
6. Ansätze zur Analyse der Art und Richtung potentieller Kompetenz- und Fähigkeitsverluste bei mobil tätigen Mitarbeitern aufgrund technikzentrierter Teilaufgabenautomatisierung,
7. Anforderungen an die Präventionsinhalte der Unfallversicherer angesichts der Teilauslagerung von Verantwortlichkeiten und damit einhergehender eigensicherungsbezogener Passivität der Mitarbeiter
8. Präventionsbezogener Umgang mit den Sicherheitsanforderungen von Mischflotten aus manuellen, assistierten und zunehmend automatisierten Fahrzeug
9. Eine Übertragung der Technik auf andere betriebliche Geländearten bzw. 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.
10. Die Projektergebnisse können die Unfallversicherungsträger dabei unterstützen, konzeptionelle Fragen zur Art der zukünftigen Unfallprävention bei der Benutzung hochkomplexer technischer Systeme im Arbeitskontext bzw. im Rahmen der beruflichen Mobilität zu entwickeln.

4. AUSGANGSBASIS UND PROBLEMSTELLUNG

Das Forschungsprojekt FRAMES wurde in drei Projektphasen unterteilt. Projektphase 1 (Machbarkeitsanalyse) wurde als erste eigenständige Projektphase im Jahr 2012 begonnen und 2013 mit Vorlage eines Abschlussberichts beendet. Nach Prüfung der Ergebnisse wurden durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung Anfang 2014 die zweite und dritte Projektphase genehmigt, so dass der hier vorliegende Abschlussbericht die Ergebnisse dieser beiden Projektphasen umfasst. Eine detaillierte Berichtlegung der Forschungstätigkeiten und der Ergebnisse aus Phase 1 (November 2011-Dezember 2013) kann im dazu gehörigen Abschlussbericht nachvollzogen werden und werden hier nur punktuell berichtet.

Die Ergebnisse der ersten Phase zeigen sehr deutlich, dass die Erkennung und wechselseitige Frühwarnung (kooperativer Warnansatz) miteinander in Konflikt tretender Verkehrsteilnehmer potentiell einen signifikanten Beitrag zur Unfallverhütung leisten kann. Diese wird durch die Erkenntnisse des betrieblichen Unfallgeschehens, den Unfallzahlen der Berufsgenossenschaften und von den eigens für FRAMES durchgeführten Verhaltensbeobachtungen in unterschiedlichen Testunternehmen, bestätigt.

Die Ergebnisse zum Laufverhalten von Fußgängern zeigten zunächst, dass dieses durch eine hohe Bandbreite von Personenmerkmalen (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.).

Im Rahmen der Entwicklung von Methoden zur Verhaltensvorhersage von Fußgängern müssen daher die Variablen und Merkmale identifiziert werden, die zu einer effizienten Kurzzeitvorhersage des Verhaltens benötigt werden. Zu diesem Zweck wurden während der Phasen 2 und 3 mehrere Varianten der Kurzzeitvorhersage innerhalb der Forschungsgruppe diskutiert und im Rahmen einer wissenschaftlichen Abschlussarbeit der HTW überprüft. Weitere Informationen sind den entsprechenden Abschnitten des vorliegenden Berichts (vgl. u.a. Abschnitt 7.8) zu übernehmen.

Zum Einsatz eines positionsbestimmenden und ggf. vor anderen Verkehrsteilnehmern warnenden Systems im innerbetrieblichen Bereich wird festgestellt, dass dieser Ansatz aufgrund der häufig produktionszweckoptimierten engen Bebauung und der damit einher gehenden veränderten Sichtbarkeit der Fahrbereiche und der Vielzahl anspruchsvoller Fahrmanöver bzw. komplexer Bewegungsstrukturen, erhebliches Potential für Verbesserungen in der betrieblichen Verkehrssicherheit beinhaltet.

Aus Unfallanalysen im öffentlichen Straßenbereich ist bekannt, dass ca. 60% der Unfallursachen auf einen fehlenden Informationszugang der Betroffenen (bspw. Sichtbehinderungen) oder fehlerhafte Informationsaufnahmen durch bspw. Ablenkung und abweichende Aufmerksamkeitsfoki verursacht werden (Graab et al., 2006; Chiellino, 2010). Da das FRAMES-System die Nutzer bei korrekter Funktion vor relevanten Gefährdungen

warnet und gefährdungsbezogene Ortsinformationen anbietet, wird grundsätzlich die Wahrnehmungsfähigkeit der menschlichen Nutzer erhöht und diese gleichzeitig auf die relevanten Kontextinformationen gelenkt (Aufmerksamkeitssteigerung).

Einschränkend sei diesbezüglich aber auch auf etwaige Verhaltensanpassungen an das System, den Einfluss der wahrgenommenen Systemzuverlässigkeit auf das Beachten der Warnungen, die Bedeutung der jeweiligen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und die ggf. abweichende innerbetriebliche Verkehrsumgebung verwiesen. Diese Aspekte des Technikeinsatzes können die oben genannten Vorteile bei unangemessener Konzeption reduzieren. Da ein Teil der genannten Themen auch Fragestellungen des FRAMES-Projektes darstellt, werden sie in den nachfolgenden Abschnitten weiter beleuchtet.

Bezüglich der Risikokompensationseffekte verdeutlichen die Literatur- und Experimentalanalysen aus Phase 1, dass bei Einführung bzw. Nutzung eines Frühwarnsystems zur adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung auch mit negativen Verhaltensadaptionen 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 Basis dieser Ergebnisse stellen sich für Folgeuntersuchungen daher zahlreiche Aufgaben, die die Vermeidung derartiger Effekte betreffen.

Als relevante Referenzszenarien werden neben den Rangiersituationen auch andere alltägliche innerbetriebliche Verkehrssituationen und -interaktionen von motorisierten Fahrzeugen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern herangezogen und analysiert. Das Risikokompensationsverhalten von Fußgängern und Radfahrern und die Interaktion dieser mit den Fahrzeugen werden experimentell und auf Betriebsgeländen getestet.

Ein weiteres Hauptaugenmerk liegt auf der Untersuchung, wie die schon 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 variierenden Komponenten darstellen. Andererseits sind auch konstruktionsunabhängige Faktoren und deren Wirkung auf das Auftreten von Kompensationseffekten zu betrachten. Dazu gehören beispielsweise die Systemeinführung und Schulungen im Umgang mit diesem. 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.

Bezogen auf das technische System zeigen die Untersuchungen der ersten Phase den Bedarf einer weiteren deutlichen Verkleinerung und Förderung auf, damit es den potentiellen Nutzen entfalten kann. Der Technologiefortschritt ist so rasant, dass die Ortungsgenauigkeit vom Projektbeginn bis zum Abschluss der ersten Phase (2011-2013) von ca. 5 Metern auf 50 cm in 95% der Fälle gesteigert wurde.

Um an diesen Technologieschüben teilzuhaben und sie zu integrieren, war es von essentieller Bedeutung das Projekt kontinuierlich in Phase 2 und 3 weiter zu führen. Ziel sollte es sein, den aus den unter Beteiligung der HTW erwarteten Input der Forschungsprojekte simTD und CONVERGE (zwischenzeitlich beendet) zu nutzen, um das

FRAMES-System hier anzupassen und die Standardisierung der Technologie voranzutreiben, damit das System zur europaweiten Einführung integriert werden kann.

5. VORHABENSZIELE UND FORSCHUNGSFRAGEN

Zur Umsetzung der für die Phasen 2 und 3 formulierten übergeordneten Meilensteine und Gesamtprojektziele, sind die folgenden konkreteren Forschungsfragestellungen formuliert worden, die die einzelnen Technikthemen als auch die präventions- und verhaltensbezogenen Teilaspekte genauer spezifizieren und im Rahmen des Projektverlaufs beantwortet wurden.

5.1. Technikfragen

1. Welche Technik- und Übertragungsbesonderheiten gelten in den jeweiligen Einsatzumgebungen und wie können sie überwunden werden?
2. Welche technischen Voraussetzungen muss ein Serien-Frühwarnsystem erfüllen?
3. Welche Fehlertoleranzen sind zu erwarten und wie ist damit umzugehen?
4. Ist mit Überschneidungen/Störungen durch andere Anwendungen der Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation zu rechnen, bzw. wie lassen sich diese vermeiden?
5. Wie lässt sich das FRAMES-System in ETSI ITS G5 Systemen integrieren?
6. Wie können verschiedenste Transpondersignale z.B. bei stehenden, gehenden und im Fahrzeug sitzenden Personen unterschieden werden?
7. Wie werden die Bewegungsrichtung und schnelle Richtungswechsel gemessen/angezeigt?
8. Wie wird auf sehr schnelle Richtungswechsel reagiert?
9. Wird der Transponder durch tragbare elektrische Geräte und Metallteile beeinflusst/verdeckt?
10. Was passiert mit Meldungen von Personen auf dem Fahrrad, wenn das Fahrrad selbst nicht mit einem Transponder ausgerüstet ist?
11. Gibt es Signalprioritäten, wenn Fahrrad /Auto/ Motorrad und Nutzer mehrere Signale senden? Stellt dies für die verwendete Technologie überhaupt ein Problem da?
12. Wie lange brauchen unterdrückte Signale (z.B. am Bus) um wieder anzuspringen?
13. Wie werden die Signale im fahrenden oder stehenden LKW, PKW, Gabelstapler an den unmittelbar Vorbeifahrenden gemeldet bzw. gefiltert?
14. Wie ist die Nutzung bei Fahrzeugwechsel bzw. Ein-Ausstieg geplant? Wird es technische Unterstützungen, automatisches Ein-Ausschalten geben?
15. Wie wird die Fülle unterschiedlicher Signale ohne Elektronik der Teilnehmer unterschieden, also wie erfährt der PKW ob sich ein Fahrrad, Fußgänger, Roller etc. nähert und ob die Person älter, oder z.B. gehbehindert ist?
16. Wann ist das Signal verdeckt oder zu schwach?
17. Welche Geräte stören den Empfang?
18. Was ist bei Regen oder Schnee?
19. Wie häufig sind Fehlmeldungen? Falsch positive oder negative?
20. Wie häufig werden Fehlmeldungen und echte vom Fahrzeugnutzer verwechselt?

5.2. Verhaltensfragen

1. Welche besonderen Gefährdungen zwischen Fahrradfahren, Fußgängern und Fahrzeugen gibt es im Werksalltag und was verursacht sie?
2. Welche Verursachungsfaktoren können durch ein Transponder-Frühwarnsystem vermieden oder reduziert werden?
3. Welche besonderen Merkmale der Zielgruppen müssen berücksichtigt werden?
4. Welche Verhaltens- und Ausrüstungsvoraussetzungen müssen die Nutzer erfüllen?
5. Wie können die Verhaltensmuster in mathematische Algorithmen verwandelt werden?
6. Welche Erwartungen stellen Nutzer, Präventionsfachleute, Forscher an das System?
7. Wie verändert sich das Verhalten im Realkontext gegenüber den Verhaltensadaptationen im Experiment?
8. Wie können Risikokompensations-/Verhaltensadaptionsprozesse reduziert oder ganz ausgeschaltet werden?
9. Was passiert, wenn sich viele Teilnehmer bewegen, aber einige davon plötzlich auf den Fahrweg treten?
10. Welche Warnsignale an den Fußgänger/Radfahrer werden berücksichtigt/ignoriert?
11. Verlassen sich die Nutzer darauf, erkannt zu werden (z.B. Gabelstaplerfahrer)
12. Wie lange ist die optimale Vorwarnzeit, um einerseits noch reagieren zu können und andererseits nicht wieder abgelenkt zu werden?
13. Wie reagieren die Geräte im Stehen- werden sie z.B. abgeschaltet?
14. Wie werden diese Warnsignale dargeboten? (Vibration, Sprache)
15. Kann der Transponder beliebig zwischen verschiedenen Fahrzeugen und Personen transportiert werden?
16. Wie wird eine Frühwarnung der Radfahrer und Fußgänger (z.B. durch Vibration) technisch machbar und wird sie von den Nutzern auch akzeptiert?
17. Wie werden falsch gebrauchte Transponder, im Fahrzeug liegende, defekte und teil-defekte Transponder im System wirksam?
18. Wie werden Nutzer ohne Transponder wahrgenommen bzw. übersehen?
19. Wie verhalten sich Personen, die kein Gerät haben und mit Gerätträgern unterwegs sind und wie reagieren Fahrer, wenn Nicht-Geräteträger auftreten?
20. Kann in einem Demonstrationsversuch die Nützlichkeit im innerbetrieblichen Verkehr in typischen Unfallsituationen nachgewiesen werden?

Aus diesen einzelnen Forschungsfragen ergeben sich die folgenden übergeordneten Vorhabensziele und Meilensteine, an denen sich das Projektvorgehen orientierte. In den nachfolgenden Abschnitten „Methodik“ und „Ergebnisdarstellung“ kann die Struktur hiervon abweichend, wenn es zugunsten der Lesbarkeit und Verständlichkeit und aufgrund der phasenübergreifenden Teilaufgabenbearbeitung zur Erreichung der Vorhabensziele sinnvoll erschien.

Tabelle 1. Tabellarische Übersicht der Vorhabensziele der Phasen 2 und 3

Vorhabensziele der Phase 2 (2014-2015)	Erfassung der Verhaltenswerte von Fahrradfahrern und Fußgängern im Betrieb
	Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer im Experiment
	Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer in der Simulation
	Testlauf des Systems unter kontrollierten Realbedingungen im Logistikunternehmen
	Prototyp-Verbesserung I: Erhöhung der Messgenauigkeit
	Prototyp-Verbesserung I: Reduktion des Systems in Größe und Gewicht
Vorhabensziele der Phase 3 (2016-2017)	Kooperationsnetzwerk mit Sicherheitsexperten, Herstellern und Fahrzeugfirmen
	Übertragung der Verhaltensdaten in Algorithmen des Transpondersystems
	Entwicklung und Testung einer Methodik zur Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen im interaktiven kontrollierten (Betriebs-)alltag / simulierten Realkontext
	Entwicklung und Testung einer Methodik zur Reduktion der Risikokompensation im Experiment im Experiment und kontrollierten (Betriebs-)alltag/simulierten Realkontext
	Prototyp-Verbesserung II: Erhöhung der Messgenauigkeit
	Prototyp-Verbesserung II: Reduktion des Systems in Größe und Gewicht

6. METHODIK DER DURCHGEFÜHRTEN FORSCHUNGSARBEITEN

Die nachfolgende Darstellung (vgl. Tabelle 2) ist eine Gegenüberstellung der anfänglichen Zeitplanung und der tatsächlichen Zeiträume zur Umsetzung der Vorhabensziele/Meilensteine während der Projektlaufzeit.

Die dabei bis September 2016 aufgeführten Abweichungen beim Übergang zwischen Phase zwei und drei stellen lediglich eine zeitliche Verschiebung von den im Projektantrag (2013) beschriebenen Zielen dar. Anpassungen in den Projektzielen wurden ausschließlich in den turnusmäßig stattfindenden Sitzungen des Fachbeirates mit der Forschungsgruppe diskutiert und gemeinsam beschlossen.

Tabelle 2. Gegenüberstellung der zeitlichen Planungs- und Durchführungsabfolge der Arbeitspakete

Arbeitspaket	2014	2015	2016	2017
1 Erfassung von Verhaltenswerten der Fußgänger und Fahrradfahrer im Betrieb	Planungszeitraum	Durchführungszeitraum		
2 Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer im Experiment	Planungszeitraum	Durchführungszeitraum		
3 Entwicklung eines Erhebungsszenarios zur Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen in der Simulation		Planungszeitraum	Durchführungszeitraum	
4 Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer in der Simulation		Planungszeitraum		Durchführungszeitraum
5 Methodik & Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen im (interaktiven) kontrollierten (Betriebs-)alltag			Planungszeitraum	Durchführungszeitraum
6 Entwicklung und Testung einer Methodik zur Reduktion der Risikokompensation im Experiment			Planungszeitraum	Durchführungszeitraum
7 Entwicklung und Testung einer Methodik zur Reduktion der Risikokompensation im kontrollierten (Betriebs-)alltag				Planungszeitraum
8 Testlauf unter kontrollierten Realbedingungen im Logistikunternehmen		Planungszeitraum		
9 Prototyp-Verbesserung I: Messgenauigkeit und -stabilität	Planungszeitraum	Durchführungszeitraum		
10 Prototyp-Verbesserung I: Systemgröße und -gewicht	Planungszeitraum	Durchführungszeitraum		
11 Entwicklung von Möglichkeiten zur Kurzzeitprognose durch Vorhersagealgorithmen			Planungszeitraum	Durchführungszeitraum
12 Prototyp-Verbesserung II: Messgenauigkeit und -stabilität			Planungszeitraum	Durchführungszeitraum
13 Prototyp-Verbesserung II: Systemgröße und -gewicht			Planungszeitraum	Durchführungszeitraum
14 Kooperationsnetzwerk mit Sicherheitsexperten, Herstellern und Fahrzeugfirmen		Planungszeitraum	Durchführungszeitraum	
15 <i>Entwicklung eines Konzeptes für die weitere Serienfertigung, Verbreitung und Akzeptanz des System*</i>	<i>nach Beschluss des FRAMES-Fachbeirates 2014 aus dem Aufgabenkatalog entfernt (siehe Protokollnotiz)</i>			
	Planungszeitraum		Durchführungszeitraum	

6.1. Literatur- und Datenbankanalysen

Die Literaturanalyse wurde angesichts der rasanten Entwicklungen im Bereich des assistierten Fahrens bzw. verfügbarer Fahrerassistenzsysteme frühzeitig in der ersten Projektphase begonnen und auch in den Phasen 2-3 kontinuierlich fortgeführt. Sie beinhaltete sowohl die fortlaufende Aufarbeitung des Wissensstandes als auch das regelmäßige Sichten journalistischer Beiträge und populärwissenschaftlicher Artikel.

Insofern die Forschungsgruppe im Zuge der Literatur- und Artikelsuche Kenntnis von Systemen mit scheinbar ähnlichen funktionalen Ansätzen erhielt, wurden diese während der Projektlaufzeit wiederholmal mit dem eigenen Ansatz verglichen. Bei Unterstützungslösungen, die auch nach genauerer Prüfung eine gewisse Ähnlichkeit aufwiesen und demnach ein direktes konkurrierendes System darstellten, wurden diese Vergleiche intensiver durchgeführt. Die Basis dafür stellten die jeweils vorliegenden bzw. zugänglichen Unterlagen dar. Im Ergebnis ist hierzu festzustellen, dass der Forschungsgruppe während der Projektlaufzeit kein System bekannt wurde, welche den gewählten aktiv-kooperativ-frühwarnenden Charakter des FRAMES-System in Gänze erreichte, noch Erkenntnisse darüber vorliegen, dass diese Alternativsysteme eine bessere Leistungsfähigkeit, durch bspw. eine andere Informationsübertragungstechnik, erreichten.

Die interne Literaturdatenbank für die Verhaltensanalysen und Technikgrundlagen ist am Ende der Projektlaufzeit bei jeweils über 600 wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Beiträgen angewachsen. Mit zunehmendem Interesse anderer Forschergruppen weltweit und den aus den ersten Testfahrten und später ersten Seriensystemen erwachsenen Interessen führten ab ca. 2013 zu einem sprunghaften Anstieg v.a. der technischen Literatur. Die sich vorrangig mit den Verhaltensvoraussetzungen und -effekten auseinandersetzenden Veröffentlichungen, zogen ebenso stärker ab dem Jahr 2015 an. Aufgrund der vielfältigen thematischen Foki und der Interdisziplinarität des Forschungsthemas ist die resultierende Literaturdatenbank der sehr breit angelegt und umfasst beispielsweise:

1. Bewegungsverhalten von Fußgängern und Radfahrern im öffentlichen Verkehr,
2. Merkmale innerbetrieblichen Verkehrs (Verkehrsverhalten, Unfallgeschehen, Konfliktformen etc.)
3. Assistenz und Automatisierung im Straßenverkehr (neue Systementwicklungen, potentielle Konkurrenzsysteme, Mensch-Maschine-Interaktion und Human-Machine-Interface)
4. Verhaltensfolgeeffekte und Risikokompensation in Reaktion auf die Technikeinführung
5. Umgang mit und Minimierung von negativen Verhaltensfolgeeffekten
6. Bio-physikalische Erkenntnisse zum menschlichen Bewegungsverhalten
7. Unfallursachenanalysen
8. Etc.

6.2. Analyse des innerbetrieblichen Verkehrsflusses und des Verkehrsverhaltens

Zur Erfassung der Verhaltenswerte von Fahrradfahrern und Fußgängern im Betrieb wurden zwischen 2014-2017 insgesamt an sieben Standorten unterschiedlicher Unternehmen der Logistik-, Abfall- und Chemiebranche Verkehrsverhaltensanalysen mit den FRAMES-spezifischen Schwerpunkten Fußgängerverhalten und Fußgänger-Fahrzeug-Interaktionen durchgeführt. Jede dieser Analysen umfasste mindestens zwei volle Arbeitstage an mehreren neuralgischen Punkten des jeweiligen Betriebs. Die gesammelte Datenbasis umfasste dabei Langzeitvideoanalysen, teilnehmende Beobachtungen und nicht-teilnehmende Beobachtungen, Interviews mit Sicherheitsexperten, Führungskräften und Mitarbeitern mit und ohne Unfallerfahrungen, sowie Fragebogenerhebungen. Aus diesen Analysen wurden projektspezifische Szenarien generiert, die zur Testung des Leistungsvermögens des FRAMES-Systems verwendet wurden.

Darüber hinaus wurden den Betrieben teils umfassende Berichte über die innerbetriebliche Verkehrssituation sowie umfassende Optimierungsvorschläge unterbreitet. Die Auswertungen und die Ergebnisse waren dabei äußerst umfangreich und führten an allen Standorten zur Umsetzung mehrerer oder aller sicherheitserhöhenden Vorschläge. Die Eignung des eigens entwickelten multimodalen Instrumentariums erfolgte auf Basis der Erfahrungen während der betrieblichen Anwendungen schrittweise und während der gesamten Analysephase. Mit Abschluss der innerbetrieblichen Verkehrs- und Bewegungsanalysen in mehreren Betrieben bzw. Unternehmen wurde so ein modular anpassbarer Analyse-Baukasten geschaffen, welcher an die jeweiligen betrieblichen Bedingungen angepasst werden kann.

Eine Mehrfachmessung an einem der Standorte im zeitlichen Abstand eines Jahres ergab darüber hinaus, dass die betrieblich umgesetzten Maßnahmen auf Basis des umfassenden Maßnahmenkatalogs aus der Erstanalyse ein Jahr zuvor, die beobachteten Verkehrsgefährdungen deutlich reduzieren konnten. Ebenso reduzierten sich die Menge der kritischen Interaktionen und der Verkehrsverstöße, während die Beurteilung des subjektiven Sicherheitsgefühls der Mitarbeiter mit relevanten innerbetrieblichen Fußwegen anstieg. Das Instrument konnte somit eine hohe Eignung zur effizienten Optimierung der innerbetrieblichen Verkehrssituation unter Beweis stellen (vgl. Abschlussbericht Phase 1).

Für die Analyse entsprechender innerbetrieblicher Verhaltenswerte von Fahrradfahrern konnte ein großer Chemiekonzern gewonnen werden. Die Analyse der fahrradfahrerspezifischen betrieblichen Verkehrsrealität und der innerbetrieblichen Besonderheiten des Verkehrsgeschehens mit Fokus auf die Interaktion zwischen Fahrradfahrern und Fahrzeugen erfolgte im September 2015 an mehreren bekannten Unfallschwerpunkten des Unternehmens über drei Tage. Die Auswertung der im September 2015 gewonnenen Daten wurde im Februar 2016 abgeschlossen und mündete in umfassenden Erkenntnissen über die betrieblichen Problemlagen im Zusammenhang mit Fahrradfahrern (vgl. Zwischenbericht Phase 2).

6.3. Ableitung der Testszenarien auf Basis der innerbetrieblichen Daten

Der für die Phase 2 geplante Meilenstein eines **Testlaufs des Systems unter kontrollierten Realbedingungen im Logistikunternehmen** wurde bereits im Januar 2015 durchgeführt, mit dem Ziel, Kriterien zur Prototyp-Verbesserung (bezüglich Ortungsgenauigkeit und Praktikabilität) abzuleiten und die Ergebnisse in das für Phase 3 fortgeschriebene Verbesserungsziel einfließen zu lassen.

Der innerbetriebliche Testlauf des - zum damaligen Zeitpunkt - aktuellen Systems wurde auf einem Betriebsgelände eines Logistikzentrums des Kooperationspartners Deutsche Post AG durchgeführt. Konkret bestanden die Aufgaben dieses Testlaufs darin, die extrahierten innerbetrieblichen Realverhaltensweisen unter Systemnutzung zu wiederholen, um die Eignung des Systems zur Sicherheitserhöhung und Konfliktvermeidung zu prüfen. Außerdem wurden so weitere Realdaten gewonnen und abgeglichen, was insbesondere für die technische Weiterentwicklung des Systems von Nutzen war. Aus verhaltenspsychologischer Sicht lagen weitere Ziele in der Verhaltenssimulation, in welcher bisherige Erkenntnisse zu Interaktionsmustern und Laufwegen umgesetzt und in der Anwendung des Systems geprüft werden sollten sowie erste Konzepte für die bereits beschriebenen Erhebungsszenarien zur Erfassung von Risikokompensationseffekten in einem praxisnahen Feld abzuleiten.

Für den Testlauf wurden verschiedene Simulationsszenarien auf Basis der Erkenntnisse der Verhaltens- und Interaktionsanalysen von Fußgängern und Fahrradfahrern im Betrieb entwickelt und der Systemeinsatz bei diesen getestet. Insgesamt wurden dabei drei Szenariotypen unterschieden:

Tabelle 3. Überblick der Simulationsszenarien zum Testlauf des Systems unter kontrollierten Realbedingungen

BESCHREIBUNG	
SZENARIO 1	<ul style="list-style-type: none"> - Fußgänger stehend (frontal und seitlich) ohne Sichtverdeckung + Vorbeifahrt des Fahrzeugs - Variation des Abstandes zwischen den Verkehrsteilnehmern, der Geschwindigkeit und der Fahrtrichtung des Fahrzeugs
SZENARIO 2	<ul style="list-style-type: none"> - Fußgänger stehend hinter Hindernis (Sichtverdeckung) - Variation der Geschwindigkeit und Fahrtrichtung des Fahrzeugs und der Laufwege des Fußgängers (ohne und mit Hervortreten auf Fahrbahn)
SZENARIO 3	<ul style="list-style-type: none"> - Fußgänger parallel zur Fahrbahn laufend + Vorbeifahrt des Fahrzeugs - Variation der Geschwindigkeit des Fahrzeugs und der Laufwege des Fußgängers (ohne und mit plötzlichem Queren auf Fahrbahn)

Vor dem Durchlaufen der einzelnen Testszenarien wurde zunächst ein Testlauf zur Positionierungsgenauigkeit vorgenommen. Dieser bestand in der Aufzeichnung (Tracking) freier Laufwege des Fußgängers zur Überprüfung der Positionierungsgenauigkeit. Anschließend wurden die verschiedenen Szenarien mit ihren Variationen simuliert. Eine Videodokumentation des Testlaufs wurde allen Mitgliedern des Fachbeirats zugesendet. Im Juni 2015 fand im Rahmen der Zusammenkunft des wissenschaftlichen Fachbeirates mit der Forschungsgruppe ein weiterer Test- und Demonstrationslauf des weiterentwickelten FRAMES 2.0-Systems statt.

6.4. Methodische Ansätze zur Analyse der Risikokompensation im Experiment

Zur Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer im Experiment wurden die in Phase 1 konzipierten computerbasierten Analysen fortgeführt. In Phase 2 galt es, genauer zu untersuchen, inwiefern die gefundenen Ergebnisse zum Auftreten von Risikokompensationen repliziert werden können und vor allem, welche technischen und situationalen Bedingungen diese Effekte beeinflussen und in welche Richtung. Ausgehend von einer umfangreichen Recherche wissenschaftlicher Studien, Modelle und Voruntersuchungen, wurden die relevanten Einflussfaktoren abgeleitet. Eine Übersicht über die untersuchten Einflussfaktoren findet sich in der folgenden Tabelle.

Tabelle 4. Variation der Untersuchungsbedingungen nach situationalen und technischen Einflussfaktoren

SITUATIONALE FAKTOREN	TECHNISCHE FAKTOREN
Verkehrsaufkommen	Umfang der Warnung
Ablenkung	Warnmodus
Stress/Zeitdruck	Systemzuverlässigkeit
Verantwortungsdiffusion/Interaktivität	

Zur Untersuchung individueller Einflüsse der unterschiedlichen Rahmenbedingungen wurden spezielle Simulationsszenarien entwickelt, programmiert und in sieben verschiedenen Experimenten durchgeführt. Die Stichprobe umfasste pro Simulationsbedingung durchschnittlich 30 Teilnehmer, sodass zusätzlich zur Basisuntersuchung umfangreiche Daten von ca. 200 weiteren Personen vorliegen. Wie in Phase 1 wurde hier in den Fahrsimulationen 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. Zusätzlich zu den Basisbedingungen mit Abfolgen ohne und mit Systemeinsatz wurde in jeweils einzelnen Experimenten entweder die Anzahl der Fußgänger (Verkehrsaufkommen) variiert, Nebentätigkeiten / Zusatzaufgaben gestellt (Ablenkung), Zeitdruck induziert (Stress), dem Spieler die Information gegeben, dass auch die Fußgänger durch Nutzung des Warnsystems teilweise oder vollständig ins Unfallgeschehen eingreifen können (Verantwortungsdiffusion), die Art der Warnung über akustisches oder visuelles Feedback sowie deren Kombination variiert (Warnmodus), der Informationsgehalt der Warnung nach Gefährlichkeits- bzw. Dringlichkeitsstufen unterschieden (Umfang der Warnung) und die Zuverlässigkeit des Systems sowohl in Richtung fehlender als auch überflüssiger Warnungen auf verschiedenen Präzisionsstufen verändert. Auf dieser Basis erfolgte ein systematischer Vergleich der Operationalisierungen von Kompensationsverhaltensweisen. Eine Übersicht über die verschiedenen Experimentalversionen mit den jeweiligen Variationsstufen zeigt die Abbildung auf der nachfolgenden Seite.

Einflussfaktor	Beschreibung	Block - Ohne System			Block - Mit System							
	Es wurde untersucht, ob sich eine Veränderung des Risikokompensationseffekts in Abhängigkeit von...											
Verkehrsaufkommen	...der Häufigkeit eines potenziellen Aufeinandertreffens mit einem Kollisionsgegner einstellt. Variiert wurde die Wahrscheinlichkeit des Auftauchens des Fußgängers (FGW)	OS-Basis FGW 50%	FGW 20%	FGW 80%	MS-Basis FGW 50%	FGW 20%	FGW 80%					
Ablenkung	...der Induzierung einer Nebenaufgabe unterschiedlicher Intensität einstellt. Variiert wurde die Art der Nebentätigkeit.	OS-Basis keine Ablenkung	kognitive Ablenkung	emotionale Ablenkung	MS-Basis keine Ablenkung	kognitive Ablenkung	emotionale Ablenkung					
Stress/Zeitdruck	...der Induzierung von Zeitdruck unterschiedlicher Intensität einstellt. Variiert wurde die Art der Stressinduzierung.	OS-Basis ohne Zeitdruck	Zeitdruck neutral	Zeitdruck emotional	MS-Basis ohne Zeitdruck	Zeitdruck neutral	Zeitdruck emotional					
Verantwortungsdiffusion / Interaktivität	... der interaktiven Funktionsweise des Systems einstellt. Variiert wurden unterschiedliche Interaktivitätsstufen, die von der alleinigen Verantwortung (nur Nutzer wird gewarnt), bis zur geteilten Verantwortung (auch der potenzielle Gegner / Gegenspieler wird gewarnt) reicht.	OS-Basis Warnung: keiner Verantw: nur selbst	Warnung: nur anderer Verantw: selbst + anderer + System des anderen		MS-Basis Warnung: nur selbst Verantw: selbst + eigenes System	Warnung: selbst + teils die anderen Verantw: selbst + eigenes System + anderer + teils	Warnung: selbst + alle anderen Verantw: selbst + eigenes System + anderer +					
Warnungsmode Warnumfang	...der technischen Funktionsweise / Gestaltung der Warnung des Systems einstellt. Variiert wurden der Warnmodus, der visuell, auditiv oder kombiniert sein konnte sowie der Umfang der Warnung, der von einer reinen Gefahrenwarnung, bis hin zu einer umfassenden Information über den gesamten Gefahrenstatus (grüner Bereich > keine Gefahr, gelber Bereich > mögliche Gefahr, roter Bereich > Gefahr) reichte.	Die Variationen beziehen sich auf die technischen Faktoren des Systems und werden daher in der Bedingung ohne System Einsatz nicht variiert.					MS-Basis Warnung: visuell und auditiv	Warnung: nur auditiv	Warnung: nur visuell Infograd der Warnung: einstufig	Warnung: nur visuell Infograd der Warnung: zweistufig	Warnung: nur visuell Infograd der Warnung: dreistufig	
Systemzuverlässigkeit	...der Zuverlässigkeit der Warnung einstellt. Variiert wurde die Art der Unzuverlässigkeit / Fehler: sowohl falsch negative (trotz Gefahr wird nicht gewarnt) als auch falsch positive (es wird gewarnt, obwohl keine Gefahr droht) als auch die Kombination beider.									MS-Basis FW 0% Das System warnt immer exakt	FW 20% falsch negativ 2 Auslassungen	FW 20% falsch positiv 2 zuviel

Abbildung 1: Übersicht der nach den untersuchten Einflussfaktoren variierten Experimentalbedingungen

Auf Grund des interaktiven Konzeptes des zu entwickelnden Assistenzsystems, bei dem erstmalig auch nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmer durch den Technikeinsatz bei der Verkehrsteilnahme unterstützt werden sollen, wurde im Jahr 2015 zusätzlich ein Experimentalszenario entwickelt, mit welchem auch das Fußgängerverhalten abgebildet und mögliche Verhaltensanpassungseffekte untersucht werden können. Dazu wurde die bestehende computergestützte Fahrsimulation auf eine Fußgängerperspektive umgestellt. Der Fokus liegt neben dem generellen Nachweis, dass unerwünschte Kompensationseffekte auch bei nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern auftreten, insbesondere auf den spezifischen Anforderungen dieser Nutzergruppe, welche u.a. andere Warnmodalitäten erforderlich machen (taktile Rückmeldung).

Bezüglich des Meilensteins der für Phase 2 geplanten Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer in der Simulation wurde an der Umsetzung eines interaktiven Mehrspieler-Modus der Computersimulation gearbeitet, durch welche eine Analyse echter Interaktionseffekte möglich werden sollte. Zum anderen wurden bereits im Jahr 2014 erste Schritte zum Untersuchungseinsatz mit einem Fahrsimulator vorgenommen. So wurde in Kooperation mit dem Institut für Arbeit und Gesundheit der DGUV in Dresden, die Umsetzbarkeit des geplanten Vorhabens geprüft und erste Realisierungsmöglichkeiten erarbeitet. Auf Basis der Ergebnisse aus den experimentellen Voruntersuchungen zum Auftreten von Risikokompensationseffekten bei nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern wurden anschließend die Anforderungen und eine mögliche Vorgehensweise der Erhebung in einer Simulation geprüft. Diese ergaben jedoch einerseits, dass bisher keine geeigneten Simulatoren zur Abbildung eines realitätsnahen Fußgängerverhaltens existieren und andererseits die Integration in die durch einen Fahrsimulator abzubildende Fahrumwelt motorisierter Verkehrsteilnehmer nicht möglich ist, um ein standardisiertes Erhebungsszenario zu erhalten. Bezüglich der Entwicklung und Programmierung eines computerbasierten Mehrspieler-Modus ergaben die Kosten-Nutzen-Abschätzungen ein ähnliches Ergebnis, da die dazu notwendigen zeitlichen und finanziellen Ressourcen außerhalb der Projektkapazitäten lagen. Daraufhin wurde das im Jahr 2016 entwickelte und zu diesem Zeitpunkt bereits erprobte Erhebungsszenario zu Risikokompensationsverhaltensweisen im kontrollierten Realkontext so weiterentwickelt und angepasst, dass eine Abbildung realitätsnaher Interaktionseffekte möglich wurde. Damit wurde durch die Forschungsgruppe ein innovatives Instrumentarium entwickelt und umgesetzt, welches zum einen die Probleme einer Simulator-basierten Erhebung löste und zum anderen gleichzeitig eine Vergleichbarkeit auf Grund der standardisierten Vorgehensweise zu den anderen Erhebungsszenarien ermöglichte.

In Absprache mit dem Fachbeirat, welchem das Szenario und erste Analyseergebnisse der Erhebung im simulierten Realkontext am 26.09.2016 vorgestellt wurden, wurde sich für diese alternative Simulationserfassung mit dem Realszenario anstelle eines Fahr- und Fußgängersimulators auf Grund der besseren Realitätsnähe und des geringen Entwicklungsaufwandes entschieden.

Die Konzipierung, Entwicklung und Testung mit diesem im kontrollierten Setting eingebetteten Realszenario diente damit zur Umsetzung der für die Phase 3 geplanten weiteren Risikokompensationsuntersuchungen mit dem Fokus auf eine realitätsnähere Systemnutzung und die Untersuchung von Reduktionsmöglichkeiten unerwünschter Verhaltensanpassungseffekte, also den folgenden auf die Risikokompensationsfragestellungen bezogenen Vorhabenszielen.

6.5. Risikokompensationsverhaltensweisen

6.5.1 Im kontrollierten Betriebsalltag und simulierten Realkontext

Im Folgenden werden die entwickelten Methodiken beschrieben, mit denen anschließend die Tests zur Erfassung und Analyse der Risikokompensationseffekte durchgeführt wurden. Da die Methodenentwicklung auch als Vorhabensziel geplant und aufgeführt ist, wäre dies üblicherweise, neben den inhaltlichen Fragestellungen, auch als Ergebnisbeschreibung unter Punkt 7 einzuordnen. Aus Gründen einer besseren Nachvollziehbarkeit - da die entwickelte Methodik die Voraussetzung zur Bearbeitung der inhaltlichen Meilensteine ist - wurde sich für den vorliegenden Abschlussbericht dazu entschieden, diejenigen Ergebnisse, welche die Vorgehensweise bzw. Methodik betreffen, bereits unter diesem Gliederungspunkt zu beschreiben, wohingegen die Ergebnisse der inhaltlichen Fragestellungen bezüglich des Auftretens und Ausmaßes der Risikokompensationseffekte unter Gliederungspunkt 7 (Ergebnisse) dargelegt werden. Nichtsdestotrotz soll an dieser Stelle betont sein, dass die Methodenentwicklung ein entscheidendes Ergebnis des Projektes darstellt, da die entwickelten Szenarien innovative Erhebungsansätze und geeignete Instrumente für die weitere wissenschaftliche und praktische Sicherheitsarbeit, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Betriebs, darstellen.

Im ersten Zeitraum der dritten Phase (2016) wurde ein Erhebungsszenario entwickelt, welches die Analyse der Risikokompensationsverhaltensweisen im simulierten Realkontext unter Verwendung eines prototypähnlichen Frames-Systems erlaubt. Dazu wurde eine System- und Testkonstruktion entwickelt, welche die im computergestützten Experimentaldesign erstellten Bedingungen in einen simulierten Realkontext übersetzt, sodass der Grundaufbau und -ablauf ähnlich und die untersuchten Variablen vergleichbar sind (vgl. Abbildungen 2 und 3).

