

Verbundprojekt: EFA 2014

Energieeffizientes Fahren 2014
Teilvorhaben: Temporal-Situatives Umfeldmodell
(TempSit)

Schlussbericht

zu Nr. 8.2 NKBF 98, Teil I und II

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

zu dem Teilvorhaben: Temporal-Situatives Umfeldmodell (TempSit) -
Erforschung der Einflüsse des
Fußgängeraufkommens auf den Verkehrsfluss

Laufzeit: 01.09.2009 – 30.08.2011

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln
des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem
Förderkennzeichen 13N10132 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Alzenau, 25.04.2012

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	4
3.1	Projektstruktur.....	4
3.2	Meilensteinplan.....	6
3.3	Zeitplan.....	7
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	8
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
5.1	Schnittstellen zu Projektpartnern.....	8
6	Erzielte Ergebnisse	9
6.1	Übersicht der Arbeitsinhalte von CSEI	9
6.2	Umfeldmodellierung	9
6.2.1	Identifikationsmerkmale des Szenarios	9
6.2.2	Konstellation Verkehrsteilnehmer	9
6.2.3	Problemstellung	10
6.2.4	Abgeleitete Handlungsempfehlung.....	10
6.2.5	Abschließende Bemerkung	11
6.3	Situationsanalyse.....	12
6.3.1	Schnittstellendefinition Partner-Datenaustausch	12
6.3.2	Aufnahmekampagne für Fußgänger und Fahrzeugverkehr	14
6.3.3	Ermittlung des physiologischen Bewegungsspielraums.....	15
6.3.4	Bewegungsspielraum-Erweiterung über Weighted Nodes Ansatz	17
6.3.5	Fußgängerpräsenzklassen	17
6.4	Präsentation der Forschungsergebnisse.....	20

1 Aufgabenstellung

1.1 Übergreifende Vorhabensziele

Die Automobilindustrie ist einer der wichtigsten Wirtschaftsmotoren in Deutschland. Die stetig wachsenden Absatzzahlen der letzten Jahre sensibilisieren die Industrie für die Verantwortung im Bereich Sicherheit und Energieeffizienz. Diese Bereiche sind neben Nutzerfreundlichkeit und Komfort in den letzten Jahren immer weiter ins Bewusstsein gerückt. Nur durch ständige Weiterentwicklungen können sicherheitsrelevante und energieeffiziente Lösungen in Form von Fahrerassistenz- und Sicherheitssystemen angeboten werden.

Um die Automobilindustrie bei der Bewältigung der anstehenden Herausforderungen in diesen Bereichen zu unterstützen, wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung die Innovationsallianz Automobilelektronik ins Leben gerufen. Darin erforschen Automobilhersteller, Zulieferfirmen, Forschungsinstitute und Hochschulen gemeinsam Konzepte zur Erhöhung der Sicherheit und der Energieeffizienz im Automobil. Im Rahmen der Innovationsallianz Automobilelektronik wurde das Forschungsprojekt *Energieeffizientes Fahren 2014 (EFA 2014)* vor etwa zweieinhalb Jahren gestartet. Nach einer Laufzeit von zwei Jahren wurden in der ersten Projektphase Konzepte zur Reduktion des Energieverbrauchs erforscht. Das Projekt gliedert sich in die beiden Teilprojekte *Bordnetz und Komponenten*, sowie *Vorausschau*.

Wesentlicher Bestandteil des Teilprojekts *Vorausschau* ist das Arbeitspaket *AP4.5 Temporales Umfeldmodell (TempSit)*. Die Firma Audi Electronics Venture bearbeitete dieses Arbeitspaket zusammen mit CSEI und den Partnerfirmen Harman/Becker und Metaio. In diesem Arbeitspaket sind, im Hinblick auf energieeffizientes Fahren, Konzepte für die Umfeldmodellierung und die Schnittstelle zum Fahrer erforscht worden. Die Firmen führten die Forschung in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen durch. Deshalb wurden, im Rahmen der Förderung, Unteraufträge an die Hochschule für angewandte Wissenschaften FH Ingolstadt und das Forschungszentrum Informatik (FZI) in Karlsruhe vergeben.

1.2 Vorhabensziele TempSit

Die Basis für leistungsfähige Fahrerassistenz ist die Erzeugung und Auswertung eines konsistenten Umfeldmodells, gestützt durch die Informationen und Daten der fahrzeugübergreifend zur Verfügung stehenden Sensorik und der Telematikdienste. Die darauf aufsetzende Situationsanalyse erlaubt es, verschiedenartige Anwendungen für das Automobil abzuleiten. Eine wichtige Anwendung dafür ist die Navigation. Diese Assistenzfunktion ist vor allem zur Planung und Präsentation lokaler Fahrmanöver auf exakte Umfeldinformationen angewiesen. Durch die Verbesserung der Navigationsassistenz im Automobil lässt sich einerseits die Sicherheit erhöhen und andererseits Energie einsparen.

Folglich ist das Ziel dieses Projekts, ein Umfeldmodell zu erforschen, das bezogen auf die jeweilige Fahrsituation die Sensordaten für das Navigationssystem des Fahrzeugs aufbereitet. Aus diesem temporal-situativen Umgebungsmodell werden situationspezifische Fahrmanöver abgeleitet und dem Fahrer in adäquater Weise präsentiert.

Dabei sollen die Umgebungsdaten ressourceneffizient und fahrzeugübergreifend erfasst werden. Sie werden anschließend zu einem Umgebungsmodell fusioniert und interpretiert. Abhängig von der vorherrschenden Fahrsituation werden daraus lokale und globale Fahrmanöver abgeleitet. Die Fahrmanöver müssen dem Fahrer situationsgerecht mit einer adäquaten Benutzerschnittstelle vorgeschlagen werden. Die Ergebnisse der navigationsspezifischen Interpretation und Aktionsplanung werden den anderen Fahrerassistenzsystemen im Automobil zur Verfügung gestellt.

Die Erfassung des Umfelds erfolgt primär mit dem Multisensorsystem des eigenen Fahrzeugs. Allerdings sind diese Sensoren auf das sichtbare Umfeld des eigenen Fahrzeugs beschränkt. Der sensoruell erfasste Bereich lässt sich ausweiten, wenn die Sensorinformationen fahrzeugübergreifend weitergegeben werden. Wegen der begrenzten Kapazität der Car-to-Car-Kommunikation können keine Sensorrohdaten zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden. Stattdessen müssen die Daten auf dem jeweiligen Fahrzeug zu semantischen Objekten eines Umgebungsmodells interpretiert und anschließend an andere Fahrzeuge weitergegeben werden. Zudem existieren auf den einzelnen Fahrzeugen leistungsfähige Fahrerassistenzsysteme, die ihrerseits Schlussfolgerungen über die Umgebung ableiten. Auch diese Informationen können als Daten eines virtuellen Sensors aufgefasst und zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden.

Damit diese Informationen in den einzelnen Fahrzeugen effektiv genutzt werden können, ist es wichtig, das richtige Abstraktionsniveau für die Kommunikation der interpretierten Umfeldobjekte zu finden. Das Niveau ist abhängig von verschiedenen konkurrierenden Randbedingungen wie Echtzeit, Detaillierungsgrad, Wichtigkeit und Konsistenz. Die Beantwortung dieser Frage und die entsprechende prototypische Umsetzung für die Navigationsassistenz ist die Aufgabenstellung des Projekts.

Zur Realisierung von Fahrerassistenz ist es im zweiten Schritt notwendig, das Umgebungsmodell im Hinblick auf die Assistenzfunktion auszuwerten. Abhängig von der jeweiligen Aufgabe des Fahrerassistenzsystems muss das Umgebungsmodell spezifisch erweitert und interpretiert werden. Hier stellt sich die Frage, welche Informationen nur lokal im Fahrerassistenzsystem benötigt werden und welche global auch für andere Systeme wichtig sind. Diese Fragestellung soll im Rahmen des Forschungsprojekts für die Navigationsassistenz untersucht und beantwortet werden. Insbesondere sind Algorithmen abzuleiten, die einerseits die Kernaufgabe der Navigation erfüllen und andererseits ihre Erkenntnisse weiteren Assistenzsystemen zur Verfügung stellen.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Es wurde vorausgesetzt, dass Sensoren das sichtbare Umfeld des eigenen Fahrzeugs erfassen. Desweiteren benötigt das Vorhaben fahrzeugübergreifende Sensorinformationen, um den sensoruell erfassten Bereich ausweiten zu können. Außer den Sensorinformationen werden auch Telematikdienste mit einbezogen. Es können dabei, wegen der begrenzten Kapazität der Car-to-Car-Kommunikation, keine Sensorrohdaten zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden.

Zudem geht das Vorhaben davon aus, dass leistungsfähige Fahrerassistenzsysteme auf den einzelnen Fahrzeugen existieren, die ihrerseits Schlussfolgerungen über die Umgebung ableiten können.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

3.1 Projektstruktur

Das Teilprojekt temporal-situative Umfelderkennung wird von den Partnerfirmen Audi Electronics Venture GmbH, Continental Safety Engineering International GmbH (CSEI), Metaio GmbH und Harman/Becker Automotive Systems bearbeitet.

