



Forschungsinitiative Ko-FAS

Verbundprojekt Ko-PER
Kooperative Perzeption

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**

Laufzeit:

01.10.2009 – 30.11.2013

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 19S9022I gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Alzenau, 10.07.2014

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	6
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	8
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	9
3.1	Organisation	9
3.2	Projektstruktur mit Zeitplanung.....	9
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	16
5	Erzielte Ergebnisse	18
5.1	AP 2.100 Projekt Management	18
5.2	AP 2.210 Anforderungen und Spezifikationen.....	19
5.3	AP 2.220 Spezifikation der Hardware-Ausstattung von Musterkreuzungen.....	19
5.4	AP 2.250 Aufbau und Betrieb generische Testkreuzung	20
5.5	AP 2.420 Ausstattung mit Sensorik und Kommunikationseinheiten.....	28
5.6	AP 2.430 Inbetriebnahme und Verifikation (HW-Einzelmodule).....	33
5.7	AP 2.440 Validierung der Zeitstempelung von Sensordaten	35
5.8	AP 2.510 Systemanforderungen und Spezifikation der Fahrzeugperzeption.....	39
5.9	AP 2.580 Test und Evaluierung der fahrzeuglokalen Perzeption.....	39
5.10	AP 2.610 Systemanforderungen und Spezifikation der Fahrzeug-Eigenlok.....	41
5.11	AP 2.670 Ko-TAG Kreuzungsortungssystem	41
5.12	AP 2.840 Test- und Evaluierungsplan.....	45
5.13	AP 2.a20 Spezifikation der Beispielapplikationen für Kreuzungsanwendungen.....	48
5.14	AP 2.b10 Testplan ausgewählter Funktionen	50
5.15	AP 2.b20 Testinfrastruktur in Funktion	51
5.16	AP 2.c20 Projekthalbzeitpräsentation.....	53
5.17	AP 2.c30 Projektabschlusspräsentation	55
6	Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse	58
7	Veröffentlichungen	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufbau und Betrieb von Musterkreuzungen	10
Tabelle 2: Kreuzungserkennung (Algorithmen und Software-Implementierung)	10
Tabelle 3: Aufbau von Versuchsfahrzeugen	11
Tabelle 4: Fahrzeuglokale Perzeption und Sensordatenfusion	11
Tabelle 5: Fahrzeug-Eigenlokalisierung	12
Tabelle 6: V2V und I2V Kommunikation	13
Tabelle 7: Fahrzeugübergreifende Sensordatenfusion	13
Tabelle 8: Mensch-Maschine Interaktion	14
Tabelle 9: Beispielapplikationen zu bestimmten Situationen/Fahraufgaben	14
Tabelle 10: Applikationstest und -evaluierung	14
Tabelle 11: Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit	15
Tabelle 12: Ko-PER Poster mit CSEI-Beteiligung	56
Tabelle 13: Fahraktive Demonstration mit CSEI-Beteiligung	56
Tabelle 14: Bildschirmpräsentation mit CSEI-Beteiligung, die bei der Abschlusspräsentation im Pavillon bzw. im Foyer der Hochschule gezeigt wurde.	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: CSEI Versuchsträger an der öffentlichen Kreuzung (MK08b).....	18
Abbildung 2: CSEI Versuchsträger an der öffentlichen Kreuzung (MK91).....	19
Abbildung 3: Generische Kreuzung in Alzenau mit Sensorportal.....	20
Abbildung 4: Aufbau der Kreuzungsperzeption im Conti-Safety-Park.....	21
Abbildung 5: Verkabelungsschema der Kreuzungsperzeption	22
Abbildung 6: Generische Kreuzung mit Sensorportal und MKR	23
Abbildung 7: Blick in den mobilen Kontrollraum (MKR)	23
Abbildung 8: Detektionspunkte eines Laserscanners (LSx).....	23
Abbildung 9: Bilder der 5 Standardkameras (SK1 bis SK5).....	24
Abbildung 10: Bild der hochauflösenden Kamera (HK2).....	25
Abbildung 11: Kalibrierobjekt für Laserscanner und Kamera	25
Abbildung 12: Lageplan der Kommunikationsreichweiten-Messungen	26
Abbildung 13: Diagramm der gemessenen Kommunikationsreichweiten	26
Abbildung 14: Ko-TAG v1.0, Anschlüsse TX (links), Power (Mitte unten), RX (rechts).....	27
Abbildung 15: CCU mit Antennen und Kabel bei der Erstinbetriebnahme	28
Abbildung 16: Versuchsfahrzeug mit Einbauten und Vernetzung	28
Abbildung 17: Versuchsträger mit ansteuerbarem Bremsbooster.....	29
Abbildung 18: Diagramm mit Verlauf von Bremsdruck, Geschwindigkeit und Beschleunigung	29
Abbildung 19: Versuchsträger mit integrierten elektrischen Gurtstraffern.....	30
Abbildung 20: Fußgängerschutzsystem mit Transpondertechnologie	30
Abbildung 21: Sichtbereiche und Einbau des Radarsensors	31
Abbildung 22: Central Kommunikation Unit (CCU) im Versuchsträger integriert	31
Abbildung 23: Antennen auf dem Dach des Versuchsträgers	31
Abbildung 24: Überblick der Einbauten im Versuchsträger.....	32
Abbildung 25: Struktur der Steuerungssoftware	32
Abbildung 26: Targetpendel und Versuchsfahrzeug bei Sensor-Zeitsynchronisationstest	33
Abbildung 27: Aufbauschema der Zeitsynchronisations-Verifikation	34
Abbildung 28: Diagramm von Zeitsignal und Differenz	35
Abbildung 29: Aufbauplan Validierungstest Continental Safety Dynamic Area.....	37
Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung der Evaluationsergebnisse einer Sequenz	38
Abbildung 31: CSEI-Versuchsfahrzeug BMW 530xi	39
Abbildung 32: Target für den Längsverkehr, CSEI Testgelände Dynamic Aera	39
Abbildung 33: Target für den Querverkehr, CSEI Testgelände City	39
Abbildung 34: Funktionsprinzip Moving-Target-Device.....	40
Abbildung 35: Tabelle technische Daten Moving-Target-Device	40
Abbildung 36: Fußgängerdummy, CSEI Testgelände City	40
Abbildung 37: Funktionsprinzip der Trilaterion.....	41
Abbildung 38: Antenne der Onboard Einheit	42
Abbildung 39: Roadside-TAG mit Holzstativ	42
Abbildung 40: Arbeitsschritt Position calculation.....	42
Abbildung 41: Arbeitsschritt Preprocessing	42
Abbildung 42: Arbeitsschritt Filtering	43