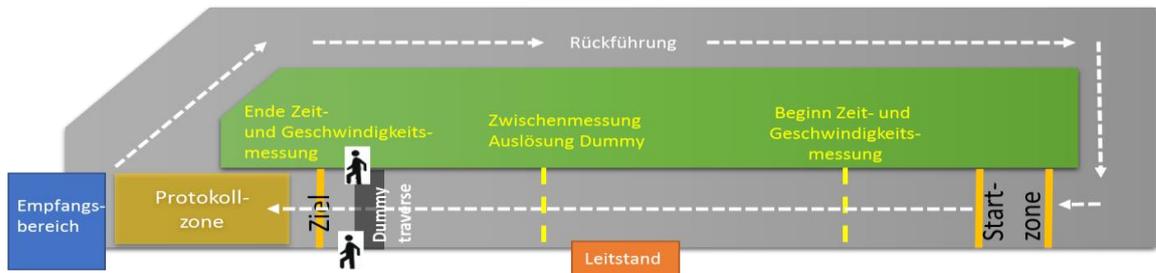


Abbildung 2: Grundaufbau des simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung an das computergestützte Experimentaldesign

Ablaufdiagramm Realtest
2016

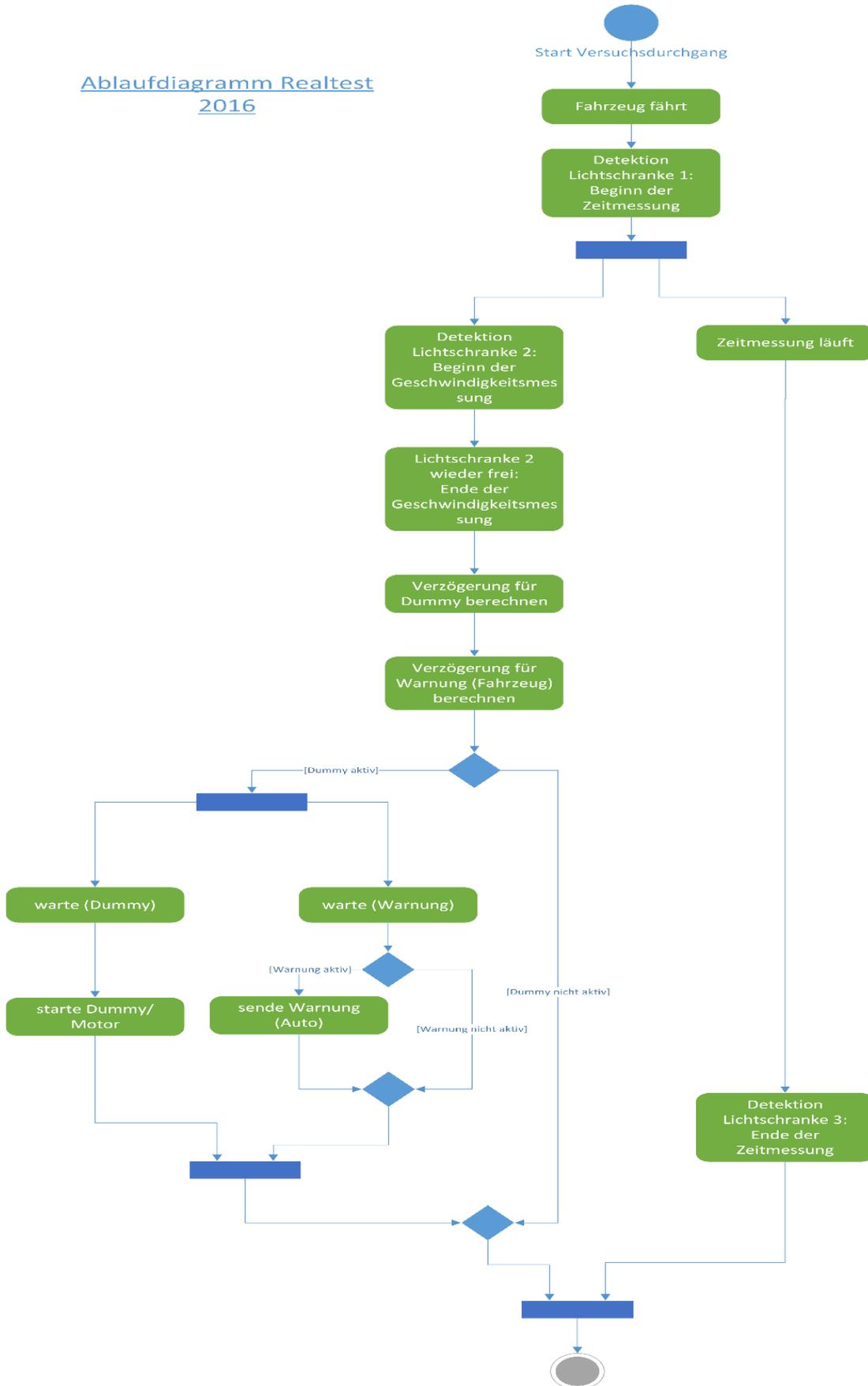


Abbildung 3: Ablaufdiagramm des simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung an das computergestützte Experimentaldesign aus Fahrerperspektive

Zur **Konstruktion und Erhebung der Risikokompensation im simulierten Realkontext** wurde zunächst das auch im Computereperiment zuerst durchgeführte Basis-Szenario aus der Fahrerperspektive gewählt. Dies bedeutet, dass die Nutzung des Pkw-Systems und dessen Auswirkungen durch echte Probanden abgebildet wurden. Die Erzeugung einer Gefahrensituation im Sinne einer drohenden Kollision mit einem Fußgänger, vor dessen Eintreten das System warnt, wurde durch eine Dummy-Traversen-Konstruktion realisiert (Abbildung 4). Mit dessen Hilfe konnte sichergestellt werden, dass alle Bedingungen bei jedem Probanden vergleichbar und reale Verletzungen ausgeschlossen sind.



Abbildung 4: Dummy-Traversen-Konstruktion

Die Testdurchführung entspricht, bis auf eine ökonomiebedingte Kürzung der Durchgangshäufigkeiten, der des computergestützten Experimentaldesigns.

Das bedeutet:

1. Wiederholt zu fahren ist eine festgelegte und unveränderte Strecke in je 2 Testblöcken zu je 10 Fahrten. Die Probandenaufgabe besteht darin, das Fahrzeug auf der kurzen geraden Strecke von einem Start- bis zu einem Zielpunkt zu bewegen. Je zügiger, desto mehr Punkte können erreicht werden. Das Ziel ist es, so viele Punkte wie möglich zu sammeln.
2. Die Herausforderung dabei besteht jedoch darin, eine mögliche Kollision mit dem Fußgänger (Dummy) an einer schwer überschaubaren Kreuzung (Traverse) zu vermeiden.
3. In einem Block von 10 Fahrten steht dabei einmal das Warnsystem zur Verfügung (MS), das immer dann eine Rückmeldung gibt (Warnton und Kennzeichnung auf Bildschirm), wenn sich ein Fußgänger nähert und eine Kollision droht. In einem 2. Block fahren die Probanden die 10 Fahrten auf sich allein gestellt, ohne die Unterstützung des Warnsystems.
4. Maximal können pro Fahrt 5 Pluspunkte erreicht werden. Gleichzeitig besteht jedoch auch das Ziel, so sicher wie möglich anzukommen. Daher wird eine Kollision mit einem Fußgänger (Dummy) mit 5 Minuspunkten bestraft.

In mehreren Vortests im Frühjahr 2016 wurden die Konstruktion, der Ablauf und die notwendigen Versuchsbedingungen durch die FSU und die HTW genau festgelegt und erprobt, Vergleichbarkeits- und Sicherheitsstandards determiniert und verschiedene Probedurchgänge getestet. In diesem Rahmen entstand zudem ein ausführliches Testleitermanual, welches alle einzuhaltenden Bedingungen definiert und als Grundlage für die Konstruktion und Erhebung weiterer Szenarien dient.

Ab Frühjahr 2017 wurde die bestehende Testkonstruktion zur Untersuchung der Risikokompensationsverhaltensweisen auch für die Gruppe der nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer und zur Realisierung des Vorhabenziels der **Entwicklung und Testung einer Methodik zur Erfassung der Risikokompensationsverhaltensweisen im interaktiven kontrollierten (Betriebs-)alltag / simulierten Realkontext**, erweitert. Dabei blieb zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit das bestehende System in seinem Grundaufbau gleich. Das Verhalten der Fußgänger wurde nun jedoch zusätzlich zu den fahrenden Probanden durch reale Testpersonen abgebildet und analysiert (Abbildung 5).

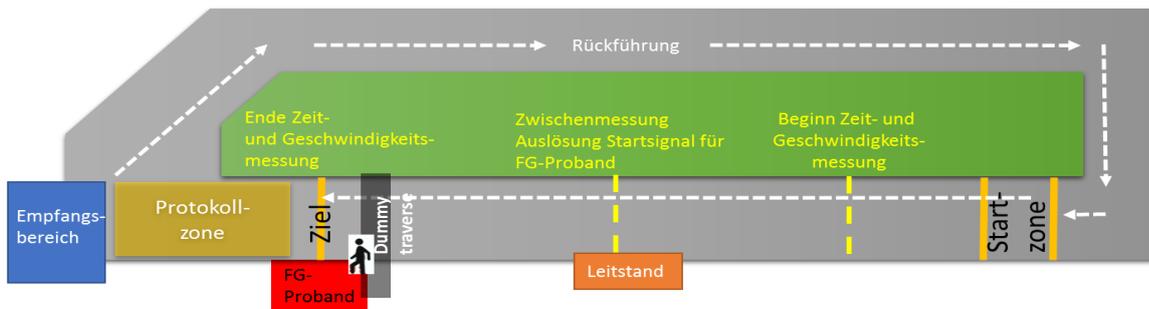


Abbildung 5: Grundaufbau des erweiterten simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung ans computergestützte Experimentaldesign

Um die Sicherheit bei den Versuchen sicherzustellen wurde das Fußgängerverhalten über eine Steuerung der Dummpuppe realisiert.

Für die Fußgängerprobanden galt dieselbe Zielstellung wie in den übrigen Versuchen. Die Aufgabe ist es, den Dummy auf einer kurzen geraden Strecke von einem Start- bis zu einem Zielpunkt zu bewegen. Je zügiger die Teilnehmer dabei unterwegs sind, desto mehr Punkte erhalten sie. Ziel ist es, so viele Punkte wie möglich zu sammeln. Die Herausforderung dabei besteht jedoch darin, eine mögliche Kollision mit einem möglicherweise kreuzenden Pkw an einer schwer überschaubaren Kreuzung (Traverse) zu vermeiden. In einigen Durchgängen steht dabei ein Warnsystem zur Verfügung, das immer dann eine Rückmeldung gibt (Warnton), wenn sich ein Pkw nähert und eine Kollision droht. Die „Mit-System“-Blöcke unterscheiden sich darin, dass in einem Block der Pkw-Fahrer ebenso wie der Fußgänger eine Warnung erhält, wenn beide auf Kollisionskurs sind. In dem anderen Block erhalten nur die Fußgänger die Warnung, der Pkw-Fahrer aber nicht. Dieser fährt ohne System. Maximal können pro Lauf 5 Pluspunkte erreicht werden, eine Kollision mit dem Pkw wird mit 5 Minuspunkten bestraft.

Zur Bedienung des Dummys wurden die Probanden vor jedem Durchgang, gebeten, die beiliegenden Kopfhörer aufzusetzen. Hier wurden maskierende Verkehrsumgebungsgeräusche eingespielt, damit eine ungewünschte akustische Detektion eines herannahenden Fahrzeugs ausgeschlossen werden konnte. Das Startsignal zum Loslaufen (Ertönen einer Glocke) wurde ebenfalls über die Kopfhörer eingespielt. Der Dummy wurde dabei mit Hilfe des x-Box-Controllers gesteuert, wobei eine Beschleunigungs- und eine Bremstaste (mit jeweils zwei Intensitätsstufen) festgelegt wurden. In den Durchgängen mit Warnsystem ertönte ein akustisches Signal (dreimaliges Erklingen einer Hupe) über die Kopfhörer als Warnung, wenn eine Kollision drohte. Im Gegensatz zu den Pkw-Probanden hatten die Fußgänger noch ein weiteres Hilfsmittel. Da diese ja nicht tatsächlich laufen und die Kreuzung hinter dem Sichthindernis somit nicht wie im realen Leben durch einen Rechtsblick einsehen könnten, wurde der Dummy mit einer Kamera ausgestattet, dessen Aufnahmen auf einem Bildschirm rechts neben dem Fußgängerplatz

abgebildet wurde. Sobald der Dummy hinter der installierten Sichtverdeckung hervortrat (analog bspw. Zu großen Fahrzeugen oder Containern auf dem Betriebsgelände), konnte über den Bildschirm die Strecke eingesehen werden.



Abbildung 6. Erweiterte Dummy-Traversen-Konstruktion mit Fußgängertestumfeld

Das Ablaufdiagramm des um das Fußgängerverhalten erweiterte Erhebungsszenarios (Abbildung 7) zeigt die standardisierte Vorgehensweise der einzelnen Versuchsdurchgänge zur Testung realer Interaktionsszenarios, die eine Vergleichbarkeit der Fahrer- und Fußgängerbedingungen herstellt. Die Herausforderung lag hier in der Gewährleistung eines standardisierten Aufeinandertreffens der unterschiedlichen Verkehrsteilnehmergruppen und damit in der Lösung des für die ursprünglich geplante Untersuchung mit einem Fahr- und Fußgängersimulators eruierten Umsetzungshindernisses.

Für die Durchgänge, in denen ein Aufeinandertreffen der Verkehrsteilnehmer geplant war, detektierte eine Lichtschranke die Geschwindigkeit des Pkw-Probanden. In Abhängigkeit dieser wurde, mit einer nach einem festen Schema definierten Verzögerung, das Startsignal für den Fußgängerprobanden ausgelöst, welches letzterem über die Kopfhörer eingespielt wurde (vgl. rechter Strang im Ablaufdiagramm 2017, Abbildung 7). Im Falle eines Durchgangs mit Warnsystem wurde ausgehend von der durch die Lichtschranke gemessenen Geschwindigkeit zudem das mit einer vordefinierten Verzögerung ausgelöste Warnsignal für Fußgänger und/oder Fahrzeug eingespielt.

Die Vortests zum Fußgänger- und Interaktionsszenario wurden im Juni 2017 in einem kontrollierten Setting auf dem Bundeswehrgelände in Merzig (Saarland) umgesetzt. Die Erfassung realer Versuchspersonendaten erfolgte im gleichen Umfeld in einem zweiwöchigen Erhebungszeitraum im Oktober 2017.

Ablaufdiagramm Realtest 2017

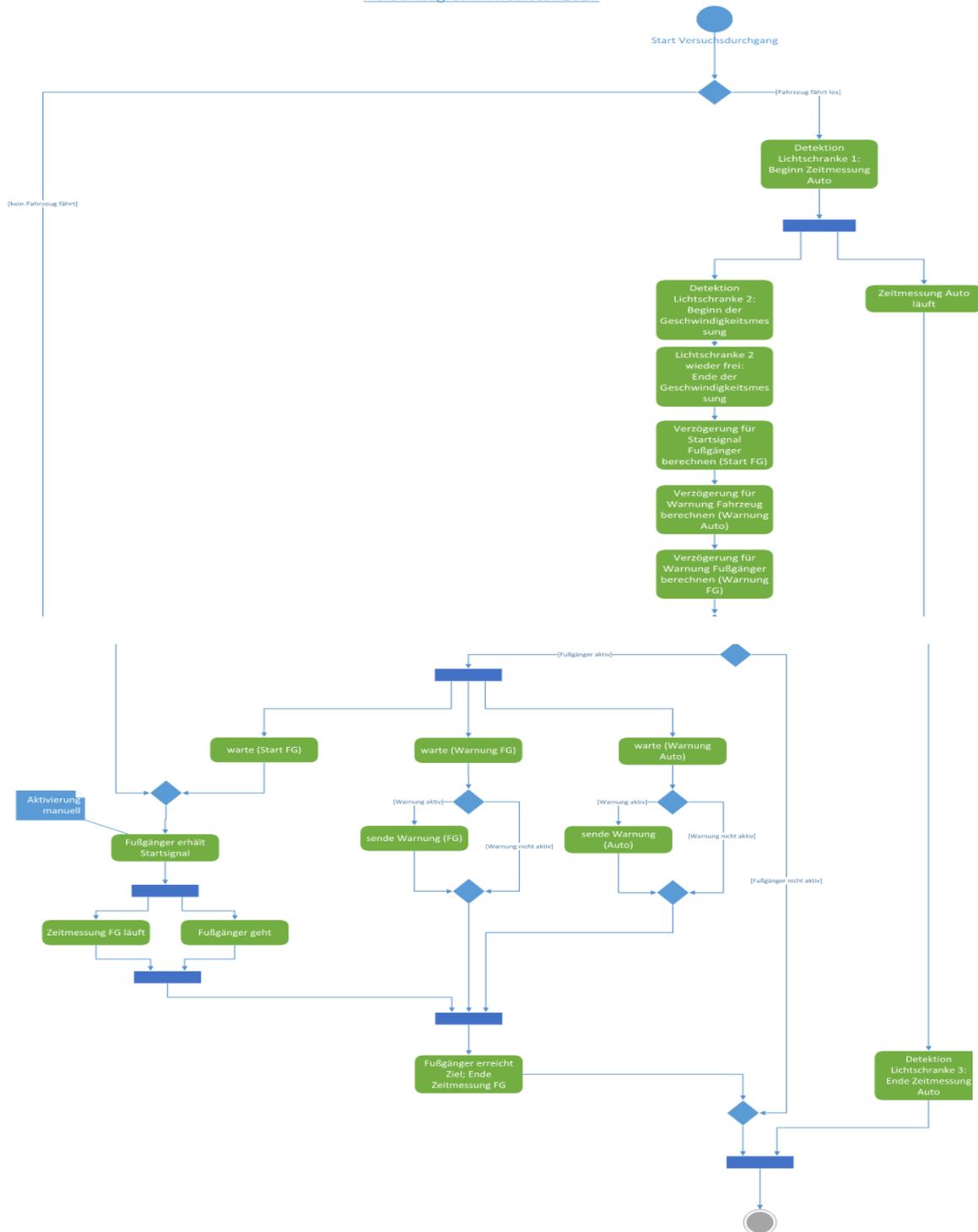


Abbildung 7: Ablaufdiagramm des erweiterten simulierten Realkontextszenarios in Anlehnung an das computergestützte Experimentaldesign aus Fahrer- und Fußgängerperspektive

6.6. Reduktion der Risikokompensation

6.6.1 Entwicklung der Experimentalmethodik zum Einsatz im kontrollierten Betriebsalltag und im simulierten Realkontext

Bezüglich der Entwicklung und Testung einer Methodik zur Reduktion der Risikokompensation im Experiment und im kontrollierten (Betriebs-) Alltag / simulierten Realkontext, wurden zunächst die Ergebnisse der bisherigen Experimente ausgewertet. Ziel der Analysen ist jedoch nicht nur zu untersuchen, ob und wie diese Effekte auftreten, sondern in ihrer Konsequenz ebenso, wie die unerwünschten, nutzenminimierenden Folgen durch verschiedenste Maßnahmen (technik-, personen- und situationsbezogen) reduziert oder gar eliminiert werden können, um den potenziellen Sicherheitsgewinn des zu entwickelnden Systems zu maximieren. Dazu wurden sowohl eine Literaturanalyse bestehender wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Risikokompensationsreduktion durchgeführt als auch alle bisherigen Erkenntnisse der durchgeführten Experimente systematisch aufgearbeitet und mit Fokus auf Beeinflussungsmöglichkeiten bewertet. Aufbauend auf einem solchen theoretischen und empirischen Gerüst wurden allgemeine und projektspezifische Implikationen zur Minimierung und Eliminierung negativer Systemfolgeeffekte abgeleitet und im Hinblick auf eine empirische Testung zunächst in ein entsprechendes computergestütztes Erhebungsszenario übersetzt.

Sowohl die theoretischen als auch empirischen Analysen zeigen, dass im Allgemeinen zwei grundsätzliche Stellgrößen existieren, über die eine Veränderung des Risikoverhaltens erreicht werden kann. Dies sind einerseits das von den Nutzern subjektiv akzeptierte Risiko und andererseits das in der Situation wahrgenommene Risiko. Grundsätzlich gilt, dass die Gefahrenwahrnehmung der Verkehrsteilnehmer erhöht und das von ihnen akzeptierte Risiko gesenkt werden muss, damit eine negative Kompensation verringert oder gar verhindert werden kann. Dazu dienliche grundlegende Prinzipien wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bezüglich des FRAMES-Kontextes bewertet und in situations- und systemspezifische Gestaltungsmaßnahmen übersetzt und anschließend auf eine Anwendung im computergestützten Experimentaldesign angepasst. So erfolgte eine konkrete Übersetzung der Prinzipien in system- und experimentalspezifische Bedingungen, wie beispielsweise Instruktionen, Feedback/Rückmeldefenster durch das System zur Aufklärung über die Systemgrenzen und typischen Kompensationseffekte zur Vermeidung von Übervertrauen und Sicherheitsillusionen und zur Erzeugung von Unsicherheit, einfache Gestaltung des Informationsgehalts der Warnung, differenzierte Punktgestaltung zur Kosten-Nutzen-Veränderung und Weiteres.

Zur Überprüfung der Auswirkungen der experimentell simulierten Präventionsmaßnahmen wurden zudem konkrete Zielausprägungen der Experimentalbedingungen formuliert, die eine Beurteilung der Maßnahmenwirksamkeit erlauben. Die folgende Tabelle 5 gibt zu dessen Veranschaulichung einen exemplarischen Einblick in die zur Analyse notwendigen Zieldefinitionen der „**Kompensationskompensation**“ der experimentellen Erhebung.

Tabelle 5. Zieldefinition der Ausprägungen der Kompensationskompensation im Experiment (exemplarisch für 3 Kompensationsvariablen)

Variable	bisherige Ausprägung unter RK	Gewünschte Ausprägung zur Realisierung der KK
Anzahl der Kollisionen	In MS-Bedingung signifikant geringer MS < OS	In MS-Bedingung signifikant geringer MS < OS
Anzahl der Punkte	In MS-Bedingung signifikant höher MS mit Kollisionsgegner = OS mit Kollisionsgegner MS ohne Kollisionsgegner > OS ohne Kollisionsgegner	In MS-Bedingung keine bzw. nur minimale Punkte-Erhöhung. Insofern ein Punkteerhöhung in MS-Bedingung gefunden wird, darf diese lediglich auf den Wegfall der Punktabzüge die durch Kollisionen zustande kommen zurückzuführen sein (denn gewünscht: weniger Kollisionen = weniger Punktabzug) Der Punktezuwachs durch eine schnellere Fahrweise in den Durchgängen ohne Gegner sollte verschwinden (denn gewünscht: keine Geschwindigkeitserhöhung in Durchgängen ohne Gegner) Insofern in den Durchgängen mit Gegner MS sogar noch vorsichtiger gefahren wird als in den Durchgängen mit Gegner OS könnte sogar kein Unterschied bzw. eine Punkteverringering resultieren MS mit Kollisionsgegner = OS mit Kollisionsgegner MS ohne Kollisionsgegner = OS ohne Kollisionsgegner Wenn: MS mit Kollisionsgegner > OS mit Kollisionsgegner , dann nur um den Betrag der eingesparten Punkteabzüge auf Grund geringerer Kollisionszahl (keine erhöhte Geschwindigkeit)
Durchschnittsgeschwindigkeit	 Über alle Bedingungen: MS > = OS MS mit Kollisionsgegner < = OS mit Kollisionsgegner MS ohne Kollisionsgegner > OS ohne Kollisionsgegner OS ohne Kollisionsgegner => OS mit Kollisionsgegner MS ohne Kollisionsgegner > MS mit Kollisionsgegner	Die Geschwindigkeit ist abhängig davon, welche Geschwindigkeitsstufe gewählt wurde und wie häufig bzw. wie stark die Geschwindigkeit vor der Kreuzung reduziert wurde. In Durchgängen mit Gegner und System sollte möglichst vorsichtiger gefahren werden. Damit der negative Kompensationseffekt verschwindet, sollte sich in den Durchgängen MS ohne Gegner keine Erhöhung mehr im Vgl. zu MS finden. Über alle Bedingungen: MS < = OS MS mit Kollisionsgegner < = OS mit Kollisionsgegner MS ohne Kollisionsgegner = OS ohne Kollisionsgegner OS ohne Kollisionsgegner => OS mit Kollisionsgegner MS ohne Kollisionsgegner > MS mit Kollisionsgegner

1

Zur **Beurteilung der Maßnahmenwirksamkeit zur Reduktion der Kompensationseffekte** wurde eine Methodik im computerbasierten Experiment erhoben, eine weitere exemplarisch im Rahmen des interaktiven Realtestszenarios mit Pkw- und Fußgängerprobanden. Anhand der auf den bisherigen Experimentalversionen aufbauenden Zieldefinition (siehe Tabelle) wurde nach abgeschlossener Probandenerhebung (die zwischen Juni und Oktober 2017 stattfand) die Datenanalyse vorgenommen und praktische Implikationen zur Umsetzung der Gestaltungsmaßnahmen in einen realitätsnahen Kontext abgeleitet.

Bezogen auf die definierten **Vorhabensziele im FRAMES-Projekt**, ist festzustellen, dass,

1. durch die aufeinander abgestimmten Szenarien sowohl bezüglich der unterschiedlichen Realitätsstufen (Experiment und kontrollierter Realkontext), als auch
2. bezüglich der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen (motorisierte und nicht-motorisierte) und
3. hinsichtlich des Interaktivitätsniveaus (individuell, quasi-interaktiv und real-interaktiv), ein standardisiertes Erhebungsvorgehen geschaffen werden konnte, welches die Vergleichbarkeit der Operationalisierungen der Risikokompensation und weiterer Einflussvariablen erlaubt.

Tabelle 6 gibt zusammenfassend eine Übersicht darüber, welche Variablen für welche Teilnehmergruppen in welchem Testszenario erhoben und ausgewertet wurden.

Tabelle 6. Übersicht der erhobenen Variablen in den verschiedenen Testszenarien

			Computer-Simulation		Realfahr-Simulation	
			Fahrzeugführer	Fußgänger	Fahrzeugführer	Fußgänger
Abhängige Variablen Operationalisierungen der Risikokompensation	Objektive Daten / Verhalten	Unfallzahl / Anzahl der Kollisionen	X	X	X	X
		Anzahl erreichter Punkte	X	X	X	X
		Durchschnittsgeschwindigkeit	X	X	X	X
		Streckenzeit	X	X	X	X
		Bremshäufigkeit	X	X		
		Bremsstärke	X	X	X	X
		Beschleunigungshäufigkeit	X	X		
		Beschleunigungsstärke	X	X	X	X
		Kollisionsgeschwindigkeit	X	X		
		Unfallschwere			X	X
		Blickhäufigkeit		X		X
	Subjektive Daten / Selbststein- schätzung	Risikobewertung	X	X	X	X
		Risikomotivation	X	X	X	X
		Emotionales Befinden	X	X	X	X
Systemvertrauen		X	X	X	X	
Technikaffinität		X				
Unabhängige Variablen Beeinflussende Variablen	Person	Demografische Daten	X	X	X	X
		Fahrerfahrung	X	X	X	X
		Sensation Seeking	X	X	X	X
		...	X	X	X	X
	Situation	Verkehrsaufkommen	X			
		Zeitdruck	X			
		Ablenkung	X			
		Kompensationsreduktion 1: Veränderte Kosten-Nutzen-Bilanzierung	X			
		Kompensationsreduktion 2: Verringerung der Sicherheitsillusion	X			
	Technik	Systeminteraktivität / Wechselseitigkeit	X	X	X	X
		Warnmodus	X	X		
		Warnumfang	X			
		Systemzuverlässigkeit	X			

Fazit zur Entwicklung einer Methodik der Erfassung von Risikokompensationseffekten im Experiment und simulierten Realkontext

Zur Untersuchung möglicher grundlegender Erscheinungsformen unerwünschter Verhaltensanpassungen sowie der möglichen Einflüsse und Wirkungszusammenhänge der unterschiedlichen Rahmenbedingungen, wurden insgesamt 14 spezielle Simulationsszenarien und ein umfangreiches Fragenbogeninstrument in verschiedensten Adaptivitätsvarianten entwickelt. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

1. Das computerbasierte Experiment erwies sich als sehr gut geeignet um die grundlegenden Anpassungsmechanismen zu erfassen.
2. Es ermöglichte dabei die Abbildung der in den verschiedenen Variablen operationalisierten Risikokompensationsebenen.
3. Durch die kontrollierte Variation der Rahmenbedingungen im Grundszenario, war die Forderung nach einem standardisierten Vorgehen und einer Vergleichbarkeit gegeben.
4. Im Resultat wurden durch das computergestützte Experiment 10 Szenarien abgebildet und mit mehr als 250 Personen getestet. Dies ließ sowohl die Variation der Verkehrsteilnehmergruppe zu (Fußgänger und Fahrerperspektive) als auch die Untersuchung technischer und situationaler Einflussfaktoren.
5. Mit der Übersetzung des Szenarios in den simulierten Realkontext unter Nutzung eines praktikablen, mobilen Versuchsaufbaus gelang es, einen methodischen Zugang zu entwickeln, welcher die potentiellen Probleme eines Fahr- bzw. Fußgängersimulators umgeht (z.B. Simulatorkrankheit, konstruierte bzw. simulierte Realität ohne entsprechende emotional-motivationale Involviertheit des Teilnehmers).
6. Die damit zwischen Szenarien/Teilnehmern vergleichbar simulierten und gemessenen potentiellen Anpassungseffekte im kontrollierten Betriebsalltag, wurden in vier variierten Experimentalszenarien durch die Erhebung von knapp 50 Personen realisiert.

Fazit/Ausblick:

Mit der entwickelten Methodik und Testkonstruktion liegt zunächst ein transportables, mobil einsetzbares und hinsichtlich der Fragestellungen, variables Instrument vor, welches für angrenzende oder ggf. gänzlich andere Forschungs- und Präventionszwecke geeignet und einsatzfähig ist

6.7. Übertragung der Verhaltensdaten in Algorithmen des Transpondersystems

Die Übertragung von Verhaltensdaten in Algorithmen des Transpondersystems, seit November 2016 im Rahmen einer Master-Thesis an der HTW Saarbrücken bearbeitet. Den konzeptionellen Ausgangspunkt für den Versuch einer Kurzzeitverhaltensvorhersage bildeten dabei die habituelle Verhaltensvorhersage aus den gesammelten Verhaltensdaten und/oder die aktuellen Bewegungstrajektorien der Fußgänger. Das generelle Ziel war es, potentielle Konfliktsituationen zwischen Verkehrsteilnehmern mit Hilfe der Berechnung von potentiellen Kollisionsräumen frühzeitiger zu erkennen und dadurch zu warnen. Konkret sollte versucht werden, entwickelte und verfügbare Algorithmen zur Verhaltensvorhersage mit eigenen Berechnungen zu kombinieren und auf Basis der so gesammelten Informationen Heuristiken über den wahrscheinlichen Aufenthaltsort einer Person zu einem Zeitpunkt x vorherzusagen. Bestehende Schwierigkeiten bei der Verhaltens- bzw. Bewegungsvorhersage sind, dass sich das Verhalten von Fußgängern auf Grund ihrer Bewegungsfähigkeiten innerhalb kürzester Zeiträume grundsätzlich verändern kann, von einer Vielzahl nicht beobachtbarer intraindividuelle Impulse und nicht immer erfassbarer unmittelbarer Umgebungsbedingungen abhängig ist und daher hohe Anforderungen an die Stabilität, Genauigkeit und Leistungsfähigkeit (Geschwindigkeit und Kapazität) der Technik stellt. Da die verfügbaren Ressourcen der Endgeräte aber durch den Stand der Technik, die Kostenplanungen und die weiteren notwendigen und ebenfalls ressourcenintensiven Aufgaben im Rahmen der Positionierung und gegenseitigen Informationsweitergabe zwischen den Geräten begrenzt ist, bestand die Aufgabe nicht nur in der zuverlässigen Programmierung der Algorithmen, sondern auch in der Beachtung der situationsspezifisch erheblich variierenden Prädiktionsparameter. Damit ergaben sich mehrere Teilziele, deren Erreichung sich zumindest z.T. ausschließen können. Da das Ziel der genauen Verhaltensvorhersage möglichst umfänglich erreicht werden sollte, mussten eine Vielzahl von Variablen identifiziert und implementiert werden, was die Berechnung verlangsamt und ggf. zu Geschwindigkeitseinschränkungen bei der Positionsaufnahme- oder -weitergabe führen kann. Gleichzeitig ist die Parameter- und Berechnungsfrage aber essentiell für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Vorhersage, so dass diese beiden Ziele in der konkreten Anwendung in einen Konflikt traten. Daher versuchten beide Forschungsgruppen, auf Basis von sicherheitsorientierten, also defensiven Heuristiken, einen Kompromiss zwischen der Vorhersagegenauigkeit und -geschwindigkeit zu finden. Zu diesem Zwecke flossen daher zunächst Grundannahmen über das Laufverhalten in die Berechnung ein, deren Verletzung das System in einer gegebenen Situation automatisch in den Warnmodus versetzt. In ähnlicher Weise kann auch die Verschlechterung oder der Verlust der Ortung (GPS-Schatten) vom System durch eine generelle Warnung über die situativ eingeschränkte Funktion an den Benutzer zurückgemeldet werden, was wiederum eine Möglichkeit zur Reduktion der nachgewiesenen Kompensationseffekte, wie z.B. Sicherheitsillusionen, darstellen könnte. Das technische Vorgehen zur Testung der Zuverlässigkeit und Schnelligkeit der Algorithmen bestand darin, ein Referenzszenario zu konzipieren, auf das die verschiedenen Algorithmen angewendet werden können. Grundsätzlich musste dabei aber beachtet werden, dass die Erwartung einer annähernd hundertprozentigen Prognostizierung durch die nicht berechenbaren und ggf. impulsiven Verhaltensweisen des Menschen, weitere Interaktionseffekte zwischen verschiedenen Personen und/oder Fahrzeugen sowie die technische Leistungsfähigkeit der zum Projektzeitpunkt verfügbaren Technik nicht zu erfüllen war. Der Mensch bzw. sein situatives Sicherheitsverständnis und Sicherungsverhalten sind und bleiben die zentralen Elemente auch bei der Anwendung hochentwickelter Technik und Algorithmen.

6.8. Prototyp-Verbesserung I & II: Erhöhung der Messgenauigkeit

Zur Erreichung des Vorhabenziels **Prototyp-Verbesserung I & II: Erhöhung der Messgenauigkeit**, welches sich vornehmlich auf die Erfassung der aktuellen Positionen der beteiligten Verkehrsteilnehmer bezieht, wurde folgende Methodik angewandt: Zu Beginn des Projektes wurde anhand der Anforderungen an eine Positionierungslösung, welche sich durch das Einsatzgebiet des Systems ergeben, eine passende Technologie zur Realisierung einer solchen Lösung ausgewählt. Folgende Anforderungen wurden an die verwendete Positionierungslösung gestellt:

1. Einsatzgebiet: draußen (Betriebshöfe)
2. Hohe Positionsgenauigkeit
3. Hohe Zuverlässigkeit
4. Unabhängigkeit von umfassender Infrastruktur
5. Kostengünstig

Aus diesen Gründen wurde die Verwendung einer satellitengestützten Positionierungslösung, GNSS (Global Navigation Satellite System), beschlossen. Zunächst erfolgten Tests zur Bestimmung der Positionsgenauigkeit unter unterschiedlichen Bedingungen und unter Verwendung von reinem GPS (Global Positioning System), der wohl bekanntesten Version des GNSS. Die in diesen Tests gesammelten Daten bildeten die Grundlage für weitere Versuche, in denen andere GNSS-gestützte Lösungen getestet wurden.

Ein erster Schritt zur Verbesserung der Positionsgenauigkeit bildete die zusätzliche Nutzung satellitenbasierter Verbesserungssysteme (SBAS – Satellite Based Augmentation System). Hierbei versenden Satelliten zusätzliche Korrektur- und Statusinformationen, die von einem Empfänger zur genaueren Berechnung seiner eigenen Position verwendet werden können.

Ein weiterer Schritt war die Verwendung eines RTK-Systems (RealTime Kinematics). Diese Systeme arbeiten, ähnlich zu SBAS, mit Korrekturdaten. Diese werden jedoch über eine Basisstation verteilt und führen zu einer Positionsgenauigkeit von bis zu < 1 cm. Die bei den Tests mit dieser RTK-Lösung erhaltenen Ergebnisse wurden mit den anfänglich gemessenen GPS-Daten verglichen und bewertet.

6.9. Prototyp-Verbesserung I & II: Reduktion des Systems in Größe und Gewicht

Die zur Erreichung des Vorhabenziels **Prototyp-Verbesserung I & II: Reduktion des Systems in Größe und Gewicht** gewählte Methodik, orientierte sich vornehmlich an der Verfügbarkeit verwendbarer Bauteile. Die drei Hauptbestandteile des entwickelten Systems sind namentlich die Kommunikationseinheit (CCU), der Applikationsrechner (AU) und die Stromversorgung (PS). Da das System von einem Fußgänger bei sich geführt werden musste, lag der Fokus stets auf der Verwendung möglichst leichter und kompakter Bauteile. Gerade zu Beginn des Projektes mussten hier jedoch Kompromisse eingegangen werden, da als Kommunikationseinheit lediglich ein Prototyp zur Verfügung stand. Zudem gab es zu diesem Zeitpunkt nur wenig Auswahl an geeigneten Applikationsrechnern. Auch die Stromversorgung musste mithilfe einer schweren Blei-Batterie realisiert werden, da leichtere oder kompaktere Lösungen nicht verfügbar waren. Während der Projektlaufzeit wurden die einzelnen Komponenten sukzessive durch neuere und meist kleinere/leichtere Komponenten ersetzt, was auch zu einer Verkleinerung des Gesamtsystems führte.

7. ERGEBNISSE

7.1. Erfassung von Verhaltenswerten der Fahrradfahrer und Fußgänger im Betrieb

Die Auswertung der im September 2015 gewonnenen Daten wurde im Februar 2016 abgeschlossen. Hierbei konnte eine Vielzahl von systementwicklungsrelevanten Erkenntnissen gewonnen werden. Diese beziehen sich vor allem auf typische Verhaltens- und Interaktionsformen von Fußgängern und Fahrradfahrern, wiederholt beobachtete Fehlverhaltensweisen von Fahrradfahrern im innerbetrieblichen Verkehr und sicherheitsbezogene Reaktionen dieser Gruppen auf veränderte Verkehrsrahmenbedingungen. Ein grundlegendes Resultat ist, dass die Interaktions- und Konfliktkonstellationen zwischen Fußgängern, Fahrradfahrern und anderen Verkehrsteilnehmergruppen innerhalb betrieblicher Strukturen, denen im öffentlichen Verkehr ähneln. Verkehrsinfrastrukturell bedingte Besonderheiten und Unterschiede zeigen sich durch zeit- und ortsbezogene Expositionsverdichtungen zu den jeweils betriebsspezifischen Arbeitsbeginn- und Arbeitsendzeiten und durch spezifische verkehrsmittelbezogene Spezifika (bspw. höhere Anteile an Transport- und Arbeitsfahrzeugen wie LKW) und eine Verschiebung in den jeweiligen Anteilen von Konfliktartformen (d.h. höhere Anteile von Konfliktsituationen durch Rangieren, Rückwärtsfahrten etc.). Auch ist auf Basis der Daten begründet davon auszugehen, dass die grundlegende Zielgerichtetheit betrieblichen Verkehrsverhaltens zu Interaktions- und Konfliktverschiebungen führt, die bei der weiteren Systementwicklung Berücksichtigung fanden. Zusammengefasst lässt sich schlussfolgern, dass die beobachteten Verkehrsverhaltensweisen in ihrer Struktur ähnlich, in ihren relativen Auftretenswahrscheinlichkeiten jedoch akzentuiert sind. In den o.g. Systemtests und -demonstrationen wurde daher eine Vielzahl von sowohl öffentlich als auch betriebsintern relevanten Interaktionssituationen nachgestellt. Bei nahezu allen Situationen zeigte sich, dass das FRAMES-System in der Lage ist, potentielle Konfliktsituationen kurz vor bzw. in ihrer Entstehung zu entschärfen.

7.2. Ergebnisse der Risikokompensationsanalysen

Im Folgenden sind die Ergebnisse der unterschiedlichen Risikokompensationsanalysen im Experiment und kontrollierten Realsetting für die verschiedenen Zielstellungen und übergeordneten Meilensteine:

1. Analyse der Risikokompensationsverhaltensweisen der Fußgänger und Fahrradfahrer im Experiment,
2. Analyse der Risikokompensationsverhaltensweisen im (interaktiven) kontrollierten (Betriebs-)alltag / simulierten Realfahrsetting,
3. Testung und Analyse der Methodik zur Reduktion der Risikokompensation im Experiment und kontrollierten (Betriebs-)alltag / simulierten Realfahrsetting dargestellt.

7.2.1 Experimentelle Analyse der Risikokompensation

Inwieweit ist bei Einführung eines adaptiven Frühwarnsystems zur Mensch-Fahrzeug-Erkennung mit Risikokompensationseffekten (Verhaltensadaptationen) zu rechnen - also verhalten sich die Verkehrsteilnehmer unvorsichtiger, weil sie wissen, dass sie gewarnt werden?

