

Forschungsinitiative Aktiv-AS

Adaptive und kooperative Technologien
für den intelligenten Verkehr - Aktive Sicherheit

Schlussbericht

zu Nr. 8.2 NKBF 98, Teil I und II

**Beitrag des
Zuwendungsempfängers:** Continental Safety Engineering Int. GmbH (CSE)
Carl-Zeiss-Str. 9
63755 Alzenau

zu den Teilprojekten: SFR – Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer
FSA – Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit

Laufzeit: 01.09.2006 – 31.12.2010

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 19S6011D gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Alzenau, 10.08.2011

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
3.1	Projektstruktur	5
3.2	Zeitplan	7
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	8
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
5.1	Projektkoordination	9
5.2	Spezifikation der Assistenzsysteme	9
5.3	Fahrzeugregelung	9
5.4	Fahrer- Systemschnittstelle in Bezug auf FVM.....	9
5.5	Realisierung und Bewertung.....	10
6	Erzielte Ergebnisse	11
6.1	Teilprojekt Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit (FSA)	11
6.1.1	Toolentwicklung zur Erstellung von synthetischen Videos zur Kamerasensorik- Bewertung.....	11
6.1.2	Evaluation der Entwicklungsmethodik an Beispielszenarien aus SFR	15
6.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	17
6.2	Teilprojekt Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer (SFR).....	18
6.2.1	Beschreibung der Systemfunktion	18
6.2.2	Entwicklungsziele und Randbedingungen	18
6.2.3	Technischer Aufbau des SFR Prototypen	21
6.2.4	Verhalten des SFR Systems im Aktivierungsfall.....	22
6.2.5	Ergebnisse aus der Validierung und Bewertung.....	24
6.2.6	Präsentation der Forschungsergebnisse	27

1 Aufgabenstellung

In einer gesamtheitliche Betrachtung möglicher Unfallsituationen mit Fußgängern und Radfahrern sollten im Teilprojekt SFR „Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer“ Unfallfolgenminderungs- und Unfallvermeidungsstrategien entwickelt, umgesetzt und erprobt werden. Ausgehend von einer möglichst frühzeitigen Erkennung von Fußgängern und Radfahrern mit Hilfe von z. B. Videosensorik, ggf. durch weitere Sensorik (Nahbereichsradar u/o Lidar) unterstützt, waren Fahrerwarnung (akustisch, optisch, haptisch), Eingriffe ins Fahrverhalten (z. B. Bremsung) und aktive Schutzvorrichtungen an der Fahrzeugfront (z. B. anstellbare Motorhaube oder auch Fußgänger- / Radfahrer-Airbags an besonders harten Strukturen) im Rahmen eines abgestuften Entscheidungs- und Aktuator-Konzeptes zu erforschen und in einem Versuchsträger darzustellen.

CSE verfolgte im querschnittlichen Teilprojekt FSA „Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit“ in diesem Zusammenhang zwei voneinander abgrenzbare Hauptziele:

Zum Einen war dies die Bewertung von Fahrerassistenzsystemen zur Aktiven Sicherheit. Hier waren etwa aus dem EU Projekt Response grundsätzliche Evaluierungskriterien bekannt, die aber gerade im Kontext sicherheitsrelevanter Assistenzsysteme operationalisiert werden mussten. Welche Ergebnisse lassen sich mit Simulatortests erreichen, wie sind entsprechende Untersuchungen auf dem Prüfgelände durchzuführen und welche Aussagekraft erhalten die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit in den Realverkehr? Methodische Aspekte dieser Thematik wurden von den Partnern im Kontext der Applikationsprojekte validiert. Spezifische Ansätze für die Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme wurden erarbeitet, um diese während des Entwicklungsprozesses gefahrlos zu untersuchen. Hierdurch ergab sich eine spezifische Operationalisierung von Evaluierungskonzepten wie Kontrollierbarkeit oder Vorhersehbarkeit gerade für sicherheitskritische Anwendungen. Die Anwendung der Verfahren sollte an Hand der Fragestellungen aus den Applikationsprojekten erfolgen, um dadurch eine direkte Verifizierung mit Hilfe eines relevanten Anwendungsbeispiels zu erlauben. Zusätzliche Entwicklungstools zur Prüfung von Sensorik unter Laborbedingungen sollten dazu entwickelt werden.

Zum Anderen gehörte auch die Untersuchung der zulassungs- und haftungsrechtlichen Fragestellungen bei der Einführung neuer aktiver Sicherheitssysteme zu den Aufgaben des querschnittlichen Projekts. Gerade die in AKTIV avisierten Applikationen brachten hier neue Fragestellungen mit sich, die in systematischen Analysen und Foren unter Beteiligung der öffentlichen Verwaltung zu beantworten waren. Die von der BASt organisierte Diskussion zulassungs- und haftungsrechtlicher Fragestellungen sollten die später erforderliche Typprüfung zur Erteilung einer „allgemeinen Betriebserlaubnis“ für in AKTIV konzipierte Systeme mit aktiven Eingriffen erleichtern.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Es wurde primär das komplexe Innenstadt-Szenario angegangen, wo laut Unfallanalyse der überwiegende Teil aller Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern stattfindet. Dabei sollten sowohl gute als auch schlechte Sichtverhältnisse (Regen, Nacht, tief stehende Sonne, Nebel, etc.) berücksichtigt werden. Abhängig vom Fahrzeugtyp waren unterschiedliche Ausprägungen bezüglich Sensorik und Szenarien zu betrachten. Die Umgebungserfassung fokussiert in erster Linie auf den Nah- bis Mittelbereich vor dem Fahrzeug (bis ungefähr 40m), wobei der (plötzlich) querende Fußgänger bei Fahrzeuggeschwindigkeiten bis 50 km/h noch berücksichtigt werden sollte. Dabei galt es in der Systemausprägung eine ausreichend hohe Erkennungs- und Verarbeitungsrate zu erzielen, so dass eine möglichst marktfähige Darstellung des integrierten Systems (Erkennung, Gefahrenanalyse, Warnung / Aktorik) möglich wird.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

3.1 Projektstruktur

Ziel des Teilprojektes SFR war die Erforschung von integrierten Systemen zur Erhöhung der Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer. Die am Projekt beteiligten Partner strebten jeweils unterschiedliche Ausprägungen des Systems an – sowohl im Hinblick auf die Umfeld-Sensierung als auch im Hinblick auf die Systemfunktion und die zugrunde liegende Fahrer-System-Schnittstelle bzw. Aktorik. Der folgende Strukturplan (Abbildung 1) zeigt die Arbeitspakete mit den AP-Leitern und die Unterarbeitspakete.

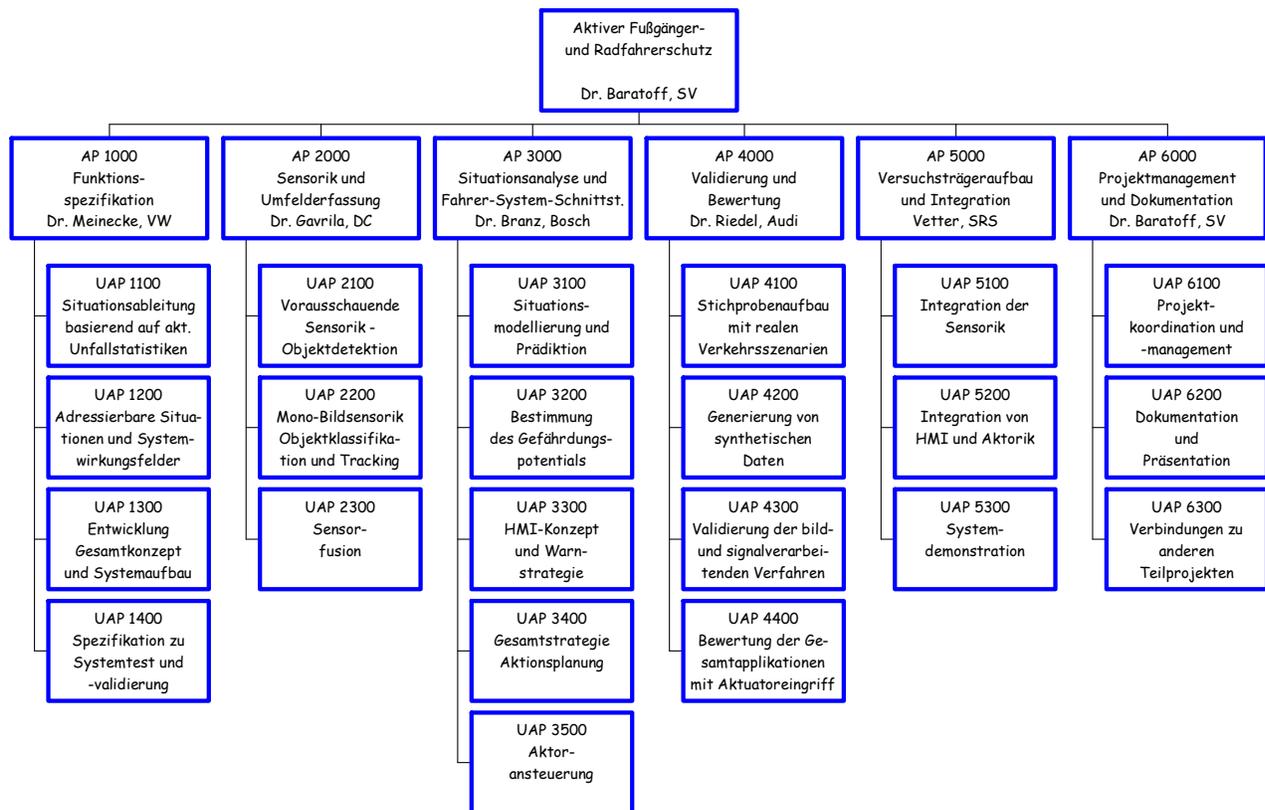


Abbildung 1: Projektstrukturplan des Teilprojektes SFR

Das Teilprojekt FSA gliedert sich in fünf Arbeitspakete. Die Leitung dieser Arbeitspakete wurde jeweils von einem unterschiedlichen Partner wahrgenommen. Die Arbeitspakete 1000 und 2000 konzentrierten sich auf das erste FSA Ziel der Aufmerksamkeitserkennung und ihrer Berücksichtigung für Fahrerassistenzsysteme. Die methodisch orientierten Themen sind in den Arbeitspaketen 3000 und 4000 adressiert. Hier lag auch der Schwerpunkt von CSE, nämlich bei den Testmethoden im Entwicklungsprozess. Das Arbeitspaket 5000 ist dem Management und der Ergebnisverbreitung des Teilprojekts vorbehalten. Der folgende Strukturplan (Abbildung 2) zeigt die Arbeitspakete mit den AP-Leitern und die Unterarbeitspakete.