Abbildung 43: Test-Setup in Aschaffenburg Nilkheim.....	43
Abbildung 44: Laterale, longitudinale und vertikale Abweichung der Ko-TAG 1.0 Eigenlokalisierung zum Referenzsystem	44
Abbildung 45: Abweichung der Orientierung der Ko-TAG 1.0 Eigenlokalisierung zum Referenzsystem [°]	44
Abbildung 46: Verfügbarkeit der Ko-TAG 1.0 Eigenlokalisierung in lateraler (links), longitudinaler (rechts) Richtung sowie der Orientierung (unten)	45
Abbildung 47: MK05 mit driveU und CSEI Versuchsträger im Autokino Aschheim.....	46
Abbildung 48: North-East-Plot kommunizierter Eigenpositionen.....	47
Abbildung 49: Beispiel eines Musterszenarios für die Kreuzungsanwendung	48
Abbildung 50: Funktionsszenario Rechtsabbiegen mit kreuzendem Fußgänger	49
Abbildung 51: Funktionsszenario Linkssabbiegen mit kreuzendem Fußgänger	49
Abbildung 52: Funktionsszenario Rechtsabbiegen mit kreuzendem Fußgänger	50
Abbildung 53: Querender Fußgänger an Kreuzung	51
Abbildung 54: Hinweis beim Rechtsabbiegen.....	52
Abbildung 55: Informationsfluss Infrastruktur zu Fahrzeug	52
Abbildung 56: Lageplan Projekthalbzeitpräsentation Continental Safety Test Area	53
Abbildung 57: Testkreuzung Alzenau	54
Abbildung 58: Sensoren	54
Abbildung 59: Sensor-Abdeckung	54
Abbildung 60: Kalibrierung.....	54
Abbildung 61: Testszenarien	54
Abbildung 62: Lageplan der Ko-FAS Projektabschlusspräsentation.....	55
Abbildung 63: Fahrdemo 3 (Team C).	56
Abbildung 64: Auszug aus der Bildschirmpräsentation zur Fahrdemo 3 „Abbiegen mit Weitblick“ (Team C) – Szenario-Darstellung.....	57
Abbildung 65: Auszug aus der Bildschirmpräsentation zur Fahrdemo 3 „Abbiegen mit Weitblick“ (Team C) – Funktions-Darstellung.	57

1 Aufgabenstellung

Im Teilprojekt Ko-PER, aus der Forschungsinitiative Ko-FAS, wird, gestützt auf fahrzeuglokale Sensorik und kurzreichweitige Kommunikation, ein konsistentes und möglichst vollständiges Gesamtbild des Fahrumfeldes insbesondere an Unfallschwerpunkten erstellt. Ergebnisse der fahrzeuglokalen und infrastrukture gebundenen sensorischen Wahrnehmung werden an andere Fahrzeuge kommuniziert und einer fahrzeugübergreifenden Sensordatenfusion unterworfen. Die mit der Kommunikation und Sensordatenfusion einhergehenden Latenzzeiten hierzu sollen so gering sein, dass die fusionierte Umfelderkennung sowohl zur Unfallvermeidung als auch zur Unfallfolgenminderung genutzt werden kann.

Demgemäß behandelt Ko-PER zum einen

- Szenarien, deren Gefährdungspotenzial sich auf einer Zeitskala oberhalb der menschlichen Reaktionszeit entschärfen lässt (Unfallvermeidung durch den Fahrer), und zum anderen
- Situationen, in denen die Reaktionszeit des Fahrers nicht mehr ausreicht um Unfall vermeidende bzw. Unfallfolgen mindernde Maßnahmen einzuleiten; in diesen Fällen sind autonome bzw. semiautonome Eingriffe in das Fahrgeschehen erforderlich (Unfallfolgenminderung bzw. autonome Unfallvermeidung).

Unter technischen Gesichtspunkten zielt das Projekt im Wesentlichen auf die Entwicklung der fahrzeugübergreifenden Wahrnehmungstechnologien und den Nachweis der grundlegenden Vorteile eines derartigen Ansatzes anhand von ausgewählten Schlüsselanwendungen.