Zur Beantwortung dieser Frage galt es, Unterschiede in den objektiven Fahrverhaltensdaten und den subjektiven Einstellungs- und Verhaltenseinschätzungen der Versuchsteilnehmer zwischen den Systembedingungen *mit* und *ohne* Warnsystem zu analysieren.

Die Ergebnisse aus den Analysen der ersten Phase zeigten einerseits auf, dass unter Einsatz des Systems weniger Kollisionen verursacht werden als ohne Assistenz. Damit konnte resümiert werden, dass das Warnsystem durchaus ein Sicherheitspotenzial bezüglich des Kriteriums des Unfallsaufkommens aufweist. 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, welche wiederum einen deutlichen Verhaltensanpassungseffekt aufzeigten, der in seiner Konsequenz das mögliche Sicherheitspotenzial des Systems verringern oder unter spezifischen Umständen sogar zu einem gegenteiligen Effekt (Erhöhung der Unfallzahl) führen kann.

Zusammengefasst konnte resümiert werden (für detaillierte Analyseergebnisse zur ersten Phase siehe Abschlussbericht 1), dass einerseits 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 war, sondern Kompensationseffekte zum Teil von den Nutzern auch selbst bewusst wahrgenommen werden, zeigten die Ergebnisse der direkten Kompensationsbefragung, bei der die Teilnehmer gebeten wurden anzugeben, inwiefern sich ihr Verhalten zwischen den Bedingungen verändert hat. Die Personen gaben an, „Mit System“ riskanter, schneller und unaufmerksamer zu fahren. Des Weiteren zeigten sich darüberhinausgehend auch deutliche Kompensationseffekte auf Einstellungs- und Bewertungsebene. So bewerten die Teilnehmer die Situation „Mit System“ weniger gefährlich als „Ohne System“.

Bereits die ersten 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.

In die Auswertung des computerbasierten Experiments der ersten Projektphase gingen jedoch lediglich die Daten von 21 Versuchspersonen ein, von denen 7 Männer und 14 Frauen im Alter zwischen 19 und 35 Jahren waren. Um die oben genannten Aussagen validieren zu können, wurde im Zuge der zahlreichen weiteren Kompensationsanalysen, auch die Basisbedingung als Vergleichsmöglichkeit erhoben, was so – wenn auch nicht als explizite Fragestellung für die Projektphasen 2 und 3 formuliert – nicht nur eine Erweiterung der Experimentalanalysen bezüglich der unter Punkt 5 genannten Fragestellungen vornahm, sondern zusätzlich gesichertere Aussagen hinsichtlich der Basisanalysen erlaubte.

7.2.1.1 Erweiterung der Experimentalanalysen zur Basisfragestellung aus Phase 1

Nach Abschluss aller experimenteller Untersuchungen gingen in die erweiterte Analyse der Basisfragestellung die Daten von N = 198 Versuchspersonen ein, von denen 62 Männer und 136 Frauen im Alter zwischen 19 und 73 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 27 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung 185 Personen einen Führerschein, wobei knapp 11% über weniger als 1 Jahr Fahrerfahrung, 49% zwischen 1 und 3 Jahre, 22% 3-10 Jahre und 18% über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügen.

Es wurde erneut untersucht, ob eine Veränderung der objektiven Fahrverhaltensdaten und subjektiven Einschätzungen zwischen den Systembedingungen nachzuweisen ist. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Analyse der Mittelwertunterschiede der objektiven Verhaltensdaten zur Untersuchung der Forschungsfrage findet sich in der nachfolgenden tabellarischen Übersicht. Zur deren besserer Verständlichkeit wurde eine differenzierte Betrachtung getrennt nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke vorgenommen.

Dies resultiert aus den bereits in den Berichten der ersten Phase dargestellten theoretischen und empirischen Befunde, nach denen deutlich wird, dass Verhaltensadaptationseffekte insbesondere dann stärker ausgeprägt auftreten, wenn sich die Nutzer solcher Systeme in der Situation subjektiv sicher fühlen.

Diese subjektive Sicherheit resultiert zum einen aus der Nutzung des Systems selbst, aber ist u.a. besonders dann zu beobachten, wenn kein oder kaum Verkehrsaufkommen vorliegt. Da dieses Element empirisch einen höchst komplexen Zusammenhang zur objektiven situationalen Sicherheit aufweist, muss deren subjektive Repräsentation als Sicherheitsillusion bezeichnet werden. Nachfolgend sind daher die Ergebnisse der Fahrten ohne Auftreten eines potenziellen Kollisionsgegners von besonderer Bedeutung zur Analyse der Risikokompensationseffekte (Tabelle 8).

Tabelle 7. Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge)

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Sign.(p)	Effektstärke (η^2)
Durchschnittliche Punktzahl	2,03	2,96	-0,93	.000***	0.54
Anzahl der Kollisionen	1,08	0,24	0,84	.000***	0.27
Durchschnittsgeschwindigkeit	18,75	19,45	-0,70	.000***	0.24
Durchschnittliche Beschleunigungshäufigkeit	1,85	1,61	0,24	.000***	0.41
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	1,07	0,75	0,32	.000***	0.41
Durchschnittliche Beschleunigungsstärke	3,33	3,60	-0,27	.000***	0.36
Durchschnittliche Bremsstärke	-2,01	-1,71	-0,30	.000***	0.12

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

Tabelle 8 Mittelwertvergleich der Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge ohne Fußgänger

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Sign.(p)	Effektstärke (η^2)
Durchschnittliche Punktzahl	2,92	4,52	-1,60	.000***	0.62
Durchschnittsgeschwindigkeit	19,29	21,32	-2,03	.000***	0.59
Durchschnittliche Beschleunigungshäufigkeit	1,81	1,20	0,61	.000***	0.67
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	0,89	0,21	0,68	.000***	0.68
Durchschnittliche Beschleunigungsstärke	3,26	3,80	-0,54	.000***	0.55
Durchschnittliche Bremsstärke	-1,80	-0,67	-1,13	.000***	0.49

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

Die Ergebnisse der erweiterten Stichprobenauswertung zeigen ein ähnliches Befundbild wie die Ergebnisse in Phase 1. Während die Anzahl der Kollisionen in der Bedingung mit Systemunterstützung insgesamt verringert wird, weisen die weiteren Fahrverhaltensweisen und Einstellungsmessungen deutlich auf das Auftreten unerwünschter Risikokompensationseffekte unter Nutzung des Warnsystems hin.

Diese Hinweise zeigen sich in der erweiterten experimentellen Untersuchung mit knapp 200 Probanden noch deutlicher. Im Gegensatz zur Phase 1 konnten bezüglich aller erhobenen Verhaltensvariablen signifikante Unterschiede in den Ausprägungen zwischen den beiden Systembedingungen festgestellt werden. So zeigen sich in der Gesamtbetrachtung über alle Durchgänge eines Versuchsblocks (Versuchsblock „Mit System“; Versuchsblock „Ohne System“), dass mit System mehr Punkte erreicht werden, die gefahrene Geschwindigkeit im Mittel über alle Durchgänge höher, die durchschnittliche Gesamtanzahl aller Bremsvorgänge eines Durchgangs verringert und dabei zudem die Bremsstärke deutlich reduziert ist, die Probanden daraus

resultierend geringere Werte in der Beschleunigungsanzahl aufweisen (da weniger gebremst wird und dementsprechend die Strecke aus zumeist einer gesamten Beschleunigungsphase besteht), jedoch die Beschleunigungsstärke dabei deutlich stärker ausfällt (Tabelle 7). All diese Effekte fallen zudem noch einmal besonders stark aus, werden lediglich die Durchgänge eines Versuchsblocks betrachtet, in denen kein Fußgänger die Fahrbahn kreuzte. In der aktiven Systembedingung waren sich die Probanden der Systemunterstützung bewusst, bekamen aber, systemdefiniert, keine Warnung auf Grund der Abwesenheit einer Gefahr. Dass dies zu einer vermeintlichen Sicherheit mit Verhaltensfolgeeffekten führt, zeigen die Ergebnisse der Tabelle 8. Vergleicht man die Mittelwertdifferenzen zwischen den Systembedingungen (MS vs. OS) aller Experimentaldurchgänge (Tabelle 7) und der ohne Fußgängeraufkommen (Tabelle 8), so zeigen letztere noch deutlichere Unterschiede auf.

Bildlich veranschaulicht sei dieser für alle Variablen nachweisbare Effekt an Hand des Beispiels der Bremsstärke. Abbildung 8 zeigt, dass der Effekt einer über alle Durchgänge verringerten Bremshäufigkeit, in den Durchgängen ohne Fußgänger (ohne Rückmeldung einer Gefahr) besonders stark ist.

OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M)

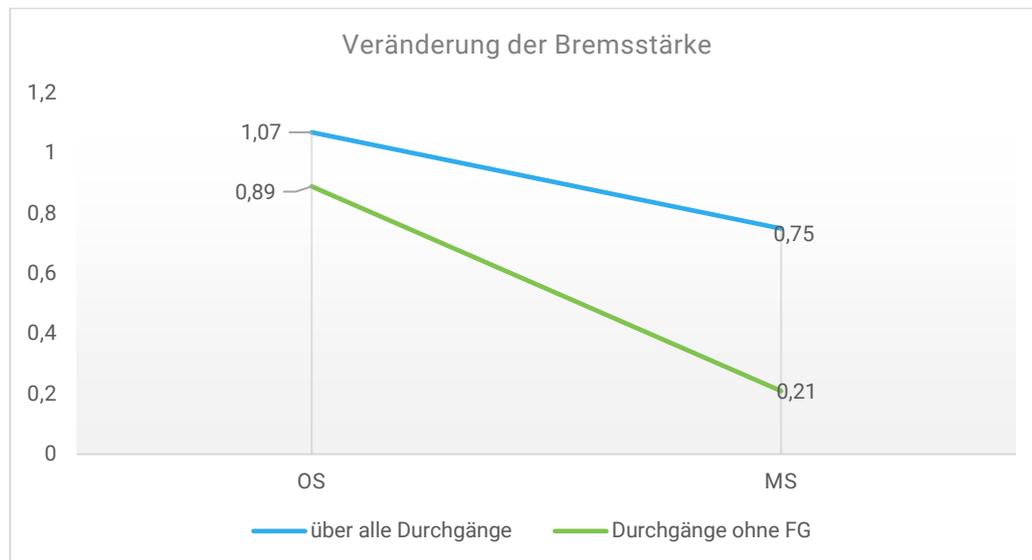


Abbildung 8: Veränderung der Bremsstärke nach Durchgängen

Auch bezüglich der subjektiven Fahrverhaltenseinschätzungen, die nach jedem Block erfolgte, zeigt sich ein vergleichbares Ergebnis mit den Daten der Phase 1. Diese stützen die Ergebnisse der objektiven Fahrdaten (vgl. Tabelle 9). So erleben die Probanden die Fahrsituation mit Systemunterstützung als deutlich weniger riskant und zugleich sicherer, jede Kollision vermeiden zu können.

Tabelle 9. Mittelwertvergleich der subjektiven Risikobewertungen zwischen den Bedingungen OS und MS

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Sign. (p)	Effektstärke (η^2)
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt?	3,67	2,66	1,01	.000***	0,41
Wie sicher waren Sie sich jede Kollision vermeiden zu können?	2,93	3,97	-1,04	.000***	0,45

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert (Wertebereich 1-5); p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

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. Im Vergleich zur Bedingung ohne System empfinden die Personen die die Situation mit System als weniger riskant, ($M = 1,92$), sie fühlen sich positiver gestimmt ($M=2,43$), geistig und körperlich entlastet ($M=2,10$) und fahren nach eigenen Angaben riskanter ($M=4,23$), schneller ($M=4,35$) und unaufmerksamer ($M=3,95$).

Damit konnte aufgezeigt werden, dass jene bereits in der theoretischen Erörterung dargestellten Faktoren, welche unerwünschte Verhaltensfolgeeffekte (Risikokompensation) bedingen bzw. wahrscheinlicher machen, vorliegen. So weisen die Teilnehmer eine verringerte Risikowahrnehmung und ein verstärktes Gefühl von Sicherheit, mit einem selbstreflektiertem individuellen Systemnutzen auf. Gegaart mit den Ergebnissen der objektiv erhobenen Fahrverhaltensdaten ist davon auszugehen, dass die Einführung und Nutzung eines Frühwarnsystems, so wie es hier getestet wurde, neben potenziellen Sicherheitsgewinnen (verringerte Kollisionsanzahl für dieses Szenario) auch – und insbesondere bei einer veränderten Fahrsituation – zu negativen Folgen für die Sicherheit führen kann. Die Ergebnisse aus Projektphase 1 konnten somit gestützt und erweitert werden. Für Phase 2 war daher nun sowohl von Interesse, welche weiteren Faktoren mit den festgestellten Risikokompensationseffekten zusammenhängen bzw. diese beeinflussen als auch eine Übertragung der Untersuchung auf die Gruppe der schwächeren Verkehrsteilnehmer vorzunehmen. Die untersuchten Faktoren und Bedingungen wurden unter Punkt 6 bereits dargestellt. Im folgenden Abschnitt werden die diesbezüglichen Ergebnisse beschrieben.

Fazit zur Analyse der Kompensationsverhaltensweisen der grundlegenden Risikokompensationsverhaltensweisen im Experiment

Es konnte aufgezeigt werden, dass jene bereits in der theoretischen Erörterung dargestellten Faktoren, welche unerwünschte Verhaltensfolgeeffekte (Risikokompensation) bedingen bzw. wahrscheinlicher machen, vorliegen.

So weisen die Teilnehmer eine verringerte Risikowahrnehmung und ein verstärktes Gefühl von Sicherheit, gemeinsam mit der Wahrnehmung eines individuellen Systemnutzens, auf.

Bei gemeinsamer Betrachtung dieser Ergebnisse und den weiteren erhobenen Fahrverhaltensdaten ist davon auszugehen, dass die Einführung und Nutzung eines vergleichbaren Frühwarnsystems, neben den potenziellen Sicherheitsgewinnen, auch zu negativen Folgen für die Sicherheit führen kann.

Diese Verluste führen also direkt zu einer Verringerung des Nettonutzens eines solchen oder eines vergleichbaren Systems, da sich zwar die Anzahl der Unfälle verringert, aber für die verbleibenden Unfallsituationen eine steigende Unfallschwere anzunehmen ist, die sich sehr wahrscheinlich aus höheren Geschwindigkeiten, geringeren Bremshäufigkeiten und Bremsstärken, bei gleichzeitig reduzierter Aufmerksamkeit für die Fahraufgabe, speist.

Ausblick:

Die hiermit nachgewiesenen Effekte der veränderten Wahrnehmung der Fahraufgabe und der Sicherheitssituation, finden bisher weder in Fahrschulen noch betrieblichen Sicherheitsunterweisungen Eingang, könnten aber im Rahmen einer geeigneten Bewusstmachung der Existenz solcher Effekte leicht in diese integriert werden.

7.2.2 Experimentelle Untersuchung von Risikokompensationseffekten bei Fußgängern

Da es sich beim FRAMES-System um ein wechselseitig kommunikatives Warnsystem handelt, bei welchem beide Verkehrsteilnehmergruppen eine Rückmeldung im Falle einer potenziellen Gefahrensituation erhalten und die Frage der Risikokompensation gerade bei den schwächeren Verkehrsteilnehmern in bisherigen Untersuchungen nur unzureichend untersucht worden ist, war genauso von Interesse, inwiefern sich die in Phase 1 gezeigten Effekte, auch in der Gruppe der Fußgänger nachweisen lassen.

Dazu wurde das bis zu diesem Zeitpunkt eingesetzte computerbasierte Experiment auf ein aus Sicht der nicht-motorisierten Nutzer gestaltetes Erhebungsszenario übertragen und entsprechend modifiziert.

In die Analyse der Basisfragestellung für die Fußgänger gingen die Daten von N=68 Versuchspersonen ein, von denen 20 Männer und 48 Frauen im Alter zwischen 20 und 46 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 25 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung 65 Personen einen Führerschein, wobei knapp 11% über weniger als 1 Jahr Fahrerfahrung, 46% zwischen 1 und 3 Jahre, 44% 3-10 Jahre und 9% über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügen.

Die Ergebnisse (vgl. nachfolgende Tabellen) der Analysen zeigen das gleiche Bild, wie es sich auch in der Basisuntersuchung aus Fahrerperspektive darstellt. Während die Anzahl der

Kollisionen in der Bedingung mit Systemunterstützung insgesamt verringert wird, weisen die weiteren Fahrverhaltensweisen und Einstellungsmessungen deutlich auf das Auftreten unerwünschter Risikokompensationseffekte unter Nutzung des Warnsystems hin.

In der Gesamtbetrachtung über alle Durchgänge eines Versuchsblocks zeigt sich, dass mit System mehr Punkte erreicht werden, die gelaufene Geschwindigkeit im Mittel über alle Durchgänge höher, die durchschnittliche Gesamtanzahl aller Bremsvorgänge (im Sinne einer Geschwindigkeitsreduktion des Laufens) eines Durchgangs verringert und dabei zudem die Bremsstärke deutlich reduziert ist. Weiterhin zeigten die Probanden geringere Häufigkeiten in der Anzahl der Beschleunigungen, jedoch mit höheren Beschleunigungsstärken.

Die Analyse der Effektstärken macht deutlich, dass die Effekte für die nicht-motorisierte Nutzergruppe im Vergleich zu den „fahrenden“ Teilnehmern größtenteils sogar noch stärker ausfallen. Die stärksten Unterschiede zwischen den Systembedingungen ließen sich in den Durchgängen nachweisen, in denen kein Fahrzeug die Strecke kreuzte. Damit ist ein grundsätzlicher Hinweis erbracht, dass auch bei Fußgängern mit grundlegend anderen Laufstrategien zu rechnen ist, wenn diese mit wahrnehmungs- und sicherheitssituationsverändernden technischen Schutzeinrichtungen ausgestattet werden.

Tabelle 10: Mittelwertvergleich der Laufverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge)

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)	Effektstärke (η^2)
Durchschnittliche Punktzahl	3,80	4,40	-0,60	.000***	0.50
Anzahl der Kollisionen	0,66	0,09	0,57	.000***	0.21
Durchschnittsgeschwindigkeit	6,08	6,25	-0,17	.000***	0.44
Durchschnittliche Beschleunigungshäufigkeit	3,21	2,78	0,43	.000***	0.53
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	1,51	1,03	0,48	.000***	0.49
Durchschnittliche Beschleunigungsstärke	2,09	2,19	-0,10	.000***	0.24
Durchschnittliche Bremsstärke	-1,35	-0,87	-0,48	.000***	0.54
Blickhäufigkeit pro Block	18,13	11,13	7,00	.000***	0.45

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

Tabelle 11: Mittelwertvergleich der Laufverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=10 Durchgänge ohne Fahrzeug

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Signifikanz (<i>p</i>)	Effektstärke (η^2)
Durchschnittliche Punktzahl	4,17	4,90	-0,73	.000***	0.58
Durchschnittsgeschwindigkeit	6,10	6,80	-0,70	.000***	0.64
Durchschnittliche Beschleunigungshäufigkeit	3,13	2,12	1,01	.000***	0.73
Durchschnittliche Brems Häufigkeit	1,38	0,17	1,21	.000***	0.71
Durchschnittliche Beschleunigungsstärke	2,08	2,26	-0,18	.000***	0.24
Durchschnittliche Bremsstärke	-1,70	-0,13	-1,57	.000***	0.70
Blickhäufigkeit pro Block	9,34	5,50	3,84	.000***	0.45

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; *p* = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; **p* < .05 ***p* < .01, ****p* < .001

Auch bezüglich der subjektiven Laufverhaltenseinschätzungen, die nach jedem Block erfolgte, zeigt sich ein vergleichbares Ergebnis mit den Daten aus Fahrerperspektive (Tabelle 12). So erleben die Probanden die Laufsituation mit Systemunterstützung als deutlich weniger riskant. Zugleich sind sie sich sicherer, jede Kollision vermeiden zu können.

Tabelle 12 . Mittelwertvergleich der subjektiven Risikobewertungen zwischen den Bedingungen OS und MS

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Sign. (<i>p</i>)	Effektstärke (η^2)
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt?	3,25	2,04	1,21	.000***	0,53
Wie sicher waren Sie sich jede Kollision vermeiden zu können?	3,41	4,43	-1,02	.000***	0,40

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert (Wertebereich 1-5); *p* = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; **p* < .05 ***p* < .01, ****p* < .001

Im Vergleich zur Bedingung ohne System empfinden die Personen die Situation mit System als weniger riskant, (*M* = 1,69), sie fühlen sich positiver gestimmt (*M*=2,01), geistig und körperlich entlastet (*M*=1,72) und bewegen sich nach eigenen Angaben riskanter (*M*=4,07), schneller (*M*=4,03) und unaufmerksamer (*M*=4,10).

Damit konnte aufgezeigt werden, dass jene bereits in der theoretischen Erörterung dargelegte Feststellung, dass Risikokompensationseffekte nicht allein auf Seiten der Fahrzeugführer auftreten, sondern auch bei Fußgängern erwartet werden können (wobei dies insbesondere in der Wechselbeziehung zwischen Fußgängern und motorisierten Verkehrsteilnehmern zu erwarten ist), auch in der vorliegenden computerbasierten Untersuchung Experiment bestätigt werden kann.

Fazit zur Analyse der Kompensationsverhaltensweisen bei Fußgängern im Experiment

Die Ergebnisse der Analysen zeigen das gleiche Bild, wie es sich auch aus Fahrerperspektive darstellt. Es konnte aufgezeigt werden, dass die in der theoretischen Erörterung geäußerte Vermutung der Existenz von Risikokompensationseffekten nicht allein auf Seiten der Fahrzeugführer auftreten, sondern auch bei Fußgängern erwartet werden können und müssen. Diese Annahme gilt umso mehr, wenn gegenseitige Wechselbeziehungen zwischen Fußgängern und motorisierten Verkehrsteilnehmern zu erwarten sind.

Ausblick:

Die Untersuchung der Folgeeffekte einer Nutzung unterstützender Systeme nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmer sollte sowohl in Forschung als auch bezüglich seiner praktischen Implikationen, gerade bei einer angedachten betrieblichen Nutzung dringend vertieft werden.

	Interaktivität							↓			
--	----------------	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

Abbildung 9 zeigt eine Übersicht der untersuchten Einflussfaktoren und Experimentalbedingungen sowie der nachweisbaren signifikanten Interaktions- und Veränderungseffekte. Die Interaktion ist ein Wechselwirkungseffekt und betrachtet die Veränderung eines Faktors in Abhängigkeit von der Veränderung eines anderen Faktors.

Bezüglich der Untersuchung der Risikokompensationseffekte bedeutet dies, dass diese dann auftreten, wenn sich die Wirkung eines Faktors (systembedingter Kompensationseffekt, z.B. geringere Bremshäufigkeit mit System) unterscheidet, je nachdem unter welcher Stufe eines zweiten Faktors (jeweils untersuchter Einflussfaktor; z.B. Zeitdruck) man diesen untersucht.

Dabei werden nur überzufällige Abweichungen von der Additivität als Interaktionseffekt bezeichnet. Da nicht alle Einflussfaktoren auch Variationsstufen in der Bedingung „Ohne System“ haben (zum Beispiel Warnmodus > kann nur bei vorhandenem System variiert werden), werden in diesen Fällen die verschiedenen Bedingungen einzeln betrachtet und verglichen.

In der folgenden Übersicht sind die Ergebnisse beider Arten der Wechselwirkungsbetrachtung für einen besseren Gesamtüberblick zusammenfassend dargestellt. In der sich anschließenden Beschreibung der Effekte wird zur besseren Veranschaulichung jeweils an Hand einer Variablen der Interaktionseffekt bzw. der Gruppenvergleich visuell dargestellt.

Ein Überblick über die teststatistischen Kennwerte der signifikanten Interaktionseffekte findet sich im Anhang dieses Berichts.

*hellgrün: tendenziell signifikanter Effekt, grün: signifikanter Effekt,

Die Pfeilrichtung zeigt die Richtungsveränderung des Haupteffekts (Risikokompensation) auf der Variablen in der Bedingung mit System; der Interaktions- bzw. Zusammenhangseffekt beeinflusst diese Ausprägung

Variation/ Einflussfaktor	Risikokompensationsvariablen									
	Kollisionen	Punktzahl	Geschwindigkeit	Beschleunigungs- häufigkeit	Beschleunigungs- stärke	Brems- häufigkeit	Brems- stärke	Risiko- bewertung	Risiko- motivation	Befinden
Pkw	Verkehrsaufkommen		↑	↑	↑	↑	↓	↓		
	Ablenkung		↑	↑						
	Stress/ Zeitdruck									
	Warnmodus	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓		
	Warnumfang									
	Systemzuverlässigkeit fn vs. fp	↓	↑					↓	↓	
	Systemzuverlässigkeit 0% vs. 20% vs. 40%			↑	↑			↓		
	Interaktivität	↓	↑				↓	↓	↓	
FG	Warnmodus									
	Interaktivität						↓			

Abbildung 9: Übersicht über die nachweisbaren signifikanten Interaktionseffekte für die untersuchten Einflussfaktoren/Experimentalbedingungen

7.2.3.1 Verkehrsaufkommen

In die Analyse gingen die Daten von N =35 Versuchspersonen ein, von denen 8 Männer und 27 Frauen im Alter zwischen 19 und 38 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 24 Jahren.

Bezüglich des Einflussfaktors „Verkehrsaufkommen“ zeigt sich für die verhaltensbezogenen Variablen durchgängig, dass die unerwünschten Kompensationsverhaltensweisen umso stärker ausfallen, je weniger Fahrer-Fußgänger-Interaktionen drohen.

Exemplarisch sei der Effekt an Hand der Variablen der durchschnittlichen Geschwindigkeit in der Abbildung 10 veranschaulicht.

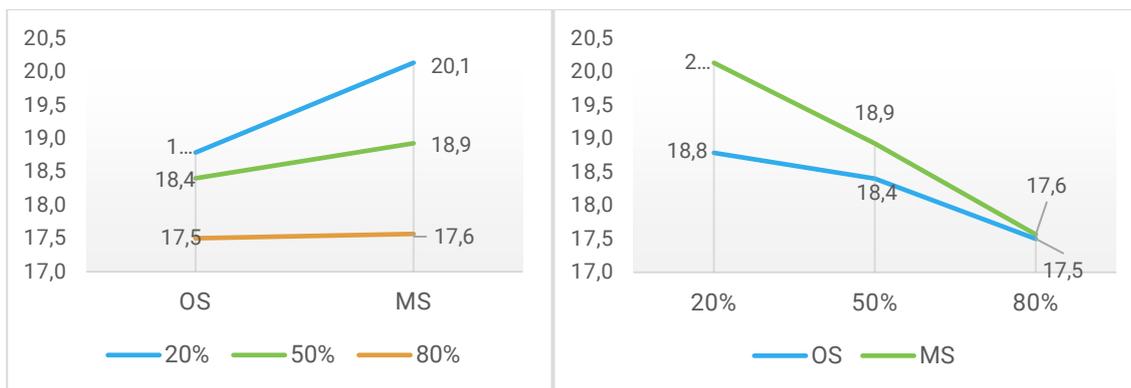


Abbildung 10: Interaktion und Verlauf der Faktoren Verkehrsaufkommen und durchschnittliche Geschwindigkeit

20%: geringes Verkehrsaufkommen; 50% mittleres Verkehrsaufkommen = Ausprägung der Basisbedingung; 80% hohes Verkehrsaufkommen; OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechend den mittleren Geschwindigkeiten in m/s

Mit abnehmendem Verkehrsaufkommen (Verringerung der Fußgängerwahrscheinlichkeit), also in scheinbar sichereren Situationen, ist die durchschnittlich gewählte Geschwindigkeit mit System noch einmal höher. In scheinbar gefährlicheren Situationen (Erhöhung der Fußgängerwahrscheinlichkeit) fällt der unerwünschte Effekt einer Geschwindigkeitserhöhung mit System geringer aus und sinkt auf das Niveau der OS-Bedingung, jedoch nicht darunter.

Für die weiteren Risikokompensationsvariablen stellen sich diese Wechselwirkungseffekte in ähnlicher Weise dar (vgl. Anhang 2). Sie fallen umso stärker aus, je geringer das Verkehrsaufkommen ist.

7.2.3.2 Ablenkung

In die Analyse gingen die Daten von N=30 Versuchspersonen ein, von denen 16 Männer und 14 Frauen im Alter zwischen 24 und 73 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 43 Jahren.

Bezüglich des Einflussfaktors „Ablenkung“, dessen Anwesenheit durch fahrbegleitende Nebenaufgaben unterschiedlicher Komplexität realisiert wurde, konnte nachgewiesen werden, dass ein Teil der unerwünschten Kompensationseffekte (Erhöhung von Punktzahl und Geschwindigkeit mit System) in ihrer Ausprägung geringer ausfallen. Dabei spielt jedoch die Art der Nebentätigkeit eine Rolle. Während sich bei Betrachtung der komplexeren Nebenaufgabe keine signifikanten Veränderungen ergeben, scheint die einfache

Nebenaufgabe eine positive Wirkung zu haben. So ergibt sich hier zwischen den Experimentalbedingungen ohne und mit System kein signifikanter Unterschied mehr.

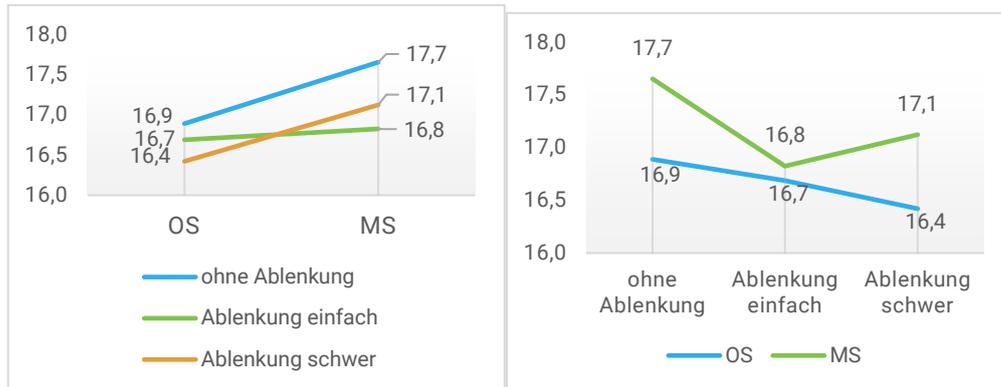


Abbildung 11: Interaktion und Verlauf der Faktoren Ablenkung und durchschnittliche Geschwindigkeit

OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechend den mittleren Geschwindigkeiten in m/s

Für die weiteren Risikokompensationsvariablen zeigen sich keine weiteren Wechselwirkungseffekte.

7.2.3.3 Zeitdruck/ Stress

In die Analyse gingen die Daten von N =39 Versuchspersonen ein, von denen 13 Männer und 26 Frauen im Alter zwischen 19 und 35 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 24 Jahren.

Bezüglich des Einflussfaktors „Stress“ scheint die Induzierung von Zeitdruck die unerwünschten Kompensationseffekte nicht bedeutsam zu beeinflussen. Beide Veränderungen der Fahrsituation (System & Zeitdruck) führen jeweils einzeln betrachtet zu einer Erhöhung des riskanten Verhaltens, potenzieren sich jedoch nicht bzw. heben sich nicht auf und weisen daher auch auf keine Wechselwirkung hin Exemplarisch sei dies an Hand der Variable *durchschnittliche Geschwindigkeit* in veranschaulicht.

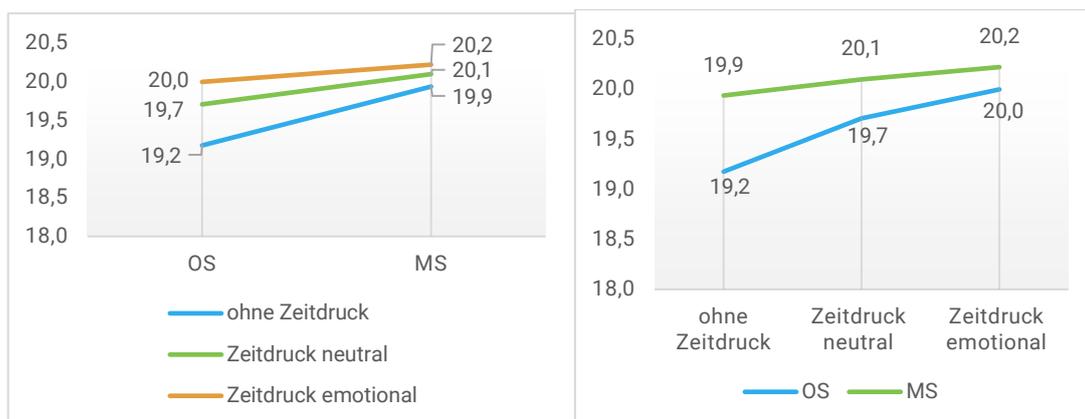


Abbildung 12 Interaktion und Verlauf der Faktoren Zeitdruck und durchschnittliche Geschwindigkeit

OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechend den mittleren Geschwindigkeiten in m/s

Neben diesen situationalen Faktoren, zeigen sich zudem Einflüsse spezifischer technischer Rahmenbedingungen des Systems, dessen Analyseergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

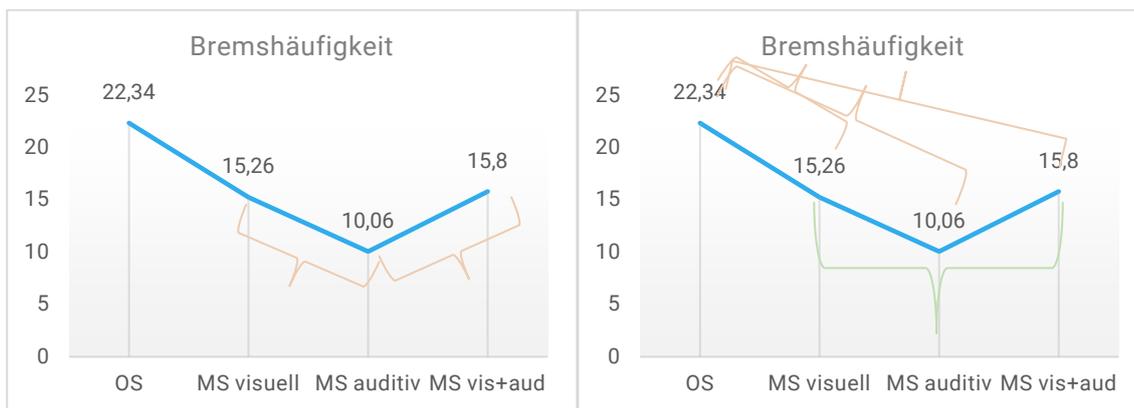
7.2.3.4 Warnmodus & Warnumfang

Zwei der untersuchten technischen Einflussfaktoren waren der Warnmodus (für Probanden aus Pkw-Perspektive: nur visuell, nur auditiv oder kombiniert) und der Warnumfang, welcher über das aktuelle Gefahrenpotenzial bzw. die Dringlichkeit einer Reaktion informierte.

In die Analyse gingen die Daten von N = 39 Versuchspersonen ein, von denen 13 Männer und 26 Frauen im Alter zwischen 19 und 38 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 23 Jahren.

Der Vergleich der drei Warnmodi ergibt eine Sonderstellung der rein auditiven Warnung. Die unerwünschten Kompensationseffekte sind für diese Bedingung am größten. Ein solcher Effekt findet sich für alle verhaltensbezogenen Risikokompensationsvariablen (*Punktzahl, durchschnittliche Geschwindigkeit, Bremshäufigkeit- und -stärke, Beschleunigungshäufigkeit- und -stärke*).

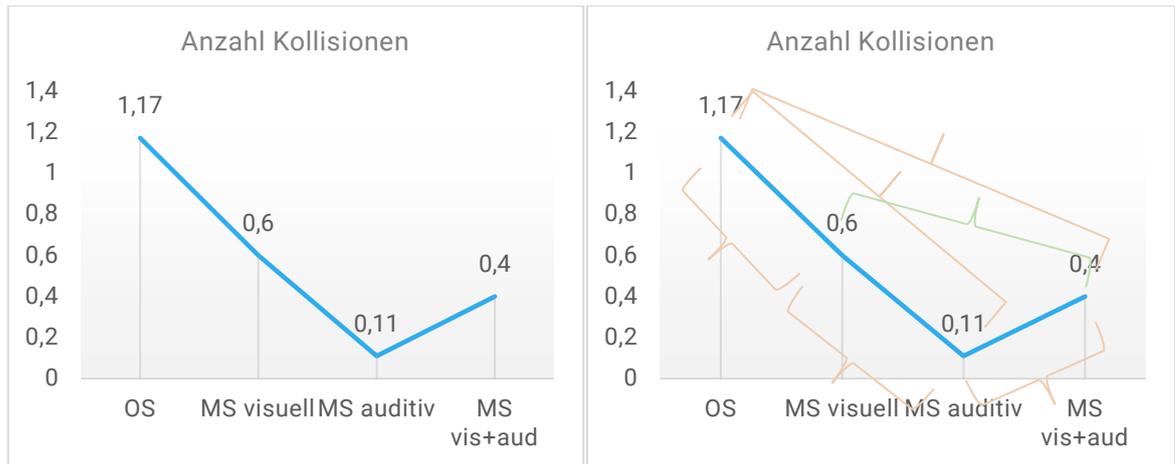
Exemplarisch seien diese an Hand der Variable *Bremshäufigkeit pro Versuchsblock* in der Abbildung 13 veranschaulicht.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 13: Mittelwertunterschiede der variierten Warnmodi für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten

Die Mittelwertunterschiede zwischen der „Ohne-System-Bedingung“ und der drei „Mit-System-Bedingungen“ sind jeweils signifikant. Zudem weist die rein auditive Bedingung einen jeweils signifikanten Unterschied zu den beiden weiteren „Mit-System-Bedingungen“ auf. Dieses Bild stellt sich für alle untersuchten Verhaltensvariablen dar. Allerdings zeigt sich dies auch für die Anzahl der Kollisionen (Abbildung 14).

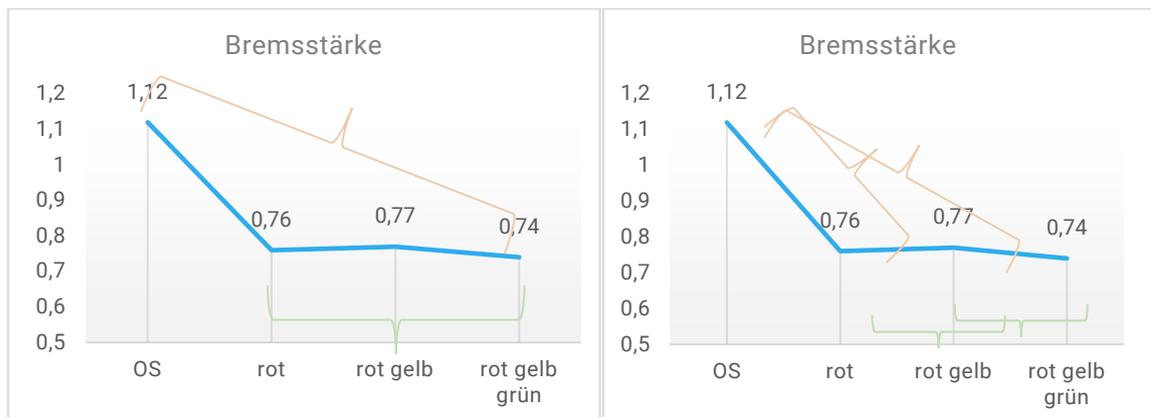


OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 14: Mittelwertunterschiede der variierten Warnmodi die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten

Dass sich die Unterschiede sowohl auf den verschiedenen unerwünschten Risikokompensationsvariablen zeigen als auch bezüglich der Kollisionsanzahl eine Verminderung festgestellt werden kann lässt resümieren, dass Schlussfolgerungen für die Rückmeldungsgestaltung als ambivalent zu betrachten sind. Gleichzeitig zeigt sich bei Nutzung einer rein auditiv gestalteten Warnung das höchste Unfallvermeidungspotenzial bei höchsten negativen Verhaltensanpassungseffekten auf den weiteren Variablen.

Bezüglich des Einflussfaktors „Warnumfang“ scheint die Gabe zusätzlicher Informationen bzw. Rückmeldung über das aktuelle Gefahrenpotenzial bzw. die Dringlichkeit einer Reaktion keinen Einfluss auf die unerwünschten Kompensationseffekte zu haben. In allen Systembedingungen, egal von welchem Warnumfang, zeigen sich die gleichen Verhaltensanpassungseffekte im Vergleich zur Bedingung ohne System. Exemplarisch sei dies an Hand der Variable *durchschnittliche Bremsstärke* in der Abbildung 15 veranschaulicht.