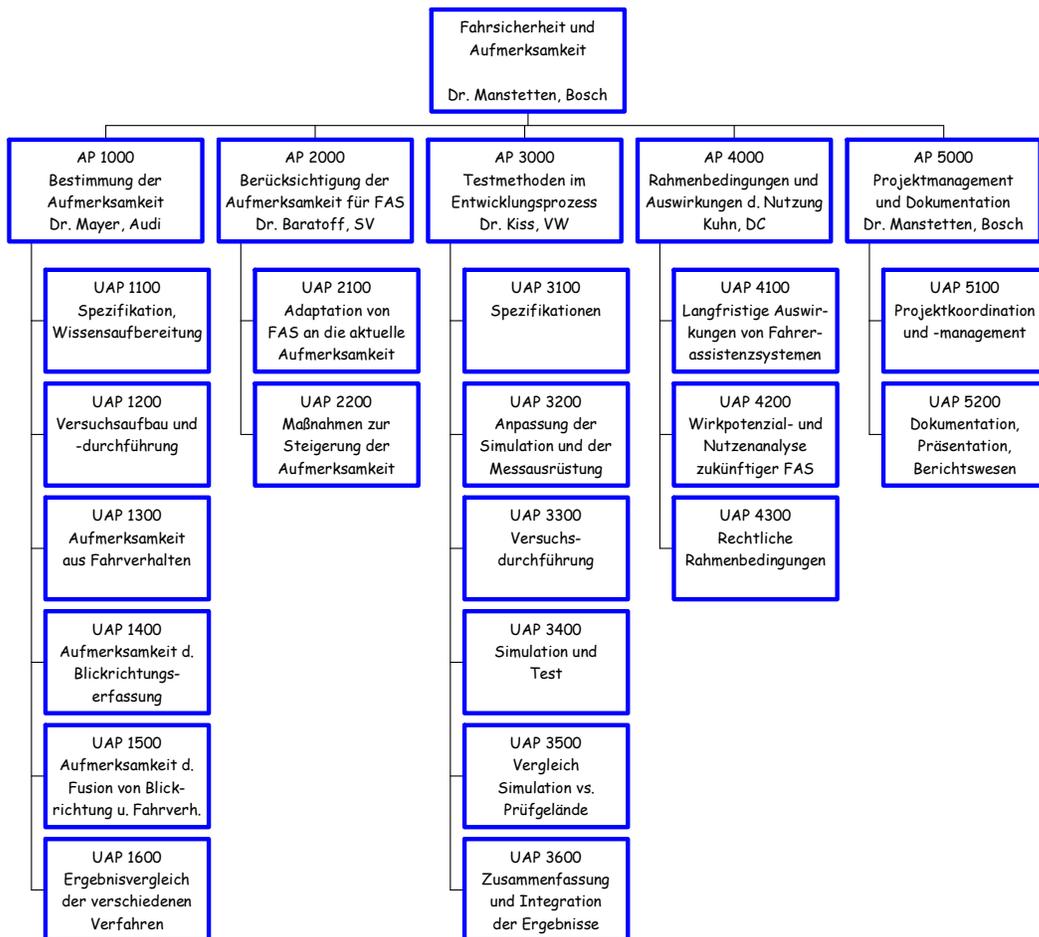


Abbildung 2: Projektstrukturplan des Teilprojekts FSA

3.2 Zeitplan

Der erste Teil des gemeinsamen Zeitplans (Abbildung 3) zeigt für das Teilprojekt SFR den Ablauf des Projekts grob gegliedert in Arbeitspakete sowie feiner aufgelöst bis auf Unterarbeitspaket-Ebene. Bis auf den Spezifikationsteil konnten die Arbeitspakete weitgehend parallel bearbeitet werden, wobei die UAP's sehr stark aufeinander aufbauen.

Die Arbeiten im Teilprojekt FSA wurden weitgehend parallel ausgeführt. Die Schwerpunkte des Arbeitspakets 1000 wurden bis zum dritten Viertel der Projektlaufzeit bearbeitet, um die Nutzung der Erkenntnisse für die Anwendungen in AP 2000 sicherzustellen. Dennoch wurden auch in AP 1000 Restarbeiten bis zum Projektabschluss durchgeführt. Das Arbeitspaket 4000 wurde in den Schwerpunkten bis zum dritten Viertel der Projektlaufzeit abgeschlossen.

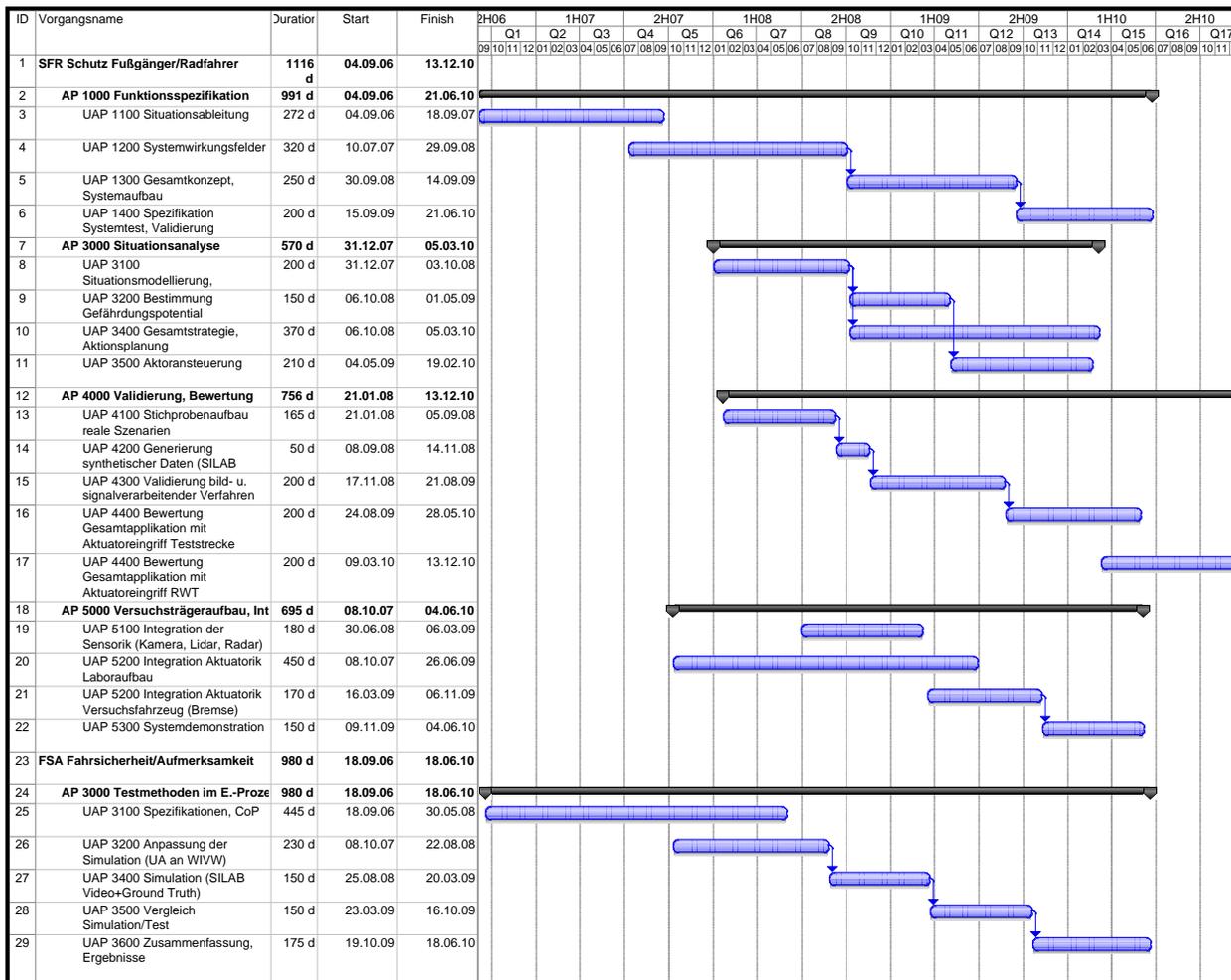


Abbildung 3: Zeitlicher Ablauf beider Teilvorhaben

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Als wegweisend im Zusammenhang mit der Detektion und Klassifikation von Fußgängern sind die Forschungsprojekte PROTECTOR (EU), SAVE-U (EU) und INVENT (BMBF) zu nennen.

In PROTECTOR lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Sensorik – eingesetzt wurden hier 24 GHz Radare, Lasersensoren sowie eine Stereokamera – sowie den Algorithmen zur Erkennung von Fußgängern.

Im Rahmen des Projektes SAVE-U stand ebenfalls das Sensorsystem im Vordergrund, mit klarem Fokus auf der Erhöhung der System-Taktrate und der Klassifikation der erkannten Objekte (Fußgänger, Radfahrer). Sensordatenfusion von Infrarot- und Farbkamerabildern und Radar wurde auf zwei Ebenen durchgeführt. Zusätzlich wurden erste Ansätze zur Auslösung von reversiblen Schutzmaßnahmen, sprich: Warnbremsung, untersucht.