Unter Nutzung verfügbarer Sensoren und Kommunikationseinheiten wird in Ko-PER durch Entwurf und Entwicklung geeigneter informationstechnologischer Ansätze gezeigt, dass die kollektive Wahrnehmung, d.h. die informationstechnisch systematische Integration der sensorischen Wahrnehmung von benachbarter Fahrzeugen und Infrastruktur geeignet ist

- die Konsistenz, Robustheit und Vollständigkeit der Umfelderkennung deutlich zu verbessern,
- verdeckungsbedingte Defizite zu beseitigen,
- die bei verfügbaren *off-the-shelf* Kommunikationseinheiten auftretenden Latenzzeiten deutlich zu verringern und
- durch explizite Berücksichtigung heterogener Sensor-Flottenausstattungen die effektive Marktdurchdringung und damit die funktionale Wirksamkeit zu erhöhen (es profitieren dabei insbesondere auch solche Fahrzeuge, die lediglich mit einer Kommunikationseinheit ausgerüstet sind).

Im Projekt soll keine neue Hardware entwickelt werden. Falls erforderlich erfolgt lediglich eine Anpassung der Firmware- und Konfigurationsspezifika verfügbarer Hardware.

Aufgrund der aus den Unfallstatistiken abgeleiteten hohen Relevanz, fokussiert das Projekt auf die beiden Anwendungsbereiche Kreuzung und Folgefahren.

Das Projekt Ko-PER wird innerhalb der Firma Continental von dem Geschäftsbereich "Product Validation & Integration" der „Continental Safety Engineering International GmbH“ (CSEI) im Bereich Fahrzeugsicherheit geleitet. Für die Bearbeitung von Themen im Bereich Kommunikationstechnologie werden weitere Experten hinzugezogen. Zur Harmonisierung der Aktivitäten mit dem Parallelprojekt SIM-TD werden regelmäßige Abstimmungen mit den SIM-TD Koordinatoren innerhalb von Continental durchgeführt.

CSEI konzentriert seine Aktivitäten innerhalb des Projektes Ko-PER auf die Applikation Kreuzung. Der Schwerpunkt liegt im Bereich der Erforschung von Methoden zum Schutz besonders gefährdeter Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer. Darüber hinaus wird Continental die Evaluierung der Kreuzungsapplikationen wesentlich unterstützen.

Im Bereich Kreuzungsapplikation wird sich CSEI bei der Konzipierung der Perzeptionsarchitektur, der Auswahl und Ausstattung von Sensorkomponenten und der Ausstattung der Musterkreuzung beteiligen. Die Daten aus dem Perzeptionssystem der Kreuzung werden von CSEI zur Erkennung von Fußgängern und deren Zustandsgrößen herangezogen. Auf Basis der erfassten Zustandsgrößen werden innovative Algorithmen zur Intentionserkennung der Fußgänger im Kreuzungsbereich erforscht. Diese Forschungsarbeiten erfolgen in enger Zusammenarbeit mit der Hochschule Aschaffenburg.

Wesentliche Forschungsarbeiten werden durch systematische Testkampagnen an einer generischen Kreuzung begleitet. CSEI wird die Konzipierung, den Aufbau und den Betrieb dieser Kreuzung federführend vorantreiben. An der generischen Kreuzung werden verschiedene Sensorarchitekturen im Kreuzungsbereich erforscht. Darüber hinaus werden innovative Messverfahren zur Gewinnung von "*Ground Truth*" Daten der Verkehrsteilnehmer erprobt. Die an der generischen Kreuzung gewonnenen Daten werden an die Institute zur Algorithmus-Entwicklung weitergeleitet. Mit der Konzipierung und dem Betrieb der generischen Kreuzung knüpft CSEI an die Kernkompetenz Validation von Fahrzeugsicherheitssystemen an.

Im Projekt Ko-PER werden die im Projekt SIM-TD entwickelten Kommunikationsstandards und Kommunikationseinheiten übernommen und im Bereich der Kommunikationsschnittstelle an spezifische Anforderungen aus Ko-PER angepasst. Da Continental bereits im Projekt SIM-TD die Erforschung der Kommunikationstechnologie maßgeblich betreut, wird Continental die Bereitstellung und Anpassung der Kommunikationseinheiten aus SIM-TD durchführen.

Für die Applikation Kreuzung wird CSEI einen Versuchsträger bereitstellen. Der Versuchsträger verwendet zur Eigenpositionierung das kooperative Sensorsystem, das im Rahmen des Projektes Ko-TAG entwickelt wird. Der Versuchsträger ist vorrangig für den Anwendungsbereich Fußgänger/Fahrradfahrerschutz im Kreuzungsbereich vorgesehen.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das zur Projektinitiative KOFAS gehörende Teilvorhaben Ko-PER zur kooperativen Perzeption behandelt beide genannten Herausforderungen, sowohl die Szenenkomplexität als auch den heterogenen Ausstattungsgrad der Fahrzeugflotten. Im Rahmen von Ko-PER werden die Sensordaten mehrerer Fahrzeuge genutzt, um die Robustheit und Vollständigkeit der fahrzeugindividuellen maschinellen Wahrnehmung durch Integration der Umfelderkennungsergebnisse mehrerer benachbarter Fahrzeuge deutlich zu verbessern (fahrzeugübergreifende Datenfusion / Überwindung von Verdeckungen), die heterogenen Ausstattungsgrade lokaler Fahrzeuggruppen durch Übermittlung der Wahrnehmungsergebnisse benachbarter Fahrzeuge kompensiert und neuralgische Verkehrsknoten (Kreuzungen) mit infrastrukturbasierter Sensorik versehen, deren Wahrnehmungsergebnisse vollständig und konsistent an alle umgebenden Fahrzeuge übermittelt werden.

Das Vorhaben konzentriert sich dementsprechend auf die Generierung sicherheitsrelevanter Kommunikationsinhalte im Bereich der Umfeldwahrnehmung, die nur mit „vorausschauender“ Sensorik erzielt werden können und stellt daher für kooperative Systeme, wie sie in SIM-TD entwickelt werden, wertvolle ergänzende (weil komplementäre) Information bereit

Weiterhin führt das Vorhaben den Nachweis des damit erzielbaren Sicherheitsgewinns durch Realisierung geeigneter Schlüsselanwendungen, die sich am vorgenannten Unfallgeschehen orientieren.