Im Rahmen des Arbeitspaketes TempSit wird durch fahrzeugübergreifende Zusammenführung von bordgebundenen Sensordaten, innovativer Methoden zur Eigenpositionsbestimmung und die Verwendung präziser Kartendaten ein übergeordnetes Umfeldmodell erzeugt. Auf Basis dieses fahrzeugübergreifenden Umfeldmodells erfolgt eine übergreifende Situationsbewertung der Verkehrssituation. Auf Basis dieser Situationsbewertung wer-

den Empfehlungen für den weiteren Routenverlauf an den Fahrer über eine geeignete Mensch-Maschine Schnittstelle weitergegeben. Damit wird ein möglichst flüssiges Vorkommen und dadurch ein energieeffizientes Fahren sichergestellt.

Das Funktionsschema der Temporal-situativen Umfelderkennung ist in Abbildung 1 dargestellt.

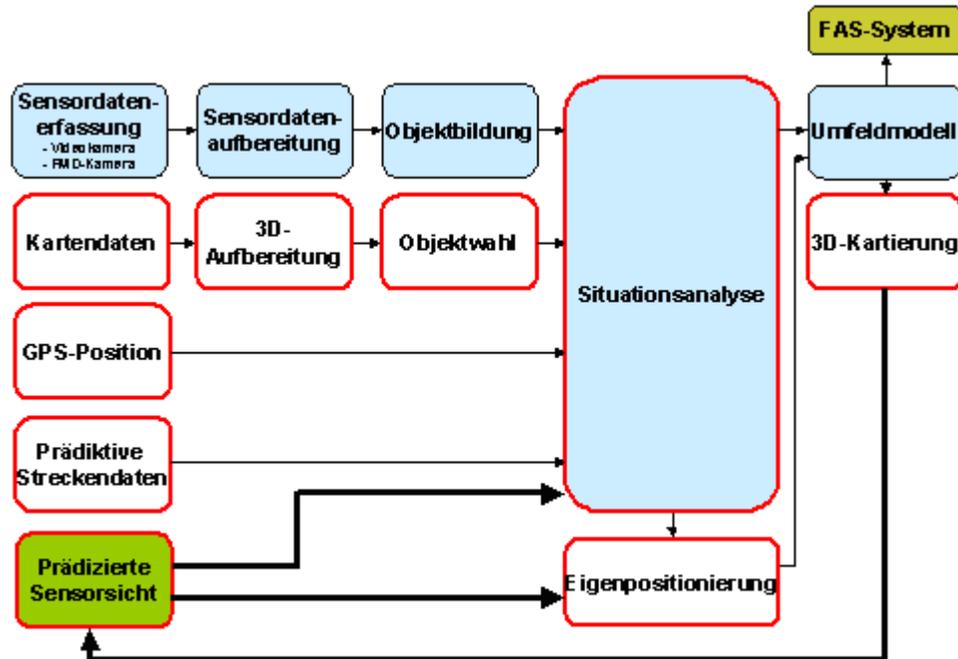


Abbildung 1: Umfeldmodell TempSit

Das Teilprojekt ist in die folgenden Unterarbeitspakete aufgliedert:

- UAP 4.5.1 Umfelderkennung
- UAP 4.5.2 Umfeldmodellierung
- UAP 4.5.3 Situationsanalyse
- UAP 4.5.4 Aktionsplanung
- UAP 4.5.5 Mensch-Maschine Schnittstelle

Die Tätigkeiten von CSEI konzentrieren sich auf das Arbeitspaket Situationsanalyse mit ausgeprägten Schnittstellen zu den UAPs 4.5.1 Umfelderkennung und 4.5.2 Umfeldmodellierung.

CSEI beschäftigt sich in dem vorliegenden Teilprojekt mit der Erfassung und Bewertung von dynamischen Verkehrsstörungen verursacht durch Fußgänger oder Fußgängergruppen. Für die Erforschung dieses innovativen Themenbereichs ist folgende Vorgehensweise vorgesehen:

- Entwurf / Zusammenstellung von Messsystemen und Erforschung zugehöriger Auswertalgorithmen zur Erfassung von Fußgängerbewegungen und Fahrzeugbewegungen im realen Straßenverkehr
- Empirische Beobachtung von Fußgängeraufkommen und die damit verbundene Wechselwirkungen mit dem umgebenden Straßenverkehr an ausgewählten Verkehrspunkten
- Auswertung der Daten hinsichtlich typischer Wechselwirkungsmuster zwischen Fußgängeraufkommen und dem umgebenden Kraftfahrzeugverkehr
- Aufbau von Interaktionsmodellen für Fußgänger-Kraftfahrzeug Wechselwirkungen basierend auf den vorliegenden empirischen Daten
- Erforschung eines Algorithmus zur Ermittlung der Einflusszonen von Fußgänger (-gruppen) auf den Straßenverkehr

3.2 Meilensteinplan

Während der Projektlaufzeit waren folgende Meilensteine vorgesehen:

MS	Monat	Thema
M1	M 8	Konzept zur Erforschung Wechselwirkungen Fußgänger - Fahrzeug
M2	M 9	Inbetriebnahme Umfeldmesstechnik
M3	M 13	Abbruchmeilenstein
M4	M 15	Empirische Felduntersuchungen abgeschlossen
M5	M 18	Analyse der Feldbeobachtungen abgeschlossen
M6	M 23	Algorithmus Bewegungsspielräume Fußgänger

Tabelle 1: Meilensteinübersicht Phase 1

Aufgrund der vereinbarten Einteilung des Forschungsvorhabens EFA 2014 in 2 Phasen entfallen die Meilensteine, die mit mehr als 24 Monaten geplant waren und über die hier beantragte Phase 1 hinausgehen.

Auf Basis multisensorieller Datenerfassung, Verwendung innovativer Navigationsdaten und der Kombination der erfassten Objektdaten aus einer Vielzahl an Fahrzeugen wird ein temporal-situatives Umfeldmodell aufgebaut. Da dieses Umfeldmodell aus Informationen aus vielen Blickrichtungen besteht und weitere Navigationsinformationen zur Verfügung gestellt bekommt, lässt sich eine vorliegende Verkehrssituation wesentlich umfassender betrachten und damit auch besser bewerten. Auf Basis dieser Situationsanalyse können langfristige und kurzfristige Fahrzeugmanöver den jeweiligen Fahrzeugführern vorgeschlagen werden.

Continental CSEI entwickelt mit Hilfe von innovativen Modellansätzen ein Bewertungsverfahren für die Einschätzung von hochdynamischen Verkehrsstörungen verursacht durch die Präsenz von Fußgängern (-gruppen) im Straßenverkehr. Die Präsenz von Fußgängergruppen im Straßenbereich kann zu erheblichen Beeinträchtigungen des Verkehrsgeschehens führen. Um den Verkehrsfluss in diesen Bereich zu optimieren, sollen auf Basis der Einschätzung von Interakti-

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die zentrale Herausforderung dieses Teilprojekts lag in der Bewertung instationärer Verkehrsstörungen. Zu dieser Thematik lagen zu Projektbeginn keine wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Präsenz von Fußgängern und deren Einfluss auf den umgebenden Straßenverkehr vor. Es ist jedoch bekannt, dass bei Auftreten eines bestimmten Fußgängeraufkommens im Straßenverkehr merkliche Beeinträchtigungen des Verkehrsflusses hervorgerufen werden. Auffällig ist, dass zu typischen Fußgängerstoßzeiten, beispielsweise vor öffentlichen Einrichtungen wie Schulen, eine deutliche Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeiten durch die Präsenz von Fußgängern im Straßenbereich hervorgerufen wird. In vielen Fällen kommt es hier zu Kurzstaus von mehreren Minuten, die ein energieeffizientes Vorankommen nicht zulassen.

Dem entsprechend ist es in diesem Teilprojekt notwendig herauszufinden, welche Einflusszonen der Fußgänger auf den Straßenverkehr hat und mit welchen Fahrweisen auf eine unterschiedliche Präsenz von Fußgängern durch die Fahrzeugführer reagiert wird.