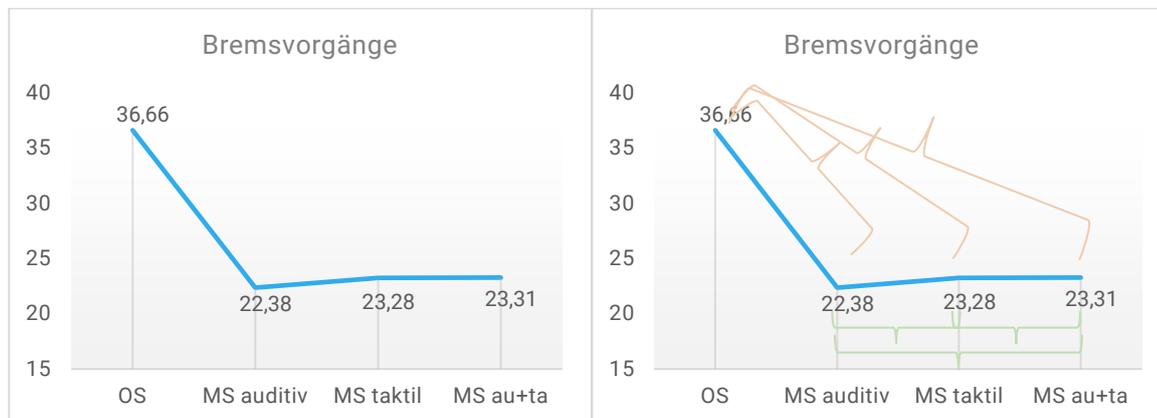
OS = Versuchsblock ohne System; rot = Versuchsblock mit System > einfache Warnung, rot gelb = Versuchsblock mit System > zweistufige Warnung; rot gelb grün = Versuchsblock mit System > dreistufige Warnung; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 15: Mittelwertunterschiede der variierten Warnstufen für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremsstärken

Des Weiteren wurde die Untersuchung zum Einfluss des Warnmodus zusätzlich für die Gruppe der Fußgänger gesondert umgesetzt und betrachtet, da deren Rückmeldung andere Modalitäten erfordert. So ist ein visuelles Signal auf Grund der anderen Verkehrsumgebung weniger geeignet, sodass an diese Stelle ein taktiler Rückmeldemodus (Vibrationsarmband) rückt. Damit wurde untersucht, inwiefern sich der Einsatz eines akustischen, taktilen oder eines kombinierten Rückmeldemodus auf den Kompensationseffekt auswirkt.

In die Analyse gingen die Daten von N =30 Versuchspersonen ein, von denen 8 Männer und 22 Frauen im Alter zwischen 19 und 46 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 23 Jahren.

Im Vergleich zur Gruppe der Pkw-Nutzer ergibt für die nicht-motorisierten Probanden keine Sonderstellung der rein auditiven Warnung. Die unerwünschten Kompensationseffekte sind für alle Rückmeldebedingungen bezüglich aller untersuchten Risikokompensationsvariablen gleich. Exemplarisch sei dies - wie auch für die Gruppe der Pkw-Nutzer - an Hand der Variable *durchschnittliche Bremshäufigkeit* in der Abbildung 16 veranschaulicht.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 16: Mittelwertunterschiede der variierten Warnmodi für die Gruppe der Fußgänger für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten

7.2.3.5 Systemzuverlässigkeit

Ein weiterer untersuchter technischer Faktor ist zudem der, der „Systemzuverlässigkeit“. Diese wurde im Experiment durch unterschiedliche Fehlerarten (fehlende vs. überflüssige Warnungen) und Fehlerwahrscheinlichkeit (20% vs. 40%) variiert. Die diesbezüglichen Fragestellungen lauteten:

Inwiefern hat die Art des Fehlers (falsch negativ/Auslassung, falsch positiv/überflüssige Warnung, Kombination beider Fehlerarten) einen Einfluss auf das Auftreten und Ausmaß der Risikokompensationseffekte?

Inwiefern hat die Fehlerwahrscheinlichkeit einen Einfluss auf Auftreten und Ausmaß der RK-Effekte?

In die Analyse gingen die Daten von N =27 Versuchspersonen ein, von denen 10 Männer und 17 Frauen im Alter zwischen 20 und 29 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 23 Jahren.

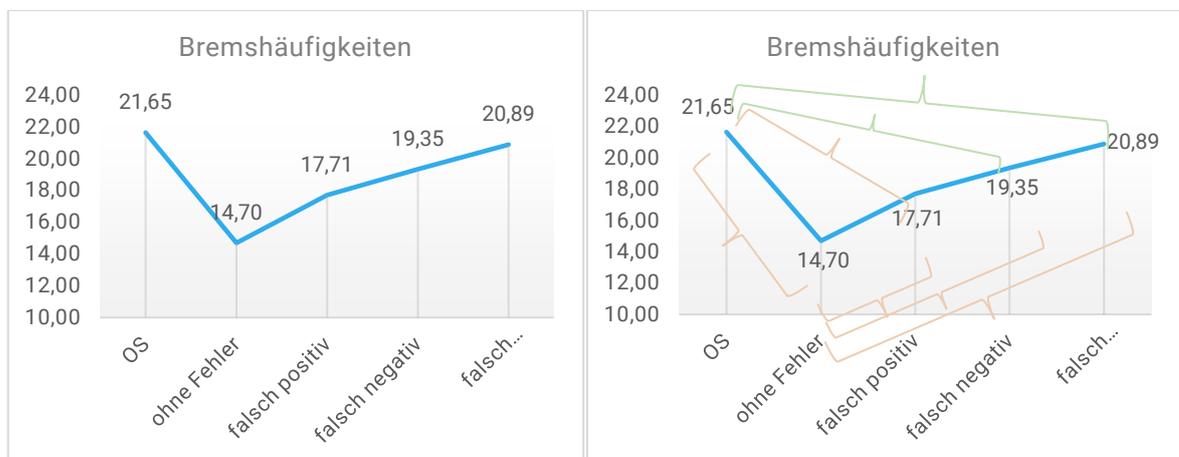
Bezüglich der Frage zum Einfluss der Fehlerart kann resümiert werden, dass insbesondere falsch negative Warnungen (fehlende Warnungen) zu einer Reduzierung der unerwünschten

Verhaltensanpassungen führen. Tabelle 13 zeigt überblicksartig die Mittelwertunterschiede der Risikokompensationsvariablen für die verschiedenen Systembedingungen und Fehlerarten, wobei grün markierte Zellen signifikante Unterschiede zur Ohne-System-Bedingungen darstellen, rot markierte Zellen weisen hingegen statistisch unbedeutsame Veränderungen mit System im Vergleich zu ohne aus.

Tabelle 13: Überblick der Mittelwertunterschiede für die verschiedenen Systembedingungen und Fehlerarten

Systembedingung		OS	MS			
		OS	ohne Fehler	falsch positiv	falsch negativ	falsch pos.&neg.
Risikokompensationsvariablen	Kollisionen	0,65	0,13	0,24	0,43	0,28
	Punktzahl	51,34	69,44	63,20	57,89	59,94
	Geschwindigkeit	19,46	20,23	20,01	19,72	19,72
	Beschleunigungshäufigkeit	37,91	33,13	35,19	36,59	37,30
	Beschleunigungsstärke	1,90	1,65	1,76	1,83	1,86
	Bremshäufigkeit	21,65	14,70	17,71	19,35	20,89
	Bremsstärke	1,08	0,73	0,88	0,97	1,04
	Risikobewertung	3,17	3,69	4,01	3,82	3,04
	Risikomotivation	3,65	3,82	4,00	4,04	3,65
	Befinden	3,16	3,08	3,12	3,03	3,06

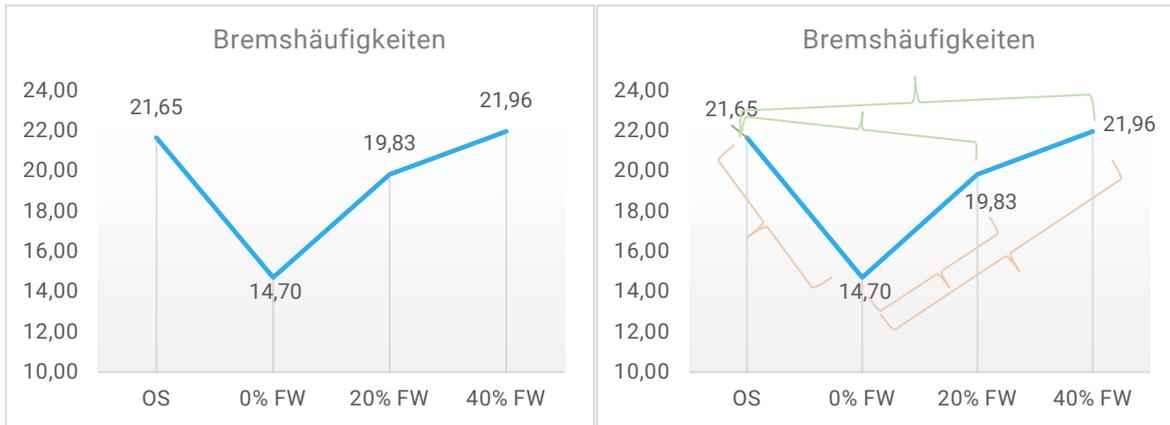
Für ein hundertprozentig zuverlässiges System, so wie es in der Basisbedingung gestaltet war, zeigen sich auf allen verhaltensbezogenen Variablen (bis auf die Anzahl der Kollisionen) die bereits nachgewiesenen unerwünschten Verhaltensanpassungen. Bei Induzierung einer Unzuverlässigkeit reduzieren sich diese jedoch. Unabhängig von der Fehlerwahrscheinlichkeit, zeigt sich, dass bei falsch positiven Warnungen (das System warnt vor jeder Kollision, aber teilweise auch zusätzlich, obwohl keine Gefahr droht) ein Teil der unerwünschten Anpassungseffekte noch bestehen bleibt, wohingegen mit Auftreten von falsch negativen Warnungen (das System gibt in einigen Fällen keine Warnung, obwohl eine Gefahr droht) keine statistisch bedeutsamen Unterschiede zum Verhalten und Erleben ohne Systemeinsatz mehr aufzuzeigen sind. Die relative Höhe der Werte ist dennoch nicht auf dem Niveau der OS-Bedingung. Exemplarisch sei dies an Hand der Variable *Bremshäufigkeit* in der Abbildung 17 veranschaulicht.



OS = Versuchsblock ohne System; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 17: Mittelwertunterschiede der varierten Fehlerarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten

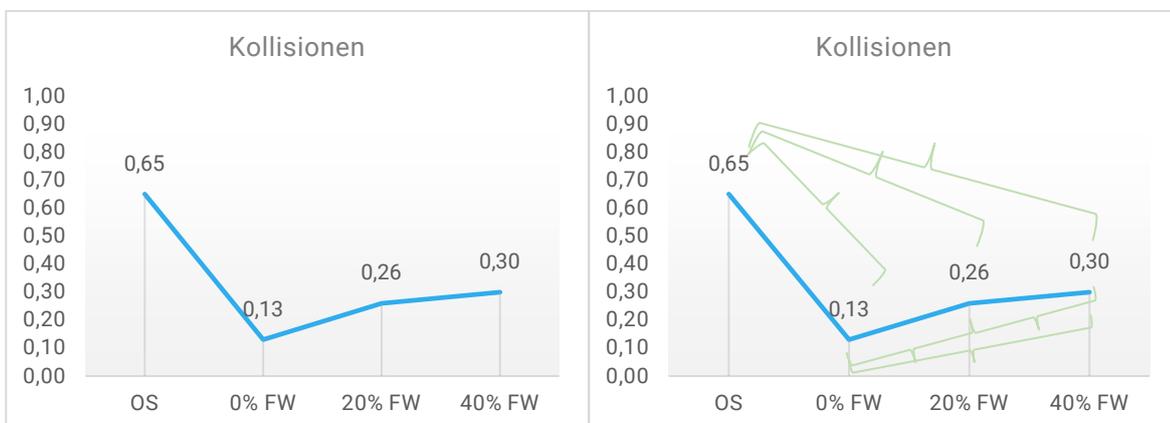
Für die Frage bezüglich des Einflusses der Fehlerwahrscheinlichkeit kann zusammenfassend resümiert werden, dass sich, unter Betrachtung beider Fehlerarten, sowohl bei 20% als auch bei 40% Fehlerwahrscheinlichkeit die unerwünschten Kompensationseffekte reduzieren. Dies bedeutet, dass sich die Probanden in Verhalten und Erleben den Werten der Bedingung ohne System anpassen. Diese Annäherung fällt unter Betrachtung der relativen Werte für die höhere Fehlerwahrscheinlichkeit jedoch noch stärker aus. Exemplarisch sei dies an Hand der Variable *Bremshäufigkeit* in der Abbildung 18 veranschaulicht.



OS = Versuchsblock ohne System; FW = Fehlerwahrscheinlichkeit; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 18: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerwahrscheinlichkeiten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Bremshäufigkeiten

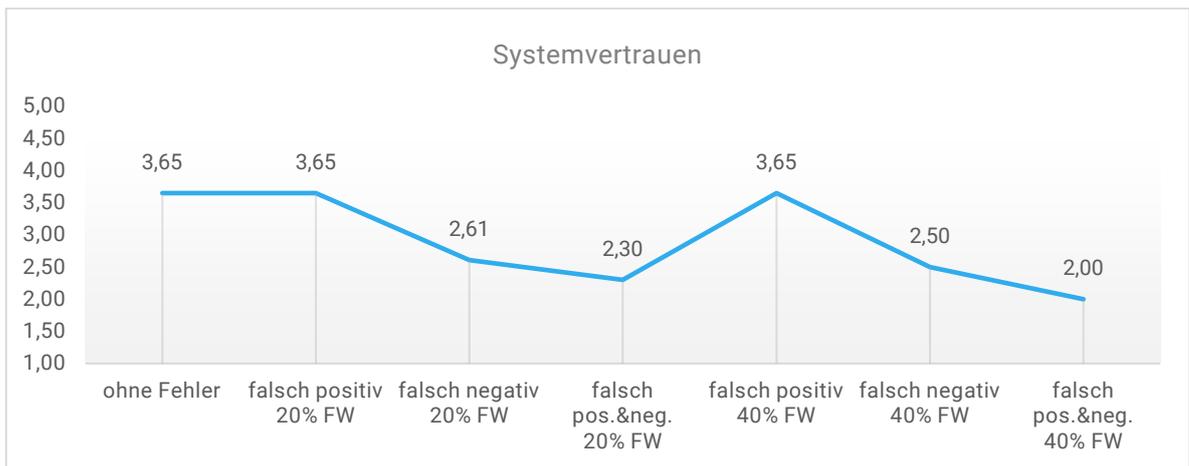
Ersichtlich wird, dass das Niveau der Bremshäufigkeiten bei Vorliegen einer vierzigprozentigen Fehlerwahrscheinlichkeit auf dem der „Ohne-System“ Bedingung ist. Gleichzeitig, wenn auch auf Grund der geringen Stichprobengröße durch die vorliegende Analyse statistisch nicht abgesichert, reduziert sich jedoch auch der positive Effekt der Kollisionsreduktion unter Systemnutzung. Dies bedeutet, dass bei höherer Fehlerwahrscheinlichkeit auch die Unfallwahrscheinlichkeit wieder zunimmt, dies jedoch nur tendenziell. Die tatsächlichen Werte liegen rein deskriptiv betrachtet noch unter dem Niveau der Ohne-System-Bedingung.



OS = Versuchsblock ohne System; FW = Fehlerwahrscheinlichkeit; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 19: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerwahrscheinlichkeiten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessenen Kollisionen

Ursächlich für die gefundenen Ergebnisse scheint der Umgang der Probanden mit dem System bzw. ihr diesbezügliches Systemvertrauen zu sein. So zeigt sich, dass vor allem durch die Kombination einer hohen Fehlerwahrscheinlichkeit (40%) und der 2 Fehlerarten eine hohe Verunsicherung bei den Systemnutzern entsteht. Bezüglich der Frage, wie sehr die Systemnutzer diesem vertrauten, geben die Probanden auf einer Einschätzungsskala von 1 bis 5, wobei 1 überhaupt kein Vertrauen und 5 vollkommenes Vertrauen widerspiegeln, der kombinierten Fehlerbedingung mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 40% einen Mittelwert von $M=2$ an (vgl. Abbildung 20).



FW = Fehlerwahrscheinlichkeit

Abbildung 20: Mittelwertunterschiede der variierten Fehlerwahrscheinlichkeiten und -arten für das über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks angegebene Systemvertrauen

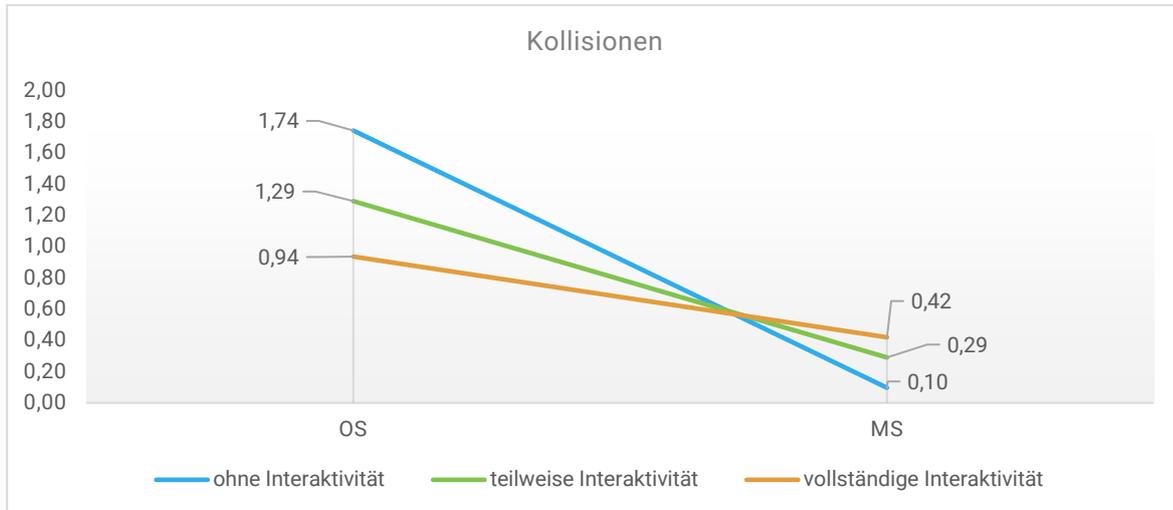
7.2.3.6 Interaktivität / Verantwortungsdiffusion

Ein weiterer entscheidender Einflussfaktor, der insbesondere beim geplanten *interaktiven* bzw. *adaptiven* Warnsystem von Relevanz ist, ist der der Interaktivität und die daraus potenziell resultierende „Verantwortungsdiffusion“. Diese beschreibt das Phänomen, das auftreten kann, wenn mehrere Akteure in einer Interaktion stehen und jeweils Handlungsmöglichkeiten besitzen. So kann dies zu der Folge führen, dass die Verantwortung für Tätigkeiten (wie das Einleiten/Durchführen von Vorsichtsreaktionen im Falle kritischer Situationen/Warnungen) auf den oder die jeweils anderen Akteure übertragen wird und so nicht durch die eigene Person ausgeführt werden. Zur Beantwortung der Fragestellung, ob mit einem Auftreten solcher Effekte unter Nutzung des FRAMES-Systems zu rechnen ist, und wie diese ausfallen, wurde im computergestützten Experiment ein fiktiver Mehrspielermodus implementiert, der zusätzlich zu der Basisbedingung, in welcher nur die Probanden eine Warnung erhielten, zwei schrittweise Erweiterungen des Systems beinhaltet. In der zweiten Bedingung wurde den Nutzern gesagt, dass ein Teil der kreuzenden Personen ebenfalls eine Warnung erhält, in der dritten Bedingung, dass alle potenziellen Gegner eine Rückmeldung bekommen und dementsprechend reagieren können.

In die Analyse der Erhebungen aus Fahrerperspektive gingen die Daten von $N = 31$ Versuchspersonen ein, von denen 7 Männer und 24 Frauen im Alter zwischen 29 und 52 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 25 Jahren.

Im Ergebnis zeigen sich signifikante Wechselwirkungseffekte für die verhaltensbezogenen Kompensationsvariablen *Kollisionsanzahl* und *Punkte* sowie tendenziell signifikante Interaktion für die *Bremshäufigkeiten*, *Bremsstärke* sowie die subjektive Einschätzung des

Risikos (*Risikobewertung*). Exemplarisch sei dies an Hand der Variable *Kollisionsanzahl* in der Abbildung 21 veranschaulicht.

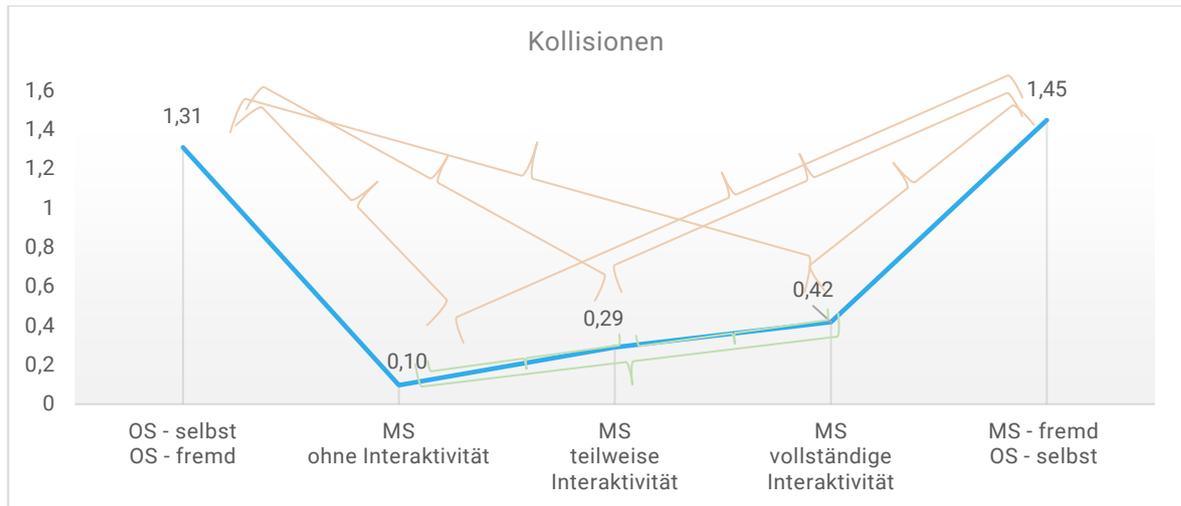


OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M)

Abbildung 21: Interaktion der Faktoren systembezogene Interaktivität und Kollisionsanzahl

Der Interaktionseffekt für die Variable der Kollisionsanzahl zeigt, dass allein die Information, dass die potenziellen Kollisionsgegner (hier Fußgänger) auch reagieren können, zu einer Verringerung der Systemwirkung führt. Für die weiteren verhaltensbezogenen Variablen bedeutet die signifikante Wechselwirkung, dass die negativen Kompensationseffekte besonders stark sind, wenn die Fahrer sich nicht allein in der Verantwortung sehen. So zeigen sich in den Interaktivitätsbedingungen beispielsweise noch weiter reduzierte Bremshäufigkeiten und -stärken.

In einer zusätzlichen Bedingung wurde zudem die Frage untersucht, ob eine weitere Form der Verantwortungsabgabe durch ein Frames-System zu erwarten ist, nämlich ob und inwiefern auch dann Risikokompensationseffekte auftreten, wenn lediglich der potenzielle Kollisionsgegner durch ein Warnsystem unterstützt wird. Die Probanden selbst fuhren hierbei ohne System, wobei Ihnen die Information gegeben wurde, dass der fiktive Gegenspieler eines besäße (MS-fremd/OS-selbst-Bedingung). Bezüglich aller verhaltensbezogener Risikokompensationsvariablen (mit Ausnahme der Bremsstärke) und dem emotionalen Befinden, zeigt der Vergleich der Mittelwerte zwischen der Bedingung ohne System (selbst/fremd), bei der für beide Spieler keine Systemunterstützung aktiviert war und der Bedingung, in welcher allein der fiktive Gegenspieler ein System zur Verfügung hatte, einen signifikanten Unterschied in Richtung einer unerwünschten Veränderung auf. Dies bedeutet, dass das allein das Wissen um die Systemunterstützung anderer Verkehrsteilnehmer bei eigener Nicht-Unterstützung bereits zu unerwünschten Verhaltensanpassungen führt. Zusätzlich findet sich bezüglich der Variable Kollisionsanzahl hingegen kein Mittelwertunterschied. Dies wiederum bedeutet, dass sogar der potenzielle Systemnutzen in diesem Falle wegfällt. Von den rein deskriptiven Werten kann sogar ein Anstieg der Unfallzahlen festgestellt werden. Abbildung 22 zeigt die diesbezüglichen Ergebnisse des Mittelwertvergleichs der Kollisionsanzahl auf.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M); grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

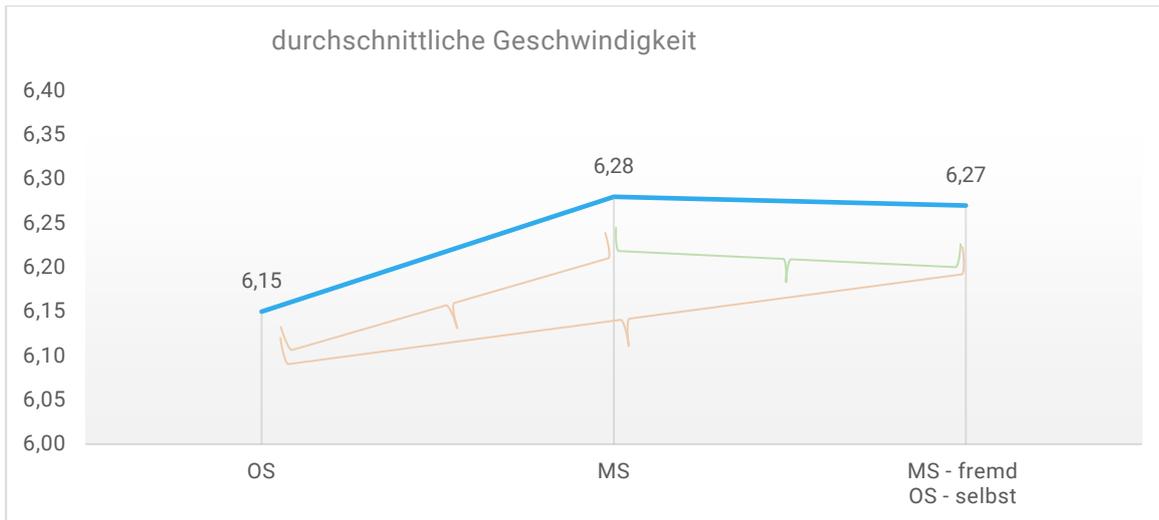
Abbildung 22: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessene Kollisionsanzahl

Wenn den Fahrern erklärt wird, dass die Fußgänger ein Warnsystem besitzen und Rückmeldung erhalten, sie selbst jedoch nicht, werden nicht nur positive Effekte reduziert bzw. entfallen, sondern zudem auch negative Verhaltensanpassungen hervorgerufen.

Für das computerbasierte Experiment aus Fußgängerperspektive, für welche diese Untersuchung ebenfalls gesondert durchgeführt wurde, können diese Ergebnisse, wie sie aus Fahrersicht nachweisbar sind, nicht in diesem Umfang repliziert werden. In die Analyse gingen die Daten von N = 38 Versuchspersonen ein, von denen 12 Männer und 26 Frauen im Alter zwischen 19 und 40 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 26 Jahren.

Im Ergebnis zeigt sich allein ein tendenziell signifikanter Wechselwirkungseffekt für die verhaltensbezogene Kompensationsvariable *Bremsstärke*, auch wenn die deskriptiven Werte in die vermutete Richtung weisen, so wie sie sich aus Fahrerperspektive statistisch abgesichert darstellen.

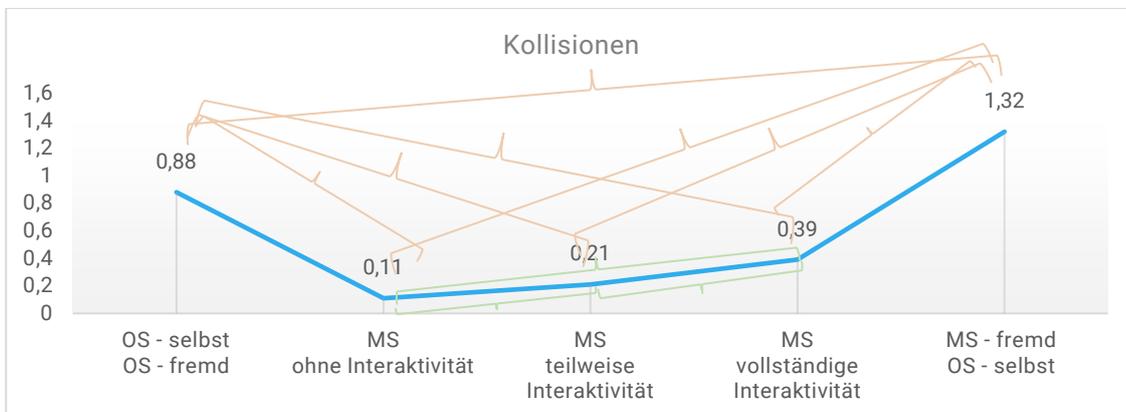
Bezüglich der zusätzlich untersuchten Bedingung und damit der Frage, ob und inwiefern auch dann Risikokompensationseffekte auftreten, wenn lediglich der potenzielle Kollisionsgegner durch ein Warnsystem unterstützt wird, zeigt sich jedoch auch hier ein vergleichbares Bild. Auch aus Fußgängerperspektive lassen sich auf allen verhaltensbezogenen Kompensationsvariablen (mit Ausnahme der Punktzahl und der Beschleunigungsstärke) und auf dem emotionalem Befinden signifikante Mittelwertunterschiede nachweisen, die bei alleiniger Anwesenheit eines Systems anderer auf unerwünschte Verhaltensanpassungseffekte hinweisen.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M) in m/s; grüne geschweifte Klammer > signifikanter Mittelwertunterschied, rote geschweifte Klammer > nicht signifikanter Mittelwertunterschied

Abbildung 23: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten aus Fußgängersicht für die durchschnittliche Geschwindigkeit

Wie auch aus Fahrerperspektive ist jedoch ebenfalls festzustellen, dass die positive Systemwirkung, die bei eigener Nutzung auftritt, für die Bedingung der „Fremdkompensation (Annahme, dass alleinig der potenzielle Gegner unterstützt wird) entfällt (vgl. Abbildung 24). Im Gegensatz zu den Untersuchungen aus Fahrerperspektive steigt aus Fußgängerperspektive die Kollisionsanzahl in der Bedingung der alleinigen Warnung anderer nicht nur auf das Niveau der OS-Bedingung, es nimmt sogar in signifikantem Maße zu.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M)

Abbildung 24: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessene Kollisionsanzahl

Dies bedeutet, bei Abwesenheit eines eigenen Systems, bei gleichzeitiger Anwesenheit eines Systems anderer findet sich sowohl eine Zunahme riskanter Verhaltensweisen als auch eine u.U. daraus resultierende Zunahme der Unfallzahlen.

Die Untersuchung der Einflussfaktoren im Experiment zeigt damit eine Reihe relevanter Zusammenhänge und Wechselwirkungen bezüglich des Auftretens und Ausmaßes unerwünschter Risikokompensationseffekte auf. Sowohl situationale als auch technische Faktoren können die ungünstigen Verhaltensanpassungen verstärken und das gleichzeitig nachgewiesene Sicherheitspotenzial des FRAMES-System schmälern. Diese Ergebnisse sind insbesondere für die Ableitung möglicher Reduktionsmaßnahmen der Risikokompensationseffekte von Bedeutung.

Fazit zur Analyse der Zusammenhänge und Einflussfaktoren auf die Risikokompensationseffekte im Experiment

Bezüglich des Einflussfaktors „Verkehrsaufkommen“ zeigt sich, dass die unerwünschten Kompensationsverhaltensweisen umso stärker ausfallen, je weniger Interaktionen drohen. In scheinbar sichereren Situationen steigt damit die Wahrscheinlichkeit für Unfälle, sobald Gefahren drohen.

Bezüglich des Einflussfaktors Ablenkung konnte nachgewiesen werden, dass ein Teil der unerwünschten Kompensationseffekte in ihrer Ausprägung geringer ausfallen. Dabei spielt jedoch die Art der ablenkenden Nebentätigkeit eine Rolle. Während komplexere Nebenaufgaben keine Veränderung des Kompensationseffekts ergeben, scheint eine einfachere Nebenaufgabe eine positive Wirkung zu haben, also den Kompensationseffekt leicht zu reduzieren. So ist zu vermuten, dass sich die Nutzer der Doppelbelastung bewusst sind und bei einfachen Aufgaben ein vorsichtigeres Fahrverhalten zeigen, um die Nebenaufgabe lösen zu können, wohingegen, das zeigen die Leistungen in den Aufgaben selbst, bei komplexeren Aufgaben die Aufmerksamkeit wieder eher auf die Fahrsituation gelenkt wird. Das Anpassungsverhalten bezieht sich nun auf die Aufgabe, diese wird dann weniger gewissenhaft bearbeitet, wobei sich damit keine Veränderungen im Fahrverhalten ergeben.

Bezüglich des Einflussfaktors Stress kann resümiert werden, dass Zeitdruck die unerwünschten Kompensationseffekte nicht bedeutsam zu beeinflusst. Stress für sich genommen führt zwar zu einer Erhöhung des riskanten Verhaltens, potenziert die durch die Systemnutzung resultierende gefährlichere Fahrweise jedoch nicht.

Für die Untersuchung des Warnmodus zeigt sich, dass die rein auditive Warnung die Stärksten Kompensationseffekte aufweist. Schlussfolgerungen für die Rückmeldungsgestaltung sind daher als ambivalent zu betrachten sind. Denn gleichzeitig zeigt sich bei Nutzung einer rein auditiv gestalteten Warnung das höchste Unfallvermeidungspotenzial bei höchsten negativen Verhaltensanpassungseffekten.

Bezüglich der Untersuchung des Einflusses der Systemzuverlässigkeit zeigt sich, dass vor allem durch die Kombination einer hohen Fehlerwahrscheinlichkeit und unterschiedlicher Fehlerarten eine hohe Verunsicherung bei den Systemnutzern entsteht. So verschwinden in diesen Fällen die unerwünschten Kompensationseffekte, gleichzeitig nimmt jedoch auch die Unfallwahrscheinlichkeit wieder zu. Diese liegt jedoch noch unter der, einer Fahrsituation ohne System, sodass resümiert werden kann, dass die Erzeugung einer Unsicherheit in ihrer Summe eine Reduktionsoption darstellt.

Zudem zeigt die Untersuchung der interaktiven/adaptiven Funktionsweise des Systems, dass diese zu der Folge führen kann, dass die Verantwortung für Tätigkeiten (wie das Einleiten/Durchführen von Vorsichtsreaktionen im Falle kritischer Situationen/Warnungen) auf den oder die jeweils anderen Akteure übertragen wird. Schon allein die Information, dass die potenziellen Kollisionsgegner auch reagieren können, führt zu einer Verringerung der positiven Systemwirkung sowie einer Verstärkung der negativen Kompensationseffekte, wenn sich die Nutzer nicht allein in der Verantwortung fühlen.

Letztlich ist auch mit einer Art „Fremdkompensation zu rechnen. Allein das Wissen um die Systemunterstützung anderer Verkehrsteilnehmer bei eigener Nicht-Unterstützung führt zu unerwünschten Verhaltensanpassungen und einer gleichzeitigen Verringerung des Systemnutzens. Es kann sogar ein Anstieg der Unfallzahlen festgestellt werden.

Ausblick:

Eine Verringerung des für einen Großteil dieser Einflüsseffekte ursächlichen Übervertrauens und der erzeugten Sicherheitsillusion muss durch technische und situationale Maßnahmen angestrebt werden. Besonders für die betriebliche Nutzung ist die Problematik der Fremdkompensation von Bedeutung und kann durch Informationen, Schulungen und Trainings angesprochen werden.

7.2.3.7 Zur Untersuchung der Risikokompensationsverhaltensweisen im interaktiven kontrollierten (Betriebs-)alltag / simulierten Realkontext

Die Entwicklung der Methodik zur Erfassung und Untersuchung der Risikokompensationseffekte im interaktiven simulierten Realkontext wurde bereits unter Punkt 6 dargestellt. An dieser Stelle werden die Ergebnisse, die mit Hilfe der entwickelten Methode erfasst und untersucht wurden, beschrieben. Durchgeführt wurden zwei Realfahrtszenarien. Mit der Übersetzung des computerbasierten Experiments in ein realistisches Szenario unter Nutzung des FRAMES-Systems in einem Testfahrzeug aus Fahrerperspektive, wurde die Frage untersucht, ob sich die im Experiment gezeigten Kompensationseffekte auch in einem realitätsähnlichen Kontext nachweisen lassen. Die Versuche stellen das im kontrollierten Realsetting durchgeführte Äquivalent zur Basisbedingung dar.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde die Methodik anschließend um den Aspekt der Interaktivität erweitert, sodass ein echtes wechselseitig adaptives Szenario mit beiden Nutzergruppen (motorisierte und nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmer) untersucht wurde,

welches ein maximal realitätsnahes Abbild der Funktionsweise des Systems abbildet. Untersucht wurden hier die Fragestellungen, ob einerseits die aus Fahrerperspektive bereits nachgewiesenen unerwünschten Verhaltensanpassungseffekte auch für die Gruppe der nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer im realen Setting repliziert werden können und, ob mit einem Auftreten der auch unter 7.2.1.3.6 beschriebenen Effekte zur Verantwortungsabgabe bei einer interaktiven Nutzung des FRAMES-Systems zu rechnen ist.

In die Analyse der Basisbedingung gingen die Daten von N =24 Versuchspersonen ein, von denen 18 Männer und 6 Frauen im Alter zwischen 24 und 40 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 30 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung alle Personen einen Führerschein, wobei knapp 4,2% (eine Person) über weniger als 1 Jahr Fahrerfahrung, 50% 12 (Personen) zwischen 4 und 10 Jahre und 45,8% (11 Personen) über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügten.

Es wurde, wie bereits in der Basisbedingung des computergestützten Experiments, untersucht, ob eine Veränderung der objektiven Fahrverhaltensdaten und subjektiven Einschätzungen zwischen den Systembedingungen nachzuweisen ist. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Analyse der Mittelwertunterschiede der objektiven Verhaltensdaten zur Untersuchung der Forschungsfrage findet sich in Tabelle 14: Mittelwertvergleich der realen Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge). Zur korrekten Deutung dieser wurde zusätzlich eine differenzierte Betrachtung getrennt nach Durchgängen mit und ohne Fußgängeraufkommen innerhalb der Blöcke vorgenommen.