Im BMBF-Projekt INVENT schließlich wurden Aktuatoren entwickelt, welche einen verbesserten Fußgängerschutz ermöglichen (z.B. Anstellen der Motorhaube im Fall eines bevorstehenden Fußgängerunfalls).

Der in den genannten Projekten sowie in anderen Projekten wie LACOS, INTERSAFE oder VESUV gewonnene Stand, konnte als damaliger aktueller Stand der Technik angesehen werden. An diesen technisch-wissenschaftlichen Stand knüpfte das Projekt Aktiv-AS mit dem Teilprojekt SFR an.

Im Teilprojekt FSA waren für die Bewertung sicherheitskritischer Assistenzsysteme eine Reihe von Verfahren bekannt, die unterschiedliche Systemaspekte beleuchteten. Gerade auch die AKTIV Vorgängerprojekte MOTIV und INVENT hatten hier die Forschung und den Wissensstand deutlich vorangebracht. So wurden in MOTIV Checklisten-Verfahren zur Bewertung der Mensch-Maschine-Schnittstelle entwickelt und in INVENT insbesondere der Aspekt der Erlernbarkeit von Assistenzsystemen systematisch untersucht. Im internationalen Rahmen wurden insbesondere in RESPONSE1 und RESPONSE2 Checklisten und Verfahren entwickelt, die damals in RESPONSE3 in einen Code-of-Practice umgesetzt wurden. Aktuelle Zusammenstellungen der Bewertungsmethoden und -tools für Fahrerassistenzsysteme wurden im EU-Projekt AIDE erarbeitet und konnten im Aktiv-AS Teilprojekt FSA verwendet werden.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

5.1 Projektkoordination

Der notwendige Informationsaustausch mit dem Teilprojekt Stauassistent (STA) gewährleistete, dass die Arbeiten in den anderen Teilprojekten mit den Bedürfnissen der Applikationsprojekte in Einklang stehen. Dies betrifft auch die zu entwickelnde Sensorik, die ein weites Anwendungsspektrum abdecken sollte. Es wurde die Nutzung ähnlicher, wenn möglich sogar identischer Sensoren, Algorithmen zur Sensordatenfusion und Umfeldmodelle wie beim Teilprojekt Stauassistent angestrebt.

Die Schnittstelle zu Verkehrsmanagement 2010 stellte sicher, dass Ergebnisse aus VM2010 auch für das Projekt Fahrerassistenz genutzt werden konnten und damit Doppelarbeit vermieden wurde. Die Entwicklung von Fahrerhaltensmodellen und Simulationsverfahren erfolgte in enger Abstimmung mit dem Projekt „Verkehrsmanagement 2010“, insbesondere dem dortigen Arbeitspaket „Methoden- und Verfahrensentwicklung“.

5.2 Spezifikation der Assistenzsysteme

Die Potentialabschätzung neuer Fahrerassistenzsysteme im Hinblick auf Bedarfsabschätzung nach Zielgruppen, nach Leistungen und Kosten für die Verkehrsteilnehmer sowie die Abschätzung der Kundenakzeptanz erfolgte in enger Abstimmung mit dem Querschnittsprojekt "Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen, Akzeptanz" im Rahmen des AP „Ökonomische Potentialabschätzung“. Soweit AP 2100 Fragen aus den Bereichen Ergonomie oder Verkehrspsychologie aufwarf, wurde deren Bearbeitung mit TP FVM (Fahrerverhalten und MMI) abgestimmt.

5.3 Fahrzeugregelung

Die Arbeiten erfolgten auf Basis der von FUE gelieferten Sensorik und den Algorithmen zur Sensordatenfusion. Die Zulässigkeit aktiver Eingriffe in die Fahrzeugbewegung wurde in Zusammenarbeit mit dem Querschnittsprojekt „Verkehrliche Wirkung, Rechtsfragen und Akzeptanz“ (VRA) bewertet.

Die Entwicklung von Fahrerhaltensmodellen und Simulationsverfahren erfolgte in enger Abstimmung mit den Teilprojekten „Fahrerverhalten und MMI“ (FVM) und „Verkehrsmanagement 2010“ (VM 2010), insbesondere dem dortigen Arbeitspaket Methoden- und Verfahrensentwicklung“. Für die Realisierung, Optimierung und Bewertung der Algorithmen im Versuchsfahrzeug war das Arbeitspaket 6000 „Realisierung und Bewertung“ zuständig.

5.4 Fahrer- Systemschnittstelle in Bezug auf FVM

Systeme zur aktiven Sicherheit sollen den Fahrer über mögliche Gefahren informieren, vor akuten Gefahrensituationen warnen oder gar zur Verhinderung eines Unfalls durch aktiven Eingriff einer Gefahrensituation begegnen. Grundsätzlich kann die Information auf optischem, akustischem und haptischem Wege übermittelt werden. Systeme, die über ihre System-Fahrer-Schnittstelle (MMI) mögliche Gefahren anzeigen, können den Fahrer von anderen relevanten Informationen ablenken oder unwillkürliche Fahrerreaktionen auslösen („Kommandoeffekte“). Auf der anderen Seite kann gerade in diesen Situationen ein im richtigen Augenblick erscheinender, schnell wahrgenommener Hinweis Unfälle vermeiden helfen, welche ansonsten durch das „Übersehen“ kritischer Faktoren entstehen können.

Daher wurde im Rahmen dieses Arbeitspaketes ein Display-Konzept entwickelt, welches den Informationsbedarf des Fahrers während der Annäherungsphase an eine potentielle Konfliktsituation abdeckt. Hierbei wurden auch die in Zusammenarbeit mit dem Projekt FVM erarbeiteten MMI-Gestaltungsrichtlinien berücksichtigt. Es wurde untersucht, wie sich

unterschiedliche Schnittstellen-Konzepte in diesen Situationen auf Fahrverhalten und Fahrsicherheit auswirken.

5.5 Realisierung und Bewertung

Die für die Systemrealisierung notwendige Sensorik stammte bei allen Partnern, wie auch bei CSEI, aus dem Teilprojekt Fahrumgebungserfassung (FUE). Die Fragestellung zu rechtlichen und Nutzungsaspekten der Fußgänger- und Radfahrschutz (SFR) - Assistentenfunktion wurden in dem Teilprojekt VRA bearbeitet.

6 Erzielte Ergebnisse

6.1 Teilprojekt Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit (FSA)

6.1.1 Toolentwicklung zur Erstellung von synthetischen Videos zur Kamerasensorik-Bewertung

Die Zielsetzung war die Erarbeitung und Prüfung von Vorgehensweisen für die systematische Unterstützung der Entwicklung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme. Spezifische Ansätze für die Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme sollten hier erarbeitet werden, um diese während des Entwicklungsprozesses gefahrlos untersuchen zu können. Diese Aufgabenstellung wurde durch CSE für den Bereich Algorithmus-Entwicklung mit entsprechend aufbereiteten Videodaten aus der Fahrsimulation gelöst.

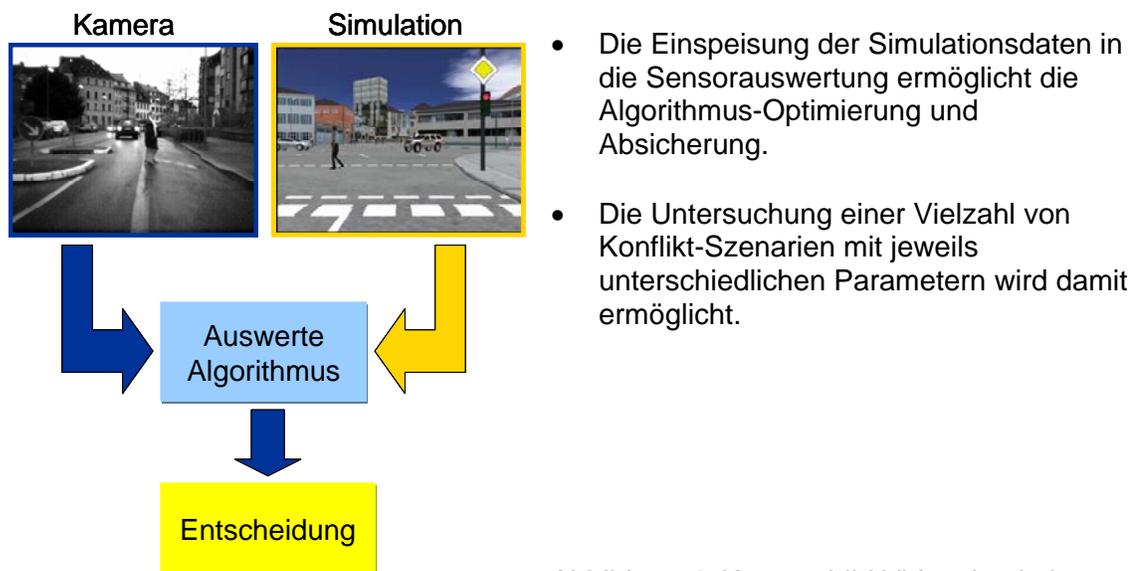


Abbildung 4: Konzeptbild Videosimulation

Die Fahrsimulationssoftware sollte die folgenden Punkte beinhalten:

- 15 verschiedene Fußgängermodelle, die einen Querschnitt durch die Bevölkerung darstellen (Kinder ab 6 Jahre, 5% Frau bis 95% Mann). Die Vorgabe für die Aufteilung der Fußgängermodelle ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Nr.	Art	Geschlecht	Figur
1	Kind 6 Jahre	männlich	normal
2		weiblich	
3	Kleine Person 5%	männlich	normal
4		weiblich	
5	Mittlere Person 50%	männlich	schlank
6		männlich	kräftig
7		weiblich	schlank
8		weiblich	kräftig
9	Große Person 95%	männlich	normal
10		weiblich	

Tabelle 1: Aufteilung der Fußgängermodelle

- Insgesamt sind 15 zusätzliche Kleidungsvarianten für die Fußgängermodelle, insbesondere auch ein Mann mit Aktentasche zu realisieren.
- Ein Fußgänger-Bewegungsmodell, so dass sich Fußgänger mit beliebiger Geschwindigkeit von etwa 3 km/h bis zu 12 km/h fortbewegen können. Kopf- und Oberkörperdrehungen sollten zumindest bei stehenden Personen möglich sein.
- Ein Modell für einen bewegten Radfahrer mit variierbarer Kleidung, der wie ein Fremdfahrzeug gesteuert werden kann.
- Bei der Durchführung von Simulationsläufen und Videoaufzeichnung in den oben dargestellten Szenarien sollten die folgende Parameter systematisch variiert werden können:
 - TTC (Time to collision) zwischen Fußgänger bzw. Fahrrad und EGO-Fahrzeug
 - Geschwindigkeit von Fußgänger bzw. Fahrrad
 - Fußgängermodell und Kleidung
 - Art des verdeckenden Fahrzeugs oder der Infrastruktur

Auf den folgenden zwei Grafiken sind in den beiden Szenen Schatten, Nachtfahrt und Reflexionen aus der Fahrsimulatorsoftware „SILAB“ des WIVW zu sehen. Diese Merkmale waren bereits im aktuellen Stand der Software integriert.