Empirische Untersuchungen sollen hier dazu dienen die Wechselwirkungen von Fahrzeugen in Verbindung mit Fußgängern an repräsentativen Verkehrsbereichen aufzuzeichnen und mit Hilfe von geeigneten Auswertelgorithmen zu typischen Interaktionsmustern zu abstrahieren. Vorgesehen sind empirische Aufzeichnungen im Nahbereich von Schulen oder auffälligen Innenstadtbereichen.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

5.1 Schnittstellen zu Projektpartnern

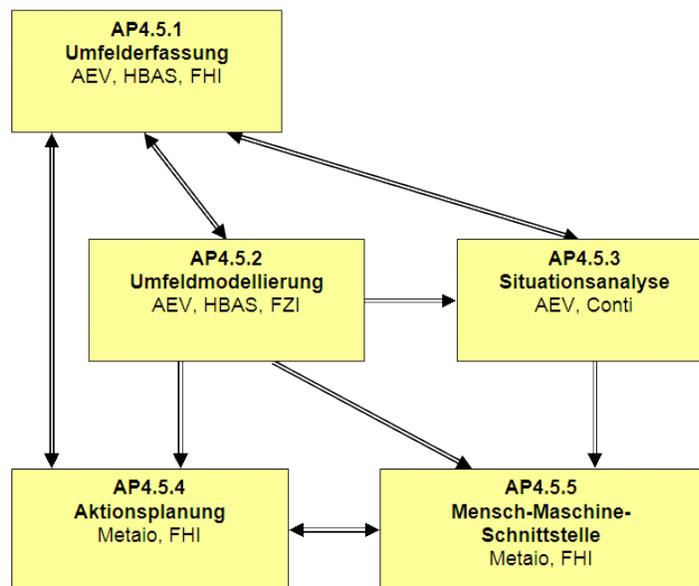


Abbildung 3: Teilprojektstruktur TempSit mit Partnerrelationen

Das Arbeitspaket AP4.5 TempSit wird von den Firmen Audi Electronics Venture (AEV), Continental (Conti), Harman/Becker Automotive Systems (HBAS) und Metaio Augmented Solutions (Metaio) bearbeitet (Abbildung 3). Zur Unterstützung

werden im Rahmen von Unteraufträgen Teilaufgaben an die FH Ingolstadt (FHI) und das Forschungszentrum Informatik Karlsruhe (FZI) vergeben. Die Aufgabenverteilung und die Kooperation der Verbundpartner sind in Abbildung 3 dargestellt.

6 Erzielte Ergebnisse

6.1 Übersicht der Arbeitsinhalte von CSEI

- Erfassung und Bewertung von dynamischen Verkehrsstörungen verursacht durch Fußgänger oder Fußgängergruppen.
- Entwurf / Zusammenstellung von Messsystemen und Erforschung zugehöriger Auswertelgorithmen zur Erfassung von Fußgängerbewegungen und Fahrzeugbewegungen im realen Straßenverkehr
- Empirische Beobachtung von Fußgängeraufkommen und die damit verbundene Wechselwirkungen mit dem umgebenden Straßenverkehr an ausgewählten Verkehrspunkten
- Auswertung der Daten hinsichtlich typischer Wechselwirkungsmuster zwischen Fußgängeraufkommen und dem umgebenden Kraftfahrzeugverkehr
- Aufbau von Interaktionsmodellen für Fußgänger-Kraftfahrzeug Wechselwirkungen basierend auf den vorliegenden empirischen Daten
- Erforschung eines Algorithmus zur Ermittlung der Einflusszonen von Fußgänger(-gruppen) auf den Straßenverkehr

6.2 Umfeldmodellierung

6.2.1 Identifikationsmerkmale des Szenarios

Das Kreuzungsszenario ist definiert durch eine Kombination aus straßenbaulichen Gegebenheiten und einer Konstellation von Verkehrsteilnehmern. Durch die Verkehrsteilnehmer ergeben sich abhängig von deren Zustand (Position, Spurwahl, etc.) unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten für das betrachtete Fahrzeug. Die im Folgenden beschriebenen Zusammenhänge sind in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

Straßenbauliche Gegebenheiten

Zur Einschränkung der Komplexität des Szenarios wird auf verschiedene Konstellationen von straßenbaulichen Gegebenheiten an dieser Stelle verzichtet. Gegeben ist eine Straße S1 mit zwei Fahrspuren je Richtung, wobei eine Geradeausfahrt auf beiden Spuren zulässig ist. Auf der rechten Seite der Straße besteht eine Verbindung mit Querstraße S2. An der Kreuzung zwischen S1 und S2 führt ein Fußgängerüberweg über die Straße S2 (FÜW, durch einen Zebrastreifen dargestellt). Parallel zu S1 verläuft ein Fußgängerweg FW1, der Straße S2 am FÜW überquert. Die Kreuzung ist durch Vorfahrtsregeln oder Lichtsignale für Fußgänger sowie Fahrzeuge geregelt (siehe Abbildung 5).

6.2.2 Konstellation Verkehrsteilnehmer

Zur Beschreibung der Verkehrsteilnehmerkonstellation, welche auch das Eigenfahrzeug beinhaltet, werden eine Aktivierungsdistanz und drei Zonen A, B und C definiert (in Abbildung 4 in gelb, rot und blau dargestellt). Die Aktivierungsdistanz legt fest, in welcher Entfernung zur Einmündung von S2 begonnen wird, die Szenerie hinsichtlich der notwendigen Verkehrsteilnehmerkonstellation zu bewerten.

Zone A ist in die linke Fahrspur einbeschrieben und umfasst den Bereich, der für einen möglichen Spurwechsel zu berücksichtigen ist. Zone B ist in die rechte Fahrspur einbe-

schrieben und erstreckt sich vom Eigenfahrzeug über die Länge der Aktivierungsdis-
tanz. Zone C befindet sich neben der rechten Fahrspur und erfasst den Fußgängerweg.
Die Breite der Zonen ist durch die Fahrbahnränder und auf der anderen Seite durch den
Fußgängerwahrnehmungsbereich der Fahrzeug-Sensorik festgelegt.
Für das Szenario relevante Objekte sind Fahrzeuge in den Zonen A und B, sowie Fuß-
gänger in der Zone C.

6.2.3 Problemstellung

- Die Kreuzung soll möglichst Zeit- und Energieeffizient durchfahren werden.
- Teilmenge an möglichen Konstellationen
- Freie Fahrt – Keine Verlangsamung in Längsrichtung des Eigenfahrzeugs:
- Keine Spurwechsel notwendig
- Eigenfahrzeug befindet sich auf rechter Geradeaus-Spur, durch FÜW blockiertes Fahrzeug voraus, Spurwechsel möglich
- Verzögerte Fahrt – Verlangsamung des Eigenfahrzeugs in Längsrichtung:
- Eigenfahrzeug befindet sich auf rechter Geradeaus-Spur, Spurwechsel nicht möglich, abbiegendes Fahrzeug voraus, FÜW nicht blockiert
- Eigenfahrzeug befindet sich auf rechter Geradeaus-Spur, Spurwechsel durch dichten Verkehr nur nach Verlangsamung möglich, abbiegendes, durch FÜW blockiertes Fahrzeug voraus
- Eigenfahrzeug befindet sich auf rechter Geradeaus-Spur, eigener Fahrtwunsch ist abbiegen, FÜW nicht blockiert
- Eigenfahrzeug befindet sich auf linker Geradeaus-Spur, dichter Verkehr erfordert Verlangsamung des Fahrzeugs
- Unterbrochene Fahrt – Vollständiger Stopp des Eigenfahrzeugs:
- Eigenfahrzeug befindet sich auf rechter Geradeaus-Spur, kein Spurwechsel möglich, abbiegendes, durch FÜW blockiertes Fahrzeug voraus
- Eigenfahrzeug befindet sich auf rechter Geradeaus-Spur, eigener Fahrtwunsch ist abbiegen, FÜW blockiert

	Ego-Spur	Ego-Geschwindigkeit	Fahrzeuge voraus?	Geschwindigkeit rechts	Geschwindigkeit links	Blockade rechts	Abstand zur Blockade/zum vorausfahrenden Fahrzeug	Dauer der Blockade	Spurwechsel möglich
1 a	rechts	50km/h	nein	-	-	nein	-	-	ja
b	rechts	50km/h	ja	-	0 50km/h	ja	50m	10s	ja
2 a	rechts	50km/h	ja	10km/h	-	nein	25m	-	nein
b	rechts	50km/h	ja	10km/h	40km/h	ja	25m	-	ja
c	rechts	50km/h	nein	10km/h	-	nein	50m	-	nein
d	links	50km/h	ja	-	40km/h	-	15m	-	nein
3 a	rechts	50km/h	ja	-	0 -	ja	50m	10s	nein
b	rechts	50km/h	nein	-	0 -	ja (abbiegen)	40m	5s	nein

Tabelle 2: Exemplarisch gewählte Variablen zu den oben genannten Konstellationen (blau: variabel)

6.2.4 Abgeleitete Handlungsempfehlung

Abhängig von der gegebenen Konstellation der Verkehrsteilnehmer wird eine Aktions-
empfehlung erzeugt.

Beispiel (vgl. Tabelle 2, Bsp. 1b): Unterschreitet das Egofahrzeug die Aktivierungsdis-
tanz des Kreuzungsszenarios, wird in Zone B ein deutlich verzögerndes vorausfahren-
des Fahrzeug und in Zone C ein erhöhtes Fußgängeraufkommen detektiert, so wird un-
ter Einhaltung der gesetzlichen Mindestabstände¹ zu vorausfahrendem und nachfol-

¹ Innerorts: drei Fahrzeuglängen; Außerorts: Sicherheitsabstand = halber Tachowert

gendem Verkehr ein Spurwechsel auf die linke Fahrspur empfohlen, da dies zu einer günstigen Energiebewertung führt (siehe Abbildung 5 und 6).

6.2.5 Abschließende Bemerkung

Damit das beschriebene Szenario auch über EFA 2014, 1. Phase AP 4.5, eine Anwendbarkeit hinaus ermöglicht, wurden in dem Szenario u.a. auch Lichtzeichen beschrieben. Diese werden in einer ersten Betrachtung möglicher Konstellationen nicht näher berücksichtigt, allerdings könnten durch deren Betrachtung die erzielten Ergebnisse in gewissen Situationen maßgeblich gesteigert werden.