Tabelle 14: Mittelwertvergleich der realen Fahrverhaltensvariablen zwischen den Bedingungen OS und MS pro Durchgang (über alle Durchgänge)

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Sign.(p)	Effektstärke (η^2)
Anzahl der Kollisionen	0,50	0,00	0,50	.015*	0.23
Durchschnittliche Punktzahl	3,01	3,50	-0,49	.002**	0.34
Durchschnittliche Streckenzeit (in Sekunden)	8,83	8,62	0,22	.012*	0.25
Durchschnittsgeschwindigkeit (in km/h)	31,55	32,26	-0,71	.008**	0.27
Durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit	39,88	40,56	-0,68	.019*	0.23
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	1,84	1,84	0,00	.943	0.00
Durchschnittliche Bremsstärke	-1,94	-1,84	-0,10	.113	0.12
Maximale Bremsstärke	-6,42	-4,98	-1,44	.000***	0.84

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

Tabelle 15: Mittelwertvergleich der realen Fahrverhaltensvariablen zwischen Bedingungen OS und MS für N=5 Durchgänge ohne Fußgänger

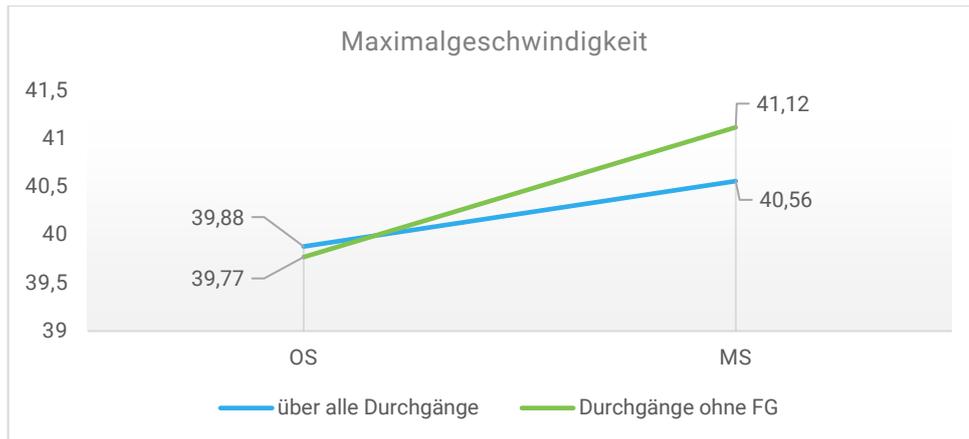
Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)	Effektstärke (η^2)
Durchschnittliche Punktzahl	4,89	4,92	-0,03	.659	0.01
Durchschnittliche Streckenzeit (in Sekunden)	7,11	6,92	0,19	.002**	0.33
Durchschnittsgeschwindigkeit	37,52	38,64	-1,12	.000***	0.45
Durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit	39,77	41,12	-1,35	.000***	0.51
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	1,45	1,44	0,01	.936	0.00
Durchschnittliche Bremsstärke	-1,68	-1,69	0,01	.927	0.00
Maximale Bremsstärke	-4,23	-4,50	0.27	.055	0.16

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

Die Ergebnisse der Realfahrexperimente aus Fahrersicht zeigen ein Bild, ähnlich dem der computerbasierten Analysen. Während die Anzahl der Kollisionen in der Bedingung mit Systemunterstützung insgesamt verringert wird, weist der größte Teil der weiteren Fahrverhaltensweisen (mit Ausnahme der Bremshäufigkeiten und-stärken) und Einstellungsmessungen deutlich auf das Auftreten unerwünschter Risikokompensationseffekte unter Nutzung des Warnsystems hin. Es zeigen sich in der Gesamtbetrachtung über alle Durchgänge eines Versuchsblocks (Versuchsblock „Mit System“; Versuchsblock „Ohne System“), dass mit System mehr Punkte erreicht werden, die gefahrene Geschwindigkeit im Mittel über alle Durchgänge höher, die gemessene Streckenzeit geringer, die maximal erreichte/gewählte Geschwindigkeit höher und die maximale Bremsstärke deutlich reduziert ist.

Ein Teil dieser Effekte fällt zudem noch einmal stärker aus, werden lediglich die Durchgänge eines Versuchsblocks betrachtet, in denen kein Fußgänger/Dummy die Fahrbahn kreuzte. In der aktiven Systembedingung waren sich die Probanden der Systemunterstützung bewusst, bekamen aber, systemdefiniert, keine Warnung auf Grund der Abwesenheit einer Gefahr. Dass dies auch hier zu einer vermeintlichen Sicherheit mit Verhaltensfolgeeffekten führt, zeigen die Ergebnisse der Tabelle 16. Vergleicht man die Mittelwertdifferenzen zwischen den Systembedingungen (MS vs. OS) aller Experimentaldurchgänge (Tabelle 14) und der ohne Fußgängeraufkommen (Tabelle 15), so zeigen letztere für die Variablen, Durchschnitts- und Maximalgeschwindigkeit noch deutlichere Unterschiede auf.

Bildlich veranschaulicht sei dieser Effekt an Hand des Beispiels der durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit. Abbildung 25 zeigt, dass der Effekt in den Durchgängen ohne Fußgänger (ohne Rückmeldung einer Gefahr) besonders stark ist.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M)

Abbildung 25: Veränderung der durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit nach Durchgängen

Auch bezüglich der subjektiven Fahrverhaltenseinschätzungen, die nach jedem Block erfolgte, zeigt sich ein vergleichbares Ergebnis mit den Daten aus dem computerbasierten Experiment (Tabelle xx). So erleben die Probanden die Fahrsituation mit Systemunterstützung als deutlich weniger riskant. Jedoch scheinen sie sich in beiden Versuchsbedingungen sehr sicher zu sein, jede Kollision vermeiden zu können.

Tabelle 16: Mittelwertvergleich der subjektiven Risikobewertungen zwischen den Bedingungen OS und MS

Skala	M-OS	M-MS	M-Differenz	Prüfgröße Sign.(p)	Effektstärke (η^2)
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt?	3,38	1,96	1,42	.000***	0.58
Wie sicher waren Sie sich jede Kollision vermeiden zu können?	4,71	4,83	-,12	.266	0.09

Anmerkung: OS = Systembedingung: Ohne Warnsystem; MS = Systembedingung mit Warnsystem; M = Mittelwert (Wertebereich 1-5); p = Irrtumswahrscheinlichkeit; η^2 = partielles ETA Quadrat; * $p < .05$ ** $p < .01$, *** $p < .001$

Weiterhin wurden die Teilnehmer auch hier 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. Im Vergleich zur Bedingung ohne System empfinden die Personen rückblickend die Situation mit System als weniger riskant, ($M = 1,25$), sie fühlen sich positiver gestimmt ($M=1,96$), geistig und körperlich entlastet ($M=1,92$) und fahren nach eigenen Angaben riskanter ($M=3,75$), schneller ($M=3,75$) und etwas unaufmerksamer ($M=3,63$).

Insgesamt konnten damit die Ergebnisse aus den computerbasierten Experimenten auch im Realfahrsetting repliziert werden.

In der zweiten Versuchsreihe wurde die Methodik um den Aspekt der Interaktivität erweitert, sodass ein echtes wechselseitig adaptives Szenario zusätzlich mit der Gruppe der nicht-motorisierten Nutzergruppen untersucht wurde.

In die Analyse gingen die Daten von $N = 22$ Versuchspersonen ein, von denen 11 Personen aus Fahrerperspektive teilnahmen. Diese Gruppe setzte sich aus 8 Männern und 3 Frauen im Alter zwischen 24 und 39 Jahren zusammen. Das Durchschnittsalter lag hier bei 37 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung alle Personen einen Führerschein, wobei zwei Personen über weniger als ein Jahr Fahrerfahrung, drei Personen zwischen 4 und 10 Jahre und fünf Personen über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügten. Aus Fußgängerperspektive nahmen weitere 11 Personen teil, hier 9 Männer und 2 Frauen im Alter von 18 und 64 Jahren. Das Durchschnittsalter lag bei 34 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung 10 Personen einen Führerschein, wobei eine Person über weniger als ein Jahr Fahrerfahrung, eine Person zwischen 1 und 3 Jahre, vier Personen zwischen 4 und 10 Jahre und weitere fünf Personen über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügten.

Untersucht wurden hier die Fragestellungen, ob einerseits die aus Fahrerperspektive bereits nachgewiesenen unerwünschten Verhaltensanpassungseffekte auch für die Gruppe der nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer im realen interaktiv gestalteten Setting genauso oder anders wirksam werden können und, ob mit einem Auftreten der weiter oben beschriebenen Effekte zur Verantwortungsabgabe bei einer interaktiven Nutzung des FRAMES-Systems zu rechnen ist.

Bezüglich des Haupteffekts und damit der Frage, ob auch in einem realitätsnahen Kontext unter gegebener interaktiver, also beidseitiger Nutzung, unerwünschte Verhaltensanpassungseffekte auftreten, kann unter Beachtung versuchs- und methodenrelevanter Spezifika verallgemeinernd resümiert werden, dass auch im Realkontext mit Risikokompensationseffekten zu rechnen ist. Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche für die relevanten Verhaltensvariablen und subjektiven Einstellungen finden sich überblicksartig in Tabelle 17. Hiernach wird zunächst ersichtlich, dass bei der vergleichenden Betrachtung der Gesamtzahl aller Durchgänge eines Versuchsblocks, nur wenige signifikante Unterschiede nachzuweisen sind. Hierbei muss jedoch einerseits berücksichtigt werden, dass mit einer pro Verkehrsteilnehmergruppe vorliegenden Teilnehmeranzahl von $N=11$ Personen, eine sehr geringe Stichprobengröße vorliegt, sodass bestehende Unterschiede vermutlich auf Grund der geringen statistischen Power noch nicht nachweisbar sind. So ist bei der vorliegenden Datenanalyse und Interpretation auch die Beachtung tendenzieller Effekte ($p < .100$) sowie der Richtungen der Mittelwertdifferenzen von besonderer Bedeutung. Zudem weist andererseits auch die Betrachtung der Ergebnisse

getrennt nach den Durchgängen *mit* versus *ohne* potenziellen Kollisionsgegner, auf eine erhebungsmethodische Besonderheit hin, die sich in den Ergebnissen widerspiegelt und bei ihrer Wertung zu berücksichtigen ist. Werden allein die Durchgänge betrachtet, in welchen ein Aufeinandertreffen der Verkehrsteilnehmer stattfand, so finden sich, wie auch in der Gesamtbetrachtung aller Durchgänge, zwei signifikante Unterschiede, die einen Hinweis auf kompensatorisches Verhalten in die vermutete Richtung (risikoerhöhend) geben. So ist mit System die durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit erhöht und die maximale Bremsstärke verringert. Gleichzeitig weisen die (wenn auch nicht signifikanten) Unterschiedsrichtungen für die fünf Durchgänge mit Kollisionsgegner auf eine Veränderung in die entgegengesetzte Weise hin. So wird unter Systemnutzung, bei Auftauchen des Anderen, eher häufiger gebremst, wenn auch weniger stark, sodass in der Summe auch eine leicht geringere Punktzahl mit System resultiert (vgl. rote Markierungen in Tabelle 17).

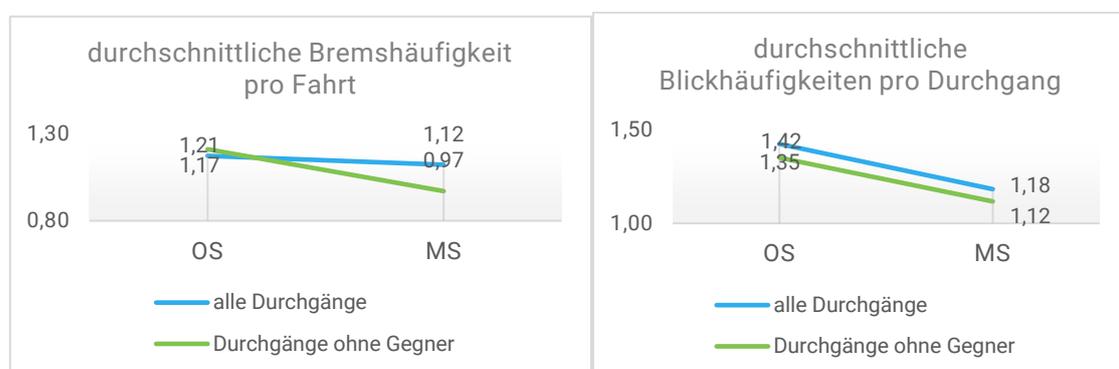
Tabelle 17: Übersicht zum Vergleich der Mittelwerte der Risikokompensationsvariablen nach Durchgängen

Skala	Durchgänge Gesamt mit und ohne Kollisionsgegner				Durchgänge ohne Kollisionsgegner				Durchgänge mit Kollisionsgegner			
	M-OS	M-MS	M- Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)	M-OS	M-MS	M- Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)	M-OS	M-MS	M- Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)
Kollisionen	0,09	0,09	0,00	1.000					0,09	0,09	0,00	1.000
Durchschnittliche Punktzahl	3,59	3,59	0,00	.999	4,74	4,87	-0,13	.065	2,48	2,34	0,14	.745
Durchschnittsgeschwindigkeit	28,19	28,19	0,00	.998	30,06	30,00	0,06	.747	26,40	26,39	0,01	.990
Durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit	38,73	39,39	-0,66	.004**	38,92	39,40	-0,48	.025*	38,56	39,40	-0,84	.014*
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	1,17	1,12	0,05	.290	1,21	0,97	0,24	.008**	1,14	1,25	-0,11	.211
Durchschnittliche Bremsstärke	-0,82	-0,78	0,04	.591	-0,43	-0,37	0,06	.074	-1,19	-1,17	0,02	.926
Maximale Bremsstärke	-3,30	-2,59	0,71	.031*	-1,31	-1,27	0,04	.756	-5,21	-3,87	1,34	.024*
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt? 1 gar nicht - 5 sehr	2,82	2,18	0,64	.240								
Emotionales Befinden -3 gestresst bis +3 entspannt	1,18	1,38	-0,18	.617								
Kollisionen	0,10	0,10	0,00	1.000					0,10	0,10	0,00	1.000
Durchschnittliche Punktzahl	4,18	3,98	0,20	.407	4,95	4,99	-0,04	.060	3,42	3,01	0,41	.385
Durchschnittsgeschwindigkeit	1,35	1,32	0,03	.266	1,46	1,47	-0,01	.012*	1,25	1,17	0,08	.211
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	0,43	0,57	-0,14	.217	0,10	0,00	0,10	.168	0,75	1,13	-0,38	.076
Durchschnittliche Bremsstärke	1,58	1,59	-0,01	.965	0,27	0,00	0,27	.082	1,65	1,59	0,06	.637
Durchschnittliche Beschleunigungsstärke	1,69	1,63	0,06	.099	1,78	1,77	0,01	.366	1,59	1,49	0,10	.140
Durchschnittliche Blickhäufigkeit	1,42	1,18	0,24	.021*	1,35	1,12	0,23	.020*	1,50	1,25	0,25	.017*
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt? 1 gar nicht - 5 sehr	3,55	2,45	1,10	.006**								
Emotionales Befinden -3 gestresst bis +3 entspannt	1,55	1,27	0,27	.695								

OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M); *p < .05 **p < .01, ***p < .001; tendenzieller Effekt p < .100

Der Grund, warum diese statistisch nicht bedeutsamen Werte hier trotzdem mit berichtet werden, ist der, dass diese ein Verhalten widerspiegeln, das während der Erhebungen beobachtet werden konnte und damit eine Erklärung für die im Mittel über alle Durchgänge nur vergleichsweise wenigen bedeutsamen Effekte darstellt. Das zu berücksichtigende Verhalten resultierte aus der konzeptionellen Methode. Die Probanden waren aufgefordert so sicher, aber auch so schnell wie möglich ins Ziel zu gelangen, im Falle eines Aufeinandertreffens, galt es also den Unfall zu vermeiden, der Kreuzungspunkt lag jedoch noch vor dem Ziel, sodass den Probanden gleichzeitig daran gelegen war, dennoch möglichst zügig die Fahrbahn zu queren. Wer nach Unfallvermeidung jedoch zuerst fahren durfte, musste zwischen den Probanden ausgehandelt werden. In der Folge resultierte ein beobachtbares unsicheres, konkurrierendes Verhalten, welches in teilweise mehreren Anläufen (anfahen, erneut abbremsen, warten, ob der Andere tatsächlich Vorfahrt gewährt, erneut anfahen, etc.) mündete. Mit System reagierten die Probanden nun aber schon bevor sie den anderen sehen konnten, bremsen teilweise ab und zeigten dieses Verhalten unter manchen Umständen noch einmal, wenn sie dann in (Sicht-)Kontakt mit dem jeweils anderen standen. Generell zeigt sich unter Systemnutzung bezüglich der Bremshäufigkeit also ein defensiveres Verhalten, wenn auch nicht in der Bremsstärke, da die Geschwindigkeiten bereits nach der Warnung reduziert waren. Ohne System mit Kollisionsgegner wurde in der Regel einmal stark gebremst, mit System etwas häufiger, aber weniger verzögernd. Diese Ausprägungen gehen in die Gesamtdurchgänge mit ein und können unter Umständen, neben der geringen Stichprobengröße, ein Grund für die im Vergleich zur realen Basiserhebung und zu den computerbasierten Experimenten, geringeren Effekten darstellen.

Werden nun jedoch die Durchgänge ohne Kollisionsgegner, also die vermeintlich sichereren Situationen betrachtet (vgl. grüne Umrandungsmarkierungen in Tabelle 17), finden sich selbst bei einem Stichprobenumfang von 11 Personen signifikante Unterschiede in die erwartete Richtung (vgl. grüne Umrandungsmarkierungen in Tabelle 17). So wird aus Fahrerperspektive mit System tendenziell eine höhere Punktzahl und eine signifikant höhere Maximalgeschwindigkeit erreicht, durchschnittlich weniger häufig gebremst und dies in einer geringeren durchschnittlichen und maximal eingesetzten Stärke. Aus Fußgängersicht zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch die hier zusätzlich erhobene Variable der Blickhäufigkeit (Kreuzungseinsehen) nimmt unter Nutzung des Systems ab. Zudem geben die Probanden an, die Situation mit System als weniger riskant zu erleben. Exemplarisch seien die Effekte für die Variable der durchschnittlichen Bremshäufigkeit aus Fahrersicht und der durchschnittlichen Blickhäufigkeit aus Fußgängersicht in Abbildung 26 dargestellt.



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M)

Abbildung 26: Veränderung der durchschnittlichen Brems- und Blickhäufigkeiten nach Systembedingung

Damit kann resümiert werden, dass auch im Realfahrsetting unter interaktiver Nutzungsweise des Systems damit gerechnet werden muss, dass ungünstige Verhaltensanpassungseffekte auftreten können. Eine Aussage bezüglich der kollisionsvermeidenden Wirkungsweise kann auf Grund der in den Erhebungen nur geringfügig vorgekommenen Unfällen, sowohl mit (N=1) als auch ohne System (N=1) nicht getroffen werden.

Ein weiteres Ergebnis, das jedoch das Fazit unerwünschter Veränderungen stützt und einen zusätzlichen Hinweis dafür liefert, dass die Interpretation der Werte, wie sie oben getrennt nach den Durchgängen vorgenommen wurde, untermauert, liefert die Analyse einer weiteren Systembedingung, welche im interaktiven Realfahrexperiment erhoben wurde. So wurde zum Ende der Versuchsreihe mit Systemunterstützung ein Durchgang implementiert, welcher einen Systemausfall simulierte. In diesem bekamen die Probanden keine Warnung (Auslassung; entspricht der Fehlerart: falsch negativ), obwohl ein potenzieller Kollisionsgegner die Straße kreuzte. Dieser Systemausfall wurde den Probanden nicht zurückgemeldet. Die Betrachtung der Unfallzahlen für diesen Durchgang (jeweils 1 Durchgang pro Probandenpaar, also N=11) zeigt, dass insgesamt fünf Unfälle/Beinahunfälle aus der fehlenden Warnung resultierten. Im Vergleich zur Bedingung ohne System ist hier also ein deutlicher Anstieg der Kollisionswahrscheinlichkeit zu verzeichnen. Dies zeigt, dass eben in genau diesen in Fällen, bei welchen sich die situationalen Rahmenbedingungen ändern (hier Systemausfall), das mit System gezeigte riskantere Verhalten, zu einer Risikoverschiebung führen und in der Folge eine unfallerhöhende Wirkung haben kann.

7.2.3.7.1 Untersuchung der Fremdkompensation im simulierten Realfahrkontext

In einer letzten Experimentalbedingung sollte mit der entwickelten Erhebungsmethodik noch die Frage untersucht werden, ob sich auch im simulierten Realfahrkontext der Effekt einer „Fremdkompensation“ (die Probanden selbst fahren/laufen ohne System, der potenzielle Gegner jedoch mit Unterstützung) zeigt. Im computerbasierten Experiment konnte bereits nachgewiesen werden, dass nicht nur positive Effekte reduziert werden bzw. entfallen, sondern zudem auch negative Verhaltensanpassungen resultieren. Das Wissen um die Warnung der anderen, erhöhte im Experiment also die eigene Unvorsichtigkeit. Ist das auch so im Realexperiment?

In die Analyse, welche aus Fahrerperspektive vorgenommen wurde, gingen die Daten der N=11 Pkw-Probanden ein. Die Ergebnisse des Mittelwertvergleichs finden sich in der folgenden Tabelle 19. Auf Grund der Voruntersuchungen zum Haupteffekt, welche zeigen, dass insbesondere die Betrachtung der Durchgänge ohne Kollisionsgegner von Relevanz ist, werden die Werte aus jenen Durchgängen, anstelle der Gesamtbetrachtungen, dargestellt.

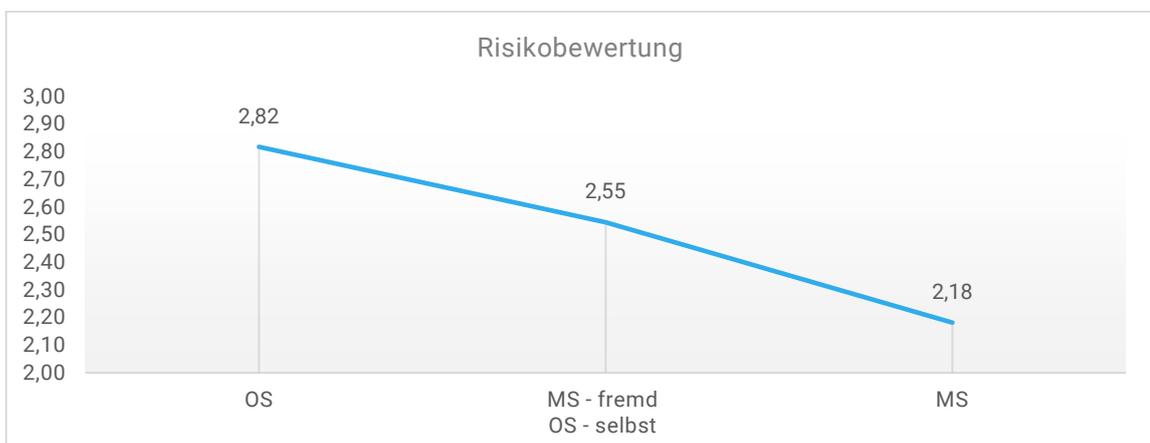
Eine „Fremdkompensation“ (die Nutzer kompensieren auch dann, wenn sie selbst kein System zur Verfügung haben) liegt vor, wenn sich auch zwischen der Bedingung ohne System (für beide Verkehrsteilnehmer) und der Bedingung ohne System selbst, aber mit System für den Fußgänger, signifikante Unterschiede in die erwartete Richtung ergeben. Die Ergebnisse zeigen, dass dies lediglich noch für die Bremshäufigkeit (tendenziell) erhalten bleibt. Die drei jeweils anderen tendenziellen und signifikanten Veränderungen zwischen den Bedingungen mit und ohne System (für jeweils beide) zeigen nun keine Unterschiede mehr auf. Allerdings ergeben sich im Vergleich, mit Ausnahme der durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit, auch keine Unterschiede zur Bedingung mit System. Da die zuvor gefundenen Differenzen zur Beurteilung des Haupteffekts bereits sehr klein oder nur tendenziell vorhanden waren und die Werte bzw. Verhaltensweisen in der

Fremdkompensationsbedingung nach deskriptiver Betrachtung zwischen denen der OS und der MS-Bedingung liegen, kann hier keine statistisch abgesicherte Aussage getroffen werden. Deutlich wird aber, dass bei Vorhandensein eines Systems für den potenziellen Gegner, bei gleichzeitiger Abwesenheit eines eigenen Systems, eben keine deutliche Annäherung bzw. Veränderungen in die eine oder andere Richtung stattfinden. Dass sich die Verhaltensanpassungen unter Umständen zwischen den jeweils anderen Bedingungen (ohne vs. mit für beide Verkehrsteilnehmergruppen) bewegt, zeigt auch die rein deskriptive und die Veränderungsrichtung berücksichtigende Betrachtung der subjektiven Einschätzungen. So beurteilen die Probanden über alle Durchgänge hinweg an, die Bedingung ohne Systemunterstützung am riskantesten, gefolgt von der einseitigen Unterstützung und anschließend der beidseitigen Nutzung, die im Vergleich als am wenigsten riskant angesehen wurde. Allerdings bewegen sich all diese Einschätzungen in einem mittleren Bereich (vgl. Abbildung 27).

Tabelle 18: Übersicht zum Vergleich der Mittelwerte der Risikokompensationsvariablen nach Interaktionsstufen

Skala	M-OS	M		M-Differenz OS vs. OS-selbst/MS- fremd	Prüfgröße Signifikanz (p)	M-Differenz OS-selbst/MS- fremd vs. MS	Prüfgröße Signifikanz (p)
		OS-selbst	M-MS				
Kollisionen (mit Kollisionsgegner)	0,09	0,00	0,09				
Punktzahl	4,74	4,74	4,87	0,00	.955	-0,13	.204
Durchschnittsgeschwindigkeit	30,06	29,66	30,00	0,40	.162	-0,33	.367
Maximalgeschwindigkeit	38,92	38,67	39,40	0,25	.420	-0,72	.019*
Bremshäufigkeit	4,73	4,09	3,91	0,64	.088	0,18	.166
durchschnittliche Bremsstärke	-0,43	-0,40	-0,37	0,03	.482	0,03	.443
Maximale Bremsstärke	-1,31	-1,07	-1,27	-0,23	.043*	0,19	.172
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt? 1 gar nicht - 5 sehr	2,82	2,55	2,18	0,27	.465	0,36	.267
Emotionales Befinden -3 gestresst bis +3 entspannt	1,18	1,55	1,36	-0,36	.166	0,18	.552
Systemvertrauen 1 gar nicht - 5 sehr		3,27	3,91			-0,64	.110

OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M); *p < .05 **p < .01, ***p < .001; tendenzieller Effekt p < .100



OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M)

Abbildung 27: Mittelwertunterschiede der variierten Interaktivitäts-Verantwortungsarten für die über alle Versuchsdurchgänge eines Experimentalblocks gemessene Risikobewertung

Fazit zur Analyse der Risikokompensationseffekte im kontrollierten Realfahrsetting

Die Ergebnisse der Realfahrexperimente zur Basisbedingung aus Fahrersicht zeigen, dass sich auch hier bezüglich der grundlegenden Fragestellung zu Auftreten und Ausmaß der Risikokompensationseffekte die unerwünschten Anpassungseffekte zeigen. Auch bei interaktiver, also beidseitiger Nutzung, zeigt sich, wenn auch vermutlich durch erfassungsmethodische Besonderheiten bedingt weniger deutlich, dass beide Verkehrsteilnehmergruppen unter Systemnutzung riskanter agieren und dem System vertrauen. Zudem lassen sich auch im simulierten Realfahrkontext Hinweise auf das Vorliegen eines „Fremdkompensationseffektes“ nachweisen. Eine Aussage bezüglich der kollisionsvermeidenden Wirkungsweise kann auf Grund der geringen Unfallzahl im interaktiven Setting leider nicht getroffen werden.

Ausblick:

Bezüglich des Sicherheitspotenzials und der Stärke der unerwünschten Effekte sollten weitere Analysen, beispielsweise im realen betrieblichen Einsatz durchgeführt werden.

7.2.3.8 *Zur Reduktion der Risikokompensation im Experiment und kontrollierten (Betriebs)alltag / simulierten Realkontext*

Ziel der bisherigen Analysen war nicht nur zu untersuchen, ob und welche erwünschten und unerwünschten Effekte auftreten, sondern in ihrer Konsequenz ebenso, wie die unerwünschten, nutzenminimierenden Folgen durch verschiedenste Maßnahmen reduziert werden können, um den potenziellen Sicherheitsgewinn des zu entwickelnden Systems zu maximieren.

Die Analysen zur Beantwortung der bisherigen Fragestellungen, ob und inwiefern unter Nutzung des FRAMES-Systems mit dem Auftreten von Risikokompensationseffekten zu rechnen ist, wie sich diese gestalten und welche Faktoren in Wechselwirkung mit diesen stehen, zeigen zusammenfassend auf, dass insbesondere dann mit unerwünschten Verhaltensanpassungen zu rechnen ist bzw. diese stärker ausfallen, wenn sich bei den Personen durch das System oder die umgebenden Bedingungen ein verstärktes Sicherheitsgefühl einstellt (z.B. bei geringem Verkehrsaufkommen, angenommener absoluter Zuverlässigkeit des Systems und zusätzlichen unterstützten Akteuren). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass genau jene Faktoren für eine Reduktion der Verhaltensanpassungen angesprochen werden müssen, die jene Sicherheitsillusion verhindern oder reduzieren.

Sowohl die theoretischen als auch empirischen Analysen zeigen, dass hierfür im Allgemeinen zwei grundsätzliche Stellgrößen existieren, über die eine Veränderung des Risikoverhaltens erreicht werden kann. Dies sind einerseits das von den Nutzern subjektiv *akzeptierte* und andererseits das in der Situation *wahrgenommene* Risiko. Grundsätzlich gilt, dass die Gefahrenwahrnehmung der Verkehrsteilnehmer erhöht und das von ihnen akzeptierte Risiko gesenkt werden muss, damit eine negative Kompensation verringert oder gar verhindert werden kann. Dazu dienliche grundlegende Prinzipien wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit bezüglich des FRAMES-Kontextes bewertet. Anschließend erfolgte eine konkrete Übersetzung der Prinzipien in system- und experimentalspezifische Bedingungen.

Ein Prinzip, welches geeignet ist, um die Stellgröße des subjektiv akzeptierten Risikos - im Sinne einer Herabsetzung - zu verändern und damit die Wahrscheinlichkeit für ein Auftreten von Risikokompensationseffekten zu verringern, ist die Erhöhung der „Kosten“ riskanten Verhaltens und des „Nutzens“ vorsichtigen Verhaltens sowie die Verringerung der „Kosten“ vorsichtigen Verhaltens und des Nutzen riskanten Verhaltens. Dieser Mechanismus wurde in das computerbasierte Experimentalszenario übersetzt. Konkret hieß das, dass zwei Versuchsblöcke mit System durchgeführt wurden, die sich einerseits untereinander und andererseits im Vergleich zu den, auch in den vorherigen Basisuntersuchungen durchgeführten, Versuchsblöcken ohne Systemunterstützung unterschieden. In einem Systemblock wurde eine Erhöhung der Kosten riskanten Verhaltens integriert, indem für die Probanden vorab ersichtlich, Kollisionen mit 25 Minuspunkten (an Stelle der zuvor 5 Minuspunkte) „bestraft“ wurden, im anderen Systemblock wurde eine Nutzenmaximierungsstrategie gewählt, bei der zusätzliche Pluspunkte für jede erfolgreich vermiedene Kollision angekündigt wurden. Verglichen wurden erneut die Verhaltens- und Einstellungsmaße mit und ohne System.

In die Analyse gingen die Daten von N =29 Versuchspersonen ein, von denen 5 Männer und 24 Frauen im Alter zwischen 18 und 38 Jahren waren. Das Durchschnittsalter lag hier bei 25 Jahren. Von diesen besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung 27 Personen einen Führerschein,

wobei 7% über weniger als ein Jahr Fahrerfahrung, 45% zwischen 1 und 3 Jahre, 38% zwischen 4 und 10 Jahre und weitere 10% über mehr als 10 Jahre Fahrpraxis verfügten.

Die gewünschte Zielvorstellung für die Reduktion der Kompensationseffekte bedeutet für die Ausprägungen der erfassten Kompensationsvariablen, dass der nachgewiesene sicherheitszuträgliche Aspekt des Systems, hier also die Reduktion der Unfallzahlen erhalten, die unerwünschten Veränderungen jedoch reduziert oder nicht mehr vorhanden sein sollten. Dies bedeutet, dass ein weiterhin signifikanter Unterschied für die Variable *Kollisionszahl*, bei ansonsten nicht mehr bestehenden Unterschieden als Abwesenheit von den bisher nachgewiesenen unerwünschten Effekten interpretiert werden kann und somit eine Reduktion der unerwünschten Effekte erreicht wurde.

Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche zwischen den Systembedingungen sind in Tabelle 21 dargestellt. Dabei wurden die zwei variierten *Mit System*-Bedingungen (Kosten riskanten Verhaltens erhöht & Nutzen vorsichtigen Verhaltens maximiert) jeweils mit einer entsprechenden *Ohne System*-Bedingung verglichen. Die Ergebnisse zeigen auf, dass mit System signifikant weniger Kollisionen zu verzeichnen sind, als ohne. Eine Systemwirkung bleibt also auch hier weiterhin bestehen. Des Weiteren lassen sich zwei weitere signifikante Unterschiede auf den verhaltensbezogenen Kompensationsbereichen feststellen. Zum einen werden mit System mehr Punkte erreicht und zum anderen weniger häufig gebremst. Es ist hier jedoch unter Beachtung der Ausprägungen der weiteren Mittelwerte zu konstatieren, dass die erhöhte Punktzahl unter Systemnutzung allein auf die geringere Ausprägung der Unfallzahlen zurückgeführt werden kann, da die andere Variable, die diese bedingt - die benötigte Streckenzeit - keinen bedeutsamen Unterschied aufweist und sogar, rein deskriptiv (statistisch nicht bedeutend unterschiedlich) betrachtet, eine leicht erhöhte Streckenzeit für die Bedingung mit Systemaktivierung aufzeigt, was wiederum eine geringere Punktzahl bedeuten würde. Insofern ist der nachgewiesene Unterschied in der Punktzahl ein Korrelat der positiven Systemwirkung und kein unerwünschter Systemeffekt.

Tabelle 19: Übersicht - Mittelwertvergleich der Risikokompensationsvariablen nach Systembedingungen

Skala	Kosten erhöht					Nutzen erhöht				
	M OS	M MS_K	M Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)	Effektstärke (η²)	M OS	M MS_K	M Differenz	Prüfgröße Signifikanz (p)	Effektstärke (η²)
Kollisionen	1,03	0,03	1,00	.000***	.33	0,90	0,07	0,83	.002***	.29
Durchschnittliche Punktzahl	2,73	3,51	-0,78	.000***	.40	2,72	3,31	-0,59	.001***	.35
Durchschnittliche Streckenzeit	6,17	6,26	-0,09	.400		6,22	6,31	-0,09	.235	
Durchschnittsgeschwindigkeit	19,77	20,01	-0,24	.271		19,60	19,74	-0,13	.501	
Durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit	30,22	30,48	-0,26	.074		30,26	30,10	0,16	.478	
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	0,98	0,66	0,32	.000***	.40	0,93	0,69	0,24	.000***	.46
Durchschnittliche Bremsstärke	-2,38	-2,51	0,14	.355		-2,40	-2,52	0,12	.357	
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt? 1 gar nicht - 5 sehr	3,55	2,31	1,24	.000***	.44	3,14	2,21	0,93	.002***	.30
Emotionales Befinden -3 gestresst bis +3 entspannt	2,14	2,14	0,00	1.00		2,17	2,03	0,14	.403	

OS = Versuchsblock ohne System; MS = Versuchsblock mit System; Werte entsprechen den Mittelwerten (M); *p < .05 **p < .01, ***p < .001; η² = partielles ETA Quadrat

Dennoch lässt sich auf verhaltensbezogener Ebene ein sehr relevanter signifikanter Unterschied, welcher auf einen noch bestehenden negativen Kompensationseffekt hinweist, aufzeigen. So wird mit System weiterhin wesentlich weniger gebremst als ohne Systemunterstützung. Nichtsdestotrotz, kann rein deskriptiv betrachtet insgesamt lediglich

noch auf zwei Variablen ein unerwünschter Effekt festgestellt werden, wohingegen in der Basisbedingung ohne potenziell effektreduzierende Veränderungen, auf allen untersuchten Ebenen signifikante Unterschiede nachzuweisen waren. Da die Veränderung der Bremshäufigkeit jedoch für die untersuchten Analysen ein grundlegender Indikator für Kompensationsverhalten ist und zudem auch die Effektstärke auf einen bedeutsamen Effekt hindeutet, so wie dieser auch in den Basisuntersuchungen zu finden war, und darüber hinaus die Probanden jene Situation mit System als deutlich weniger riskant einschätzen, wurden zur Beurteilung des Erfolgs einer Reduzierung der Risikokompensationseffekte auch die retrospektiven (subjektiven) Einschätzungen der Probanden selbst herangezogen. Diese wurden dabei gebeten anzugeben, wie sich ihr Verhalten und Erleben mit System (für beide Variationen getrennt) im Vergleich zu den Fahrten ohne System verändert hat. Die Ergebnisse der kompensationsbezogenen Selbsteinschätzungen sind in Tabelle xx dargestellt. Negative Werte geben eine Veränderung in Richtung unerwünschter Anpassungen an, positive in Richtung erwünschter Anpassungen, von Null nicht signifikant unterschiedliche Mittelwerten zeigen keine Veränderung an, in letzterem Fall schätzen die Probanden ihr Verhalten mit System als unverändert im Vergleich zu ihrer Vorgehensweise und ihrem Erleben ohne System ein.

Tabelle 20: Übersicht - Mittelwertvergleich der Risikokompensationsvariablen nach Systembedingungen

Item / Frage retrospektive Selbstreflexion	negativer Wertebereich -2 bis < 0	positiver Wertebereich > 0 bis +2	Kosten erhöht		Nutzen erhöht	
			M	Sig.	M	Sig.
Denken Sie an die eine Bedingung mit Warnsystem, in welcher: Unfälle mit 25 Minuspunkten bestraft und ein mögliches Zusatzmodul zur Verkehrserziehung drohte (Kosten) bzw. erfolgreiches Vermeiden von Unfällen mit Bonuspunkten belohnt wurde und ein Fragebogenmodul entfallen konnte (Nutzen) Haben diese potenziellen Kosten / der potenzielle Nutzen Ihr Fahrverhalten bzw. Ihre Wahrnehmung beeinflusst? (Im Vergleich zu den Fahrten ohne System) Ich empfand die Situation als	sicherer	riskanter	-0,03	.897	-0,76	.000
Emotional fühlte ich mich	besser	schlechter	-0,03	.861	-0,72	.000
Geistig und körperlich fühlte ich mich	entlastet	belastet	-0,03	.887	-0,59	.010
Risiko: Ich war insgesamt	riskanter	vorsichtiger	0,41	.076	-0,17	.394
Ich war insgesamt	schneller	langsamer	-0,24	.243	-0,55	.004
Meine Aufmerksamkeit auf die Straße und mögliche Hindernisse war	geringer	höher	-0,31	.213	1,10	.000

*blaue Markierung: Veränderung in unerwünschte Richtung, welche das Auftreten von Risikokompensationsprozessen wahrscheinlicher machen; *grüne Markierung: Veränderung in erwünschte Richtung, welche das Auftreten von Risikokompensationsprozessen weniger wahrscheinlich machen

7.2.3.8.1 Zur Beeinflussung über Incentives

Für die Nutzen-Bedingung, in welcher den Probanden für jedes erfolgreiche Vermeiden einer Kollision (sofern eine Gefahr drohte) Bonuspunkte angekündigt wurden (Nutzen defensiver Fahrweisen erhöht), zeigen sich dennoch signifikante Veränderungen der Mittelwerte in die unerwünschte Richtung. Die Probanden geben retrospektiv an, die Situation mit System als sicherer zu empfinden, sich emotional besser gefühlt zu haben, weniger beansprucht gewesen zu sein und höhere Geschwindigkeiten gewählt zu haben, was für eine verringerte Risikowahrnehmung bzw. ein erhöhtes Sicherheitsempfinden unter Systemnutzung spricht, welches wiederum ein Auftreten unerwünschter Anpassungseffekte wahrscheinlicher

macht. Lediglich bezüglich der Aufmerksamkeit auf den Verkehr beurteilen sie sich als diesem zugewandter. Für die Kosten-Bedingung, in welcher den Probanden für jede Kollision zusätzliche Strafpunkte (Kosten riskanten Verhaltens erhöht) angekündigt wurden, zeigt sich hingegen auf keiner Einschätzungsebene ein signifikanter Anpassungseffekt.

Zum einen Geben diese Einschätzungen damit einen Hinweis, dass wie auch die verringerte Bremshäufigkeit auf Verhaltensebene zeigt, noch immer kompensiert wird, zum anderen ist auch diese stützende Untersuchung uneinheitlich ausgeprägt (keine Unterschiede in der Kosten-Bedingung). So könnte von den Angaben der Probanden ausgehend, eine „Bestrafung“, also die Kostenerhöhung riskanter Fahrweisen, effektiver zur Kompensationsreduktion beitragen als eine „Belohnung“ defensiveren Verhaltens (u.U weil die Kosten defensiveren Verhaltens noch zu hoch sind > z.B. Punkteverlust bei geringeren Geschwindigkeiten). Dies spiegelt sich jedoch nicht in den tatsächlichen Verhaltensweisen wider, bei denen auch keine Unterschiede zwischen den zwei *Mit System* -Bedingungen festzustellen waren.