Abbildung 5: Tagszene mit Lichtreflexionen und Schattendarstellung



Abbildung 6: Nachtszene mit Lichtkegeln und Reflexionen

Die Anpassungen der Simulation wurden beim Software-Entwickler und Fahrsimulator-Betreiber WIVW durchgeführt. Auf den folgenden Bildern sind in zwei Szenen jeweils das definierte überqueren der Straße von Fußgänger bzw. Radfahrer zu sehen. Die Bilder stammen aus dem erweiterten Stand der Fahrsimulator-Software SILAB des WIVW, die im Rahmen unserer Unterbeauftragung weiterentwickelt wurde.



Abbildung 7: Szenario 2, Fußgänger quert die Straße von rechts



Abbildung 8: Szenario 1, Radfahrer quert an Kreuzung die Straße von rechts

Für die systematische Parametervariation bei der Durchführung von Simulationsläufen und der Video- und Ground-Truth-Daten Aufzeichnung wurde ein spezielles Tool zur Automatisierung erstellt. In den oben dargestellten Beispielszenarien können dadurch die folgenden Parameter über eine editier bare Steuerdatei verändert werden:

- TTC (Time to collision) zwischen Fußgänger bzw. Fahrrad und EGO-Fahrzeug [ms]
- Geschwindigkeit von Fußgänger bzw. Fahrrad [km/h]
- Fußgängermodell und Kleidung [ID01, ID02, ...]

- Geschwindigkeit des Fahrzeugs [km/h]
- Art des verdeckenden Fahrzeugs [ID01; ID02, ...]

Neben der Bildgenerierung werden auch sogenannte Ground-Truth-Daten, also Daten die als gesicherte Referenz zu den von Sensoren gemessenen Werten dienen, generiert. Zum Zwecke einer gemeinsamen Verwendung und auch der objektiven Bewertung von Versuchsergebnissen ist es notwendig, einen gewissen Mindeststandard bei der Aufzeichnung solcher Ground-Truth-Daten einzuhalten. Der Inhalt könnte wie folgend aussehen:

- Der Koordinatenursprung liegt im Ego-Fahrzeug (z.B. Kamera-Position)
- Alle Objektpositionen und –Bewegungsparameter (z.B. Geschwindigkeit und Richtung) werden relativ zum Ego-Fahrzeug aufgezeichnet
- Das gilt auch für starre Objekte im Beobachtungsbereich des Sensors (z.B. parkendes Fahrzeug, Schilder, ...)
- Frame für Frame werden für jedes Objekt (ID 01, ID 02, ...) die relevanten Parameter fortgeschrieben.

Die Objektbeschreibung sollte folgende Parameter beinhalten:

- Objekt-ID mit Klasseneinstufung (Fußgänger, Radfahrer, Pkw, Lkw, ...)
- Relativposition in x- und y-Richtung (zum Ego-Fahrzeug)
- Geschwindigkeit in x- und y-Richtung (relativ zum Ego-Fahrzeug)
- Orientierung (Drehwinkel um die Hochachse)
- Vertrauensintervalle zu oben genannten Parametern (nur für Sensordaten relevant)

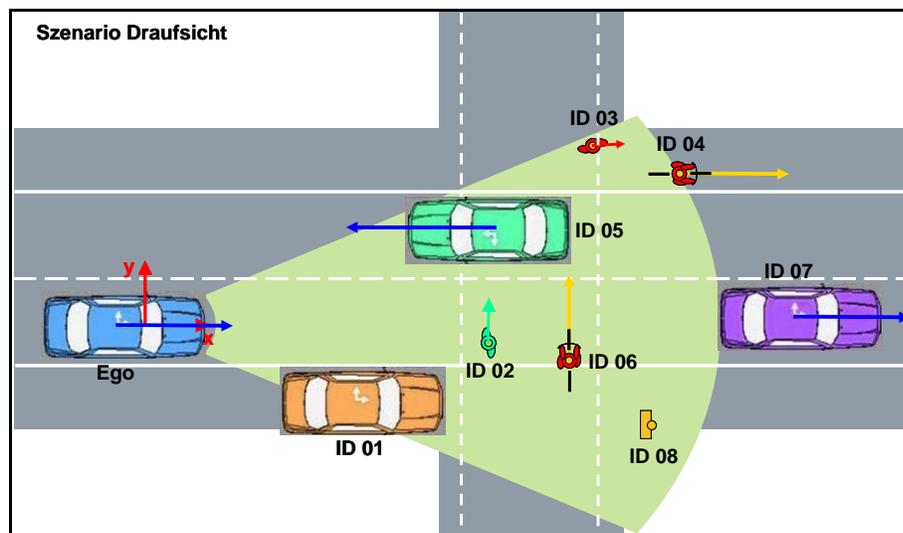


Abbildung 9: Skizze zur Ground-Truth-Datendefinition

6.1.2 Evaluation der Entwicklungsmethodik an Beispielszenarien aus SFR

Die hier neu aufgesetzte Entwicklungsmethodik des Videosimulationstools wurde mit Hilfe der Evaluation von SFR-Szenarien beispielhaft angewendet. Die Eigenschaften einer kamerabasierten Fußgängererkennung werden dabei über simulierte Video- und Referenzdaten ermittelt. Nach dem Abgleich der Simulationsvideos mit den realen Testaufnahmen in vergleichbaren Szenarien steht ein Simulationstool zur Erzeugung von realitätsnahen Fußgänger und Radfahrer Video-Simulationen in unfallnahen Verkehrsszenen zur Verfügung. Dies ermöglicht jetzt Parameterstudien zur Algorithmus-Entwicklung und Absicherung mit hohen Versuchsanzahlen, aber gleichzeitig ohne unerwünschte Abweichungen über die unveränderten Parameter.

Eine wesentliche Fragestellung ergibt sich aus der Nutzbarkeit der Simulation im Vergleich zu Videodaten aus realen Testfahrten. Nur wenn es gelingt einen gewissen Übereinstimmungsgrad zu erreichen, wird diese Methode erfolgreich eingesetzt werden können.

Die in der Fahrsimulation zu erstellenden Szenarien werden über entsprechende Referenzszenarien aus dem realen Test validiert. Dabei stammen die Szenarien aus aufgezeichneten Versuchen auf einer Teststrecke mit realen Fußgänger. Unterschiedliche Fußgänger überqueren hier eine als Straße markierte Asphaltfläche mit unterschiedlichen Gehgeschwindigkeiten. Auch die Annäherungsgeschwindigkeit des Sensorfahrzeugs wurde dabei variiert. Mit Hilfe dieser Referenzszenarien lassen sich die grundsätzliche Eignung und der Grad der Übereinstimmung von Realität und Simulation beurteilen. Als Maßstab gilt hier der Erkennungs-Algorithmus, der jeweils auf Realität und Simulation angewendet wird.

Die Ergebnisse aus dem Vergleich von realen Videoaufnahmen und Simulationsdaten in einer Testgeländeumgebung zeigen beispielhaft die folgenden 4 Bilder. Die Testkonfiguration sah hierbei so aus, dass ein Fahrzeug mit 30 km/h auf einen mittelgroßen Mann zu fährt, der mit 6 km/h die Straße von links nach rechts überquert. Jeweils auf der linken Seite sind 2 Bilder aus dem realen Video der durchgeführten Tests und auf der rechten Seite die Bilder aus dem simulierten Video zu sehen. Die oberen 2 Bilder sind Momentaufnahmen bei einem Abstand von 28m zum querenden Fußgänger, die beiden unteren Bilder etwa 1,5 Sekunden später bei 16m Abstand.