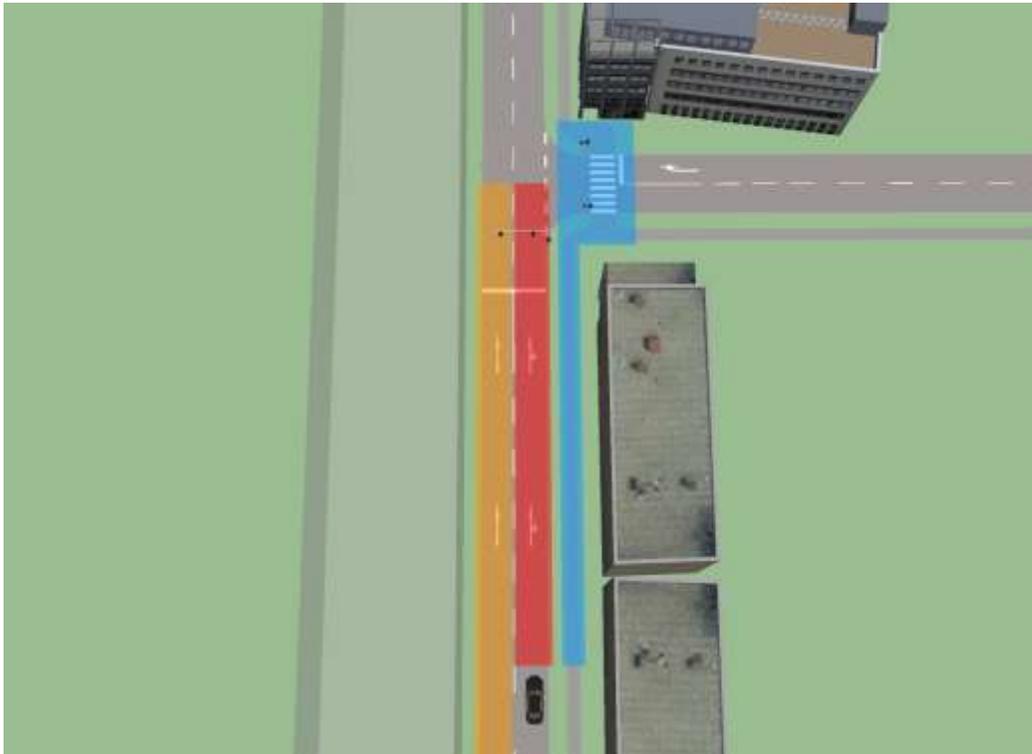


Abbildung 4: Schematische Darstellung Kreuzungsszenario, mit Aktivierungszonen



Abbildung 5: Exemplarisch gewählte Konstellation; links: Eigenfahrzeug; rechts: relevante Kreuzung; Zeitpunkt t=0



Abbildung 6: Exemplarisch gewählte Konstellation; links: Eigenfahrzeug; rechts: relevante Kreuzung; Zeitpunkt $t=1$, nach Handlungsempfehlung „Spurwechsel links“

6.3 Situationsanalyse

6.3.1 Schnittstellendefinition Partner-Datenaustausch

Eine Schnittstellenspezifikation wurde zusammen mit den TempSit - Partnern (AP 4.5) erstellt. Die CSEI-Komponente liefert für einen Fußgängerüberweg eine Prognose wie lange und mit welcher Wahrscheinlichkeit der Fußgängerüberweg für Fahrzeuge blockiert sein wird (Abbildung 7).

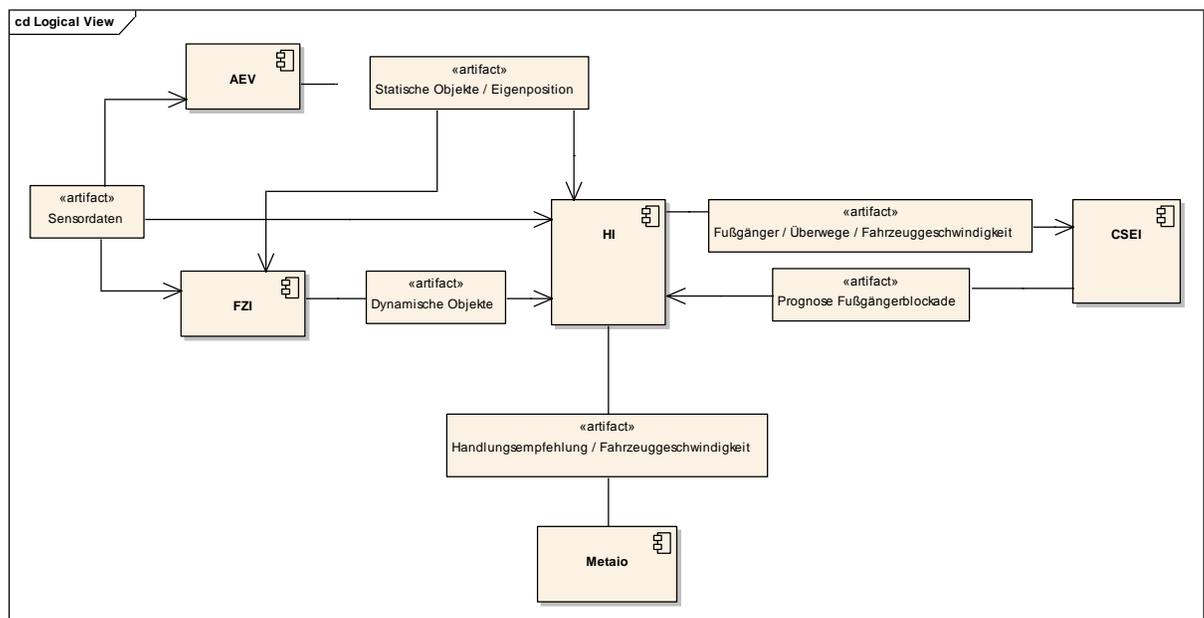


Abbildung 7: Systemüberblick aus der mit den TempSit - Partnern erarbeiteten Schnittstellenspezifikation

Sowohl die Eingangsdaten, als auch die Ausgabewerte der Komponente werden von der HI-Komponente bereitgestellt beziehungsweise verarbeitet. Zur Kommunikation werden die zuvor definierten Datenstrukturen verwendet.

Die Eingangsdaten stellen einen voraus liegenden Fußgängerüberweg sowie die im Fahrzeugumfeld detektierten Fußgänger dar. Die Fußgänger werden als dynamische

Objekte übergeben. Das Berechnungsergebnis wird in Form eines Fußgängerüberweg-Blockade-Objektes zurück gegeben.

Name:	Dynamisches Objekt Fußgänger	
Attribute:	unsigned int Id	Eindeutige Identifikationsnummer des Objekts
	tGaussKruegerFG	Mittelpunkt des dyn. Objekts in Gauß-Krüger-Koordinaten
	tBetrag_FG_V	Betrag der EigenGeschwindigkeit des dyn. Objekts
	double Confidence	Güte des dyn. Objekts, basierend auf Track-Existenzwahrscheinlichkeit [0 ... 1]
	int State_id	Objektzustand (?)

Tabelle 3: Dynamisches Objekt Fußgänger (FG)

Name:	FUW-Blockade	
Attribute:	Fußgaengerueberweg FUW	Fahrstreifen des Fußgängerüberwegs auf den sich die Prognose bezieht
	int BlockadeDauer	Dauer für die der Fußgängerüberweg blockiert sein wird
	int BlockadeWahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit mit der der Fußgängerüberweg blockiert sein wird
Bemerkung:	Fußgängerüberwegblockade bezogen auf den Fahrstreifen	

Tabelle 4: Objekt Fußgängerüberwegsblockade (FUW)

Sowohl die Eingangsdaten, als auch die Ausgabewerte der Komponente werden von der HI-Komponente bereitgestellt beziehungsweise verarbeitet. Zur Kommunikation werden die zuvor definierten Datenstrukturen verwendet (Tabelle 3).

Die Eingangsdaten stellen einen voraus liegenden Fußgängerüberweg sowie die im Fahrzeugumfeld detektierten Fußgänger dar. Die Fußgänger werden als dynamische Objekte übergeben. Das Berechnungsergebnis wird in Form eines Fußgängerüberweg-Blockade-Objektes zurück gegeben (Tabelle 4).