7.2.3.8.2 Zur Beeinflussung über Schulung und Aufklärung

Ein zweites Prinzip, welches von den Voranalysen ausgehend, geeignet ist, um die Stellgröße des subjektiv akzeptierten Risikos (im Sinne einer Herabsetzung), aber insbesondere auch die Stellgröße des wahrgenommen Risikos (im Sinne einer Erhöhung) zu verändern und damit die Wahrscheinlichkeit für ein Auftreten von Risikokompensationseffekten zu reduzieren, ist die Verringerung des vermeintlichen Sicherheitsgefühls bzw. der resultierenden potenziellen Sicherheitsillusion, welche mit der Nutzung eines Unterstützungssystems einhergeht. So fühlen sich, dies zeigen die zahlreichen bisher dargestellten Ergebnisse, die Probanden unter Nutzung des Systems wohler, sicherer, nehmen weniger Risiko wahr, glauben eher jede Kollision vermeiden zu können und verlassen sich, ohne dass ihnen eine Rückmeldung bezüglich der Systemzuverlässigkeit (mit Ausnahme einer Bedingung) gegeben wurde, in hohem Maße und unmittelbar auf das System. Entsprechende Möglichkeiten um die Sicherheitswahrnehmung zu verringern bzw. im Umkehrschluss ein Unsicherheitsgefühl zu erzeugen (die Risikowahrnehmung zu erhöhen) liegen in der Aufklärung über den Kompensationseffekt, in Systemausfällen/Unzuverlässigkeiten, Rückmeldungen des Systems, Schulungen zur Gefahrenwahrnehmung, Aufklärung über die Grenzen solcher Systeme und Schulungen im Umgang mit diesen.

Als potenzielle Optionen im Rahmen des Projektes wurde die Aufklärung über den Risikokompensationseffekt und dessen Folgen sowie über die Grenzen des Systems gewählt. Operationalisiert wurde dies über Instruktionen und Hinweise im Realfahr-Experiment. So erhielten die Probanden vor Untersuchungsbeginn eine Informationsbroschüre über das System und mögliche Verhaltensfolgeeffekte sowie zusätzlich zwischen den tatsächlichen Fahrdurchgängen mehrmals Rückmeldungen in Form von Hinweisen, die sie auf die möglichen Folgen riskanteren Verhaltens aufmerksam machten und Aufforderungen nicht weniger vorausschauend zu fahren (der Text des Aufklärungsblattes kann Anhang xx entnommen werden). Zur Untersuchung des Einflusses dieser Risikowahrnehmungsansprache wurde das realitätsnähere Setting im simulierten interaktiven Realfahrkontext mit beiden Verkehrsteilnehmergruppen gewählt.

Auf Grund witterungsbedingter Ausfälle einzelner Testzeiträume, konnten in der Erhebungsphase, in welcher auch die Untersuchungen der Interaktivitätsbedingung im Realfahrkontext stattfand, bedauerlicherweise lediglich 2 Probandenpaare mit diesem

Experimentaldesign getestet werden, sodass statistisch aussagekräftige Analysen nicht möglich waren. Dennoch seien hier die deskriptiven Werte der erfolgten Untersuchungen dargestellt, wenngleich diese keine gesicherten Schlussfolgerungen bezüglich der Wirksamkeit der Risikowahrnehmungsansprache bezüglich einer Reduktion der Verhaltensanpassungseffekte erlauben, jedoch grobe erste Hinweise liefern können. Die Ergebnisse der berechneten Mittelwerte mit ihren Differenzen finden sich in Tabelle 23.

Tabelle 21: Übersicht - Mittelwertvergleich der Risikokompensationsvariablen nach Systembedingungen und Verkehrsteilnehmergruppe

SKALA	<i>Fahrer</i>			<i>Fußgänger</i>		
	M OS	M MS	M Differenz	M OS	M MS	M Differenz
Kollisionen	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Durchschnittliche Punktzahl	3,21	2,72	0,49	4,04	4,10	-0,05
Durchschnittliche Streckenzeit	10,23	11,19	-0,96	8,33	8,26	0,06
Durchschnittsgeschwindigkeit	26,62	25,35	1,27	1,33	1,34	-0,01
Durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit	37,67	37,91	-0,24			
Durchschnittliche Bremshäufigkeit	1,125	1,125	0,00	0,50	0,38	0,12
Durchschnittliche Bremsstärke	-0,83	-1,02	0,19	1,75	2,00	-0,25
Durchschnittliche Blickhäufigkeit				1,38	1,63	-0,25
Als wie riskant haben Sie die Situation erlebt? 1 gar nicht - 5 sehr	3,25	2,75	0,50	über Fahrer und Fußgänger gemittelt (N=4)		
Emotionales Befinden -3 gestresst bis +3 entspannt	1,50	1,75	-0,25	über Fahrer und Fußgänger gemittelt (N=4)		

*blaue Markierung: Veränderung in unerwünschte Richtung, welche das Auftreten von Risikokompensationsprozessen wahrscheinlicher machen; *grüne Markierung: Veränderung in erwünschte Richtung, welche das Auftreten von Risikokompensationsprozessen weniger wahrscheinlich machen

Unter Vorbehalt der Stichprobengröße betrachtet, zeigen die Mittelwertdifferenzen auf verschiedenen Variablen (rein deskriptiv betrachtet) Veränderungen auf, die in eine erwünschte Richtung weisen. So werden beispielsweise aus Fahrerperspektive weniger Punkte erreicht, was sich wiederum nicht auf die Kollisionszahl zurückgeführt, sondern auf eine längere Streckenzeit, eine geringere Durchschnittsgeschwindigkeit und eine höhere Bremsstärke mit System werden kann. Auch bezüglich der Bremshäufigkeit, als eine der zur Beurteilung der Kompensation in den durchgeführten Experimenten entscheidenden Variablen, lassen sich keine Unterschiede feststellen. Die Selbsteinschätzungen der Teilnehmer hingegen weisen darauf hin, dass sich die Probanden mit System besser und sicherer fühlen, im Verhalten schlägt sich dies jedoch nicht nieder.

Fazit zur Reduktionsmöglichkeit der Risikokompensationseffekte im kontrollierten Realfahrsetting

Die Ergebnisse zur Kompensationsreduktion zeigen auf, dass durch eine Kostenerhöhung riskanten Verhaltens und eine Nutzermaximierung defensiver Verhaltensweisen mit System bedeutsam weniger Kollisionen zu verzeichnen sind, als ohne. Eine Systemwirkung bleibt also hier weiterhin bestehen. Zudem kann auch ein Teil der unerwünschten Effekte reduziert werden. Die Verhaltenseinschätzungen weisen jedoch auf ein weiterhin bestehendes erhöhtes Sicherheitsgefühl unter Systemnutzung hin. Dies zeigt sich auch bezüglich der Möglichkeit einer Kompensationsreduktion über Schulungs- und Aufklärungsmaßnahmen.

Ausblick:

Aus Forschungssicht weisen die Ergebnisse bezüglich der Ansprache der Risikowahrnehmung auf eine hohe Relevanz weiterer Untersuchungen dieses Kompensationsreduktionsprinzips hin, da sich dieses als vielversprechend für eine Sicherheitserhöhung durch den Systemeinsatz darstellt, dazu jedoch gesicherte Erkenntnisse notwendig sind. Ist dies der Fall, können darauf aufbauend verschiedenste betrieblich einsetzbare Maßnahmen, wie Trainings, Unterweisungen und Ähnliches abgeleitet und umgesetzt werden.

7.2.4 Zusammenfassung und Ausblick zur Risikokompensation

Zur grundlegenden Fragestellung, inwiefern bei Nutzung eines wechselseitig adaptiven Frühwarnsystems zur Mensch-Fahrzeug Erkennung mit unerwünschten Kompensations- / Anpassungsverhalten zu rechnen ist?

Es konnte sowohl im computerbasierten Experiment als auch im realen Testszenario im kontrollierten Setting mit zusammen knapp 250 Versuchsteilnehmern aufgezeigt werden, dass jene bereits in der theoretischen Erörterung dargestellten Faktoren, welche unerwünschte Verhaltensfolgeeffekte (Risikokompensation) bedingen und wahrscheinlicher machen, vorliegen. So weisen die Teilnehmer eine verringerte Risikowahrnehmung und ein verstärktes Gefühl von Sicherheit, mit einem selbstreflektiertem individuellen Systemnutzen auf. Gepaart mit den Ergebnissen der objektiv erhobenen Fahrverhaltensdaten, die zeigen, dass unter Systemnutzung weniger häufig und stark gebremst wird, schneller gefahren und beschleunigt wird, ist davon auszugehen, dass die Einführung und Nutzung eines Frühwarnsystems, so wie es hier getestet wurde, neben nachgewiesenen Sicherheitsgewinnen, da das Frühwarnsystem erfreulicherweise die Zahl der Unfälle verringert, auch – und insbesondere bei einer veränderten Fahrsituation – zu negativen Folgen für die Sicherheit führen kann, da die Schwere von Unfällen steigt und die Aufmerksamkeit sinkt.

Dies ist ein Effekt, der bisher zwar auf wissenschaftlicher Seite als Folge der Einführung und Nutzung verschiedener Sicherheitsmaßnahmen bereits Beachtung fand und zunehmend untersucht wird, jedoch noch ungenügend vertiefend erforscht ist und andererseits bisher mit seinen Folgerungen und Konsequenzen bisher kaum Eingang in die Praxis gefunden hat. So wird dies weder in Fahrschulen, noch in betrieblichen Sicherheitsunterweisungen thematisiert. Dementsprechend liegt allein in der Aufklärung und Fokussierung solcher Effekte das Potenzial den sicherheitlichen Nutzen solcher Systeme zu erhöhen bzw. unerwünschte Effekte zu verringern. Es ist von unabdingbarer Bedeutung für die Konzeption und Entwicklung technikbasierter Sicherheitsmaßnahmen, den Menschen mit seinen Handlungsvoraussetzungen und Eigenschaften zu berücksichtigen.

Zur Analyse der Zusammenhänge und Einflussfaktoren auf die Risikokompensationseffekte

Bezüglich des Einflussfaktors „Verkehrsaufkommen“ zeigt sich, dass die unerwünschten Kompensationsverhaltensweisen umso stärker ausfallen, je weniger Interaktionen drohen. In scheinbar sichereren Situationen steigt damit die Wahrscheinlichkeit für Unfälle, sobald Gefahren drohen. Für Ablenkung konnte nachgewiesen werden, dass ein Teil der unerwünschten Kompensationseffekte in ihrer Ausprägung geringer ausfallen. Dabei spielt jedoch die Art der ablenkenden Nebentätigkeit eine Rolle. Während komplexere Nebenaufgaben keine Veränderung des Kompensationseffekts ergeben, scheint eine einfachere Nebenaufgabe eine positive Wirkung zu haben, also den Kompensationseffekt leicht zu reduzieren.

Zeitdruck scheint die unerwünschten Kompensationseffekte nicht bedeutsam zu beeinflussen. Stress für sich genommen führt zwar zu einer Erhöhung des riskanten Verhaltens, potenziert die durch die Systemnutzung resultierende gefährlichere Fahrweise jedoch nicht.

Weiterhin zeigt sich, dass die rein auditive Warnung die stärksten Kompensationseffekte aufweist. Schlussfolgerungen für die Rückmeldungsgestaltung sind daher als ambivalent zu betrachten. Denn gleichzeitig zeigt sich bei Nutzung einer rein auditiv gestalteten Warnung das höchste Unfallvermeidungspotenzial bei höchsten negativen Verhaltensanpassungseffekten.

Bezüglich des Einflusses der Systemzuverlässigkeit entsteht vor allem durch die Kombination einer hohen Fehlerwahrscheinlichkeit und unterschiedlicher Fehlerarten eine hohe Verunsicherung bei den Systemnutzern. So verschwinden in diesen Fällen die unerwünschten Kompensationseffekte, gleichzeitig nimmt jedoch auch die Unfallwahrscheinlichkeit wieder zu. Diese liegt jedoch noch unter der, einer Fahrsituation ohne System, sodass resümiert werden kann, dass die Erzeugung einer Unsicherheit in ihrer Summe eine Reduktionsoption darstellt.

Aus diesen Ergebnissen ergibt sich vor allem die Erkenntnis, dass ein Übervertrauen und eine daraus resultierende Sicherheitsillusion ursächlich für einen Großteil der Effekte sind. Damit kann resümiert werden, dass eine Verringerung des erzeugten Sicherheitsempfindens, welches, wie ersichtlich auch ohne Vorkenntnisse zum System, ohne Wissen über die Zuverlässigkeit, die genaue Funktionsweise und ohne Systemerfahrung, also unmittelbar entsteht, angestrebt werden muss. Damit ergibt sich die Notwendigkeit, sowohl auf technischer als auch situationaler Ebene anzusetzen. Besonders die Induzierung einer Unzuverlässigkeit des Systems zeigte, dass sich die Effekte auf das Maß der Verhaltensweisen ohne System reduzierten. Ein Lösungsansatz könnte demnach in der kontrollierten temporären Inaktivierung des Warnsystems mit Rückübergabe an den menschlichen Verkehrsteilnehmer liegen. Dieses Verfahren wird aktuell von den meisten Assistenz- und Automatisierungssystemen bei Unklarheiten zum Systemstatus und der Funktionsgüte angewendet. Aus Perspektive der Verkehrssicherheit wäre es zwar wünschenswert, zwei aktive und funktionierende Systeme gleichzeitig zu betreiben, allerdings ist es angesichts der hier vorliegenden Befunde zumindest sehr naheliegend, dass der menschliche Nutzer seinen Kontrollaufwand bei funktionierender Technik bis zum Erreichen eines individuell tolerablen „Gefährdungsniveaus“ anpasst. Weitere potenzielle

Prinzipien zur Kompensationsreduktion durch eine Verringerung des Übervertrauens wurden im Projekt bereits untersucht und dargestellt. Die sich daraus ergebenden Implikationen sind im entsprechenden Abschnitt dargestellt.

Zur Analyse der Kompensationsverhaltensweisen bei Fußgängern

Die Ergebnisse der Analysen zeigen, dass jene bereits in der theoretischen Erörterung dargelegte Feststellung, dass Risikokompensationseffekte nicht allein auf Seiten der Fahrzeugführer auftreten, sondern auch bei Fußgängern erwartet werden können und müssen, wobei dies insbesondere in der Wechselbeziehung zwischen Fußgängern und motorisierten Verkehrsteilnehmern zu erwarten ist.

Während in wissenschaftlichen Untersuchungen und praktischen Feldern, sofern dies dort überhaupt thematisiert wird, der Fokus möglicher Anpassungseffekte auf motorisierten Verkehrsteilnehmern liegt, gibt es für Fußgänger und Fahrradfahrer nur wenige Studien. Diese beziehen sich wenn dann auf andere Sicherheitsmaßnahmen, wie Signalanlagen oder Fahrradhelme. Dass jedoch mit dem Projekt auch nachgewiesen werden konnte, dass auch im Falle eines Assistenzsystems zum Fußgängerschutz mit unerwünschten Verhaltensanpassungen im gleichen Maße wie für motorisierte Nutzer gerechnet werden muss, füllt im Ansatz eine Forschungslücke, dessen Ergebnisse wiederum von hoher praktischer Relevanz sind. So muss nicht nur die für die Seite der Fahrer geforderte Vertiefung und Beachtung solcher Effekte in der Konzeption, Entwicklung und Anwendung berücksichtigt werden, sondern selbstverständlich auch für die vulnerabelste Verkehrsteilnehmergruppe. Besonders auch im betrieblichen Kontext, in welchem beispielsweise im Hofbereich immer mit Mischverkehr zu rechnen ist, ist diese Beachtung relevant.

Zur Analyse der Kompensationsverhaltensweisen im interaktiven Warnmodus

Die Untersuchung der interaktiven/adaptiven Funktionsweise des Systems im Experiment zeigt, dass diese zu der Folge führen kann, dass die Verantwortung auf den oder die jeweils anderen Akteure übertragen wird. Allein die Information, dass die potenziellen Kollisionsgegner auch reagieren können, führt zu einer Verringerung der positiven Systemwirkung sowie einer Verstärkung der negativen Kompensationseffekte. Im Realfahr-Setting zeigt sich dies ebenfalls, wenn auch vermutlich zum Teil durch erfassungsmethodische Besonderheiten bedingt, weniger deutlich.

So wie die beidseitige Warnung ein doppeltes Potenzial zur Unfallvermeidung birgt, welches sich aus der Möglichkeit ergibt, dass beide Verkehrsteilnehmer frühzeitig reagieren und eine Kollision vermeiden können, so birgt die beidseitige Warnung ebenso ein erhöhtes Gefahrenpotenzial. Damit wird noch einmal die Notwendigkeit deutlich, sich zukünftig in Forschung und Praxis, in der Anwendung im betrieblichen und generellen Straßenverkehrskontext, noch stärker als bisher und insbesondere wo sich die aktuelle Entwicklung immer weiter auf die baldmögliche Technischeinführung fokussiert, mit den menschlichen Handlungsvoraussetzungen und Eigenheiten auseinanderzusetzen und diese bei der Konzeption unterstützender Systeme zu berücksichtigen.

Zur Analyse der Kompensationsverhaltensweisen in Reaktion auf ein Fremdsystem

Sowohl im Experiment als auch im interaktiven/adaptiven Realfahr-Setting lässt sich nachweisen, dass auch mit einer Art „Fremdkompensation“ zu rechnen ist. Allein das Wissen um die Systemunterstützung anderer Verkehrsteilnehmer bei eigener Nicht-Unterstützung führt zu unerwünschten Verhaltensanpassungen und einer gleichzeitigen Verringerung des Systemnutzens. Es kann sogar ein Anstieg der Unfallzahlen festgestellt werden.

Dieses Ergebnis zeigt ganz klar, die vielfach angesprochenen Gefahrenpotenziale, die sich eben dann ergeben, wenn zwar ein System unterstützt, aber eben solche unerwünschten Kompensationsweisen auftreten. So würde beispielsweise ein Systemausfall, ohne dass dieser zurückgemeldet wird oder wenn dieser in einem kritischen Zeitbereich liegt, zu eben jenem Effekt führen, dass mehr Unfälle resultieren. Darüber hinaus ergeben sich beunruhigende Konsequenzen dieser Fremdkompensation sowohl für den betrieblichen als auch generellen Einsatz. Es ist damit zu rechnen, dass sich Personen, die nicht unterstützt werden, aber um das Vorhandensein eines Systems des oder der Anderen wissen, ebenfalls riskanter verhalten. So könnte dies zum Beispiel zu einer Erhöhung riskanter Verhaltensweisen von Fußgängern auf dem Betriebsgelände führen, die mit anderen technisch unterstützten Personen unterwegs sind. Im generellen Straßenverkehr ergibt sich insbesondere dann ein nochmals erhöhtes Unfallrisiko, je höher die Marktdurchdringung ist. So muss davon ausgegangen werden, dass beispielsweise nicht unterstützte Fußgänger ihr Verhalten bei einer entsprechenden Anzahl assistierter Fahrzeuge anpassen. Eine Berücksichtigung der Folgen des Technikeinsatzes sollte damit über den Kontext des Nutzers hinausgehen.

Zur Analyse der Reduktionsmöglichkeiten von Risikokompensationseffekten

Die Ergebnisse zur Kompensationsreduktion zeigen auf, dass durch eine Kostenerhöhung riskanten Verhaltens und eine Nutzermaximierung defensiver Verhaltensweisen mit System bedeutsam weniger Kollisionen zu verzeichnen sind, als ohne. Eine Systemwirkung bleibt also hier weiterhin bestehen. Zudem kann auch ein Teil der unerwünschten Effekte reduziert werden. Die Verhaltenseinschätzungen weisen jedoch auf ein weiterhin bestehendes erhöhtes Sicherheitsgefühl unter Systemnutzung hin. Dies zeigt sich auch bezüglich der Möglichkeit einer Kompensationsreduktion über Schulungs- und Aufklärungsmaßnahmen.

Aus Forschungssicht weisen die Ergebnisse bezüglich der Ansprache der Risikowahrnehmung auf eine hohe Relevanz weiterer Untersuchungen dieses Kompensationsreduktionsprinzips hin, da sich dieses als vielversprechend für eine Sicherheitserhöhung durch den Systemeinsatz darstellt, dazu jedoch gesicherte Erkenntnisse notwendig sind. Ist dies der Fall, können darauf aufbauend verschiedenste betrieblich einsetzbare Maßnahmen, wie Trainings, Unterweisungen und Ähnliches abgeleitet und umgesetzt werden. Wie diese Prinzipien in die Realität praktikabel umgesetzt werden können, ist dabei ein weiteres komplexes Forschungsfeld.

Zur Entwicklung einer Methodik der Erfassung von Risikokompensationseffekten

Zur Untersuchung der grundlegenden Auftretensformen unerwünschter Verhaltensanpassungen sowie spezifischer Einflüsse und Wirkungszusammenhänge der unterschiedlichen Rahmenbedingungen wurden zahlreiche Simulationsszenarien und ein umfangreiches Fragenbogeninstrument in verschiedensten Adaptivitätsmodi entwickelt. Das computerbasierte Experiment erwies sich als sehr gut geeignetes Erhebungsinstrument zur Erfassung grundlegender Anpassungsmechanismen und konnte die in unterschiedlichen Variablen operationalisierten Risikokompensationsebenen abbilden. Durch die Implementation verschieden variierten Rahmenbedingungen in das Grundszenario, waren ein standardisiertes Vorgehen und damit eine Vergleichbarkeit gegeben. Mit der Übersetzung dieses grundlegenden Szenarios in den simulierten Realkontext und einem praktikablen, mobilen Versuchsaufbau gelang es eine neue Methodik zu entwickeln, welche die Probleme eines Fahr- bzw. Fußgängersimulators umging.

Mit der entwickelten Methodik und Testkonstruktion liegen mit Projektabschluss zwei Instrumente vor (Computerexperiment und Realfahrttest), welche bereits in ihrer aktuellen Version, aber auch durch mögliche Modifikationen sowohl für weitere Forschungszwecke zum Thema als auch in der praktischen Präventions- und Interventionsarbeit im betrieblichen Rahmen eingesetzt werden können. So lassen sich das bestehende computerbasierte Experimentalszenario und auch die Testkonstruktion zur Erfassung von realen Nutzungssituationen zur Testung zusätzlicher und verschiedenster Rahmenbedingungen erweitern. Hier wäre beispielsweise die Implementierung anderer Ablenkungs- bzw. Nebentätigkeiten (telefonieren, lesen, etc.) oder auch der Einfluss von Müdigkeit oder zunehmender Systemerfahrung/-nutzung (Langzeiteffekte) denkbar. Auch eine Kombination unterschiedlicher bereits einzeln untersuchter Faktoren, wie ablenkende Nebentätigkeiten unter Zeitdruck bei unterschiedlichen Verkehrsaufkommen stellen spannende Fragestellungen dar, die gerade auch bei betrieblichen, mobilen Tätigkeiten innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes von Belang sind. Gleichzeitig bietet die Traversenkonstruktion des Realfahrtszenarios eine mobile praktische Schulungseinheit, mit welcher die zur Reduktion der unerwünschten Kompensationseffekte abgeleiteten Präventionsmaßnahmen geschult werden können. Sie ermöglicht das Aufzeigen der Grenzen und Gefahren solcher Systeme, Selbsterfahrungen und das Testen geeigneter Strategien zur Kompensationsvermeidung. Zudem können verschiedenste zielgruppenspezifische Situationen abgebildet und trainiert werden, die nicht nur das während des Projekts gewählte *Geradeausfahrt mit Sichtverdeckung-Szenario* abbilden, sondern beispielsweise auch Rückwärts- und Einweiserszenarien oder die Interaktion mehrerer Verkehrsteilnehmer (>2), und hierbei auch im Mischverkehr mit und ohne System, beinhalten können.

Somit konnten aus den Ergebnissen weitere spannende Fragestellungen sowie eine Vielzahl wissenschaftlicher und praktischer Implikationen abgeleitet werden.

7.3. Systemtest unter kontrollierten Realbedingungen im Unternehmen

Für den innerbetrieblichen Testlauf des in Phase 2 aktuellen Systems auf einem Betriebsgelände des Kooperationspartners Deutsche Post AG wurden wie unter Punkt 6 beschrieben, verschiedene Simulationsszenarien entwickelt und der Systemeinsatz bei diesen getestet.

Im Ergebnis des Systemtests konnten folgende Rückschlüsse auf die aktuelle Funktionsfähigkeit und die sich daraus ergebenden Notwendigkeiten zur Systemverbesserung gezogen werden:

1. Das System konnte seine Eignung in mehreren Szenarien unter Beweis stellen:
 - die Fußgängererkennung wurde spürbar verbessert und ist auf einem guten Niveau
 - die Warnzeitpunkte bei variierenden Geschwindigkeiten sind angemessen, um allen Beteiligten gefährdungsreduzierende Reaktionen zu ermöglichen
2. Schwierigkeiten bestanden mit dem FRAMES 1.0-System bezüglich:
 - die Warngenauigkeit nach dem Verlassen des Gefährdungsbereichs durch den Fußgänger ist nicht immer ausreichend
 - die Feinjustierung des Systems, insbesondere bei seitlichen Abständen zum Fahrzeug, muss weiter verbessert werden
 - potentiell ist eine starke Variation der Ortungsgenauigkeit in Abhängigkeit von den konkreten Örtlichkeiten festzustellen
 - das 1.0-System hat ein zu hohes Gewicht für einen Dauereinsatz

Im Juni 2015 fand im Rahmen des Fachbeiratstreffen ein weiterer Test- und Demonstrationslauf des weiterentwickelten FRAMES 2.0-Systems statt. Zu diesem Zeitpunkt konnten schon einige Zwischenziele der Prototypenverbesserung erreicht werden. So wurden neue Systemkomponenten verbaut und die Praktikabilität bezüglich des Gewichts und der Laufleistung des Systems verbessert sowie eine taktile Rückmeldeeinheit für den Fußgänger (Smartwatch) integriert. Der Ablauf und die Demonstrationsergebnisse sind im Folgenden aufgelistet:

1. Demo der Positionierungsgenauigkeit – Tracking
 - Freies Laufen des Fußgängers
 - Aufzeichnen/Tracken der Laufwege konnte erfolgreich demonstriert werden
2. Szenario 1a – Fußgänger läuft parallel zur Straße, quert die Fahrbahn jedoch nicht
 - Funktionsweise des Systems konnte erfolgreich demonstriert werden
 - Das System zeigt den Fußgänger an, gibt jedoch noch keine Warnung, da keine Gefährdung besteht
3. Szenario 1b – Fußgänger läuft parallel zur Straße und quert die Fahrbahn plötzlich (vor dem Fahrzeug)
 - Funktionsweise des Systems konnte erfolgreich demonstriert werden
 - Das System zeigt den Fußgänger an und gibt eine Warnung, sobald der Fußgänger einen Richtungswechsel vollzieht und eine Gefährdung besteht
4. Szenario 2a – Fußgänger verdeckt hinter Sichthindernis stehend
 - Funktionsweise des Systems konnte erfolgreich demonstriert werden

- Das System zeigt den Fußgänger auch hinter einem Sichthindernis an, gibt jedoch noch keine Warnung, solange keine Gefährdung besteht (der Fußgänger steht und nicht Richtung Fahrbahn läuft)
5. Szenario 2b – Fußgänger verdeckt hinter Sichthindernis + plötzliches Hervortreten Richtung Fahrbahn
- Funktionsweise des Systems konnte erfolgreich demonstriert werden
 - Das System zeigt den Fußgänger an und gibt eine Warnung, sobald der Fußgänger in Richtung Fahrbahn tritt und eine Gefährdung besteht

Daraus resultierende Ableitungen bezüglich einer weiteren Prototypenverbesserung erfolgten bezüglich der Notwendigkeit einer Erhöhung der Systemstabilität, welche insbesondere die Positionsgenauigkeit und die Konsistenz der Warnung bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Variationen beeinflusst. Die Ergebnisse der weiteren Verbesserungen, die auch auf der Basis der Ergebnisse dieses Systemtests erfolgten, werden in den folgenden Abschnitten thematisiert.

7.4. Prototyp-Verbesserung I & II: Erhöhung der Messgenauigkeit

7.4.1 Kommunikationssystem

Im Folgenden werden das Kommunikationssystem und die prinzipielle Funktionsweise des Systems erklärt. Die einzelnen Hardware-Elemente sind in den Abschnitten *Hardware des Fußgängers* und *Hardware des Fahrzeugsystems* weiter unten beschrieben.

7.4.1.1 V2X - Kommunikation

Für die drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeug (engl. „Vehicle“) und Fußgänger kommt ETSI ITS G5¹ zum Einsatz. Dieses Protokoll basiert auf der WLAN Variante IEEE 802.11p, welcher für die Kommunikation im Straßenverkehr optimiert wurde. Dieser Standard wird im Deutschen häufig als Car-to-Car (C2C) bzw. Car-to-X (C2X) bezeichnet, da „Vehikel“ hier eher negativ konnotiert ist. Im internationalen Umfeld und der Fachliteratur ist aber die englische Bezeichnung V2X geläufiger und wird daher auch in FRAMES bevorzugt verwendet. Die Kerndaten² von ETSI ITS G5 sind:

- 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

Im Rahmen dieses Standards werden Frequenzen, Kommunikationsverfahren, Sicherheitsmechanismen und Nachrichten definiert. Des Weiteren wurden

¹ Vgl. ETSI ITS EN 302 665: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/

² Kloiber, Bernhard: Fahrzeugkommunikation - IEEE 802.11p. <http://www7.informatik.uni-erlangen.de/~dulz/fkom/06/8.pdf>

Standardanwendungen, die die beschriebenen Nachrichten verwenden durch ETSI grob umrissen³, wenn auch noch nicht abschließen spezifiziert. ETSI hat des weiteren folgende Nomenklatur eingeführt:

- Fahrzeug: ITS-Vehicle-Station (IVS), in Frames oft „Fahrzeug“ genannt.
- Fußgänger, ITS Personal Station (IPS), in Frames Fußgänger oder VRU genannt.
- Vulnerable Road User (VRU): Dies sind typischerweise Fußgänger oder Fahrradfahrer. Besitzen diese ein Kommunikationssystem, bezeichnet ETSI diese ebenfalls als IPS.

In FRAMES werden die Begriffe IPS, VRU und Fußgänger austauschbar benutzt. Genauso wird das Fahrzeug als IVS oder Fahrzeug bezeichnet.

7.4.1.2 Phase 1 & 2 (veraltet)

In den Phasen 1 und 2 wurden zunächst eigene Nachrichtentypen für die V2X Kommunikation in FRAMES definiert. Diese nutzen die Standardisierter Frequenz, den Kanalzugriff und die Netzwerkprotokolle, unterscheiden sich aber auf den höheren Schichten (ab Layer-4) des OSI Referenzmodells.

Tabelle 22: Nachrichten der Phasen 1&2

Kürzel	Name	Anwendung
HARM	HazardArea Request Message	Wird vom VRU gesendet, sobald ein Fahrzeug in Sendereichweite ist und erfragt den individuellen Gefahrenbereich des Fahrzeuges.
HANM	HazardArea Notification Message	Antwort des Fahrzeuges auf eine HARM. Enthält den Gefahrenbereich als geographisches Gebiet.
HWM	Hazard Warn Message	Die HWM wird vom VRU gesendet, sobald er erkennt, dass er sich im Gefahrenbereich eines Fahrzeuges befindet.

Die Verwendung dieser Nachrichten ist in Abbildung 26 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Das Fahrzeug (IVS) sendet periodisch eine sogenannte *Beacon-Nachricht*. Diese enthält die aktuelle Position, Fahrtrichtung und Geschwindigkeit des Fahrzeuges und wird mit einer Frequenz von 2 Hz, also alle 500 ms, gesendet. Der Fußgänger (IPS) empfängt die Beacon-Nachrichten aller Fahrzeuge in seiner Empfangsreichweite. Unterschreitet ein Fahrzeug eine bestimmte Entfernung, bzw. zeigt der Richtungsvektor in die Nähe des Fußgängers, sendet der Fußgänger eine HARM-Nachricht. Diese Nachricht erfüllt zwei Zwecke: Zum einen informiert sie das Fahrzeug, dass sich ein Fußgänger in der Nähe befindet. Zum anderen teilt dies dem Fahrzeug mit, dass es eine spezielle Nachricht senden soll, die HANM-Nachricht.

Die HANM-Nachricht enthält den individuellen Gefahrenbereich des Fahrzeuges. Dies ist i.d.R. der Bereich, den das Fahrzeug in den nächsten Sekunden, typischerweise 3-5, erreichen könnte. Dieser Bereich ist abhängig von der Geschwindigkeit und dem

³ Vgl. ETSI EN 302 637-2 Specification of Cooperative Awareness Basic Service,
http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.02_60/en_30263702v010302p.pdf

Fahrzustand des Fahrzeuges, da z.B. ein Rückwärtsfahrender LKW mit Anhänger einen anderen Gefahrenbereich als ein PKW aufweist.

Beim Empfang einer HANM-Nachricht prüft der Fußgänger (IPS), ob er sich aktuell oder in Zukunft vermutlich, im Gefahrenbereich aufhält, der durch die HANM beschrieben ist. Hier kommen zwei entscheidende Faktoren ins Spiel: Die IPS tut dies für jede empfangene HANM, nicht nur für Nachrichten die Antwort auf eine zuvor gesendete HARM sind. Dies bedeutet, dass alle Anwesenden Fußgänger anhand einer gesendeten HANM die Prüfung vornehmen können. Dies minimiert die Verzögerungen und Bandbreitennutzung bei Fußgängergruppen beträchtlich. Der zweite Faktor ist die Prädiktion: Jede IPS überprüft die Gefährdung nicht nur anhand ihres aktuellen Standortes, sondern auch anhand ihrer Prädiktionsmöglichkeiten.

Kommt die IPS zum Schluss, dass eine Gefährdung durch das Fahrzeug vorliegt, sendet sie eine HWM-Nachricht, die die Position des Fußgängers sowie die ID des gefährdenden Fahrzeuges enthält. Zeitgleich wird das IPS-System eine Warnung über das HMI auslösen.

Das gefährdende Fahrzeug, sowie alle anderen Fußgänger und Fahrzeuge, erhalten die HWM-Nachricht, worauf das gefährdende Fahrzeug über sein HMI eine Warnung an den Fahrer auslösen wird.

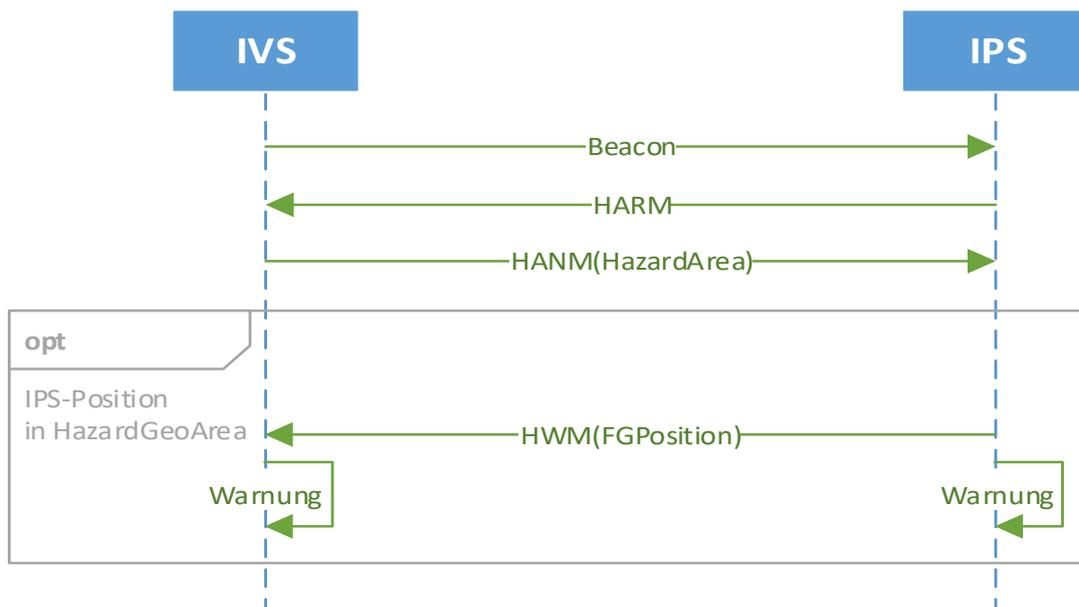


Abbildung 26: Nachrichtenfluss in Phase 1&2

7.4.1.3 Phase 3 (aktuell)

In Phase 3 wurde das Kommunikationssystem auf die standardisierten Nachrichten, Cooperative Awareness Message (CAM) und Decentralized Environmental Notification Message (DENM) umgestellt (Tabelle 23). Hierdurch wird sichergestellt, dass das System mit einer möglichst großen Anzahl an Endgeräten arbeiten kann. Die Verwendung dieser Nachrichten hat weiterhin den Vorteil, dass ein Fußgänger mit FRAMES System auch vor Fahrzeugen gewarnt wird, die zwar ein standardkonformes V2X-System haben, aber nicht über die FRAMES Anwendung verfügen. Diese Umstellung war möglich, weil sich bei den

Tests gezeigt hat, dass die in einer CAM-Nachricht enthaltenen Informationen zur Definition eines Gefährdungsbereiches ausreichen.

Tabelle 23: Nachrichten der Phase 3

Kürzel	Name	Anwendung
CAM ⁴	Cooperative Awareness Message	Werden periodisch gesendet und dienen dem Austausch von Positionsvektoren unter Verkehrsteilnehmern.
DENM ⁵	Decentralized Environmental Notification Message	Dient vornehmlich der Verteilung von Ereignismeldungen und W wird zum Beispiel die Information über ein liegengebliebenes F der Strecke über diese Nachricht an die übrigen Verkehrsteilnehmer.

Auch mit diesen Nachrichten sendet das Fahrzeug (IVS) periodisch eine Nachricht. Die CAM wird üblicherweise 2-mal pro Sekunde, also mit 2 Hz gesendet. In besonders unübersichtlichen Situationen kann dies aber auf bis zu 10 Hz erhöht werden. Andersrum können z.B. parkende Fahrzeuge CAM's nur alle 2 Sekunden senden um den Funkkanal frei zu halten. Der Fußgänger empfängt die CAM's aller Fahrzeuge in seiner Empfangsreichweite und berechnet aus den dort enthaltenen Informationen, z.B. Position, Richtung, Geschwindigkeit, Fahrzeugtyp und Fahrzeugabmessungen, den jeweiligen Gefahrenbereich. Anschließend prüft das IPS-System, ob es sich jetzt oder in näherer Zukunft (Prädiktion) im Gefahrenbereich befinden wird. Ist dies der Fall, sendet es eine DENM-Nachricht an alle und löst eine Warnung über das HMI aus. Diese Nachricht enthält die Position des Fußgängers und teilt allen anderen Teilnehmern mit, dass dieser Fußgänger sich gefährdet fühlt.

Empfängt ein Fahrzeug (IVS) eine DENM-Nachricht, erfolgt eine Prüfung, ob es selbst das gefährdende Fahrzeug ist. Ist dies der Fall, löst es eine Warnung an den Fahrer über das HMI aus. Dieser Nachrichtenablauf ist in Abbildung 27 dargestellt.

⁴ ETSI EN 302 637-2 Specification of Cooperative Awareness Basic Service,

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.02_60/en_30263702v010302p.pdf

⁵ ETSI EN 302 637-3 Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service,

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.02.01_30/en_30263703v010201v.pdf

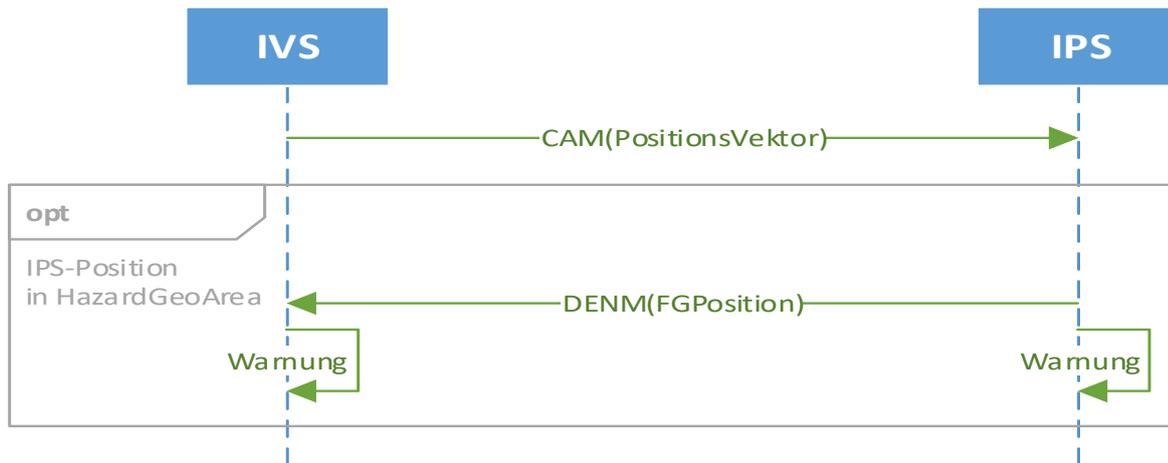


Abbildung 27: Phase 3 Nachrichtenfluss

7.4.2 Warnung des Fußgängers

In allen Phasen erfolgt die Warnung des Fußgängers über mehrere Wege. Es erfolgte stets eine auditive Warnung („Warnton“), eine haptische Warnung („Vibration“) sowie eine visuelle Warnung („Warnmeldung“) über das Smartphone. Wurde die Smartwatch genutzt, erfolgte hier eine zusätzlich auditive und visuelle Warnung.