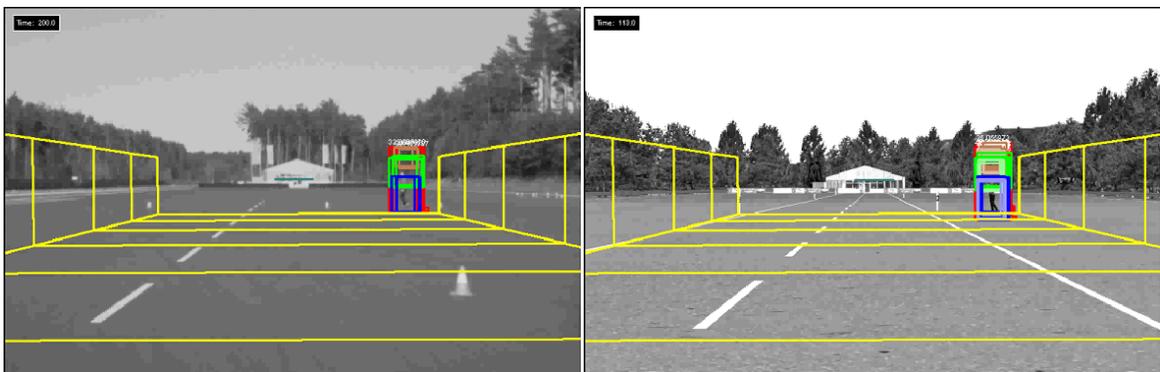


Abbildung 10: Fußgängererkennung aus SFR, links reales Video, rechts Video aus Simulation, Abstand 28m



Abbildung 11: Fußgängererkennung aus SFR, links reales Video, rechts Video aus Simulation, Abstand 16m

Außer den schwarz-weißen Bildern selbst, wurde hauptsächlich der Objekterkennungs-Algorithmus aus dem Teilprojekt SFR zur Beurteilung der Übereinstimmung herangezogen. Das Ergebnis der jeweiligen Erkennung wird als farbiger Rahmen um den erkannten Fußgänger-Abschnitt dargestellt. Zusätzlich sind in den Bildern noch die Straßenebenen mit Abstands- und Höhenlinien in 5m Schritten als gelbe Linien eingeblendet. Die Fußgängererkennung arbeitet komponentenbasiert, d.h. sie unterscheidet zwischen Bein-, Rumpf- und Kopfbereich. Diese Bereiche werden später zu einem Fußgängerobjekt zusammengefügt (hier noch nicht umgesetzt).

Wie an diesen Beispielbildern zu sehen ist, konnte hier eine recht gute Übereinstimmung von Simulation und Test erreicht werden. Es sind jeweils immer alle 3 Fußgängerbereiche durch entsprechende Rahmen markiert.

Aus insgesamt 38 gültigen Versuchen wurden 5 für die Validierung mit den Simulationsdaten ausgewählt. Die Konfiguration lässt sich aus der nachfolgenden Tabelle entnehmen.

#	FG-ID	v-FG	v-Fzg	Hindernis
2	10	10 km/h	40 km/h	0
4	10	10 km/h	30 km/h	1
22	19	6 km/h	40 km/h	0
31	15	6 km/h	30 km/h	0
33	15	6 km/h	40 km/h	0

In der 2. Spalte wird über die Fußgänger-ID (FG-ID) die Größe, Gestalt und Kleidung angegeben. Die 10 steht hier für kleine schlanke Frau mit durchgehend heller Kleidung. Die 19 beschreibt einen großen, dunkel gekleideten Mann. 15 steht für den mittelgroßen Mann mit dunkler Hose und hellem Pullover.

Tabelle 2: Testkonfiguration der Validierung

In der letzten Spalte „Hindernis“ wird durch die Zahl 1 angegeben, dass hier der Fußgänger zunächst durch ein Objekt verdeckt wird und hinter diesem hervor auf die Straße läuft.

Durch die getroffene Auswahl aus den durchgeführten Versuchen konnte ein großer Bereich an relevanten Einflüssen auf den Erkennungs-Algorithmus erreicht werden. Im Ergebnis zeigte sich bei allen 5 Versuchen eine gute Vergleichbarkeit bei der Erkennung der Fußgängerbereiche.

6.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die hier mittels einer Validierung auf die realen Tests abgestimmte Simulation ist als Ergänzung vor allem bei den kollisionsnahen Szenarien einsetzbar. Sie bietet die Möglichkeit eine Vielzahl von Parametern unabhängig voneinander zu Evaluieren. Diese Methode kann somit zur Entwicklung eines robusten und zuverlässigen Fußgängererkennungsalgorithmus beitragen.

Zu der generellen Verwendbarkeit dieses Entwicklungstools seien hier noch ein paar aufgetretene Unterschiede zwischen Versuchs- und Simulationsvideo angemerkt:

Die Bildkontrastwerte unterscheiden sich bedingt durch die unterschiedliche Auflösung der Graustufen (8bit/12bit) noch relativ stark. Dies hat in der Simulation einen sehr steilen Übergang von hellen zu dunklen Bereichen zur Folge. Für mehr realitätsnähe sollte hier die Auflösung der Graustufen erhöht werden.

Noch verbesserungswürdig erscheint auch die simulierte Fußgängerkontur zusammen mit der Fußgängerbewegung. Die Kontur lässt noch deutliche Ecken im Randbereich des Fußgängers erkennen. Hier könnte eine Erhöhung der Knotenpunkte des verwendeten Modells Abhilfe schaffen. Verbesserungspotential hat ebenfalls die Bewegung des Fußgängers. Das hinterlegte Bewegungsmodell entspricht nur sehr eingeschränkt der realen Bein- und Armbewegung eines Fußgängers.

6.2 Teilprojekt Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer (SFR)

6.2.1 Beschreibung der Systemfunktion

Da Fußgänger und Radfahrer besonders verletzbare Verkehrsteilnehmer sind, gehörte es zu den Zielen der Forschungsinitiative AKTIV, neue Wege für eine höhere Sicherheit von Fußgängern und Radfahrern zu entwickeln. Innerhalb des Teilprojekts SFR hat CSE ein abgestuftes Sicherheitssystem entwickelt, das in drei Stufen wirkt:

- Das Schutzsystem erkennt Fußgänger und Radfahrer in einem 40° Öffnungswinkel in Fahrtrichtung vor dem Fahrzeug bei einer Reichweite von etwa 30 m. Wird die Annäherung einer Person von den Algorithmen des Systems als sicherheitsrelevant berechnet, erfolgt eine Warnmeldung an den Fahrer, um eine Kollisionen zwischen Fußgänger beziehungsweise Radfahrer und Fahrzeug zu vermeiden. Um die Warnmeldung an die momentane Aufmerksamkeit des Fahrers anpassen zu können, wird die Kopfhaltung des Fahrers permanent beobachtet.
- Reagiert der Fahrer nicht und erkennt das Schutzsystem, dass eine Kollision droht, greift es in die Fahrzeuginnenführung ein und löst kurz vor dem Kontakt mit dem Fußgänger eine Vollbremsung aus.
- Erkennt das Schutzsystem, dass eine Kollision unvermeidbar ist, leitet es außerdem fahrzeugseitige Maßnahmen ein, die den Aufprall des Menschen auf das Fahrzeug abmildern und damit die Unfallschwere reduzieren.

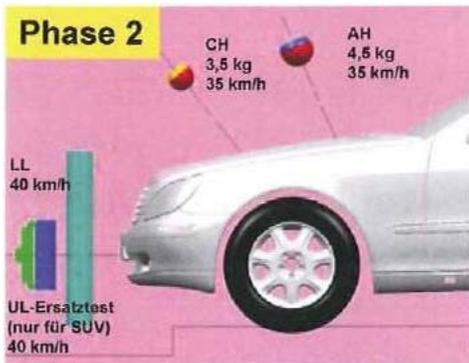
Mit seinem Verhalten greift das SFR System die unfallstatistisch relevante Situation der mehr oder minder frontalen Kollision eines Fußgängers oder Fahrradfahrers mit einem Auto auf. Auch im Hinblick auf die mögliche Unfallschwere spielt dieser Fall eine wichtige Rolle. Andere typische Kollisionen, wie etwa ein seitlicher Kontakt, sind statistisch gesehen seltener und erfolgen häufig mit geringerer Geschwindigkeit.

6.2.2 Entwicklungsziele und Randbedingungen

Für die detaillierte Auslegung der Fußgängerschutz-Aktorik wurden im Wesentlichen zwei Richtlinien identifiziert.

Zum Einen ist dies die Richtlinie 2003/102/EG, die seit Oktober 2005 in der Anwendung ist und Ende 2008 durch eine neue Regelung ersetzt wurde.

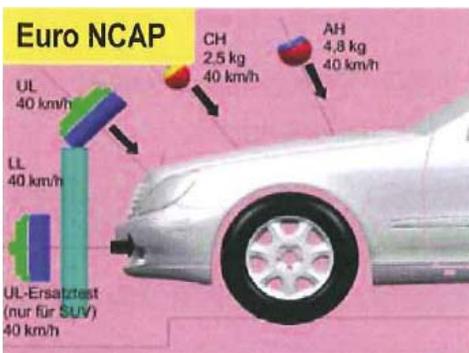
Die „Draft Regulation“ von Ende 2005 für die Phase 2 der Richtlinie 2003/102/EG, die ab September 2010 gültig werden sollte, wurde in der Zwischenzeit durch den Regelungsentwurf der EU-Kommission COM(2007)0560 ersetzt. Dieser Entwurf hat am 18.06.08 das EU-Parlament passiert und muss jetzt noch vom Europäischen Rat verabschiedet werden. Es wird damit gerechnet, dass es keine weiteren Änderungen an den Regelungen geben wird. Für Ende 2012 sind dann neue Fahrzeuge nach dieser Regelung zuzulassen.



Kopf - Kind, Erwachs.: 3,5/4,5 kg, 35 km/h
HIC 1000 (2/3 der Fläche), **HIC 1700** (1/3)
1000-1500 mm/1500-2100 auf Haube,
50°/65°
Bein: 40 km/h
170 g, 19°, 6 mm + Ausnahmezone (264 mm, 250g)
Hüfte: auf BLE, Test zu Monitoringzwecken
Hüfte: SUV, Stoßfänger
7,5 kN, 510 Nm
ab 2008 Bremsassistent !
Kollisionsvermeidende Systeme als Alternative !

In der neuen Regelung wird auch die bisherige Vorschrift für Frontschutzbügel integriert sein und es wird ein Bremsassistent verbindlich vorgeschrieben. Zusätzlich können durch kollisionsvermeidende, bzw. kollisionsgeschwindigkeitsmindernde Systeme die rein passiven Maßnahmen am Fahrzeug reduziert werden.