Der vorgeschlagene Ansatz lässt eine erhebliche Reduktion der Einführungshemmnisse für fahrzeugbasierte Kommunikationssysteme erwarten und vereinfacht und erleichtert damit die Akzeptanz einer Anzahl weiterer, auf fahrzeuggebundenen Kommunikationssystemen beruhender Anwendungen. Bei den Schlüsselanwendungen wird unterschieden zwischen Kreuzungs- und Folgefahrtszenarien, wobei in beiden Fällen auch nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer (nämlich Fußgänger und Radfahrer) in die Sicherheitskonzepte mit einbezogen werden – ebenfalls eine grundlegende Ergänzung gegenüber SIM-TD. Es ergeben sich in diesem Zusammenhang wichtige Synergien zum Teilvorhaben Ko-TAG.

Aus technischer Sicht ist für die kooperative Perzeption die Bewältigung folgender Teilaufgaben unerlässlich: Die Fahrzeug- bzw. kreuzungslonale Perzeption („Umfelderfassung“), die Ergebniskommunikation mit kurzer Latenzzeit (<100ms), die spurgenaue Fahrzeug-Eigenlokalisierung und die fahrzeugübergreifende Objektassoziation und Sensordatenfusion.

Die spurgenaue Eigenlokalisierung ist in allen kooperativen Systemen zur aktiven Sicherheit von zentraler Bedeutung, weshalb im Projekt Ko-PER diverse Methoden zu diesem Thema untersucht werden sollen. Entsprechende Ergebnisse stellen potenziell wertvolle Ergänzungen bzw. Basistechnologien (im Sinne von „Enabling Technology“) u. a. für SIM-TD dar.

Als Schlüsselanwendungen bieten sich zum einen die Kreuzungssituationen Ein- und Abbiegen (nach rechts und oder links) aber auch Kreuzen an. Im Folgeverkehr kommen als Anwendungen in Frage: Folgefahren / Verkürzung der Latenzzeiten bei Kolonnenbremsmanövern, und damit: die Vermeidung von Auffahrunfällen bzw. Unfallfolgenminderung bei Auffahrsituationen; und weiterhin die Entschärfung von Spurwechsel -und Überholmanövern.

Für die ins Auge gefassten Schlüsselanwendungen ist ausdrücklich geplant, tragfähige MMI Konzepte zu entwickeln um sicherzustellen, dass die im Bereich der fahrzeugübergreifenden maschinellen Wahrnehmung erzielten Fortschritte im Gesamtsystem Fahrzeug / Fahrer / Verkehr auch wirklich zu Verbesserungen führen. Auch die dabei erzielten Untersuchungen bzw. Erkenntnisse stellen wertvolle Ergänzung zu laufenden Fördervorhaben wie etwa AKTIV-AS, SIM-TD und InterSafe-2 dar.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

3.1 Organisation

Die Rolle von CSEI besteht in der Federführung bei der Ausrüstung ausgewählter Kreuzungen mit geeigneten Sensoren zur Überwachung des aktuellen Verkehrsgeschehens. Die Entwicklung und Systemintegration geeigneter Perzeptionssoftware sowie die Kommunikation des aktuellen Kreuzungsverkehrszustandes (Position und Attribute aller im Kreuzungsbereich befindlichen Verkehrsteilnehmer) gehört ebenso dazu, wie der zeitweise Betrieb der ausgestatteten Infrastruktureinrichtungen (u. a. zur Generierung von realem Kreuzungsdatenmaterial für *Open-Loop* Laborentwicklungen, aber auch zum Probe- und Demonstrationsbetrieb gegen Ende des Projekts). CSEI wird auch ein eigenes Versuchsfahrzeug mit Eigenlokalisierung und Kommunikation ausrüsten und beisteuern.

3.2 Projektstruktur mit Zeitplanung

Das Teilprojekt umfasst insgesamt 13 hauptsächliche (Haupt-) **Arbeitspakete** (AP). Für die Haupt- Teil- und Mikroarbeitspakete wird folgendes Kurzbezeichnungs- bzw. Nummerierungsschema verwendet:

AP-2.[x]00 bezeichnet ein Hauptarbeitspaket (AP)

AP-2.[x][y]0 bezeichnet ein Teilarbeitspaket (TAP)

AP-2.[x][y][z] bezeichnet ein Mikroarbeitspaket (MAP bzw. Task)

Dabei steht die „2“ in AP-2.[x][y][z] für das Teilprojekt Ko-PER und [x],[y],[z] jeweils für eine (hexadezimale) Ziffer 1 bis 9 bzw. a bis f (a=10, b=11,.. f=15). Für jedes AP, TAP, und MAP gibt es einen Titel, aus dem der Inhalt der jeweils zu bearbeitenden Aufgabenstellung(en) hervorgeht (hier die Tabellenbeschriftung).

Von den 12 Arbeitspaketen AP-100 bis AP-2.c00 sind alle bis auf das erste (Teilprojekt-Management) in den nachfolgenden Tabellen 1 bis 11 dargestellt. Jedes Arbeitspaket ist in Teilarbeitspakete (TAP) untergliedert, und diese wiederum in Mikroarbeitspakete (MAP) unterteilt. Sämtliche AP-2.200 bis AP-2.c00 sind samt ihren TAPe und MAPe mit einem Projektmonat (PM letzte Spalte) bezüglich des Fertigstellungstermins geplant.