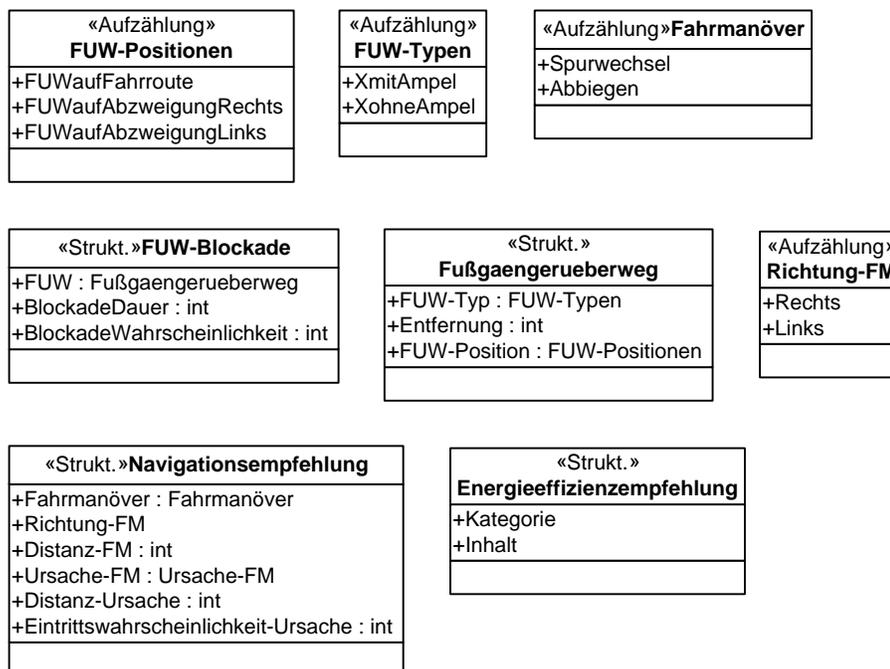




Abbildung 9: UML-Diagramme der Schnittstellen HI- und CSEI-Komponente

6.3.2 Aufnahmekampagne für Fußgänger und Fahrzeugverkehr

Einen Einblick in die Vorbereitungstests zu den empirischen Untersuchungen eines Fußgängerüberwegs geben die folgenden Abbildungen 10 und 11.

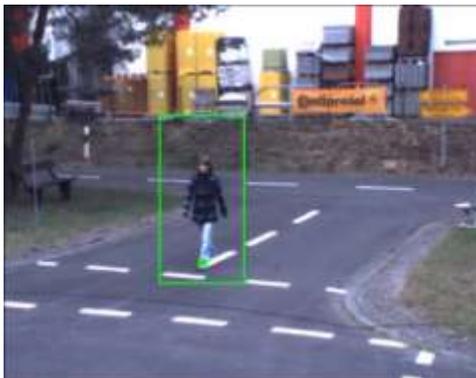


Abbildung 10: Geplante Überwachung eines öffentlichen Fußgängerüberwegs mit Laserscannern und Kamera

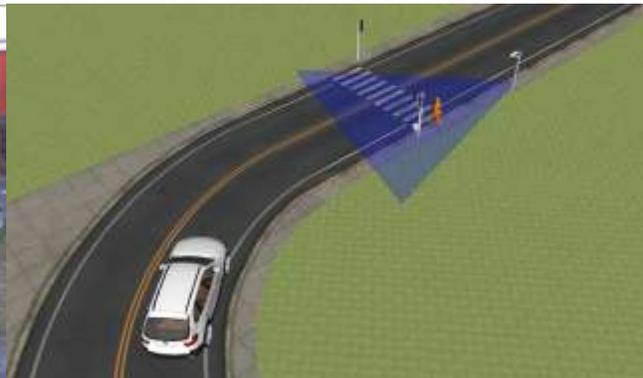


Abbildung 11: Vorbereitungstests zur Überwachung des Fußgängerüberwegs

Eine Aufnahmekampagne auf öffentlichem Gelände wurde vor einer Schule in Alzenau an einem Fußgängerüberweg durchgeführt. Die Sensorik (Abbildung 12) wurde dafür für mehrere Tage aufgebaut. Daten von Fußgängern und der Fahrzeugverkehr konnten damit erfasst, aufgezeichnet und später ausgewertet werden.

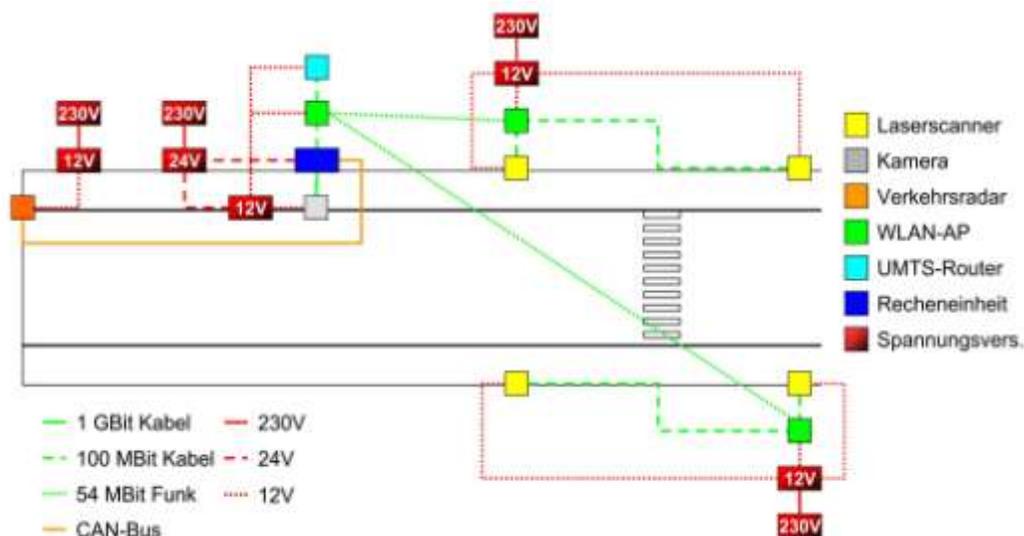


Abbildung 12: Aufbau der Überwachung eines öffentlichen Fußgängerüberwegs mit Laserscannern und Kamera

6.3.3 Ermittlung des physiologischen Bewegungsspielraums

Für eine Prädiktion der Fußgängerbewegung und damit auch der Einflüsse auf den Straßenverkehr ist eine genaue Kenntnis des physiologischen Bewegungsspielraums notwendig.

Zur Ermittlung des realen Bewegungsraums wurden die in Abbildung 13 dargestellten empirischen Untersuchungen der Bewegungsfähigkeit von Fußgängern unter Laborbedingungen (Sporthalle) durchgeführt.

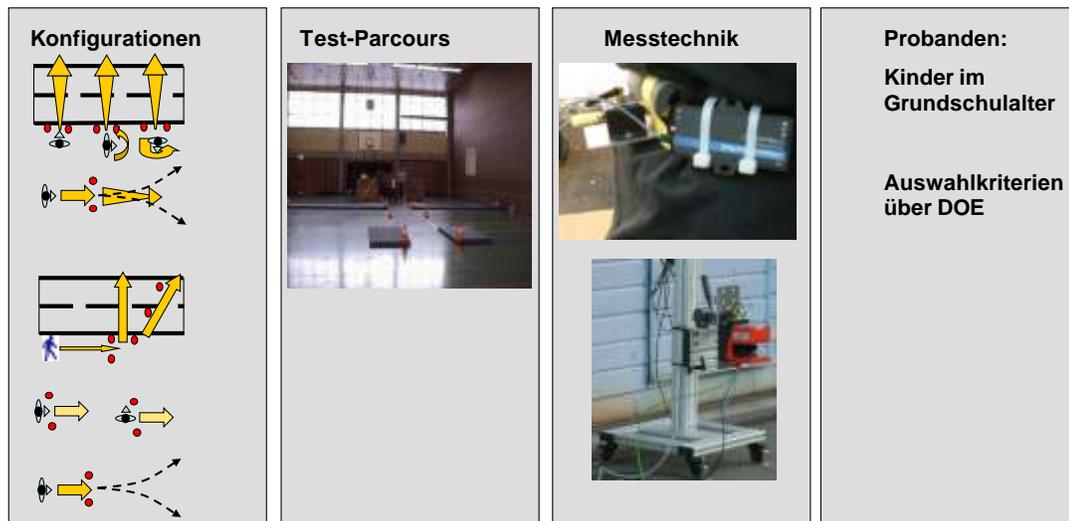


Abbildung 13: Schema der empirischen Bewegungsuntersuchungen

Ausgehend von verschiedenen Vorgaben für real auftretende Fußgängertrajektorien wurden die Bewegungen einer Vielzahl von Probanden über Raum und Zeit aufgezeichnet. Das Ergebnis findet sich in der unteren Grafik (Abbildung 14) wieder. Hier sind die physiologisch möglichen Fortbewegungen in Zeitschritten unter verschiedenen Randbedingungen dargestellt. Ganz links steht der Fußgänger noch, hat aber bereits eine Vorzugsrichtung. Dies beschränkt seine physiologische Bewegungsfähigkeit wie mit den blauen Kurven dargestellt. Erhöht sich die Eigengeschwindigkeit des Fußgängers, so ergibt sich jeweils ein anderes Bild für die mögliche Bewegung.