Zum Anderen die Euro NCAP Verbraucherschutz-Richtlinie Pedestrian Testing Version 4.1 von März 2004:



Kopf - Kind, Erwachs.: 2,5/4,8 kg, 40 km/h
HIC 1000: 2 Pkte
HIC 1350: 0 Pkte
1000-2100 mm auf Haube, **WSS & A-Pfosten**
Bein: 40 km/h
150 g, 15°, 6 mm: 2 Pkte
200 g, 20°, 7 mm: 0 Pkte
Hüfte: auf BLE
5 kN, 300 Nm: 2 Pkte
6 kN, 380 Nm: 0 Pkte
Hüfte: SUV, Stoßfänger
5 kN, 300 Nm, (6 kN, 380 Nm): 2 Pkte (0)

Während der Projektlaufzeit war die Draft Version 4.2 vom Mai 2008 in der Überarbeitungsphase. In der dieser Version sollte das Rating für den Fußgängerschutz mit in die Gesamtbewertung einfließen, d.h. konkret dass kein Fahrzeug 5 Sterne bekommen kann, ohne auch beim Fußgängerschutz eine entsprechende Bewertung erreicht zu haben. Dies erhöht den Druck auf die Fahrzeughersteller zur Einhaltung der hier geforderten Kriterien. Aktuell wurde diese Gesamtbewertung in der Version 4.3 mit 20% Gewichtung zu den bisherigen Kriterien eingeführt.

Im Vergleich zu den gesetzlichen Richtlinien sind hier die Anforderungen erwartungsgemäß wesentlich höher. Zum einen sind die Prüfgeschwindigkeiten für die Kopfpiktoren um 5 km/h höher, aber auch die Grenzwerte sind niedriger und damit schwieriger einzuhalten. Dazu kommt noch der erweiterte Prüfbereich in Richtung Windschutzscheibe / A-Säule. Es wird hier bis auf das obere Ende des Erwachsenenkopf-Prüfbereiches getestet (WAD 2100mm), dass bei üblichen Fahrzeuggeometrien (Golf, Focus, ...) bis zur halben Höhe der Windschutzscheibe und A-Säule gehen kann.

Szenarienwahl aus dem Blickwinkel einer Sensorik

Aus der durchgeführten Analyse der GIDAS-Unfalldaten, wurde eine Auswahl von relevanten Szenarien für Fußgänger- bzw. Radfahrer-relevante Konstellationen kondensiert. Wird diese Szenarienbeschreibung in eine Beschreibung der Szenarien in die Sicht einer Frontsensorik (z. B. Kameras, Radar, etc.) transformiert, so ergeben sich schließlich drei repräsentative Szenarien, bei denen die Unfallminderungspotenziale als am größten eingeschätzt werden. Diese Szenarien sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

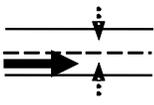
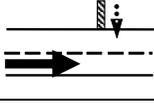
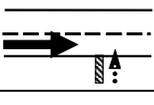
	649 Fußgänger Mais2+	643 Radfahrer Mais2+
	383 59,0%	links 153 23,8% rechts 313 48,7% rechts oder links 1 0,15%
	98 15,1%	Nicht codiert in GIDAS
	80 12,3%	Nicht codiert in GIDAS
Objekt stationär	16 2,5%	vorne 47 7,3% hinten 1 0,15%

Tabelle 3: Unfallszenarien als repräsentative Untersuchungsszenarien aus Sicht einer Front-Sensorik unter bestimmten einschränkenden Kriterien.

Die in der Tabelle 3 zusammengestellten Szenarien sind mit bestimmten Filtern aus der GIDAS-Datenbank ermittelt worden. Die Szenarien und ihre Prozentanteile gelten also unter den folgenden Randbedingungen:

- Schleuderunfälle werden ausgeschlossen
- Unfälle, die aus Mehrfachkollisionen herrühren, werden ausgeschlossen
- Nur Unfälle mit PKWs und SUVs
- Nur Frontalunfälle
- Nur Unfälle mit einer Verletzungsschwere von MAIS 2+ werden betrachtet

Grundlegende Szenarien, die innerhalb von AKTIV-SFR adressiert wurden

Nach erfolgter Unfallanalyse sind die in der Abbildung 12 dargestellten Ergebnisse herausgearbeitet worden. Um für das Projekt handhabbare Zielszenarien aufzustellen wurden die o.g. Ergebnisse weiter verdichtet. Die Fußgängerszenarien FG1 bis FG3 und die Radfahrerszenarien RF1 bis RF3 in der Abbildung sind das verdichtete Ergebnis der Unfallanalysen. Diese Szenarien stellen querende Fußgänger bzw. Radfahrer von rechts bzw. links dar. Während die Szenarien FG1 und RF1 Objekte ohne Sichtbehinderung beschreiben, zielen FG2 und FG3 bzw. RF2 und RF3 auf Situationen mit Sichtbehinderung ab (vgl. auch Tabelle bezüglich deren Häufigkeiten im Unfallgeschehen).

Zusätzlich wurde vereinbart zwei sog. akademische Testszenarios FG4 bzw. RF4 mit stationären Objekten hinzuzunehmen. Der Vorteil dieser nicht bewegten Situationen besteht darin, dass sie sich relativ einfach praktisch realisieren lassen und zudem die Frage nach Ground-Truth-Daten-Gewinnung einfacher zu beantworten ist.

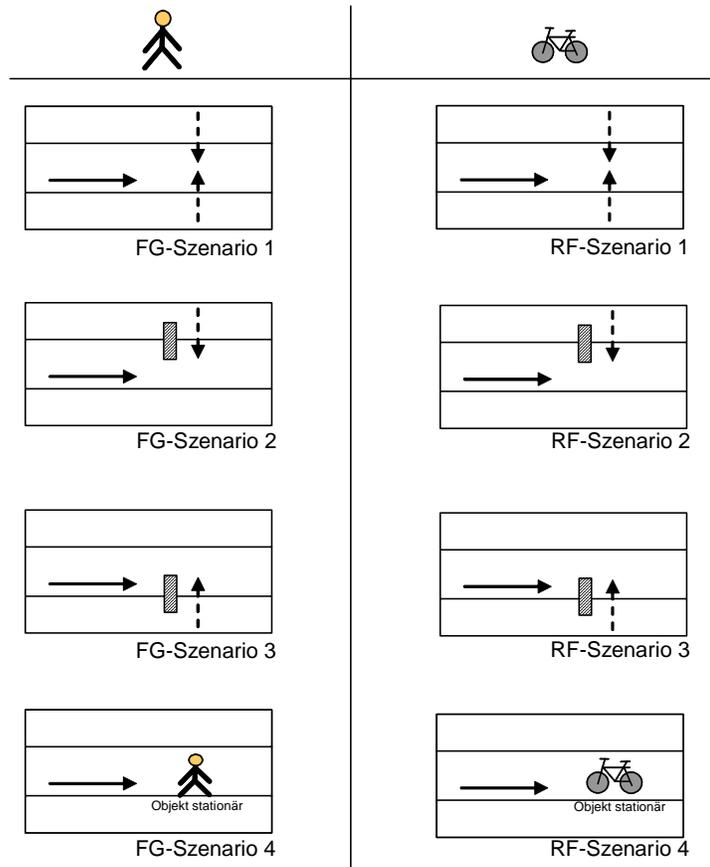


Abbildung 12: Katalog grundlegender relevanter Szenarien für das Projekt SFR.

6.2.3 Technischer Aufbau des SFR Prototypen

Zur Erkennung von Fußgängern und Radfahrer (im Folgenden summarisch: Fußgänger) dient die Sensorfusion von Kamera- und Radarsignalen. Im CSE Sensorik-Versuchsträger, einem 5er BMW, ist in der Mitte der Windschutzscheibe, unterhalb des Spiegelfußes eine Monokamera angebracht, die das Fahrzeugvorfeld filmt. Ein 77 GHz Radarsensor an der Fahrzeugfront tastet das Fahrzeugvorfeld zusätzlich ab und liefert Hinweise auf Objekte vor dem Fahrzeug. Um einen möglichst breiten Bereich erfassen zu können, wurde ein Radarsensor mit integriertem Nahbereich gewählt.

Durch Fusion beider Signale werden relevante Objekte bereits heute mit einer Sicherheit von etwa 95 % erkannt. Die Sensorfusion erfolgt dabei auf zwei Ebenen: Zunächst ermöglichen es die Radarsignale, relevante Bereiche im Kamerabild schnell zu identifizieren und damit die Komplexität und Dauer der Bildauswertung zu reduzieren. Parallel dazu werden Objekte im Radarsignal direkt erkannt und das Ergebnis dieser Messung zum Abgleich mit der Auswertung des optischen Flusses herangezogen.

Wie bei den anderen Beiträgen von Continental im Projekt AKTIV – AS, fiel die Wahl beim Teilprojekt SFR bewusst auf Sensoren, wie sie heute bereits serienmäßig in Fahrzeugen verbaut werden. Durch diese Strategie kann die spätere Umsetzung als neues

Serienfahrerassistenzsystem wesentlich schneller erfolgen – und gegebenenfalls auf bereits im Fahrzeug vorhandene Sensoren aufsetzen.
Die Auswertung erfolgt durch lernfähige Algorithmen. Vor Inbetriebnahme werden in der Auswertelektronik dazu zunächst typische Beispiele für Fußgängerannäherungen gespeichert. Durch Abgleich der Übereinstimmungsgrade zwischen den Merkmalen dieser Referenzsituationen mit im Testbetrieb erkannten Objekten, „lernt“ das SFR System, Objekte auch in unbekanntem Situationen zu identifizieren. Im Rahmen der Forschungsinitiative wurde die Auswertung mittels PC umgesetzt, eine Umsetzung als fahrzeugtypisches Steuergerät (ECU) mit vorgeschalteter Logik ist jedoch ohne Einschränkung möglich.