Die Laufzeit des Projekts wurde nach Antrag vom April 2013 im Juni 2013 vom 30.06.2013 auf 30.11.2013 verlängert. Der Arbeits- und Zeitplan wurde dafür entsprechend angepasst und ist auf den folgenden Seiten dargestellt. Der erste Projektmonat (PM 1) beginnt am 01.02.2010 und endet am 30.11.2013 (PM 46). Zu jedem AP und zu jedem TAP gibt es jeweils eine namentlich benannten Person, die für die Koordination der entsprechenden Aktivitäten verantwortlich ist.

Schlussbericht Ko-PER, Kooperative Perzeption



		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.210-1	Öffentliche Kreuzung AB: Anforderungen an die Kreuzungseigenschaften	BMW (RW)	MRM (KD)	2
M 2.210-2a	Festlegung: Kreuzungselektronik Hardware: Sensoren	BMW (RW)	MRM (KD)	7
M 2.210-2b	Festlegung: Kreuzungselektronik Hardware: Rechner und Netzwerk	BMW (RW)	MRM (KD)	10
M 2.210-3	Spezifikation der Kommunikationsinhalte (I2V, ggf. auch V2I)	BMW (RW)	MRM (KD)	7
M 2.220-1	Öffentliche Kreuzung Aschaffenburg (AB): Aufbaukonzept	CSEI (JV)	MRM (KD)	9
M 2.220-2	Festlegung Datenerfassungssystem	CSEI (JV)	MRM (KD)	11
M 2.220-3	Öffentl. Kreuzung AB: Integration Ko-TAG Einheiten	CSEI (JV)	MRM (KD)	29
M 2.230-1a	Grobspezifikation der Datenformate Kreuzungsumfeldrepräsentation	SICK (RK)	MRM (KD)	6
M 2.230-1b	Detailspezifikation der Datenformate Kreuzungsumfeldrepräsentation	SICK (RK)	MRM (KD)	8
M 2.230-2	Abschluss der Kreuzungsvermessungsarbeiten	SICK (RK)	MRM (KD)	10
M 2.230-3	Digitale Karte der Kreuzung(en) verfügbar	SICK (RK)	MRM (KD)	13
M 2.240-1	Öffentliche Kreuzung AB: Plan der Sensoranordnung	HSA (DO)	MRM (KD)	4
M 2.240-2	Öffentliche Kreuzung AB: Beschaffung der Hardware abgeschlossen	HSA (DO)	MRM (KD)	16
M 2.240-3	Öffentliche Kreuzung AB: Inbetriebnahme der Kreuzungshardware	HSA (DO)	MRM (KD)	22
M 2.240-4	Öffentliche Kreuzung AB: Rückbau abgeschlossen	HSA (DO)	MRM (KD)	46
M 2.250-1	Generische Kreuzung Alzenau (ALZ): Konzepterstellung	CSEI (JV)	MRM (KD)	7
M 2.250-2a	Gen. Kreuzung ALZ: Inbetriebn. 1a (lt. uMS2.250-1): Gerüst+Verkablgl	CSEI (JV)	MRM (KD)	11
M 2.250-2b	Gen. Kreuzung ALZ: Inbetriebn. 1b (lt. uMS2.250-1): LS+SK	CSEI (JV)	MRM (KD)	13
M 2.250-3a	Gen. Kreuzung ALZ: Inbetriebn. 2a (lt. uMS2.250-1): Zeitstempel + HK	CSEI (JV)	MRM (KD)	14
M 2.250-3b	Gen. Kreuzung ALZ: Inbetriebn. 2b (lt. uMS2.250-1): Funkerprobung	CSEI (JV)	MRM (KD)	15
M 2.250-4a	Gen. Kreuzung ALZ: Inbetriebn. 3a (lt. uMS2.250-1): Ko-TAGs integriert	CSEI (JV)	MRM (KD)	28
M 2.250-4b	Gen. Kreuzung ALZ: Inbetriebn. 3b (lt. uMS2.250-1): Ko-PER RCCU	CSEI (JV)	MRM (KD)	29
M 2.260-1	Kreuzung Ulm: Ausbaustufe 1: Kreuzung ohne Zeitstempel in Funktion	CSEI (JV)	MRM (KD)	9
M 2.260-2	Kreuzung Ulm: Ausbaustufe 2: 1. zeitgestempelte Datensätze verfügbar	CSEI (JV)	MRM (KD)	10
M 2.260-3	Kreuzung Ulm: Ausbaustufe 3: RCCU integriert	CSEI (JV)	MRM (KD)	29

Tabelle 1: Aufbau und Betrieb von Musterkreuzungen

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.310-1	Kalibrierungssoftware verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	15
M 2.310-2	Lidarbasierte Objekterkennung verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	19
M 2.310-3	Videobasierte Objekterkennung verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	19
M 2.310-4	Kreuzungs-Fusionssystem verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	23
M 2.310-5	Umgebungsmodell mit Karte verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	26
M 2.310-6	Kommunikationssoftware verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	29
M 2.310-7	Systemintegration auf der öffentlichen Kreuzung abgeschlossen	MRM (KD)	MRM (KD)	30
M 2.320-1	Testplan zur Erprobung der Perzeption verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	30
M 2.320-2	Messdaten für alle relevanten Szenarien verfügbar	MRM (KD)	MRM (KD)	36
M 2.320-3	Test- und Evaluierungsbericht liegt vor	MRM (KD)	MRM (KD)	40
M 2.330-1	1. Messkampagne an der Krzlg. AB durchgeführt, Datensätze geliefert	HSA (DO)	MRM (KD)	30
M 2.330-2	1. Messkampagne a. d. Ulmer Xung durchgeführt, Datensätze verfügbar	HSA (DO)	MRM (KD)	12