7.4.3 Sicherheit und Datenschutz

Das in FRAMES entwickelte System erfasst Positionsdaten und wertet diese aus. Diese werden genutzt, um das Verhalten von Verkehrsteilnehmern, speziell Fußgängern und Fahrzeugführern, zu beeinflussen. Es ist klar, dass hier Sicherheit sowie Datenschutz eine wichtige Rolle spielen müssen. Bezüglich des Begriffes „Sicherheit“ muss zwischen der Vermeidung von Unfällen (engl. „Safety“) und dem Schutz von Ressourcen gegen unberechtigten Zugriff (engl. „Security“) unterschieden werden. Da diese Begriffe im Englischen Trennschärfer sind, werden diese im Folgenden benutzt.

Die **Security** wurde in FRAMES nicht gesondert betrachtet, da FRAMES die in ETSI ITS definierten Sicherheitsmechanismen nutzt. Diese wurden speziell auf die Verwendung für die V2X-Kommunikation ausgelegt und getestet. Diese Mechanismen stellen z.B. sicher, dass Nachrichten nicht manipuliert werden können oder dass notfalls bewiesen werden kann, dass eine Nachricht von einem bestimmten Sender stammt. Gleichzeitig stellt dieses System die Anonymität der Nutzer sicher⁶.

Hinsichtlich des **Datenschutzes** sind einige Überlegungen in das FRAMES System mit eingeflossen. Bereits zu Anfang des Projektes war klar, dass individuelle Charakteristika des Fußgängers die Prädiktion beeinflussen würden, z.B. bewegt sich ein 13-jähriger Junge anders als ein 63-jähriger Mann. Diese Informationen zu kommunizieren würde somit andere Verkehrsteilnehmer helfen, die Gefahrenlage einzuschätzen, aber die Privatsphäre der Fußgänger ungebührend beeinträchtigen. Es wurde daher bereits beim ersten Systementwurf beschlossen, solche Daten nicht zu kommunizieren, sondern höchstens in

⁶ Genauer: Es stellt „Pseudonymität“ sicher.

das Prädiktionsmodell des Fußgängersystems zu integrieren. Damit verlassen diese Daten nie den Fußgänger und können seine Privatsphäre nicht beeinflussen. Ferner wurde der Fußgänger als weitestgehend passiver Teilnehmer konzipiert: entgegen dem Verhalten der Fahrzeuge sendet er keine periodischen Nachrichten mit seiner Position aus. Dies wurde als notwendig erachtet, da von Fußgängern, gerade mit RTK verbesserten Positionsinformationen, sehr genaue Bewegungsprofile erstellt werden könnten, die eine „hausgenaue“ Ortung ermöglichen würde. So ist es nicht möglich, einen Fußgänger zu verfolgen, wie es bei anderen Systemen, wie z.B. der „Schutzranzen-App“⁷ möglich ist. Hierdurch ist das FRAMES-System konform zur *Datenschutz Grundverordnung*⁸ (DSGVO)⁹.

7 Nachricht zur Schutzranzen-App: <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.umstrittene-schutzranzen-app-in-ludwigsburg-kinder-werden-nicht-mehr-geortet.34c143c7-ed1f-4d3e-be43-b886ef656738.html>

8REGULATION (EU) 2016/679 „GDPR“: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>

9 Unter der Voraussetzung, dass die ETSI ITS Nachrichten (CAM, DENM) konform sind, wovon zurzeit auszugehen ist.

7.4.4 Positionierung

7.4.4.1 *Global Positioning System (GPS)*

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



Abbildung 28: 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 29 ist eine Messreihe 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.

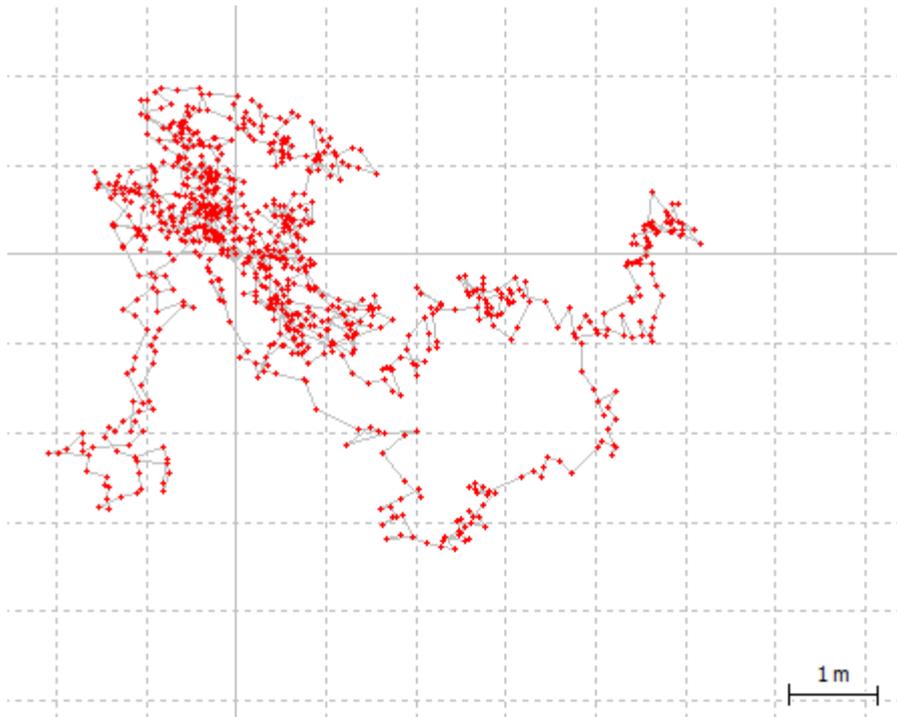


Abbildung 29: Positionsmessreihe mit GPS

Die Position ist deutlich 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 sehr deutlich vorhanden.

7.4.4.2 *Satellite-based augmentation systems (SBAS)*

Als nächster Schritt wurden ein satellitenbasiertes *Ergänzungssystem* zur Positionsverbesserung (engl. „Satellite-based augmentation systems“ SBAS), genauer der *European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)*¹⁰, zur Verbesserung der Position hinzugezogen. 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°, 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 erhalten hat, 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.

¹⁰ http://web.archive.org/web/20101022135956/http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/egnos/index_en.htm



Abbildung 30: Positionsmessreihe mit SBAS

In Abbildung 30 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 wiederum verringert ist allerdings immer noch zu spüren. Die Abweichung der Distanz zweier Punkte liegt hierbei nur noch bei 3 m.

7.4.4.3 *Real-time kinematic (RTK)*

Um diese Abweichungen noch weiter zu verringern wurde ein so genanntes *Real-time kinematic* (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 starke 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 stellen 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 31 ist eine Messreihe im RTK Betrieb zu sehen. Wie zu erkennen ist liegt die Positionsungenauigkeit 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 Schleppeffekt 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.

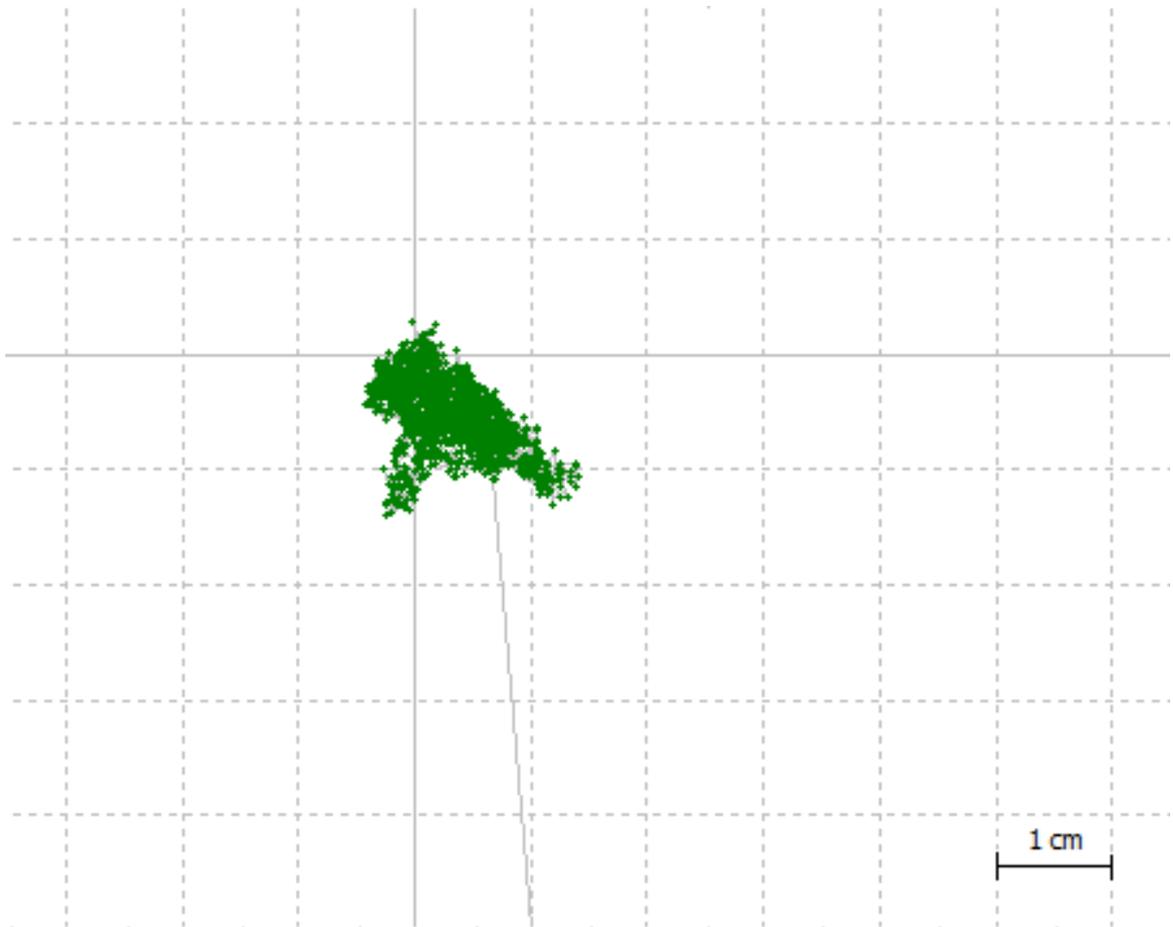


Abbildung 31: Positionsmessreihe mit RTK

Mit RTK lässt sich die Positionierung soweit verbessern, dass sie den Anforderungen, die FRAMES an diese stellt, entspricht. Zum aktuellen Zeitpunkt bietet RTK eine kosteneffiziente Möglichkeit ein ausreichend genaues Ortungssystem aufzubauen, welches die in den gestellten Szenarien aufkommenden Genauigkeiten abdecken kann.

7.5. Prototyp-Verbesserung I & II: Gewichts- und Größenreduktion

7.5.1 Hardware des Fußgängers

7.5.1.1 Fußgängersystem Mark 1 (VRU-Mk1)

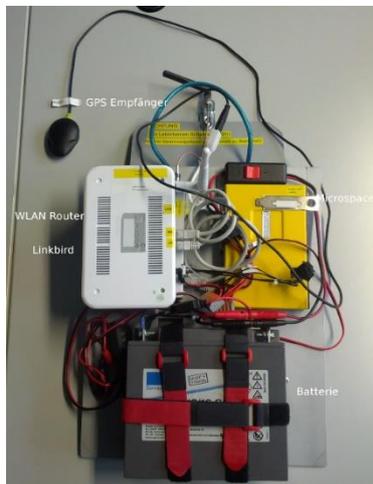
7.5.1.1.1 Komponententräger - Rucksack

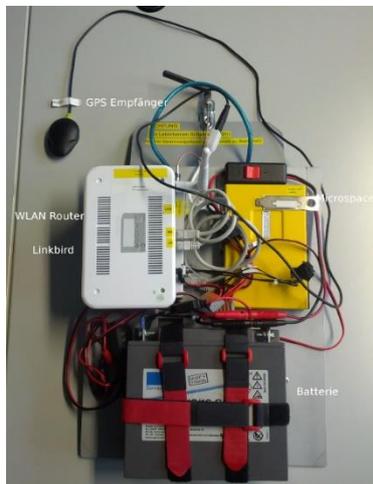
Zur Integration der Vulnerable Road User (VRU) in das C2X-Netz wurde ein erster mobiler Komponententräger entwickelt, der einschließlich einer Stromversorgung in einen Rucksack passt und circa 10 Kilogramm wiegt. Die Komponenten des VRU-Mk1-Rucksacks (Tabelle 24) sind:

Tabelle 24: Mark-1 Komponenten

Komponente	Aufgabe
Edimax 3G-6200n	802.11b/g/n WLAN Router zur Anbindung des Mobiltelefons an das Netzwerk des Komponententrägers
NEC Linkbird-MX	CCU. Schnittstelle zur 802.11p Kommunikationstechnologie. Dient zum Zugriff auf das Kommunikationsmedium zwischen Fahrzeug und Vulnerable Road User (VRU)
Microspace PC20L	Thinclient, der als Betriebsplattform der GPS-RTK Software dient und die Positionsbestimmung umsetzt
Sonnenschein Dryfit A512/16G5	Stromversorgung des Komponententrägers (ca. 8 Stunden)

Der Rucksack ist ein handelsüblicher Trekking-Rucksack. Dieser wurde gewählt, da die gepolsterte Rückseite sowie die Hüftgurte eine bessere Verteilung des Gewichtes erlauben.



Der Rucksack ist in  zu sehen. Die Komponenten wurden auf einer Trägerplatte, befestigt. Diese gewährleistet einen sicheren Halt und erlaubt eine einfache Entnahme des Systems für den Laborbetrieb. Die Kommunikationseinheit (CCU, hier ein Linkbird MX der Firma NEC) wurde im Mark1-System noch mit einer älteren Version des C2X-SDK betrieben, die nicht die zu dieser Zeit aktuellen Kommunikationsstandards unterstützte. Die CCU ist nicht zu sehen, da sie dort durch den WLAN-Router verdeckt wird.



7.5.1.1.2 Mobiltelefon

Das Mobiltelefon diente im VRU-Mk1-System als Application Unit (AU) und Human Maschine Interface (HMI) für den VRU. Hierbei wertet das Telefon die Informationen, die es aus von der CCU und dem Microspace des Rucksacks erhält, aus und stellt diese in menschenlesbarer Form dar. Die verschiedenen Kommunikationsteilnehmer werden in einer Kartendarstellung angezeigt. Zusätzlich wird die Entfernung zum nächsten Teilnehmer und das Alter dieser Information auf dem Display dargestellt. Hierbei handelte es sich um ein Layout, das reinen Testzwecken dient; im Realumfeld würden diese Informationen den VRU lediglich ablenken und keinen Mehrwert bringen. In einer zusätzlichen Listendarstellung werden die Informationen der aktuellen Nachbarschaftstabelle der CCU angezeigt. Dies ist ebenfalls nur zu Testzwecken implementiert, da es die Weltsicht des Systems darstellt und somit wertvolle Informationen für die Fehlersuche liefert.

7.5.2 Fußgängersystem Mark 2 (VRU-Mk2)

7.5.2.1 Komponententräger - Rucksack

Parallel zur Weiterentwicklung der Phase-1 Hardware (VRU-Mk1) wurden 2014 Konzepte zur Überarbeitung dieser Hardware aufgestellt. Hierbei wurden die Komponenten Kommunikationshardware (CCU), integrierter Recheneinheiten (Microspace) und Energiespeicher begutachtet und durch neue Komponenten ersetzt. Hier konnten zum einen moderne Systeme genutzt werden, zum anderen konnten passendere Systeme eingesetzt werden, da nun die technischen Anforderungen klarer waren. Hierdurch gelang es, das zukünftige System sowohl leichter als auch kleiner zu gestalten.

Tabelle 25: Mark-2 - Komponenten

Komponente	Aufgabe
Edimax EW-7811utc	802.11b/g/n WLAN USB-Adapter zur Anbindung des Mobiltelefons an das Netzwerk des Komponententrägers
NEC Linkbird-MX	CCU. Schnittstelle zur 802.11p Kommunikationstechnologie. Dient zum Zugriff auf das Kommunikationsmedium zwischen Fahrzeug und Vulnerable Road User (VRU)
MIFcom Mini-PC „Intel NUC“	Thinclient, der als Betriebsplattform der GPS-RTK Software dient und die Positionsbestimmung umsetzt

Vision V-LFP-12-15 15 Ah

Stromversorgung des Komponententrägers (ca. 6 Stunden)



Abbildung 32: Mark-2 - Rucksack

Im ersten Quartal 2015 wurde eine neue Version des VRU Systems entwickelt, welches mit 5,4 Kilogramm nur noch etwa halb so schwer wie das VRU-Mk1 System war, zu sehen in Abbildung 32. Hierfür wurde ein neues, kompakteres Rucksacksystem zusammengestellt, welches über einen neuen und deutlich leichteren Energiespeicher (1.800 g), eine effizientere Recheneinheit und einen kleineren WLAN-Adapter verfügte. Diese Platte ist in Abbildung 34 zu sehen. Im Zuge der Vorbereitungen für den Demonstrationslauf im Juni 2015 wurde die vorhandene FRAMES Software erfolgreich auf die neue Hardware portiert und das Gesamtsystem ausgiebig getestet und beim Demonstrationslauf dem Begleitkreis vorgeführt.



Abbildung 33. Smartwatch

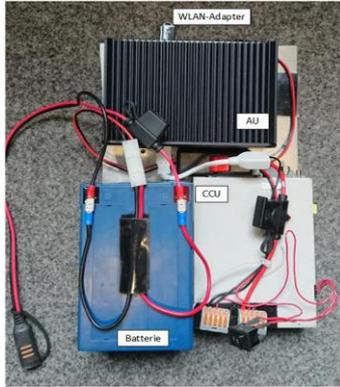


Abbildung 34. Mark-2 Trägerplatte

7.5.2.2 Mobiltelefon

Wie bereits in Phase 1 wurde das Mobiltelefon in diesem System weiterhin als Application Unit (AU) und als Human-Machine-Interface (HMI) verwendet. Zudem wurde eine Smartwatch integriert. Diese mit dem Mobiltelefon verbundene Armbanduhr kann unter anderem Warntöne abspielen, vibrieren oder Warnnachrichten anzeigen. Hierdurch muss der Fußgänger das Mobiltelefon nicht mehr in der Hand tragen, um gewarnt werden zu können. Die Smartwatch ist, inklusive angezeigter Warnmeldung in zu sehen.

7.5.3 Fußgängersystem Mark 3 (VRU-Mk3)

7.5.3.1 Komponententräger - Warnweste

Bereits Ende 2015 wurden erste Tests mit neuerer, kleinerer und leichter Hardware durchgeführt, um das in Phase 2 vorgestellte, 5,4 Kilogramm schwere VRU-Mk2-System zu ersetzen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die Integration der Komponenten in eine (Warn-)Weste angestrebt, da auf diesem Weg zusätzliches Gewicht durch einen Rucksack eingespart werden konnte. Außerdem erleichtert dies die Anwendung im Betriebsumfeld, da Mitarbeiter bereits heute gewohnt sind, bestimmte Bereiche nur mit Warnwesten zu betreten.

Neben der neuen Tragweise des Systems wurden die Recheneinheit, die Kommunikationseinheit und der Energiespeicher ersetzt. Als neue Recheneinheit wurde der Einplatinencomputer „Raspberry Pi 3“ eingesetzt, welcher mit 9,5 cm x 6,5 cm x 3 cm deutlich kleiner als der bisher verwendete „Intel NUC“ ist und dennoch über ausreichend Rechenkapazität verfügt. Die neue Kommunikationseinheit bildet eine Sendeeinheit der Firma Autotalks, die mit den Maßen 12,5 cm x 7 cm x 2 cm deutlich kleiner, energieeffizienter und leichter als der bisher verwendete „Linkbird MX“ von NEC ist. Als neuer Energiespeicher wurden handelsübliche Power Banks getestet. Diese bieten meist einen oder mehrere USB-Ausgänge, über den Geräte mit 5 Volt Spannung betrieben werden können. Zum Betrieb der beiden aufgeführten Komponenten sind im Durchschnitt lediglich 7 Watt notwendig. Tests wurden mit einer Powerbank der Marke Anker durchgeführt, die mit einer Größe von 10 cm x 8 cm x 2 cm Hosentaschenformat hat und mit einer Kapazität von 13000 mAh eine Betriebszeit von 8-9 Stunden ermöglicht.

Tabelle 26: Mark-3 - Komponenten

Komponente	Aufgabe
Edimax EW-7811utc	<i>802.11b/g/n WLAN USB-Adapter zur Anbindung des Mobiltelefons an das Netzwerk des Komponententrägers</i>
Autotalks Pangea4	<i>CCU. Schnittstelle zur 802.11p Kommunikationstechnologie. Dient zum Zugriff auf das Kommunikationsmedium zwischen Fahrzeug und Vulnerable Road User (VRU)</i>
Raspberry Pi 3	<i>Thinclient, der als Betriebsplattform der GPS-RTK Software dient und die Positionsbestimmung umsetzt</i>
Anker Powerbank 13.000 mAh	<i>Stromversorgung des Komponententrägers (ca. 8-9 Stunden)</i>

Das VRU-Mk3-System hat ein Gewicht von lediglich 1,2 Kilogramm und ist somit um fast 9 Kilogramm leichter als der ursprüngliche VRU-Mk1-Rucksack. Die folgende Abbildung 359 zeigt die Warnweste, in die das gesamte FRAMES Fußgängersystem integriert wurde. Sämtliche Komponenten sind in den einzelnen Taschen untergebracht und innenseitig miteinander verkabelt. Die auf den Schultern angebrachten Antennen für GNSS-Empfang und Kommunikation garantieren eine optimale Sende- und Empfangsleistung. Alle Hardwarekomponenten sind in den Taschen gut erreichbar und gegebenenfalls austauschbar. Im Rückenteil der Weste sind lediglich zwei Kabel verarbeitet, was es dem Träger ermöglicht, das System auch im Sitzen bequem am Körper zu tragen.



Abbildung 35: Mark-3- Weste

Die im VRU-Mk3-System verwendete Software basiert auf der in der Forschungsgruppe entwickelten „FGVT-Softwarearchitektur“. Diese bietet ein stabiles Basissystem, welches es ermöglicht, unterschiedliche Endanwendungen auszuführen und diese auf verschiedenen Hardwarekomponenten zu testen. Diese Umgebung bietet zudem den Vorteil, dass die in FRAMES entwickelte Software kompatibel zu den in der FGVT entwickelten Funktionen und somit auch mit den aktuellen ITS G5-Standards ist.

7.5.3.2 Mobiltelefon

Im Unterschied zu den Vorgängersystemen verwendet das VRU-Mk3-System das Mobiltelefon nun lediglich als Human-Machine-Interface (HMI) – sprich zur Darstellung der Warnnachrichten. Sämtliche Berechnungen werden nun zentral auf dem Raspberry Pi ausgeführt, der nunmehr neben der Positionsverbesserung auch als Application Unit (AU) fungiert.

7.6. Hardware des Fahrzeugsystems

Das Fahrzeugsystem war nicht Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in FRAMES. Hier wurden Komponenten genutzt, die in anderen Forschungsprojekten der FGVT eingesetzt werden. Über die Laufzeit von FRAMES wurden so zwei verschiedene Systeme genutzt, die analog zum Fußgängersystem „Fahrzeugsystem Mark 1“ und „Fahrzeugsystem Mark 2“ genannt wurden. Das Fzg-Mk1 wurde zusammen mit dem Fußgängersystemen VRU-Mk1 und VRU-Mk2 genutzt. Während Fußgängersystem VRU-Mk2 wurde auch das Fahrzeugsystem geändert, so dass Fußgängersystem VRU-Mk2 und VRU-Mk3 mit dem Fahrzeugsystem Fzg-Mk2 genutzt wurden.

7.6.1 Fahrzeugsystem Mark 1 (Fzg-Mk1)

Die Fahrzeugplatte besteht aus drei Komponenten: einem Switch für die Netzwerk-Kommunikation, ein LinkBird-MX der als 802.11p Router (CCU) dient und ein Microspace-PC der als Applikationsrechner (AU) dient und auch die Positionierung übernimmt. Das System kann mit einem beliebigen Rechner verbunden werden der dann als HMI fungieren kann. In FRAMES war dies üblicherweise ein Laptop eines Entwicklers oder im Versuch ein Samsung NP-Q1u, wie es in Abbildung 36 und Abbildung 37 mit dem späteren Warn-HMI das Fzg-Mk2 zu sehen ist.

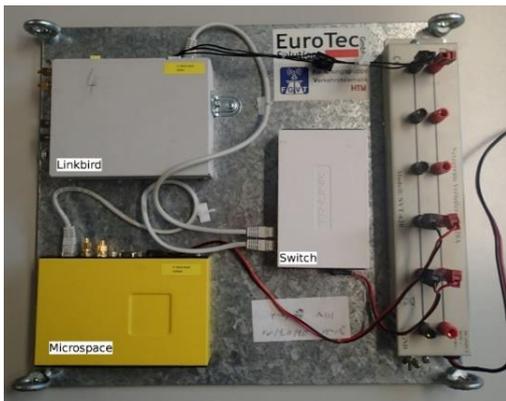


Abbildung 36: Fzg.-Mark-1 Platte



Abbildung 37: Fzg.-Mark-1 HMI

Die in diesem System verwendete Software ist rein FRAMES-spezifisch und macht die Verwendung in einem Systemverbund mit standardisierter ITS G5-Kommunikation unmöglich. Zudem stellte sich das System bezüglich der Erweiterungs- und Verbesserungsmöglichkeiten als stark eingeschränkt dar, da die Komponenten bereits relativ alt sind.

7.6.2 Fahrzeugsystem Mark 2 (Fzg-Mk2)

Um die während der Verwendung des Fzg-Mk1 festgestellten Mängel zu beheben, wurde 2016/2017 ein neues Fahrzeugsystem entwickelt, dies ist in Abbildung 38 zu sehen. Dieses basiert auf dem in der Forschungsgruppe entwickelten und verwendeten projektunabhängigen System und stellt in den folgenden Punkten eine Verbesserung dar:

- ITS-G5 Kommunikation: Die FGVT-Architektur verwendet zu jeder Zeit den der Forschungsgruppe verfügbaren aktuellen Standard zur ITS G5-Kommunikation.
- Kommunikationseinheit: Die FGVT-Architektur unterstützt unterschiedliche Kommunikationseinheiten (CCU) verschiedener Hersteller. Hierdurch konnte der im Fzg-Mk1-System verwendete „Linkbird“ durch die leistungsfähigere CCU der Firma „Autotalks“ ersetzt werden.
- Fehlerüberwachung & -management: Das Fzg-Mk2-System verwendet die bereitgestellten Möglichkeiten für Logging, Systemüberwachung und Systemkonfiguration.
- Wiederverwendbarkeit: Die für das Fahrzeugsystem entwickelte Software ist kompatibel zum gesamten FGVT-System und somit auch zu anderen Car-to-X-Applikationen.



Abbildung 38: Fzg.-Mark 2 Platte

7.7. Fußgängersimulator (Eigenentwicklung)

Für dies praktischen Verhaltenstests, welche die Reaktion der Probanden auf die Funktionsweise des zukünftigen Systems erfassten sollten, wurde eine Teststrecke entworfen, auf der ein Fahrzeug und ein Fußgänger aufeinandertreffen. Die Idee hierbei besteht darin ein Fahrzeug entlang der festgelegten Teststrecke fahren zu lassen, währenddessen ein Fußgänger hinter einer Sichtverdeckung zum Vorschein kommt und die Straße überqueren will.

Im Verhaltensversuch kann nun in verschiedenen Abstufungen mithilfe des entwickelten Frühwarnassistenzsystems entweder keiner, einer oder beide Verkehrsteilnehmer gewarnt werden. Dieser Simulator hat zwei wichtige Eigenschaften, im Vergleich zu versuchen mit dem realen System: Zum einen kann die Zuverlässigkeit des Systems feingranularer angepasst werden, unabhängig von den real erzielten Genauigkeitswerten von GPS oder Ausbreitungsbedingungen im aktuellen Testgelände. Zum anderen spielt natürlich Sicherheit eine wesentliche Rolle, da im Simulator keiner der Probanden gefährdet wird.

7.8. Prinzip der Teststrecke

Im Fußgängersimulator wird der Passant durch einen Dummy simuliert. Der Dummy ist an einer Seilkonstruktion angebracht, welche wiederum an einer 12 m breiten Traverse installiert ist. Mithilfe eines steuerbaren Motors wird das Seil, und somit der Dummy, entlang der Traverse vor- und zurückgezogen. Hierbei kann die Geschwindigkeit und Bewegungsweite durch das Steuergerät kontrolliert werden. Damit der Fußgänger für den Fahrer überraschend auftaucht, wurden Sichthindernisse an der Traverse installiert. Diese können so angebracht werden, dass das Fahrzeug auch für den Fußgänger verdeckt ist und sich die beiden so nicht abstimmen können. Als Sichthindernis dient eine Plane, die ebenfalls an der Traverse eingehängt wird. Hinter diesem Hindernis befindet sich die Startposition des Fußgängers die somit für den Fahrer verdeckt ist. Im praktischen Testszenario fährt das Fahrzeug unter der Traverse durch und könnte an dieser Stelle potenziell den Passanten treffen. Die untere Abbildung stellt diesen Aufbau dar. In diesem Fall ist die Startposition des Fußgängers ganz rechts, der Fahrzeugführer weiß somit, von wo ein Fußgänger kommen könnte, aber nicht wann. Die Verdeckung ließe sich aber auch links oder beidseitig anbringen. Die Teststrecke wurde mit Pylonen markiert.

Es wurden, wie weiter oben beschrieben, zwei Versuchstypen durchgeführt: 1-Probanden-Versuch und 2-Probanden-Versuch. Beim ersten Versuchstypus ist der Dummy durch den Simulator gesteuert und orientiert sich an der Fahrzeuggeschwindigkeit. Hier wird also nur das Fahrerverhalten geprüft. Beim 2-Probanden-Versuch wird der Dummy durch einen weiteren Probanden gesteuert, hier wird also das Verhalten beider Probanden evaluiert. In allen Versuchen wurde die Fahrstrecke vorgegeben, die Probanden konnten jeweils aus Sicherheitsgründen nur die Geschwindigkeit variieren.

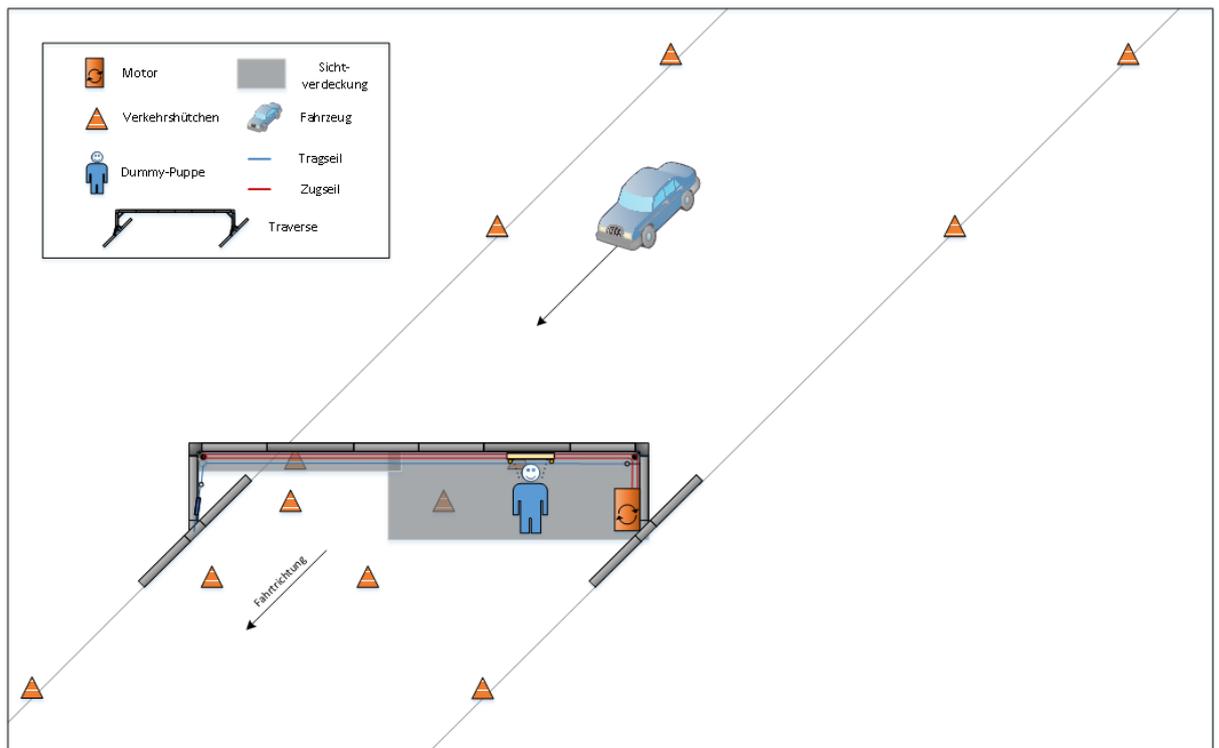


Abbildung 39: Teststrecke

7.9. Aufbau der Traverse und Steuerung des Fußgängers

Bei der verwendeten Traverse handelt es sich um ein 4-Punkt Traversensystem aus Aluminium, sie stellt das Grundgerüst für den Fußgängersimulator dar. Die Traverse besteht aus verschiedenen Elementen, die sich beliebig miteinander verbinden lassen. An der Traverse ist eine Seilkonstruktion aus Trag- und Zugseil angebracht. Auf dem Tragsseil kann sich die Dummy-Puppe entlang der Traverse hin und her bewegen. Das Zugseil ist am Dummy befestigt und wird mittels eines Motors, der an der Traverse befestigt ist, vor- und zurückgezogen und ermöglicht somit die Bewegung des Dummies. Ein Steuerkasten, welcher mit dem Motor verbunden ist, steuert diesen an. Lichtschranken an der Traverse dienen als Endschalter und signalisieren dem Steuerkasten, wenn der Dummy in einer Endposition angekommen ist, so dass dieser den Motor stoppen kann. Dies verhindert Beschädigungen des Simulators. Des Weiteren übernehmen die Endschalter die Zeitmessung und messen, wie lange der Fußgänger für den Weg über die Straße brauchte. Der Dummy selbst wird über einen Xbox-Controller gesteuert, welcher mit dem Steuerkasten verbunden ist. Solche Controller sind zum einen relativ günstig zu beschaffen, zum anderen sind viele Probanden mit dieser Art der Steuerung vertraut. Die Steuerung funktioniert hierbei wie folgt: wird die A-Taste einmal angetippt läuft der Dummy los (Geschwindigkeitsstufe 1), nachdem erneutes antippen der A-Taste wird die Laufgeschwindigkeit des Dummies leicht erhöht (Geschwindigkeitsstufe 2). Wenn nun ein weiteres Mal die A-Taste gedrückt wird, hält der Dummy an. Ebenfalls wird der Dummy automatisch angehalten, wenn einer der beiden Endschalter erreicht wird. Danach wechselt das Steuergerät automatisch die Laufrichtung des Dummies. Ein „Zurücklaufen“ bzw. „Umkehren“ auf der Strecke ist somit nicht möglich, wohl aber ein stehenbleiben.



Abbildung 40: Realfoto Fußgängersimulator 1

Auf der Fahrbahn sind drei Lichtschranken platziert, diese dienen zur Messung der Streckenzeit und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Die erste Lichtschranke befindet sich kurz nach der Startposition des Fahrzeugs und leitet den Start der Zeitmessung ein, sobald sie unterbrochen wird. Die nächste Lichtschranke ist für die Geschwindigkeitsmessung zuständig. Die Geschwindigkeit berechnet sich aus der Länge des Fahrzeugs und der Dauer der Unterbrechung des Lichtstrahls. Die Länge des Fahrzeugs wird manuell als Parameter in die Berechnung mit einbezogen und ist im Steuerkasten hinterlegt. Abschließend dient die letzte Lichtschranke an der Ziellinie hinter der Traverse als zweiter Punkt für die Zeitmessung für den Fahrer.

Bei allen Lichtschranken, welche bei den FRAMES Realtests verwendet wurden handelt es sich um Reflexions-Lichtschranken¹¹. Bei diesem Typ sind Lichtquelle und Empfänger in einem Gehäuse angeordnet und werden auf einen Tripelspiegel-Reflektor ausgerichtet, sodass der ausgesendete Lichtstrahl auf den Empfänger zurückfällt. Hierbei erfolgt die Betätigung durch Unterbrechung des Lichtstrahls.

Die Start- und Endlichtschranke sind jeweils an einem Raspberry Pi angeschlossen. Dieser befindet sich beim Leitstand beim Steuerkasten, an dem auch die Zeitmessung aufgenommen wird. Weiterhin wird ein Verteilerkasten verwendet, um die entsprechenden technischen Komponenten miteinander zu verkabeln. Die Geschwindigkeitsmessung wird von der mittleren Lichtschranke über den Verteilerkasten zum Steuerkasten weitergeleitet, worüber die Verzögerung für das akustische Startsignal für den Fußgänger berechnet wird. Dieses Signal gibt einem Probanden ein Signal, wenn er loslaufen kann. Dies wurde eingeführt, damit Fußgänger und Fahrzeug sich auch tatsächlich in eine gefährliche

¹¹ Siehe: <http://www.xpertgate.de/produkte/Lichtschranken.html>

Situation begeben. Könnte der Fußgänger beliebig loslaufen, könnte er die Strecke überqueren, bevor das Auto die Traverse erreicht.

7.9.1 Ablauf einer Simulation

Im Folgendem wird das Szenario einer Simulation beschrieben, bei dem sich beide Verkehrsteilnehmer auf Kollisionskurs befinden. Zu Beginn positioniert der Fahrer das Fahrzeug an der markierten Startposition. Der Proband der den Fußgänger simuliert sitzt hinter der Verdeckung neben der Traverse mit dem Xbox-Controller in der Hand und trägt einen Kopfhörer. Über diesen werden Verkehrsgeräusche einer städtischen Kreuzung eingespielt, damit der Proband das Fahrzeug nicht hören kann. Des Weiteren wird über die Kopfhörer das Startsignal übertragen, damit der Proband weiß, wann er „loslaufen“ soll. Wenn der Testversuch beginnt, bekommt der Fahrer vom Leitstand ein visuelles Startzeichen („Startflagge“), woraufhin dieser losfährt. Passiert das Fahrzeug die erste Lichtschranke wird die Zeitmessung gestartet. Nach dem Passieren der Geschwindigkeitslichtschranke wird die Geschwindigkeit des Fahrzeuges gemessen und somit der Zeitpunkt für das Startsignal des Fußgängers berechnet. Diese Information geht über den Verteilerkasten zu dem Steuerkasten bis hin zu den Kopfhörern des Probanden, der den Fußgänger steuert. Nimmt der Fußgänger dieses Signal wahr, lässt er den Dummy loslaufen. Wegen der angebrachten Sichtverdeckung an der Traverse, können beide Verkehrsteilnehmer sich nicht gegenseitig sehen während sie aufeinander zukommen. Je nach eingestelltem Programmablauf werden Warnmeldungen für die einzelnen Parteien generiert oder nicht. Falls die Warnmeldungen aktiv geschaltet sind, wird der Fahrer visuell und akustisch über das HMI im Fahrzeug gewarnt, der Fußgänger bekommt ein akustisches Warnsignal auf seine Kopfhörer übertragen. Damit der Fußgänger nicht vollkommen blind die Straße überquert und sich nach der Sichtverdeckung nach vorbeifahrenden Fahrzeugen umschauchen kann, steht ein Spiegel neben ihm. Dies entspricht der realen Situation, in der ein Fußgänger das Fahrzeug erst sehen könnte, wenn er hinter der Sichtverdeckung hervor und auf die Straße tritt. Der Fahrer sowie der Fußgänger sind angehalten, gewissenhaft eine Kollision zu vermeiden. Unabhängig vom Ausgang der kritischen Verkehrssituation endet die Zeitmessung für das Fahrzeug, wenn es die letzte Lichtschranke passiert und für den Fußgänger, wenn dieser das Ende der Traverse erreicht hat (sinnbildlich für das Erreichen der anderen Straßenseite). Die Zeiten beider Verkehrsteilnehmer für jeden Testversuch werden festgehalten, ebenso ob es zu einer Kollision kam oder nicht.