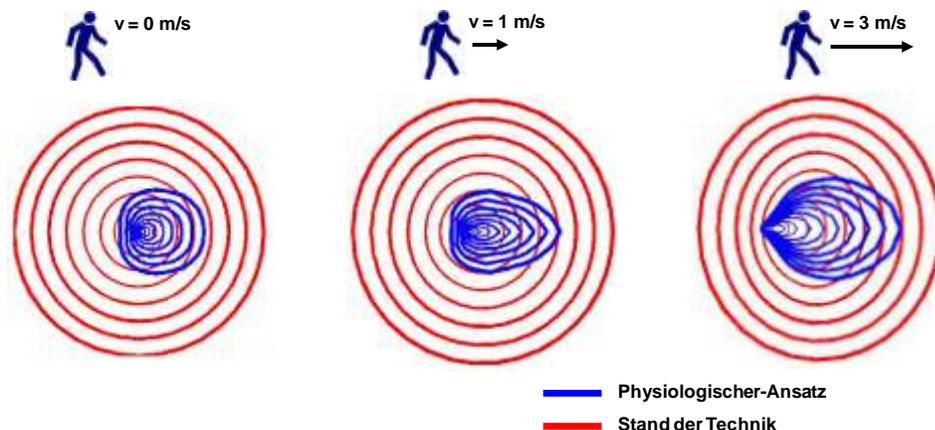


Abbildung 14: Ergebnis der empirischen Bewegungsuntersuchungen

Auf Basis eines einspurigen Fahrdynamikmodells für die Längs- und Querdynamik sowie eines Fußgängerbewegungsmodells konnte ein erstes Blockade-Risikomodell aufgebaut werden (Abbildung 15).

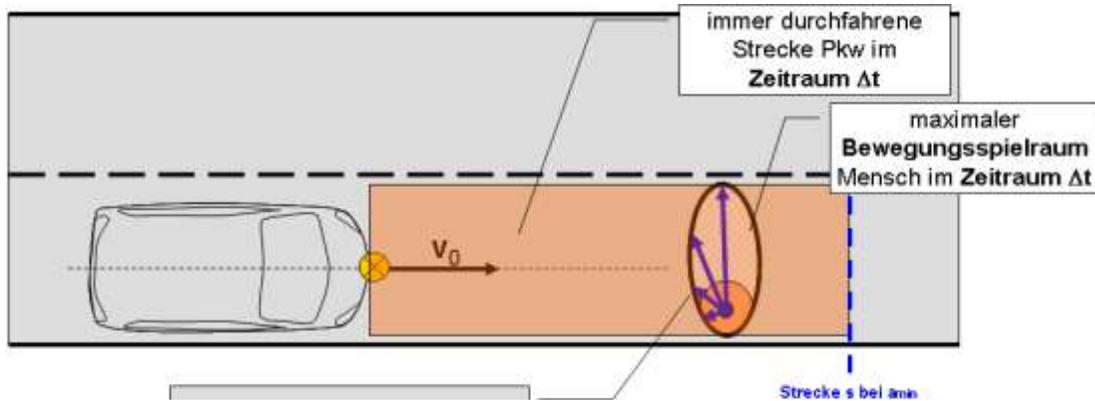


Abbildung 15: Auslöseprinzip auf Bewegungmodellbasis

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.

Über die in Abbildung 16 verdeutlichten Schritte kann eine Bewegung des Fußgängers mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Zeitbereich präzisiert werden.

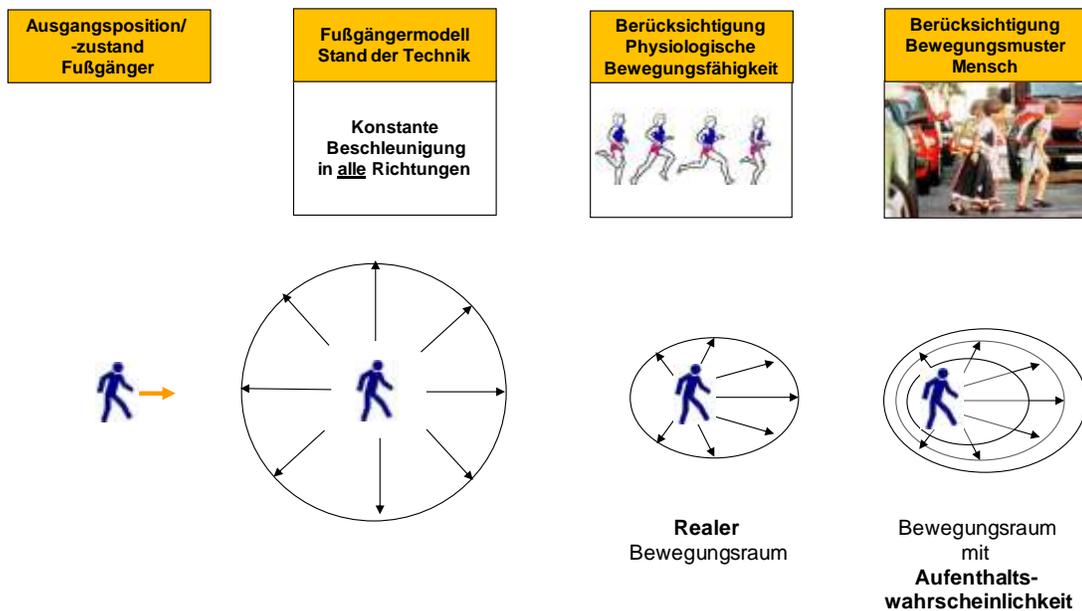
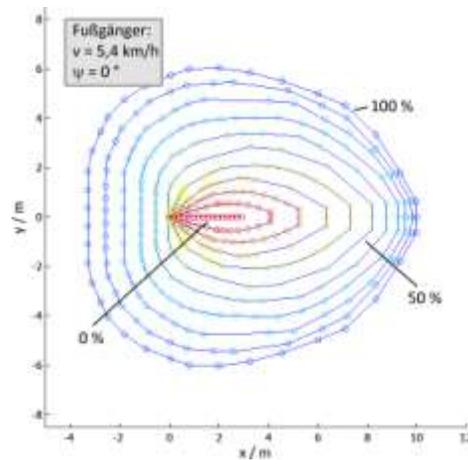


Abbildung 16: Methode zur verbesserten Prädiktion der Fußgängerbewegung

6.3.4 Bewegungsspielraum-Erweiterung über Weighted Nodes Ansatz

Erweiterung des physiologischen Bewegungsspielraums durch den Weighted Nodes (WN) Ansatz. Für eine Prädiktion der Fußgänerbewegung und damit auch der Einflüsse auf den Straßenverkehr, ist zum einen eine genaue Kenntnis des physiologischen Bewegungsspielraums, aber zum anderen auch die Berücksichtigung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten notwendig.

Das Ziel des WN-Ansatzes eine realistische und plausible Positionsverteilung zu erzeugen und dabei dennoch eine möglichst hohe Performanz zu bieten. Da das WN-Modell Ansätze verwendet, die nicht auf Trajektorien basieren benötigt es deutlich weniger Rechenzeit. Der maximale Bewegungsspielraum des Fußgängers wird allerdings nicht mit einer umschließenden Hüllkurve als Fläche modelliert, sondern durch sogenannte gewichtete Knotenpunkte (Weighted Nodes), die mit einem äquidistantem Abstand innerhalb der gesamten Bewegungsfläche verteilt werden. Um eine realistische Gewichtung erzielen zu können, wird das Bewegungsvermögen des Fußgängers Schritt für Schritt erhöht und dabei die Wahrscheinlichkeit verringert. Die größte Wahrscheinlichkeit erhält also die Strecke, die mit der aktuellen Geschwindigkeit und Orientierung zurückgelegt werden kann. Die zweithöchste Wahrscheinlichkeit wird dem Bereich zugewiesen, der unter Ausnutzung von 10% des maximalen Bewegungsvermögens erreicht werden kann, und so weiter. Mit Hilfe der so erzeugten Stützpunkte kann das Gewicht für die äquidistant verteilten Punkte durch Interpolation bestimmt werden. Das Bild rechts zeigt die Stützpunkte auf Basis unterschiedlicher Ausnutzung des Bewegungsvermögens.



Über die in der Abbildung 16 verdeutlichten Schritte kann eine Bewegung des Fußgängers mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit für einen bestimmten Zeitbereich präzisiert werden. Weighted Nodes für unterschiedlichen Ausgangsgeschwindigkeiten und eine Zeitspanne von zwei Sekunden verdeutlicht die Abbildung 17 unten.

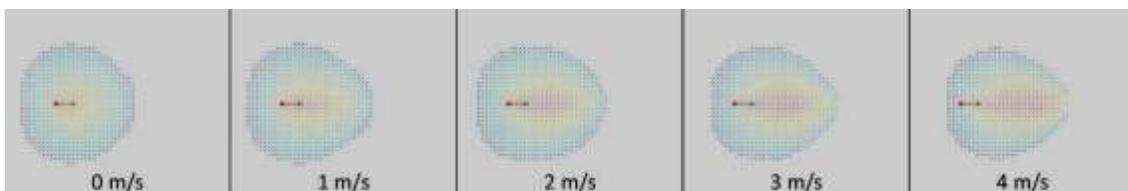


Abbildung 17: Weighted Nodes Plots mit unterschiedlichen Ausgangsgeschwindigkeiten

6.3.5 Fußgängerpräsenklassen

Welche Auswirkungen die Präsenz von Fußgängern an verschiedenen Positionen auf der Straße hat, wird durch die Einteilung in 12 Klassen (siehe auch Abbildung 18) mit jeweils eigener Gewichtung ermittelt. Je nach Fußgängerpräsenklasse ergibt sich eine stärkere oder geringere Verzögerung des Fahrzeugs in der Nähe von Fußgängern. Z.B. bei einer Überquerung mit oder ohne Überweg wird das Fahrzeug teilweise bis zum Stillstand verzögert. Bei Fußgängern die entlang der Straße oder auf dem Gehweg laufen werden

meist nur geringe Verzögerungen registriert. Diese und aus noch weiteren Fahrversuchen gewonnen Ergebnisse fließen in den Algorithmus der Einflusszonen ein.