Tabelle 2: Kreuzungsperzeption (Algorithmen und Software-Implementierung)

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.410-1	Anforderungen + Spezifikationen der Fahrzeugausstattung (con tutti)	DAI (MM)	CSEI (JV)	5
M 2.420-1	Sensor- u. Rechnerausstattung V-Fahrzeuge (ohne VCCU, Loc, TAGs)	DELPHI (WM)	CSEI (JV)	7
M 2.430-1	Sensoren+Datenaufzeichnungssystem integriert (ohne VCCU, Loc, TAGs)	BMW (FK)	CSEI (JV)	9
M 2.430-2	Kommunikationshardware integriert	BMW (FK)	CSEI (JV)	27
M 2.430-3a	TC-GNNS Lokalisierungshardware integriert (2BMW, CSEI, DAI, Delphi)	BMW (FK)	CSEI (JV)	24
M 2.430-3b	TC-GNNS Lokalisierungshardware integriert (driveU)	BMW (FK)	CSEI (JV)	24
M 2.430-4	Aktuatoren (incl. Anzeigergeräte) integriert	BMW (FK)	CSEI (JV)	12
M 2.440-1a	Gesamtintegration: Sensorik+Datenaufzeich.-Syst. BMW, DAI, Delphi	BMW (RW)	CSEI (JV)	12
M 2.440-1b	Gesamtintegration: Sensorik+Datenaufzeichnungssystem CSEI	BMW (RW)	CSEI (JV)	12
M 2.440-2	Gesamtintegration Kommunikationshardware	BMW (FK)	CSEI (JV)	28
M 2.440-3a	Gesamtintegration Lokalisierungshardware (BMW)	BMW (FK)	CSEI (JV)	27
M 2.440-3b	Gesamtintegration Lokalisierungshardware (CSEI)	BMW (FK)	CSEI (JV)	27
M 2.440-4	Gesamtintegration Aktuatoren incl. Anzeigergeräte	BMW (FK)	CSEI (JV)	30

Tabelle 3: Aufbau von Versuchsfahrzeugen

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.510-1	Anforderungen an die fahrzeuglokale Perzeption	DELPHI (SMS)	DAI (MM)	4
M 2.520-1	Tracking und Klassifikation der Verkehrsteilnehmer (Erstversion)	SICK (RK)	DAI (MM)	18
M 2.520-2	Tracking und Klassifikation der Verkehrsteilnehmer verfügbar	SICK (RK)	DAI (AW)	27
M 2.530-1	Fahrzeugbasierte Bildfolgenauswertung verfügbar (Erstversion)	FORW (EF)	DAI (MM)	15
M 2.530-2	Fahrzeugbasierte Bildfolgenauswertung verfügbar (SW Freeze)	FORW (EF)	DAI (MM)	27
M 2.540-1a	Fahrzeug-Hardware Freeze (Sensorik): BMW, DAI, Delphi	DAI (MM)	DAI (MM)	12
M 2.540-1b	Fahrzeug-Hardware Freeze (Sensorik):CSEI	DAI (MM)	DAI (MM)	12
M 2.540-2	Erste lauffähige Onboard SDF auf allen Versuchsfzg. der Typen A und C	DAI (MM)	DAI (MM)	13
M 2.540-3	SDF Software Freeze auf allen Versuchsfahrzeugen der Typen A und C	DELPHI (nn)	DAI (AW)	28
M 2.550-1a	Ko-TAG Ortungssystem ins Fzg. Integriert und lauffähig (BMW)	BMW (AR)	DAI (MM)	27
M 2.550-1b	Ko-TAG Ortungssystem ins Fzg. Integriert und lauffähig (CSEI)	BMW (AR)	DAI (AW)	27
M 2.550-2	Einheitl. Format Schnittstelle / Datenumsetzung zu Komm. finalisiert	BMW (AR)	DAI (AW)	27
M 2.550-3	Anbindung an die Kommunikationseinheit lauffähig	BMW (AR)	DAI (AW)	28
M 2.560-1	Entwurf: Fahrzeugdynamik- und Umfeldmodelle	SICK (RK)	DAI (MM)	10
M 2.560-2	Fahrzeugdynamik- und Umfeldmodelle implementiert und getestet	SICK (RK)	DAI (MM)	18
M 2.570-1	Fzg. Datenerfassung: Spezifikation der Szenarien abgeschlossen	DELPHI (SMS)	DAI (MM)	22
M 2.570-2a	Spezifikation der Datenablage abgeschlossen	DELPHI (SMS)	DAI (AW)	22
M 2.570-2b	Spezifikation der Keywords abgeschlossen	DELPHI (SMS)	DAI (MM)	22
M 2.570-3	Datenkampagnen + Lieferung der Datensätze abgeschlossen	DELPHI (SMS)	DAI (MM)	39
M 2.580-1	Evaluierung Fzg. Lokale Perzeption: Testkatalog fertiggestellt	BMW (KV)	DAI (AW)	18
M 2.580-2	Versuchsaufbauten einsatzfähig	MRM (nn)	DAI (AW)	27
M 2.580-3	Testkatalog für alle Versuchsträger abgeprüft	CSEI (nn)	DAI (AW)	33
M 2.580-4	Nachbesserungen abgeschlossen	BMW (nn)	DAI (AW)	39