6.2.4 Verhalten des SFR Systems im Aktivierungsfall

Sobald das SFR System eine Person im relevanten Bereich vor dem Fahrzeug erkennt, erfolgt eine Warnmeldung an den Fahrer. Im AKTIV Prototypen wird diese Warnmeldung haptisch über das Straffen des Fahrergurtes und einen kurzen Bremsruck realisiert. Eine alternative oder zusätzliche Meldung auf anderen Kanälen ist natürlich ebenfalls möglich und je nach übergeordneter Warnstrategie durchaus sinnvoll, beispielsweise in Abhängigkeit davon, wie dicht sich das erkannte Objekt vor dem Fahrzeug befindet. Bei den bisherigen Tests hat sich gezeigt, dass es für die Wirkung eines solchen Fußgängerschutzsystems als wichtig anzusehen ist, die Aufmerksamkeit des Fahrers zu beobachten, um die Warnmeldung zielgerichtet definieren zu können.

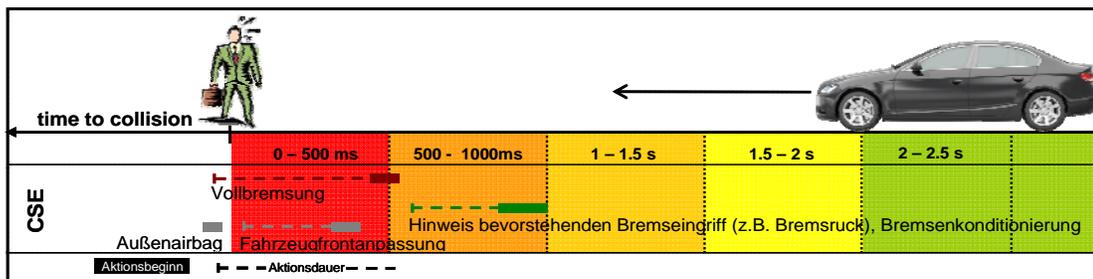


Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf der Systemreaktionen

Reagiert der Fahrer nicht auf die Warnmeldung, so greift das System in einem Zeitfenster von 1 s bis zu 0,7 s vor dem errechneten Kontakt in das Fahrzeug ein und löst eine Vollbremsung aus, um möglichst schnell Energie aus dem Gesamtsystem Fahrzeug zu nehmen.

Ab 0,4 s vor einer Kollision löst das SFR System fahrzeugseitige Maßnahmen aus, um die Unfallschwere durch den Aufprall abzumildern. Innerhalb von 0,3 s verstellen reversible Aktoren erstens das Frontend so, dass der Kontakt des Unterschenkels mit dem Fahrzeug auf einer möglichst ebenen Fläche erfolgt. Dazu wird der Spoiler ausgefahren, bis er sich zumindest in einer vertikalen Flucht mit der Stoßstange befindet. Zweitens wird die Motorhaube von reversiblen Aktoren angehoben, um den Verzögerungsweg für den aufprallenden Körper zu verlängern und das vor allem über harten, hoch aufragenden Geometrien im Motorraum (etwa dem Zylinderkopf). In dem statischen Aktorik-Demonstrator, einem 3er BMW Frontend, wurden die reversiblen Aktoren für den Test pneumatisch realisiert, ohne dass dies jedoch eine technische Festlegung wäre. Ist im Fahrzeug ein Druckluftreservoir vorhanden, etwa im Rahmen einer Luffederung, so bietet sich die pneumatische Lösung an. Ansonsten lässt sich die Aktorik auch elektromotorisch darstellen. Als dritte Schutzmaßnahme aktiviert das SFR System einen Au-

ßenairbag, der den unteren Teil der Windschutzscheibe (Übergang zum Rahmen, Scheibenwischer) abdeckt sowie die Hälfte der A-Säule.



Abbildung 14: Laborfrontend im aktivierten Zustand

Auf Basis eines einspurigen Fahrdynamikmodells für die Längs- und Querdynamik sowie eines Fußgängerbewegungsmodells konnte ein Risikomodell aufgebaut werden. Dabei wird aufgrund der fahrphysikalisch gegebenen Möglichkeiten des Fahrzeugs und der Bewegungsmöglichkeiten des Fußgängers ein Kollisionsrisiko ermittelt. Speziell die Bewegungsmöglichkeiten des Fußgängers werden im weiteren Projektverlauf noch durch Hinzufügen von Wahrscheinlichkeiten genauer spezifiziert. Dadurch kann eine möglichst frühe Auslösung der Vollbremsung erfolgen, aber gleichzeitig auch die Fehl- auslösungsrate gering gehalten werden. Das folgende Prinzipbild zeigt die Kombination des Fahrzeug- und Fußgängermodells zur Risikoabschätzung, bzw. der Aussage ab wann eine Kollision unvermeidbar wird.

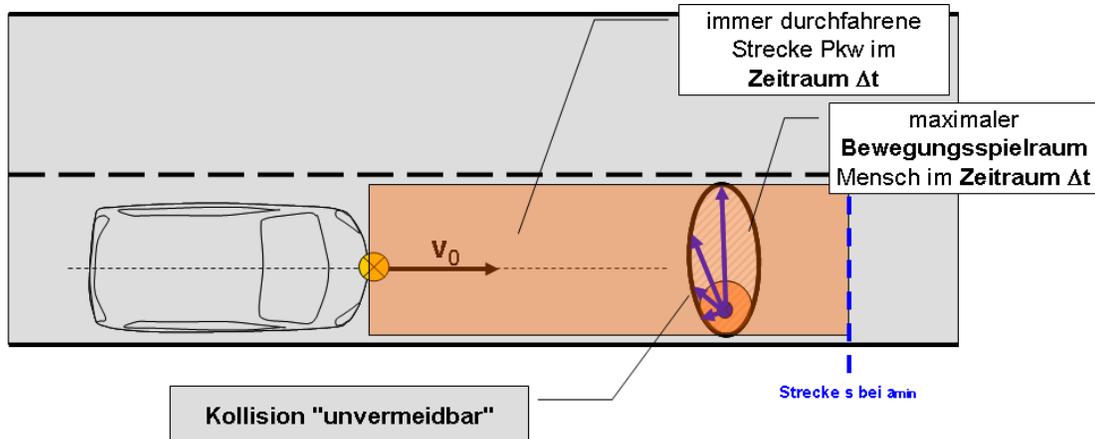


Abbildung 15: Auslöseprinzip auf Bewegungsmodellbasis

6.2.5 Ergebnisse aus der Validierung und Bewertung

Da Messergebnisse mit vergleichbaren, fahrzeugseitigen Schutzmaßnahmen bei CSE bereits existierten, war die Schlussfolgerung zulässig, dass diese Schutzmaßnahmen als Teil des SFR Gesamtkonzepts ebenfalls eine vergleichbare Schutzwirkung haben. Die entsprechenden Testprozeduren wurden am CSE-Standort in Alzenau mittels Impaktoren durchgeführt.

Die erfolgreiche Erkennung von Fußgängern wurde durch seilgeführte Dummies getestet, wobei jeweils eine starre Dummyversion (ohne Arm- und Beinbewegungen) genutzt wurde und eine voll bewegliche. Die Rohdaten der Tests und parallel dazu die Systemreaktionen wurden aufgezeichnet. Durch Aufschalten der Fahrzeugreaktionen auf diese Daten im Labor ließen sich die Aktivierungszeiten gezielt optimieren. Feldversuche sollen das Verhalten des SFR Systems ab August 2010 bestätigen.

Prinzipiell besteht in der Erkennung von Fußgängern und Radfahrern kaum ein Unterschied in der Sensorik, allerdings muss das System bei Radfahrern für höhere Annäherungsgeschwindigkeiten kalibriert werden. Wegen der höheren Schwerpunktlage von Radfahrern ist es außerdem erforderlich, die fahrzeugseitigen Maßnahmen auf einen etwas höheren Kontaktpunkt auszulegen.



Abbildung 16: Sensorik und Auswertung des CSE Versuchsträgers

Bezüglich der Validierung und Bewertung des fahrzeugintegrierten Fußgänger- und Radfahrerschutzsystems wurden im Mai 2010 auf dem Prüfgelände der Audi AG in Neustadt Systemtests durchgeführt. Die Ergebnisse, die durch das unterbeauftragte fka ausgewertet wurden, lieferten eine Aussage über die jeweiligen Fähigkeiten des Schutzsystems.

Innerhalb des UAP 4200 Generierung von synthetischen Daten, wurde im übergreifenden Teilprojekt FSA ausgehend von den gemeinsam mit dem Teilprojekt SFR definierten detaillierten Szenarien Fahrsimulationen berechnet. Die Bewertung dieser Fahrsimulator-Daten wurde mit dem letzten überarbeiteten Algorithmus-Stand zusammen mit den realen Testdaten vorgenommen. Die realen Testdaten wurden zusammen mit 3 Fußgängern, dem Demofahrzeug und einem Hindernis auf der Opel-Teststrecke in Dudenhofen aufgezeichnet. Insgesamt wurden 36 gültige Tests mit verschiedener Kleidung der Fußgänger und variierten Geschwindigkeiten von Fußgänger und Fahrzeug

Im Rahmen einer Unterbeauftragung der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen (fka) wurden im Mai 2010 Sensor- und Systemtests durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit dem Versuchsträger von CSE und dem dort eingesetzten Kamera- und Radarbasierten Fusionssystem zur Fußgängererkennung ermittelt. Die Tests unterteilen sich in zwei Teile, die beide auf dem Prüfgelände der AUDI AG in Neustadt an der Donau durchgeführt wurden. Im Test-Teil 1 wurde ein Fußgängerdummy eingesetzt, im Teil 2 ein realer Fußgänger. In beiden Fällen wurde eine DGPS-basierte Referenzmesstechnik verwendet, die die Positionsdaten des Sensorfahrzeugs und des Dummys bzw. des Fußgängers im Zentimeterbereich bereit stellte. Der Test-Teil 1 umfasste 6 Szenarien mit insgesamt 102 Messungen. Im Test-Teil 2 wurden bei 3 Szenarien und insgesamt 24 Messungen ausgewertet.