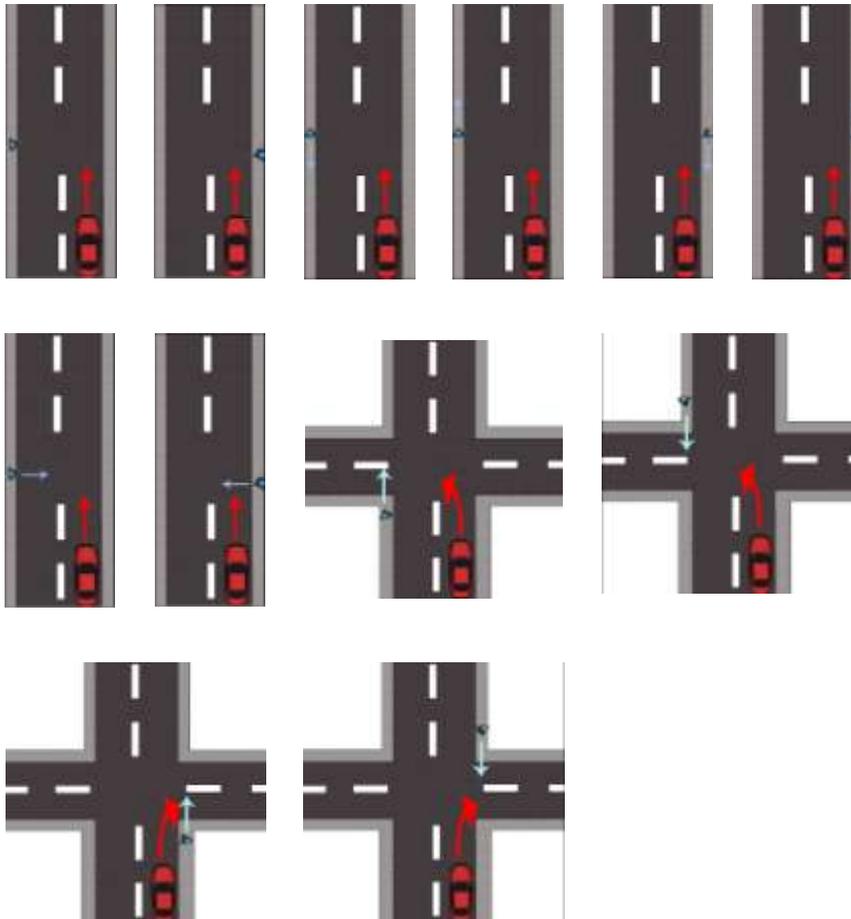


Abbildung 18: Fußgängerpräsenzklassen auf Basis von Verkehrssituationen

In einer weitergehenden Auswertung die Auswirkungen die die Präsenz von Fußgängern an verschiedenen Positionen auf der Straße hat ermittelt (Abbildung 19). Die grüne Kurve zeigt an den blauen Punkten jeweils die Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h an. Dabei wird die jeweilige Fußgängerpräsenz in vier Klassen zusammengefasst und durch die unteren roten Punkte angezeigt. Die von ursprünglich 12 auf 4 zusammengefassten Klassen setzen sich wie folgt zusammen:

- 1 Fußgänger, Überquerung ohne Überweg
- 2 Fußgänger, Überquerung mit Überweg
- 3 Fußgänger, Bewegung auf Straße, keine Überquerung
- 4 Fußgänger Gehsteig

Für die in Abbildung 19 gezeigten Fahrzeuggeschwindigkeiten wurden insgesamt 6 Fahrten mit einer Dauer von jeweils 45 Minuten ausgewertet. Dabei gab es an vorher festgelegten Positionen gezielte Fußgängerchoreographien. Je nach Fußgängerpräsenzkategorie ergibt sich eine stärkere oder geringere Verzögerung des Fahrzeugs in der Nähe von Fußgängern. Z.B. bei einer Überquerung mit oder ohne Überweg (Kategorie 1+2) wird das Fahrzeug teilweise bis zum Stillstand verzögert. Bei Fußgängern die ent-

lang der Straße oder auf dem Gehweg laufen (Klasse 3+4) werden meist nur geringe Verzögerungen um 5 bis 15km/h registriert. Diese empirisch ermittelten Ergebnisse gehen in den Algorithmus der Einflusszonen mit ein.

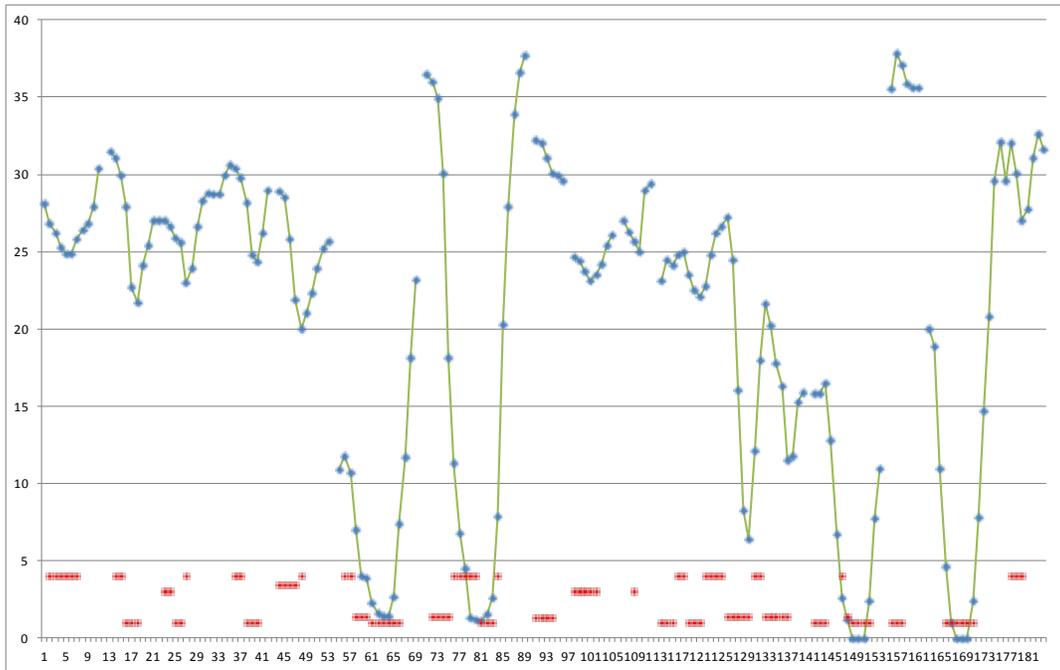


Abbildung 19: Diagramm Fahrzeuggeschwindigkeitsverlauf über Fußgängerpräsenzklassen

6.4 Präsentation der Forschungsergebnisse

Im Rahmen der Abschlusspräsentation der 1. Phase des Projekts bei BMW in Garching bei München wurden die folgenden Inhalte in Form eines Posters vorgestellt:

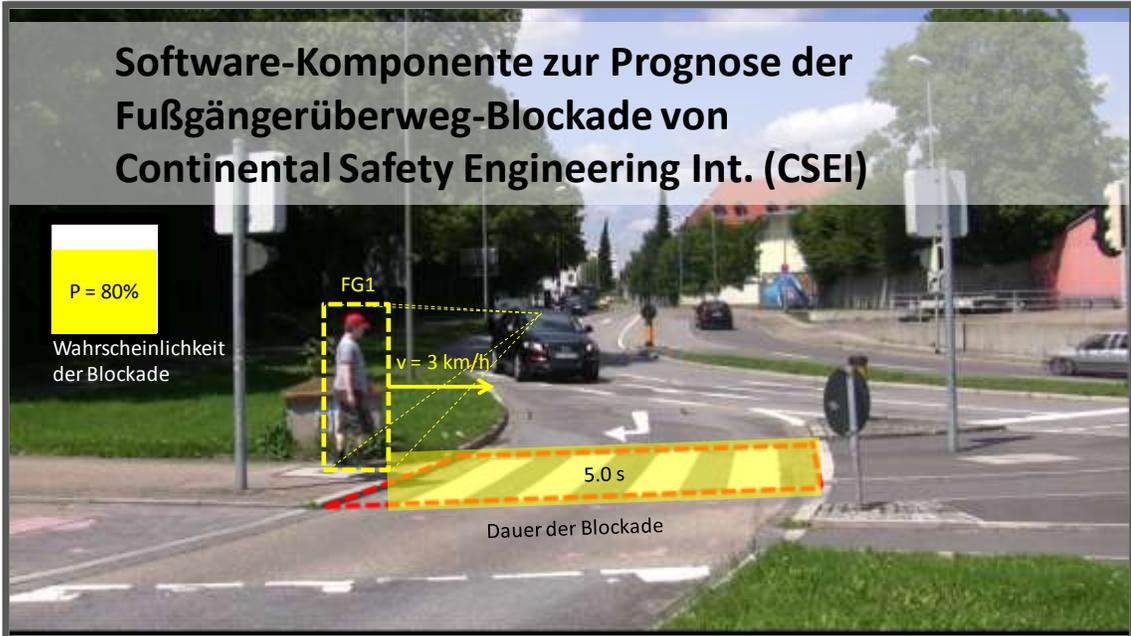


Abbildung 20: Fahrzeugdemonstration mit Fußgängerdummy

- Funktion:** Kurzfristige Prognose der Blockade einer Fahrspur durch Fußgänger
- Zweck:** Energieeffizienteres Micro-Routing im Stadtbereich, z.B. Spurwechsel-Empfehlung vor einer Kreuzung
- Input:** Fußgängerüberweg (globale Position, Größe, Typ), Liste aller erkannten Fußgänger in der Nähe (ID, Position, Eigengeschwindigkeit)
- Output:** Zeitlicher Verlauf der Wahrscheinlichkeit P der prognostizierten Fahrspurblockade innerhalb des Prognose-Zeithorizonts (5 Sek)
- Beispiel:*