Tabelle 4: Fahrzeuglokale Perzeption und Sensordatenfusion

Schlussbericht Ko-PER, Kooperative Perzeption



		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.610-1	Fahrzeug-Eigenlokalisierung: Anforderungen an Kreuzungen erstellt	SICK (RK)	SICK (RK)	3
M 2.610-2	Fahrzeug-Eigenlokalisierung: Anforderungen im Folgeverkehr erstellt	SICK (RK)	SICK (RK)	4
M 2.610-3	Fahrzeug-Eigenlokalisierung: Spezifikationen erstellt	SICK (RK)	SICK (RK)	12
M 2.620-1	Vermessung von Landmarken abgeschlossen	SICK (RK)	SICK (RK)	15
M 2.620-2	Digitale Karten verfügbar	SICK (RK)	SICK (RK)	19
M 2.630-1a	Grobkonzept: Eigenlokalisierung mit Landmarken	FORW (EF)	SICK (RK)	15
M 2.630-1b	Detaillkonzept: Eigenlokalisierung mit Landmarken	FORW (EF)	SICK (RK)	30
M 2.630-2	Eigenlokalisierung mit Landmarken: erste lauffähige Version	FORW (EF)	SICK (RK)	24
M 2.630-3	Eigenlokalisierung mit Landmarken: SW Freeze im Versuchsträger	FORW (EF)	SICK (RK)	36
M 2.640-1	Eigenlokalisierung mit Laserscannern (Erstversion)	SICK (RK)	SICK (RK)	24
M 2.640-2	Eigenlokalisierung mit Laserscanner (finale Version)	SICK (RK)	SICK (RK)	34
M 2.650-1	Konzepte zur Tightly Coupled GPS Positionsbestimmung liegen vor	ITE (MW)	SICK (RK)	5
M 2.650-2	Anforderungen + Spezifikationen GNSS Empfänger liegen vor	ITE (MW)	SICK (RK)	6
M 2.650-3a	GNSS HW an ITE, externe Kabel & Einbaupläne an Anwender geliefert	ITE (MW)	SICK (RK)	13
M 2.650-3b	GNSS Systeme mit Festplatte an alle Anwender ausgeliefert	ITE (MW)	SICK (RK)	18
M 2.650-4a	Implementierung mindestens eines Konzepts TC-GNSS	ITE (MW)	SICK (RK)	20
M 2.650-4b	Implementierung der TCS seitigen API und Schnittstelle zur AU	ITE (MW)	SICK (RK)	26
M 2.650-5	Funktionserprobung und Evaluierung abgeschlossen	ITE (MW)	SICK (RK)	28
M 2.660-1	Kooperatives GPS: Spezifikation der Kommunikationsinformation	DAI (GN)	SICK (RK)	4
M 2.660-2a	Kooperatives GPS: Funktionsbeschreibung und Testkonzept	DAI (AB)	SICK (RK)	24
M 2.660-2b	Kooperatives GPS: Implementation abgeschlossen	DAI (AB)	SICK (RK)	30
M 2.660-3	Kooperatives GPS: Funktionserprobung und Test abgeschlossen	DAI (AB)	SICK (RK)	35
M 2.670-1	Ko-TAG Kreuzungsortungssystem lauffähig und verfügbar	BMW (DS)	SICK (RK)	26
M 2.670-2	Ko-TAG Fahrzeug-Ortungssystem lauffähig und verfügbar	BMW (DS)	SICK (RK)	26
M 2.670-3	Auswertalgorithmus Eigenlokalisierung Grundversion funktionsfähig	BMW (DS)	SICK (RK)	24
M 2.670-4	Auswertalgorithmus Eigenlokalisierung Finalversion funktionsfähig	BMW (DS)	SICK (RK)	35
M 2.680-1	Fusionskonzept Lokalisierung abgeschlossen	FORW (EF)	SICK (RK)	30
M 2.680-2	Fusion Lokalisierung: Erstversion lauffähig	FORW (EF)	SICK (RK)	33
M 2.680-3	Fusion Lokalisierung: Finalversion lauffähig (SW Freeze)	FORW (EF)	SICK (RK)	36
M 2.690-1	Fzg. Einbau + Integration der Lokalisierungsreferenzsysteme	BMW (FK)	SICK (RK)	15
M 2.690-2	Bewertung Lokalisierungsansätze: Erste Messdaten liegen vor	BMW (KV)	SICK (RK)	30
M 2.690-3	Bewertung Lokalisierungsansätze: Mess- u. Ref- Datenaufz. Abgeschl.	BMW (KV)	SICK (RK)	38
M 2.690-4	Bewertung Lokalisierungsansätze: Datenauswertung abgeschlossen	BMW (KV)	SICK (RK)	40
M 2.690-5	Bewertung Lokalisierungsansätze: Ergebnisbericht liegt vor	BMW (KV)	SICK (RK)	42