Betrachtet man die kinematischen und geometrischen Bewertungskriterien des Test-Teils 1, so liegt der mittlere Abstandsfehler zwischen 2,63 m und 5,66 m, der mittlere Positionsfehler zwischen 0,11 m und 0,92 m, der mittlere Längsgeschwindigkeitsfehler zwischen 1,00 m/s und 6,49 m/s, der mittlere Quergeschwindigkeitsfehler zwischen 0,11 m/s und 1,32 m/s, der mittlere Zielaufnahmeabstand zwischen 15,60 m und 28,18 m, der mittlere Zielverlustabstand zwischen 5,02 m und 12,09 m, der mittlere Größenfehler bei 0,05 m und der mittlere Breitenfehler bei 0,20 m.

Betrachtet man die kinematischen und geometrischen Bewertungskriterien des Test-Teils 2, so liegt der mittlere Abstandsfehler zwischen 2,34 m und 4,57 m, der mittlere Positionsfehler zwischen 0,28 m und 1,01 m, der mittlere Längsgeschwindigkeitsfehler zwischen 3,36 m/s und 14,84 m/s, der mittlere Quergeschwindigkeitsfehler zwischen 0,54 m/s und 3,19 m/s, der mittlere Zielaufnahmeabstand zwischen 21,20 m und 28,73 m, der mittlere Zielverlustabstand zwischen 6,14 m und 14,27 m und der mittlere Größenfehler bei 0,10 m und der mittlere Breitenfehler bei 0,40 m.

Im dritten Teil der fka-Unterbeauftragung wurden im September 2010 mit dem CSE-Versuchsträger insgesamt 6 Stadtrundfahrten mit etwa 45 Minuten Dauer durchgeführt. Die Tests fanden auf einem ca. 15km langen Rundkurs im Stadtgebiet Aachen statt. Dabei stellten 25 Probanden (22 Fußgänger und 3 Radfahrer) 16 unterschiedliche und in ihrem Ablauf genau definierte Szenarien nach. Ziel der Versuche war die Erkennungsleistung in einer realen Umgebung auf der einen Seite und die Fehlerkennungsrate auf der anderen Seite zu beurteilen.

Die Sensitivität auf Frameebene lag bei 90%, bzw. bei 97% (A-Trajektorienlevel) und 100% (B-Trajektorienlevel). Bei der Präzision ergaben sich auf Frameebene Werte zwischen 30 bis 35%, bzw. 19 bis 26% (A-Trajektorienlevel) und 43 bis 49% (B-Trajektorienlevel).

Abschließend ist festzustellen, dass das Kamera- und Radarbasierte Fusionssystem zur Fußgängererkennung des CSE-Versuchsträgers Ergebnisse lieferte, die als Ausgangsbasis für zukünftige Arbeiten auf dem Gebiet der Fußgängererkennung angesehen werden können.

6.2.6 Präsentation der Forschungsergebnisse

Zur Präsentation des fahrenden Demonstrators im Rahmen der Abschlusspräsentation auf dem Testgelände in Mendig wurde ein Seilbahnsystem mit angehängtem Fußgängerdummy errichtet. Das Testsystem ist auf der folgenden Abbildung 19 zusammen mit dem Demofahrzeug zu sehen.



Abbildung 19: Fahrzeugdemonstration mit Fußgängerdummy

Dieses Testsystem erlaubt eine ständig wiederholbare Fußgängerüberquerung die durch das Überfahren eines Kontaktstreifens ausgelöst wird. Dabei ist es auch möglich, den Fußgängerdummy mit bis 50km/h Aufprallgeschwindigkeit ohne Beschädigungen anzufahren. Dadurch konnte die Funktion des Schutzsystems bis in den Grenzbereich demonstriert werden.

Auf der Abbildung 21 ist der letztendliche Aufbau und die Funktion des fahrenden Demofahrzeugs als auch des statischen Frontends beschrieben.

Frontradar zur Umfelderkennung

Frontkamera zur Umfelderkennung

SFR – Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer

- Demonstration eines Fußgänger- und Radfahrschutzsystems mittels autonomer Vollbremsung
- Aus den Bildern der Frontkamera und den Daten des Frontradars werden vor dem Fahrzeug befindliche Fußgänger und Radfahrer detektiert.
- Kurz vor einer nicht mehr verhinderbaren Kollision wird der Fahrer gewarnt bevor anschließend eine autonome Vollbremsung erfolgt. Kann der Unfall nicht mehr verhindert werden, erfolgen zusätzlich verletzungsminimierende Maßnahmen am Fahrzeugvorderbau.
- Der Hinweis zur bevorstehenden Vollbremsung und die Bremskonditionierung erfolgen 1 Sekunde vor der Kollision (TTC), 0,4 Sekunden später dann der Bremsengriff und wenn nötig nochmals 0,3 Sekunden später die Fahrzeugfrontanpassung (reversibel). Erfolgt tatsächlich eine Kollision, so wird mit dem Kontakt der Außenairbag ausgelöst (irreversibel).

Laborfrontend mit Fahrzeugfrontanpassung und Außenairbag

time to collision		0 – 500 ms	500 - 1000ms	1 – 1.5 s	1.5 – 2 s	2 – 2.5 s
CSE	Vollbremsung					
	Hinweis bevorstehenden Bremsengriff (z.B. Bremsruck), Bremskonditionierung					
	Außenairbag					
	Fahrzeugfrontanpassung					

Aktionsbeginn - - - Aktionsdauer - - -

Seitenansicht Frontend

Abbildung 20: Fahrzeugflyer aus der Abschlusspräsentation

Auf 2 Monitoren, zwischen Fahrer- und Beifahrersitz bzw. an der Rückenlehne des Beifahrersitzes, wurde die Funktion des Schutzsystems visualisiert. Zusätzlich sorgte ein Bremsaktuator im Fußraum des Fahrers für die Umsetzung der verschiedenen Verzögerungen.

Mit Hilfe des Laboraufbaus, bestehend aus dem vorderen Teil eines 3er BMW mit den Aktoriken nach vorne oben verschiebbarer Außenhaut und Außenairbag, konnte die Wirkungsweise der zusätzlichen Aktoriken verdeutlicht werden.

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Research initiative active AS, Adaptive and Cooperative Technologies for Intelligent Traffic - Active Safety Exploration of a system to increase safety for pedestrians and cyclists Develop methods for active safety and attention	
4. author(s) (family name, first name(s)) Vetter, Johannes	5. end of project December 2010
	6. publication date
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Continental Safety Engineering International GmbH Carl-Zeiss-Straße 9 63755 Alzenau	9. originator's report no.
	10. reference no. 19S6011D
	11. no. of pages 29
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references none
	14. no. of tables 3
	15. no. of figures 20
16. supplementary notes See also internet: www.aktiv-online.org	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract Currently, the active protection of pedestrians is limited to measures that are triggered only by the contact of the pedestrian with the vehicle. A system for increased safety for pedestrians and cyclists before a contact is investigated here through the fusion of two already-developed sensors and activating the vehicle brakes to adjust the front structure. Pedestrians in an area up to 25 m in front of a vehicle are detected by radar signals in the frequency range of 77 Ghz. The tests showed that a separation between pedestrians and other existing road traffic objects is difficult. Therefore, a fusion with a monochrome 2D camera was analysed. The fusion technology reduces the great number of objects detected with the radar by pattern recognition of the camera on the most important objects (pedestrians). The development of methods for driving safety and awareness by simulation of the camera sensor is used as a supplement, especially in the near-collision scenarios. It offers the possibility of a large number of parameters to evaluate independently. This method can thus contribute to the development of a robust and reliable pedestrian detection algorithm. The results obtained here can be a solid basis for future work .	
19. keywords Active pedestrian protection, forecasting sensors, reversible actuators, brake intervention, camera simulation, development methodology	
20. publisher	21. price

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Forschungsinitiative Aktiv-AS, Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr - Aktive Sicherheit Erforschung eines Systems zur Erhöhung der Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer Methodenentwicklung zur Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Vetter, Johannes	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2010
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Continental Safety Engineering International GmbH Carl-Zeiss-Straße 9 63755 Alzenau	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19S6011D
	11. Seitenzahl 29
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben keine
	14. Tabellen 3
	15. Abbildungen 20
16. Zusätzliche Angaben Siehe auch Internet: www.aktiv-online.org	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Aktuell beschränkt sich der aktive Schutz von Fußgängern auf Maßnahmen am Fahrzeug die erst mit dem Kontakt des Fußgängers ausgelöst werden. Ein System zur Erhöhung der Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer vor einem Kontakt wird hier über die Fusion zweier bereits entwickelter Sensoren und die Aktivierung der Fahrzeugbremsen mit Anpassung der Frontstruktur erforscht. Fußgänger in einem Bereich bis zu 25m vor einem Fahrzeug werden durch Radarsignale im Frequenzbereich von 77 Ghz detektiert. Die Versuche ergaben, dass eine Trennung zwischen Fußgängern und anderen sich im realen Straßenverkehr befindlichen Objekten schwierig ist. Weshalb eine Fusion mit einer monochromen 2D Kamera untersucht wurde. Die Fusionstechnologie reduziert die Vielzahl der vom Radar detektierten Objekte durch eine Mustererkennung der Kamera auf die wirklich relevanten Objekte (Fußgänger). Die Methodenentwicklung zur Fahrsicherheit und Aufmerksamkeit durch Simulation der Kamerasensorik ist als Ergänzung vor allem bei den kollisionsnahen Szenarien einsetzbar. Sie bietet die Möglichkeit, eine Vielzahl von Parametern unabhängig voneinander zu Evaluieren. Diese Methode kann somit zur Entwicklung eines robusten und zuverlässigen Fußgängererkennungs-Algorithmus beitragen. Die hier erzielten Ergebnisse können als solide Ausgangsbasis für zukünftige Arbeiten Verwendung finden.	
19. Schlagwörter Aktiver Fußgängerschutz, vorausschauende Sensorik, reversible Aktuatorik, Bremseingriff, Kamera-Simulation, Entwicklungsmethodik	
20. Verlag	21. Preis