7.9.2 Komponente der Traverse

Im Folgenden werden die verwendeten technischen Komponenten und ihre Funktionen aufgezeigt, die während des Realtests zum Einsatz kamen. Die untere Abbildung dient der Übersicht der einzelnen Komponenten und wie diese miteinander verknüpft sind.

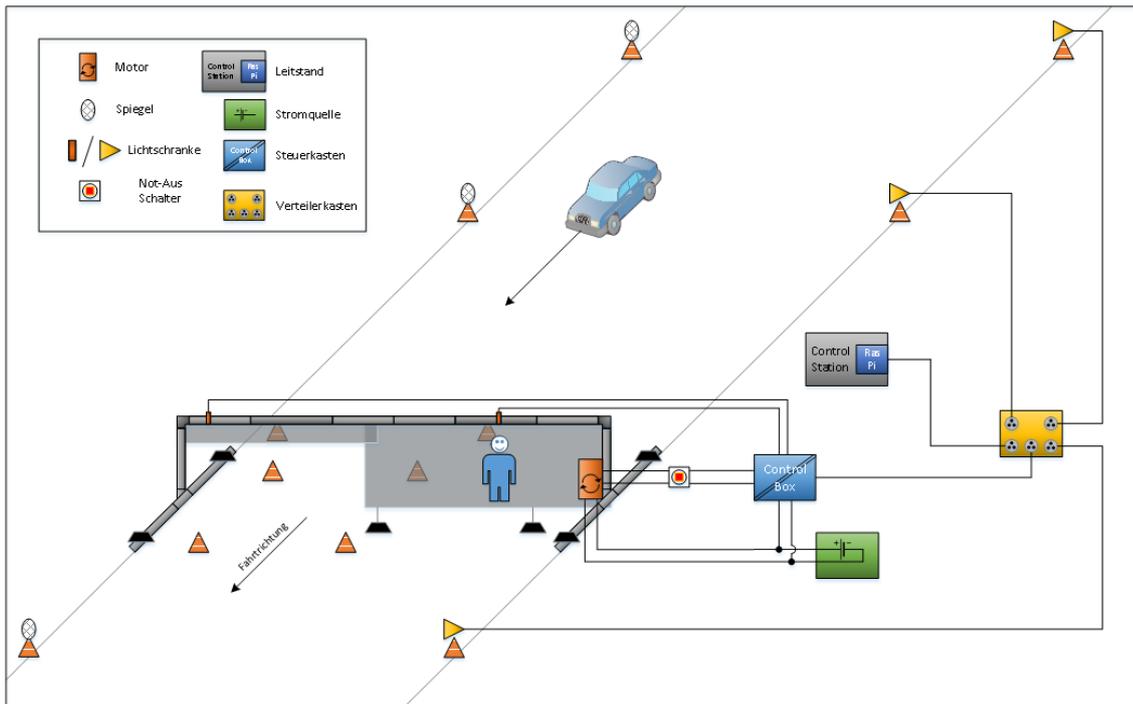


Abbildung 41: Untersuchungsdurchlauf Fußgängersimulator

Seilkonstruktion: Diese Komponente ist essenziell für die Bewegung des Dummys. Die Seilkonstruktion besteht aus einem Trag- und einem Zugseil. Das Tragseil wird an die Traverse angebracht und festgespannt, damit der Dummy auf diesem Seil entlang gleiten kann. Das „Antizwirbelbrett“ (verhindert ein verdrehen, „zwirbeln“, des Zugseiles) in der unteren Abbildung vereinfacht die Bewegung des Dummys auf dem Tragseil und dient gleichzeitig der Aktivierung der Endschalter, da es den Lichtstrahl der Schranke unterbricht. Das Zugseil ist mit einer Rolle am Motor verbaut, welcher das Seil vor- und zurückziehen kann und damit den Dummy bewegt.

Das Zugseil ist verbunden mit: Dummy (Antizwirbelbrett), Motor

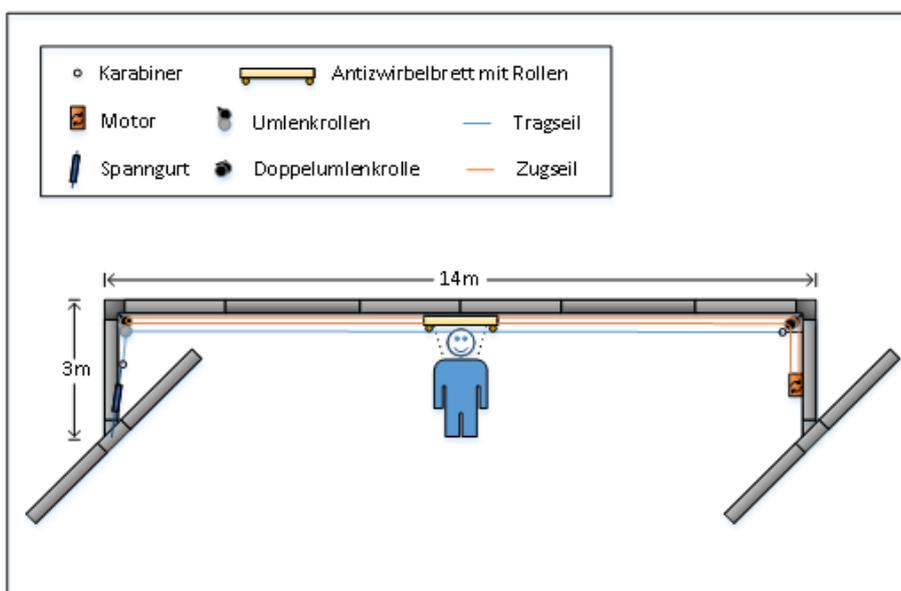


Abbildung 42: Dummyaufbau Simulator

Motor: Der Motor dient als Antrieb für das Zugseil, welches an dem Dummy befestigt ist, um diesen in die jeweilige Richtung zu ziehen. Genauer gesagt dreht der Motor die Rolle durch die das Zugseil durchgezogen wurde vor oder zurück. Der Motor benötigt Strom und ist deswegen an eine Stromquelle angeschlossen. Aus Sicherheitsgründen ist der Motor mit einem Not-Aus-Schalter ausgestattet. Zusätzlich ist der Motor mit dem Steuerkasten verbunden, durch welchen er seine Steuerbefehle erhält.

Verbunden mit: Stromquelle, Zugseil, Not-Aus-Schalter, Steuerkasten

Steuerkasten: Der Steuerkasten hat die Aufgabe den Motor zu steuern. Dieser bekommt Signale von den Endschaltern zum automatischen Stoppen des Dummys beim Erreichen des Endes der Laufstrecke übertragen. Weiterhin empfängt der Steuerkasten Steuersignale über den Xbox-Controller zum manuellen Starten und Stoppen des Dummys und die Steuerung der Dummy-Geschwindigkeit.

Verbunden mit: Stromquelle, Motor, Endschalter, Verteilerkasten

Verteilerkasten: Fungiert als zentrales Element der Verkabelung zwischen den Komponenten an der Teststrecke, da diese voneinander weiter entfernt sind. Dient also hauptsächlich als Verbindung zwischen den einzelnen technischen Komponenten.

Verbunden mit: Steuerkasten, Raspberry Pi, Geschwindigkeits-, Start- und Endlichtschranke

Raspberry Pi am Leitstand: Misst die Fahrzeit des Fahrzeugs eines Testdurchlaufs durch die Start- und Endlichtschranken.

Verbunden mit: Start- und Endlichtschranke, (Hauptkonsole am Leitstand [PC von JES])

Startlichtschranke: Beginn der Zeitmessung des Fahrzeugs eines Testdurchlaufs

Geschwindigkeitslichtschranke: Geschwindigkeitsmessung des Fahrzeugs eines Testdurchlaufs. Abhängig von der gemessenen Geschwindigkeit wird die Verzögerung des akustischen Startsignals für den Fußgänger sowie die Verzögerung für das Aussenden der Warnsignale berechnet.

Endlichtschranke: Ende der Zeitmessung des Fahrzeugs eines Testdurchlaufs

Endschalter (2 Stück): Lichtschranke, jeweils an einem Ender der Traverse, zuständig für das automatische Stoppen des Motors und somit das Anhalten des Dummys. Außerdem zuständig für die Zeitmessung des Fußgängers eines Testdurchlaufs.



Abbildung 43: Realfoto Fußgängersimulator 2

7.10. Ergebnisse zur Positionierung und Verhaltensprädiktion

7.10.1 Master-Thesis zur Prädiktion von Fußgängertrajektorien

Im Zuge des Projektes wurde im Rahmen einer Master-Thesis eine Untersuchung unterschiedlicher Algorithmen zur Vorhersage von Fußgängerbewegungen durchgeführt. Ziel war die Erprobung verschiedener Prädiktionsansätze in definierten Testszenarien, die in Art und Umfang an die Verwendung von Fußgängerschutzsystemen im öffentlichen und betrieblichen Kontext gerichtet waren.

Zunächst wurden mithilfe einer Eigenkonstruktion sechs Bewegungsszenarien in Form von Sensordaten (GPS-Position, Richtung, Geschwindigkeit, Beschleunigungswerte, Zeitachse) aufgezeichnet.

Name	Wegpunkte	Länge (m)	Dauer (mm:ss)	Ø Geschwindigkeit (km/h)
RS 2	179	45	00:45	3,67

Tabelle 4.2: Eckdaten von RS 2

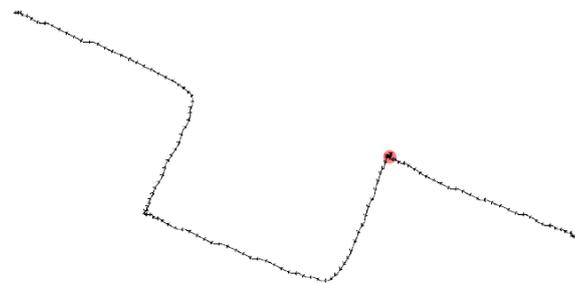


Abbildung 44: Aufgezeichneter Track für Referenzszenario RS 2

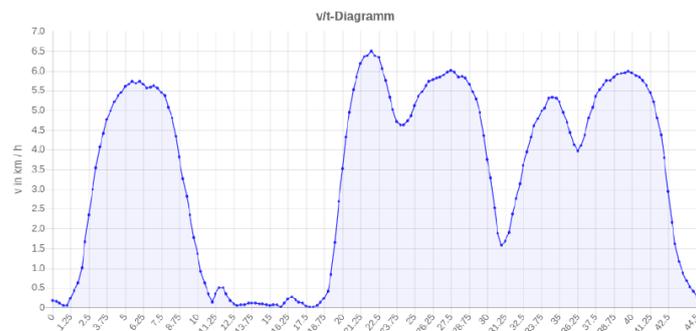


Abbildung 45: Geschwindigkeit/Zeit-Diagramm für Referenzszenario RS 2

Diese Szenarien umfassen die häufigsten Bewegungsmuster von Fußgängern im Straßenverkehr, wie zum Beispiel Kurvengehen, schnelle Richtungswechsel und abrupte oder kontinuierliche Beschleunigungen (Abbildungen 46 und 47).

Zu den zum Vergleich herangezogenen Algorithmen zählten mehrere auf linearer Extrapolation basierende Algorithmen, welche sich durch die Auswahl der betrachteten Sensordaten und Parameter unterschieden. Zudem wurden sowohl Algorithmen basierend auf quadratischer Extrapolation, als auch Algorithmen mit kubischer Extrapolation untersucht. Ein weiterer Ansatz war die Bewegungsprädiktion mithilfe eines künstlichen neuronalen Netzes.

Zur Messung der Ansätze wurden alle Algorithmen implementiert und einzeln mit den zuvor gesammelten Szenariodaten gefüttert. Gemessen wurden die auftretenden Abweichungen

zwischen Prädiktion und tatsächlichen Werten unter Betrachtung unterschiedlicher Prädiktionszeiträume.

Neben der Bewertung auf Basis der gemessenen Abweichungen wurden zusätzlich weitere Kriterien wie die Komplexität des Algorithmus, die Zahl der notwendigen Parameter und die Rechenzeit pro Prädiktionsschritt hinzugezogen. Grundsätzlich zeigte sich in diesen Untersuchungen, dass die Verwendung eines künstlichen neuronalen Netzes zur Prädiktion typischer Bewegungsabläufe bei Fußgängern ein hohes Potential aufweist.

7.10.2 Studie zur Indoor-Positionierung

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Abschlussarbeit wurde bereits 2016 ein Vergleich unterschiedlicher auf dem Markt erhältlicher Systeme zur Realisierung von Indoorpositionierung durchgeführt. Für diese Analyse wurden zunächst verschiedene bekannte Technologien zur Indoorpositionierung vorgestellt und beschrieben. Diese Technologien umfassen unter anderem kamerabasierte Systeme, Trittsensoren und aktive oder passive Beacon Funksysteme. Die anschließende Marktanalyse lieferte einen Überblick über die verfügbaren Systeme und deren Einsatzmöglichkeiten und Schwächen. Abschließend erfolgten sowohl eine Bewertung der Technologien zur Indoorpositionierung, als auch eine Bewertung der einzelnen Systeme mit Bezug auf den Einsatz im Projekt FRAMES und dem darin verwendeten System. Zu den bewerteten Kriterien zählten somit Anforderungen an die Genauigkeit des Systems, die Integrierbarkeit in das bereits bestehende FRAMES System und die technische Realisierbarkeit der einzelnen Lösung.

8. AUSBLICK

Im Forschungs- und Entwicklungsprojekt FRAMES wurde erfolgreich ein Frühwarnsystem entwickelt und getestet, das die Möglichkeit bietet, Verkehrsteilnehmer im Zuge einer frühzeitigen Warnung vor sichtverdeckten Gefährdungen durch die Handlungen und Bewegungen anderer Verkehrsteilnehmer (in bspw. rangierenden Fahrzeugen) zu warnen. Das System und dessen frühzeitiges Warnprinzip vor sich anbahnenden Verkehrsgefährdungen wurde insbesondere mit Blick auf schwächere Verkehrsteilnehmer entwickelt, um diesen ebenfalls eine frühzeitig-aktive Unfallvermeidung zu ermöglichen.

Da sich innerbetriebliche Bereiche angesichts plötzlich ansteigender Verkehrsspitzen bei einer gleichzeitig hohen Verkehrskomplexität durch multidirektionale Bewegungen, Rangier- und Rückwärtsfahrten und häufig fehlende Fußgängerbereiche kennzeichnen lassen und deshalb regelmäßig Verkehrsunfälle festzustellen sind, wurden für die Systementwicklung insbesondere diese Verkehrsbereiche in den Fokus genommen. Der damit definierte Anwendungsfall eines verblockten Werkshofes mit mobilen Sichthindernissen soll es Werksangehörigen durch die erhaltenen Warnungen ermöglichen, selbst einen Unfall zu vermeiden. Dieses Merkmal des Systems stellt eine Besonderheit dar, da herkömmliche Systeme zumeist nur in Fahrzeugen verbaut werden und den Fahrern eine Warnung bei bereits sichtbaren Gefahrenquellen anbieten.

Das System bietet eine Positionierungsgenauigkeit von durchschnittlich 0,5 Metern und kann auch Höhenunterschiede, wie sie z.B. bei Laderampen vorliegen, zuverlässig erkennen. Nach der Prototypenentwicklung im Rahmen des Forschungsprojektes müsste angesichts der rasanten technischen Weiterentwicklungen der bereits während des Projektes kontinuierlich voran getriebene Stabilitäts- und Verkleinerungsprozess weiter erfolgen, um eine weitere Vermarktung des Systems zu ermöglichen. Die bereits zu Forschungszwecken betriebene Anbindung an die zukünftig geltenden europaweiten Standards und die kommende Infrastruktur sollte dabei unbedingt weiter erhalten bleiben, da das System damit zukünftig bereits vorhandene Infrastruktur nutzen kann und nicht auf systemspezifische und kostenintensive Lösungen angewiesen ist. Darüber hinaus versprechen die signalverbessernden und genauigkeitserhöhenden bodengebundenen Stationen (intelligent roadside station-IRS) auch dann eine hochgenaue Informationsweiterleitung, wenn in einer gegebenen Situation bzw. an einem konkreten innerbetrieblichen Ort, keine Verbindung zum Satelliten besteht. Weiterhin besteht hierbei die Möglichkeit besondere, bspw. tagesaktuelle Warnungen, vor z.B. erhöhtem Verkehrsaufkommen bei Schichtende, auszugeben.

Die Akzeptanz eines solchen Systems und das betriebliche Interesse sind bei allen befragten und beteiligten Unternehmen, Firmen, Organisationen und sonstigen Nutzern sehr hoch, so dass sich für die nächsten Jahrzehnte die themenspezifische Forschung und Entwicklung sowie der Bau solcher Systeme eine lohnenswerte Investition verspricht. Derzeit existieren nach dem Wissen der Forschungsgruppe keine alternativen Lösungen mit ähnlichen Funktions- und Leistungsspektren, so dass das FRAMES-System ein absolutes Novum darstellt.

Da die rein technische Funktionsgüte eines hochentwickelten Systems immer nur einen Teil der Leistungsbewertung ausmacht und insbesondere Sicherheitsassistententechnologien durch das ihnen innenwohnende Potential zur Verantwortungsabgabe des Nutzers an die

Technik, Verhaltensanpassungen bedingen können, die wiederum einen sicherheitsreduzierenden Effekt haben, waren die in der Vergangenheit immer wieder festgestellten Verhaltensanpassungen (Risikokompensation) in Reaktion auf die Techniknutzung als zweiter Schwerpunkt des Forschungsprojektes ebenfalls untersucht.

Damit sollten einerseits die möglichen Effektarten und -ausprägungen und die Grenzen und unerwünschten Nebenwirkungen des Systems erfasst, quantifiziert und im Falle negativer Anpassungen gleichzeitig gegebenenfalls „dekompensiert“ werden können. Mit „Dekompensation“ oder „Kompensation der Kompensation“ sollten Ansätze für wirksame Gegenmaßnahmen bereits im Zuge der Systementwicklung in das technische System integriert werden. Alternativ bestand ein weiterer Ansatz darin, Nutzer des Systems effektiv und nachhaltig über den Funktionsbereich des Systems aufzuklären und das Nachlassen der menschlichen Aufmerksamkeitsleistung und defensiven Fahrweise aus fälschlichem „Systemübervertrauen“ über Schulungsmittel auszugleichen. Beide Anliegen sind gelungen.

Die weiteren Analysen in den durchgeführten Experimenten und Realfahrversuchen zeigten entsprechend sehr deutliche, u.U. schnell eintretende und z.T. permanente Verhaltensanpassungen bei den Fahrern und Fußgängern, die die insgesamt positiven Effekte des Frühwarnsystems deutlich reduzieren konnten!

Diese teils sehr deutlichen Befunde sind in der Forschung und Anwendung hinsichtlich der verwendeten Methodiken neuartig und sollten bei der weiteren technischen Entwicklung und Ausrüstung unbedingt berücksichtigt werden, weil sie ein klares Potential besitzen, neue Unfallgefahren bzw. Verkehrskonfliktarten zu erzeugen.

Insbesondere mit Blick auf die genauen Bedingungen, unter denen sich auch Fußgänger risikoreicher verhalten und hinsichtlich des Wissens um wirksame Gegenmaßnahmen, liegen aktuell kaum andere hilfreiche Erkenntnisse vor und sollten allein deshalb näher betrachtet werden.

Die Funktionsweise und Wirksamkeit des FRAMES-System wurde während des Forschungsprojektes in Computersimulationen, bei kontrollierten Fahrten auf dem Testgelände mittels eines selbst entwickelten Querungssimulators inkl. "Fußgängerdummy" und während der alltäglichen realen Arbeitssituation auf einem Betriebsgelände eines Transport- und Logistikunternehmens, überprüft. Es zeigten sich bei aktiviertem System deutliche Reduktionen in den Unfallhäufigkeiten. Dieses positive Fazit zur Funktionsweise des Systems wird aber durch die Feststellung erhöhter Aufprallgeschwindigkeiten und geringere Bremsstärken und -häufigkeiten getrübt.

In der Praxis bedeuteten diese Befunde im Zweifelsfall, dass zwar weniger Unfälle passieren, aber die verbleibenden Unfälle aufgrund weniger aufmerksamen Verhaltens der menschlichen Nutzer, aufgrund des Systemvertrauens in eine rechtzeitige Warnung, ggf. deutlich mehr Schaden anrichten.

Darüber hinaus ist heute ebenfalls völlig unklar, ob und wie sich die Unfallereignisse in ihrer Art und ihren Strukturen verändern, wenn nur ein Teil der Nutzer des Werksgeländes mit dem Frühwarnsystem ausgestattet ist. Da eine 100%ige Abdeckung bzw. Tragequote unrealistisch ist, stellt sich damit die Frage nach der Existenz einer kritischen Grenze. Eine weiterführende Analyse dieses Punktes muss insbesondere mit Hinblick auf den Einsatz solcher Positionierungstechnologien in öffentlich zugänglichen Bereichen, wie z.B. Müllverbrennungsanlagen oder Werkshöfen mit Publikumsverkehr, untersucht werden. Die psychologischen Mechanismen verringerter Risikowahrnehmungen, eines zu allgemeinen

Systemvertrauens bei Nutzung eines funktionalen (aber nicht fehlerfreien) Systems, leichtere Ablenkbarkeit und einer verringerten Aufmerksamkeitsleistung sowie der potentielle Verlust der eigenständigen Fähigkeit zur Gefahren- und Ursachen-Folge-Abschätzung sollten angesichts der Bedeutung von Mobilitätsprozessen nicht vernachlässigt werden.

Im Zuge des Versuches der Reduktion der unerwünschten Effekte, wurden mehrere Maßnahmen, Trainings, Gestaltungsmaßnahmen entwickelt und getestet. So gelang es durch eine Systemwarnung das Übervertrauen ins Frühwarnsystem zu reduzieren und zu vorsichtigerem Verhalten zu motivieren, was sich in den Fahrdaten niederschlägt.

Auch die Simulation einer Unterweisung in Form von Informationsweitergabe über das System konnte als Folge davon zu verändertem Fahrverhalten führen. Es wäre also dringend angeraten, zu erforschen wie sich Unterweisungen und Schulungen auf die Nutzung solcher Frühwarnsysteme positiv auswirken können.

Die Wahrscheinlichkeit ist sehr hoch, dass die berichteten Befunde aufgrund der dahinter liegenden allgemeinen menschlichen Funktionsprinzipien bei vielen aktiven und passiven Fahrerassistenzsystemen Gültigkeit haben. So wurden einige der Befunde, teils in reduzierter Form durch andere Forschungsgruppen auch bei Spurhalteassistenten, HU-Displays, Müdigkeitswarnern etc. gefunden. Da es keinerlei ergonomische oder verhaltensorientierte Regelung bezüglich der Ausgestaltung solcher Assistenzsysteme gibt, ist der betriebliche Nutzer, z.B. im Mietwagen auf Dienstreisen, völlig auf sich gestellt und hat in der Regel auch kein Handbuch zur Verfügung, um den Wirkungsbereich der singulär oder im Verbund verbauten Technologien abzuschätzen.

Aus sicherheitsförderlichen Gründen ist es daher unabdingbar, dass wenigstens der verantwortliche Betrieb die Nutzung und die Grenzen dieser Technologien in seinen Katalog der Unterweisungen aufnimmt. Desweiteren sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Wahrscheinlichkeiten eines Fehlverständnisses oder Fehlhandelns durch bspw. eine umfassendere Analyse und Integration der Mensch-Maschine-Interaktion in die Gefährdungsbeurteilung zu reduzieren. Es wäre daher dringend angeraten zu untersuchen, mit welcher Form der Unterweisung und Gestaltung man nachdrücklich auf die Mitarbeiter so einwirkt, dass sie die Präventionsfaktoren auch dann berücksichtigen, wenn sie unterwegs auf sich allein gestellt sind.

Unsere Ergebnisse werden in relevanten deutsch- und englischsprachigen Fachzeitschriften veröffentlicht und wir haben die Zusage von mehreren deutschsprachigen Verlagen sie auch in den Zeitschriftenbereich für Sicherheitsfachkräfte, Mediziner und Unternehmern aufzunehmen. Auf mehreren Kongressen wurden die Ergebnisse bereits vorgestellt.

Wir beabsichtigen, nach der Prüfung der Forschungsergebnisse durch die DGUV, einen Folgeantrag zur praktischen Nutzung und vor allem zur Präventionsarbeit durch die Betriebe selbst zu stellen. Dazu wurden aus dem Fachbeirat eine Fülle von Ideen eingebracht, um das Potential des Frühwarnsystems optimal ausschöpfen zu können und gleichzeitig einen Forschungstransfer in viele neue Gefährdungen im Bereich der Fahrerassistenzsysteme zu adressieren.

9. "LESSONS LEARNED"

1. Ein Frühwarnsystem, das auch verdeckte schwächere Teilnehmer wahrnimmt und diese warnt, reduziert die Gesamtzahl an Unfällen signifikant.
2. Das System kann auf dem Betriebsgelände mit geringem Aufwand bereits in einer Warnweste genutzt werden. Weitere Verkleinerungen wären sehr wünschenswert, stehen aber in direkter Konkurrenz zur Elektronik- und Automobilindustrie.
3. Die Technik ist datenschutzkonform
4. Das System entspricht allen modernen Normen der Car-2-X Kommunikation und alle neuen Fahrzeuge sind zur Nutzung von Frames bereits werkseitig mit der entsprechenden Schnittstelle ausgestattet. "
5. Verhaltensadaptionen und Risikokompensationen finden in verschiedenster Weise bei den Fahrern und Fußgängern / Radfahrern statt und reduzieren den Gesamteffekt, da viele der Veränderungen die Unfallschwere erhöhen könnten. Es kann erwartet werden, dass sich ähnliche Verhaltenseffekte bei anderen Techniksystemen in vergleichbarer Weise zeigen.
6. Die Nutzer verlassen sich sehr auf das System, auch dann, wenn sie es nicht selbst haben, aber wissen, dass der andere es nutzt.
7. Weniger Systemvertrauen führt unter gewissen Umständen. zu mehr Sicherheit.
8. Ausgleichsaktionen, wie Belohnungen, Instruktionen oder variierende Systemzuverlässigkeiten, können die unerwünschten Nebeneffekte des Technikeinsatzes reduzieren.
9. Das System trifft auf hohes Interesse und Akzeptanz in Firmen und bei den Nutzern
10. Die Erhebungsmethoden erforderten die Entwicklung neuartiger Instrumente, die auch wirtschaftlich relevante Größen wie Verkehrsflussanalysen oder Gefährdungsbeurteilungen integrieren. Sicherheit und Wirtschaftlichkeit profitieren also beide.
11. Fußgängerunfallsimulation im Computer und Realsystem bringen wesentliche Erkenntnisse besonders auch für die Fahrer-Fußgänger Interaktion.
12. Verhaltensanalysen in Kombination mit Technikentwicklungen müssen unbedingt erfolgen, um das Sicherheitspotential entfalten zu können.
13. Die Konfliktanalyse der betrieblichen Verkehrsströme vor Ort (Sachschäden, Beinahe Unfälle, Interviews) liefert Sicherheits- potentiale und eignet sich zur Weiterentwicklung als eigenes standardisiertes Analyse- und Beratungstool auch für die Betriebe selbst, ohne externe Unterstützung
14. Die betriebliche Unterstützung im Realarbeitsprozess ist bei der Entwicklung solcher Systeme von entscheidendem Vorteil zur Erhöhung der Realitätsnähe und Nutzerfreundlichkeit.
15. Eine einseitige Warnung von Fußgängern und Radfahrern hat Potential
16. Konfliktanalyse der betrieblichen Verkehrsströme liefert ohne Technikeinsatz bereits Präventionsansätze (Potential zur Weiterentwicklung eines effizienten Analyse- und Beratungstools)
17. Die Technologie des FRAMES-Systems ist durch die Nutzung bereitgestellter Infrastruktur für die Car-2-X-Kommunikation sehr zukunftssicher.

10. NOTWENDIGE SCHRITTE

1. Verbreitung der „menschlichen Nebenwirkungen“ bei technischen Neuerungen
2. Technische Entwicklung und Testung im Realarbeitskontext über längere Zeit
3. Integration von „KompensationsKompensierung“ in die Technik- und Arbeitsablaufgestaltung
4. Schulungsentwicklung zur Reduktion unerwünschter Effekte, z.B. in Unterweisungen
5. Kooperation mit Herstellern zur Gerätekostenoptimierung
6. Analyse der Auftretens- und Folgewahrscheinlichkeit bei anderen Systemen
7. Beratungsbereitstellung für Betrieb, insbesondere für Dienstfahrten, da Miet- und Flottenfahrzeuge mit verschiedenen nutzerunbekannten Assistenzsystemen ausgerüstet sind
8. Übertragung der betrieblichen Testung auf Dienstfahrten, wie z.B. bei der Müllabfuhr, wo Öffentlichkeit und die Systeme aufeinandertreffen
9. Akzeptanzmessung, insbesondere unter Berücksichtigung neuer Datenschutzregeln
10. Vermeidung des Kompetenzverlustes und des Antizipationsverlustes bei den Nutzern
11. Begleitforschung zu diesen Schritten, um die Prozesse und Erkenntnisse zu gewinnen, zu sichern und strukturiert zu verbreiten.

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/Arbeitsschutzbrochure.pdf [Zugriff vom 17.03.2011].

Bundesverband der Unfallkassen (2005). Führen von Fahrzeugen. Gefährdungs- und Belastungs-Katalog (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-Fulst, 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 [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., & Gavrilă, 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
- 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.
- Lichenstein, 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., Kaczmarski, 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., Ihsen, 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., Ihsen, 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 [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 [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 [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

ANHANG

Unterschriftenseite

Projektnummer: FP667

Titel: FRAMES – Frühwarnsystem zur adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung und Sicherheitsförderung

Erklärung für das Berichtswesen in Kooperationsprojekten

Hiermit erklären die Unterzeichnenden, dass der zum __. __. ____ vorgelegte

Abschlussbericht mit allen Kooperationspartnern abgestimmt ist.

----- Datum:

Trimpop, R., Prof. FSU Jena

----- Datum:

Wieker, H., Prof., HTW Saarland

Statistische Kennwerte der signifikanten Interaktionseffekte

Einflussfaktor	Bedingung	Variation des Einflussfaktors	Risikokompensations-Variablen	Variablenkürzel	Mittelwert	N	F (df)	p-Wert	Effektstärke				
Verkehrsaufkommen	OS	50% FGW	Punktzahl	Trial_Points_Mean_11	1,93	35	10,676 (33)	0,000***	0,393				
		20% FGW		Trial_Points_Mean_12	2,52	35							
		80% FGW		Trial_Points_Mean_13	1,52	35							
	MS	50% FGW		Trial_Points_Mean_21	2,82	35							
		20% FGW		Trial_Points_Mean_22	3,80	35							
		80% FGW		Trial_Points_Mean_23	1,92	35							
	OS	50% FGW		Geschwindigkeit	Speed_Mean_11	18,40				35	11,750 (33)	0,000***	0,416
		20% FGW			Speed_Mean_12	18,79				35			
		80% FGW			Speed_Mean_13	17,50				35			
	MS	50% FGW	Speed_Mean_21		18,93	35							
		20% FGW	Speed_Mean_22		20,14	35							
		80% FGW	Speed_Mean_23		17,57	35							
	OS	50% FGW	Beschleunigungs-häufigkeit		Beschl_Sum_Mean_11	1,91	35	11,913 (33)	0,000***	0,419			
		20% FGW			Beschl_Sum_Mean_12	1,76	35						
		80% FGW			Beschl_Sum_Mean_13	1,96	35						
	MS	50% FGW		Beschl_Sum_Mean_21	1,66	35							
		20% FGW		Beschl_Sum_Mean_22	1,43	35							
		80% FGW		Beschl_Sum_Mean_23	1,91	35							
	OS	50% FGW		Beschleunigungs-stärke	Beschl_F_Mean_11	3,31	35				5,410 (33)	0,009**	0,247
		20% FGW			Beschl_F_Mean_12	3,36	35						
		80% FGW			Beschl_F_Mean_13	3,25	35						
	MS	50% FGW	Beschl_F_Mean_21		3,56	35							
		20% FGW	Beschl_F_Mean_22		3,59	35							
		80% FGW	Beschl_F_Mean_23		3,34	35							
OS	50% FGW	Brems-häufigkeit	Brems_Sum_Mean_11		1,09	35	12,410 (33)	0,000***	0,429				
	20% FGW		Brems_Sum_Mean_12		0,90	35							
	80% FGW		Brems_Sum_Mean_13		1,21	35							
MS	50% FGW		Brems_Sum_Mean_21	0,76	35								
	20% FGW		Brems_Sum_Mean_22	0,47	35								
	80% FGW		Brems_Sum_Mean_23	1,15	35								
OS	50% FGW		Bremsstärke	Brems_F_Mean_11	-2,02	35				9,116 (33)	0,001**	0,356	
	20% FGW			Brems_F_Mean_12	-1,60	35							
	80% FGW			Brems_F_Mean_13	-2,02	35							
MS	50% FGW	Brems_F_Mean_21		-1,45	35								
	20% FGW	Brems_F_Mean_22		-0,73	35								
	80% FGW	Brems_F_Mean_23		-1,83	35								
Ablenkung	OS	ohne		Punktzahl	Trial_Points_Mean_11	1,51	30	2,620 (28)	0,091				0,158
		mit einfach			Trial_Points_Mean_12	1,63	30						
		mit schwer			Trial_Points_Mean_13	1,63	30						
	MS	ohne	Trial_Points_Mean_21		2,50	30							
		mit einfach	Trial_Points_Mean_22		2,27	30							
		mit schwer	Trial_Points_Mean_23		2,41	30							
	OS	ohne	Geschwindigkeit		Speed_Mean_11	16,89	30			8,439 (28)	0,001**	0,376	
		mit einfach			Speed_Mean_12	16,69	30						
		mit schwer			Speed_Mean_13	16,42	30						
	MS	ohne		Speed_Mean_21	17,65	30							
		mit einfach		Speed_Mean_22	16,82	30							
		mit schwer		Speed_Mean_23	17,12	30							
Interaktivität_Pkw	OS	ohne		Kollisionen	Koll_Sum_11	1,74	31	10,150 (29)	0,000***				0,412
		teilweise			Koll_Sum_12	1,29	31						
		vollständig			Koll_Sum_13	0,94	31						
	MS	ohne	Koll_Sum_21		0,10	31							
		teilweise	Koll_Sum_22		0,29	31							
		vollständig	Koll_Sum_23		0,42	31							
	OS	ohne	Punktzahl		Trial_Points_Mean_11	2,03	31			3,363 (29)	0,049*	0,188	
		teilweise			Trial_Points_Mean_12	2,19	31						
		vollständig			Trial_Points_Mean_13	2,22	31						
	MS	ohne		Trial_Points_Mean_21	3,10	31							
		teilweise		Trial_Points_Mean_22	3,04	31							
		vollständig		Trial_Points_Mean_23	3,04	31							
OS	ohne	Brems-häufigkeit		Brems_Sum_Mean_11	1,13	31	3,109 (29)	0,060	0,177				
	teilweise			Brems_Sum_Mean_12	1,19	31							
	vollständig			Brems_Sum_Mean_13	1,19	31							
MS	ohne		Brems_Sum_Mean_21	0,79	31								
	teilweise		Brems_Sum_Mean_22	0,81	31								
	vollständig		Brems_Sum_Mean_23	0,74	31								
Interaktivität_FG	OS		ohne	Bremsstärke	Brems_F_Mean_11	-1,31				38	2,206 (36)	0,101	0,109
			teilweise		Brems_F_Mean_12	-1,37				38			
			vollständig		Brems_F_Mean_13	-1,33				38			
	MS	ohne	Brems_F_Mean_21		-0,89	38							
		teilweise	Brems_F_Mean_22		-0,91	38							
		vollständig	Brems_F_Mean_23		-0,78	38							

AUFKLÄRUNGSBLATT – RISIKOKOMPENSATION

Werte Teilnehmer, hier noch eine Vorab-Information

Jede Art von Technologie kann dem Menschen nicht nur von Nutzen sein und damit zu dessen Wohlergehen beitragen (indem sie beispielsweise die Sicherheit und den Komfort erhöhen), sondern ebenso Schaden erzeugen und so die eigentlich positive Absicht verfehlen. Gemeint ist damit die Tatsache, dass Veränderungen auf Ebene des Fahrzeugs oder des Fahrumfeldes – beispielsweise durch die Einführung von Fahrerassistenzsystemen – zu einer Anpassung des Verhaltens und Erlebens der Verkehrsteilnehmer führen. In dessen Konsequenz können auch negative Auswirkungen auf das Unfallgeschehen resultieren.

Diese Effekte werden **Risikokompensation** genannt und meinen, dass wahrgenommene Sicherheitsgewinne, die das System verspricht, durch eine Verhaltensanpassung kompensiert, also durch ein riskanteres Verhalten aufgehoben oder sogar ins Gegenteil verkehrt werden. Dies geschieht oft automatisch und kaum bewusst. Ein Grund dafür besteht darin, dass man sich das System in der Weise zu Nutze macht, dass andere, zum Teil nicht mit der Verkehrssicherheit zu vereinbarenden Ziele (wie schnelles Ankommen, geringere Aufmerksamkeit, Nebentätigen erledigen) so noch besser erreicht werden können.

Negative Adaptationseffekte treten insbesondere dann auf, wenn dem Verkehrsteilnehmer ein *falsches Gefühl von Sicherheit* vermittelt wird.

Eine Vielzahl von Studien kann diese negativen Effekte belegen. So führt die Nutzung einer Adaptive Cruise Control beispielsweise dazu, dass schneller und mit geringeren Sicherheitsabständen gefahren wird, ein Müdigkeitswarner dazu, dass länger gefahren wird als ohne, unter ABS nehmen Fahrer die Kurven schneller, fahren weniger vorausschauend und Kollisionswarner verringern die Aufmerksamkeit auf die Straße und führen zu weniger Vorsichtsreaktionen an potenziellen Kollisionspunkten (man schaut und bremst weniger vorausschauend). Problematisch ist das falsche Gefühl von Sicherheit, dass die Systeme u.U. versprechen. Sie können zwar Unfälle verhindern, dies setzt aber voraus, dass man nicht riskanter als vorher fährt und man das System mit seinen Fähigkeiten nicht überschätzt. Auch diese können ausfallen, Fehler haben oder nicht vor jeder Eventualität schützen.

In den folgenden Versuchsblöcken steht Ihnen wie beschrieben in einigen Durchgängen ein Kollisionswarner zur Seite. Dieser imitiert ein echtes derzeit in der Entwicklung befindliches Fahrerassistenzsystem, welches Fußgänger an Hand eines GPS Signals erkennt. Die Fußgänger tragen einen Transponder bei sich, die den Fahrzeugen, die ebenfalls das transponderbasierte System besitzen, signalisieren, wo sie sich befinden. Sind beide Verkehrsteilnehmer auf Kollisionskurs, wird eine Warnung ausgegeben. So kann auch vor solchen Unfallsituationen gewarnt werden, die auf Grund von Sichthindernissen visuell (z.B. über Kameras) nicht entdeckt werden könnten. Das System ist in seiner Funktionsweise sehr zuverlässig und kann, wie sich gezeigt hat, vor Unfällen schützen. Aber auch hier gilt: Die Eigenverantwortung liegt immer noch beim Fahrer. Denn alle Systeme haben ihre Grenzen (so können in der Realität beispielsweise nicht alle Fußgänger und Fahrradfahrer mit einem Transponder ausgestattet sein, das GPS-Signal kann schwanken und zu Ungenauigkeiten oder Ausfällen führen oder eine riskantere Fahrweise macht eine rechtzeitige Warnung weniger effektiv oder sogar wirkungslos.

Der Vorteil solcher Systeme hängt also maßgeblich davon ab, dass die Nutzer sich durch die Systeme nicht in falscher Sicherheit wiegen und ihre Verantwortung auch nicht auf das System übertragen.

„Sicher ist, dass nichts sicher ist. Selbst das nicht.“ Joachim Ringelnatz (1883 - 1934)