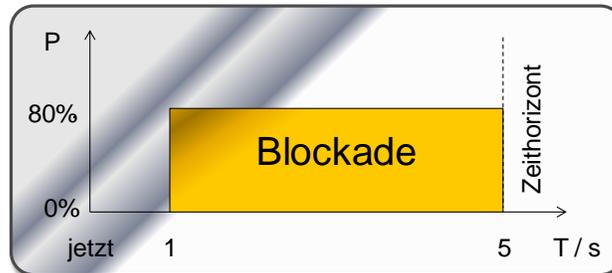


Abbildung 20: Blockade-Wahrscheinlichkeit über Zeit

Funktionsweise: Das der Funktion zugrundeliegende physiologische Bewegungsmodell eines Menschen, sowie empirische Daten über das Fußgängerverhalten im realen Straßenverkehr, ermöglicht – ausgehend von der aktuellen Position und der Laufgeschwindigkeit – die Berechnung der FG-Aufenthaltspositionsichte für ein Prognosezeitintervall. Die anschließende Integration über dem Überweg-Rechteck ergibt die gesuchte Wahrscheinlichkeit der Fahrspurblockade durch Fußgänger.

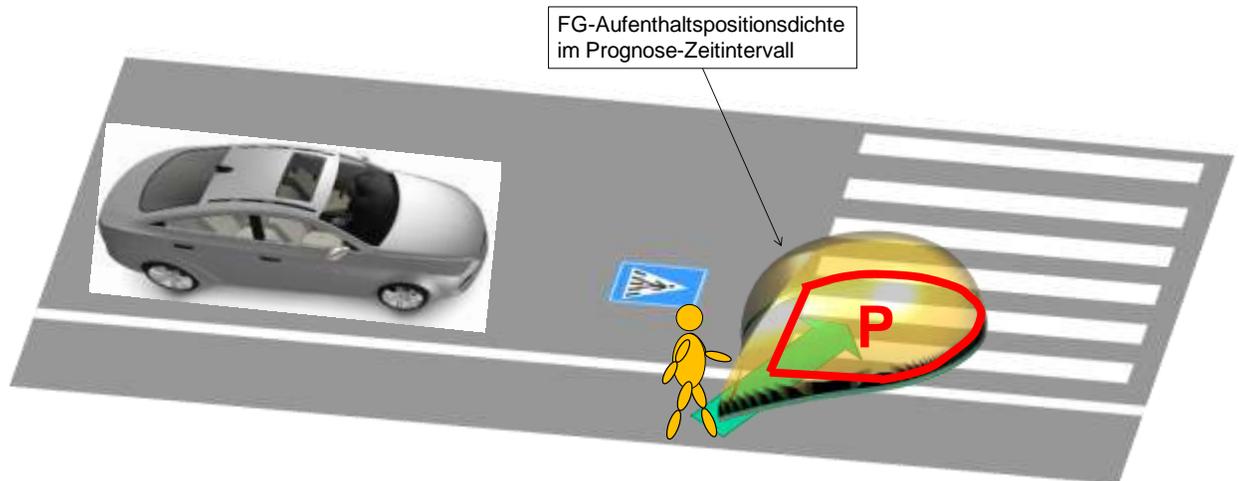


Abbildung 21: Schematische Darstellung der FG-Aufenthaltspositionsichte

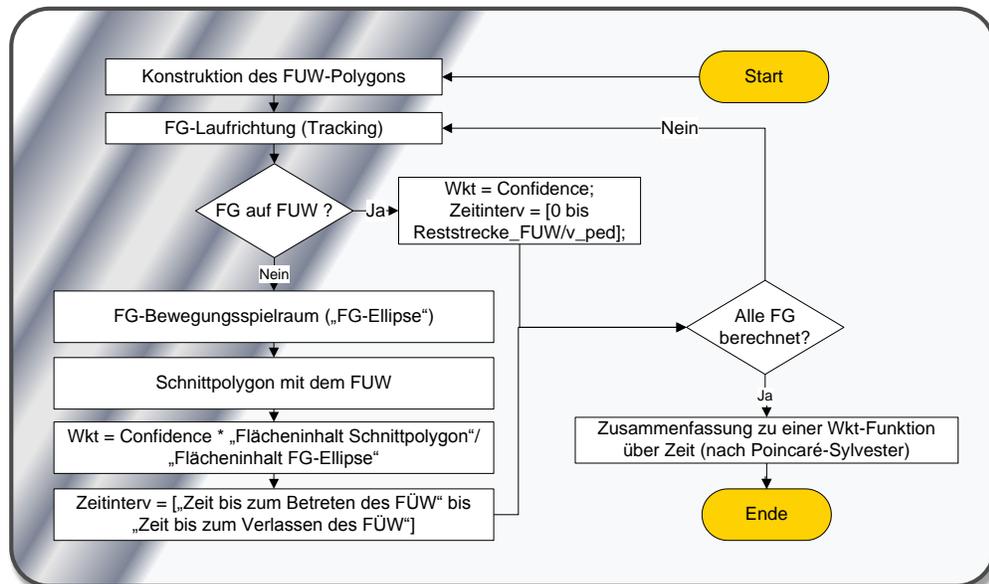


Abbildung 22: Ablaufdiagramm der Blockadeberechnung

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Verbundprojekt: EFA 2014, Energieeffizientes Fahren 2014 Teilvorhaben: Temporal-Situatives Umfeldmodell (TempSit) Erforschung der Einflüsse des Fußgängeraufkommens auf den Verkehrsfluss	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Vetter, Johannes	5. Abschlussdatum des Vorhabens August 2011
	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 13N10132
	11. Seitenzahl 21
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben keine
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 22
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Die Basis für eine leistungsfähige Fahrerassistenz ist die Erzeugung und Auswertung eines konsistenten Umfeldmodells, gestützt durch die Informationen und Daten der fahrzeugübergreifend zur Verfügung stehenden Sensorik und der Telematikdienste. Die darauf aufsetzende Situationsanalyse erlaubt es, verschiedenartige Anwendungen für das Automobil abzuleiten. Eine wichtige Anwendung dafür ist die Navigation. Diese Assistenzfunktion ist vor allem zur Planung und Präsentation lokaler Fahrmanöver auf exakte Umfeldinformationen angewiesen. Durch die Verbesserung der Navigationsassistenz im Automobil lässt sich einerseits die Sicherheit erhöhen und andererseits Energie einsparen. Fahrzeuge können mit Hilfe der im temporal-situativen Umfeld entwickelten Algorithmen Informationen über das Fahrumfeld sammeln und entsprechend reagieren. Daraus kann dann eine Prognose über die bevorstehende Fahrsituation entwickelt werden, auf die sich z.B. das Energiemanagement optimal einstellt. Aus den Daten von Kameras, Radarsensoren und Navigationskarten wird das Verhalten von Fußgängern ermittelt. Daraus leitet das System eine effiziente Betriebsstrategie ab und gibt dem Fahrer zudem über neuartige Anzeigesysteme auch Tipps für eine energiesparende Fahrweise.	
19. Schlagwörter Navigation, Mikro-Routing, C2C-Kommunikation, Fahrerassistenz, Telematik, Energiemanagement	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Research initiative: EFA 2014, Energy-efficient driving 2014 Subprojekt: temporal-situative surrounding field model Research to the influence of pedestrian extent on traffic flow	
4. author(s) (family name, first name(s)) Vetter, Johannes	5. end of project August 2011
	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. 13N10132
	11. no. of pages 21
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references none
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 22
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract The basis for powerful driver assistance is the generation and evaluation of a consistent environment model, supported by the information and data of the vehicle across the available sensors and telematics services. The situation analysis allows deriving a variety of applications for the automobile. An important application of this is the navigation. This assistance function is dependent primarily on the planning and presentation of local maneuvers on accurate environmental information. By improving the navigation assistance in cars the security and the energy saving can be increased simultaneously. Vehicles using the temporal-situational environment developed algorithms are able to collect information about the driving environment and react accordingly. On this, a prediction about the upcoming driving conditions can be developed, which optimally adjusts the energy management. From the data of cameras, radar sensors and navigation maps the behavior of pedestrians is determined. From this, the system derives an efficient operating strategy and gives the driver tips for energy-saving driving style on advanced display systems.	
19. keywords Navigation, micro routing, C2C-Communication, driver assistance systems, telematics, energy management	
20. publisher	21. price