Tabelle 5: Fahrzeug-Eigenlokalisierung

Schlussbericht Ko-PER, Kooperative Perzeption



		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.710-1	Anforderungen und Grenzen der Kommunikation	DAI (GN)	DELPHI (SK)	11
M 2.720-1	Analyse der SIM-TD Kommunikationsarchitektur / Protokolle	BMW (RW)	DELPHI (SK)	3
M 2.720-2	SIM-TD Application Layer Erweiterung um Ko-PER spezifische Inhalte	BMW (RW)	DELPHI (SK)	19
M 2.720-3	Bibliothek+Doc der Komm-Schnittstellen für Xung bzw. Fahrzeuge (API)	WM&C (RW)	DELPHI (SK)	30
M 2.730-1	Liste: Nicht erfüllte Anforderungen existierender Protokolle	DELPHI (SK)	DELPHI (SK)	4
M 2.730-2	Spezifikation: Ko-PER spezifische Nachrichtenformate in ASN-1	DELPHI (SK)	DELPHI (SK)	25
M 2.740-1	Lieferung der Fzg. spezifischen Kommunikationseinheit (HW) aus SIM-TD	CONTI (US)	DELPHI (SK)	27
M 2.750-1	Bereitstellung der kreuzungsspez. Kommunikationsinhalte MAP, SPaT	CONTI (US)	DELPHI (SK)	29
M 2.750-2	Lieferung Kommunikationseinheit Kreuzung (nur HW)	CONTI (US)	DELPHI (SK)	27
M 2.760-2	Lieferung der CCU Firmware (Erstversion)	DELPHI (SK)	DELPHI (SK)	27
M 2.770-1a	V2X Subsysteme in Kreuzung + Fahrzeuge integriert	DELPHI (SK)	DELPHI (SK)	29
M 2.770-1b	V2X Subsysteme (Kreuzung + Fahrzeuge) im Betrieb final getestet	DAG (AB)	DELPHI (SK)	33

Tabelle 6: V2V und I2V Kommunikation

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.810-1a	Schnittstellenanforderg. lokale SDF, Kommunik. + Situationsanalyse	DAI (MM)	SICK (RK)	10
M 2.810-1b	Schnittstellenspezifikation lokale SDF, Kommunik. + Situationsanalyse	DAI (MM)	SICK (RK)	16
M 2.810-2	Konzept zur Datenkonfliktbehandlung fertiggestellt	DAI (MM)	SICK (RK)	15
M 2.820-1	Assoziation kommunizierter Information: Methode zeitlicher Angleichung	MRM (KD)	SICK (RK)	30
M 2.820-2	Implementierung der Assoziationsmethoden	MRM (KD)	SICK (RK)	18
M 2.820-3	Bewertung der Assoziationsmethoden	MRM (KD)	SICK (RK)	22
M 2.820-4	Assoziationsmethoden: Prototypenimplementation verfügbar	MRM (KD)	SICK (RK)	33
M 2.830-1a	Erste lauffähige Version der übergreifenden SDF offline verfügbar	MRM (nn)	SICK (RK)	28
M 2.830-1b	Erste lauffähige Version der übergreifenden SDF online verfügbar	DELPHI (nn)	SICK (RK)	32
M 2.830-2	Software Freeze in allen Versuchsträgern	CSEI (nn)	SICK (RK)	38
M 2.840-1	Erstellung des Test- und Evaluierungsplans	BMW (KV)	SICK (RK)	32
M 2.840-2	Durchführung der Tests und der Evaluierung	BMW (KV)	SICK (RK)	43

Tabelle 7: Fahrzeugübergreifende Sensordatenfusion

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.910-1	Definition der Anwendungsfälle (Use-Cases)	BMW (MF)	IZVW (HPK)	6
M 2.910-2	Inhaltl. und meth. Aspekte bei der Bewertung der Beherrschbarkeit	BMW (MF)	IZVW (HPK)	9
M 2.910-3	Kriterien zur Messung der Wirksamkeit u. Beherrschbarkeit	BMW (LL)	IZVW (HPK)	11
M 2.910-4	Grobspezifikation der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle	BMW (LL)	IZVW (HPK)	15
M 2.910-5	Voruntersuchungen zur MMI-Gestaltung	BMW (LL)	IZVW (HPK)	19
M 2.910-6	Anforderung und Spezifikation der Testszenarien	BMW (MF)	IZVW (HPK)	12
M 2.910-7	Anforderung an die Umgebungssimulation	BMW (LL)	IZVW (HPK)	13
M 2.920-1	Spezifikation der Anwendungsfälle (Use-Cases) als Szenarien	BMW (MF)	IZVW (HPK)	9
M 2.920-2	Alternative Informations-, Warn- und Eingriffskonzepte	BMW (LL)	IZVW (HPK)	13
M 2.920-3	Untersuchungsmethoden der MMI-Konzepte für Applikationen	BMW (LL)	IZVW (HPK)	23
M 2.920-4	Aufbau Simulationsumgebung für Applikationen	BMW (LL)	IZVW (HPK)	21
M 2.930-1	Umsetzung der MMI-Prototypen im Fahrsimulator	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	19
M 2.930-2	"Nahtstelle" Situationsanalyse / MMI	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	30
M 2.930-3	Umsetzung e. vorläufigen MMI-Prototypen in den Versuchsträgern u. D.	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	28
M 2.930-4	Umsetzung des finalen MMI-Konzepts im Fahrsimulator	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	32
M 2.930-5	Umsetzung des finalen MMI-Konzepts in den Versuchsträgern u. D.	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	33
M 2.940-1	Untersuchung des Normalverhaltens bei den Use-Cases	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	24
M 2.940-2	Untersuch. d. Applikationen: Verständlichkeit, Wirksamkeit + Akzeptanz	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	39
M 2.940-3	Untersuchungen der Applikationen: Beherrschbarkeit	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	41
M 2.940-4	Laborunteruntersuchungen für MMI-Prototypen	IZVW (AN)	IZVW (HPK)	24

Tabelle 8: Mensch-Maschine Interaktion

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.a10-1a	Erste Situationsanalysekonzepte ausgearbeitet: BMW, Daimler	DAI (GB)	DAI (GB)	22
M 2.a10-1b	Erste Situationsanalysekonzepte ausgearbeitet: CSEI	DAI (GB)	DAI (GB)	22
M 2.a10-2	Erste lauffähige Implementation der Situationsanalyse	DAI (GB)	DAI (GB)	32
M 2.a10-3	Implementierung der Situationsanalyse erfüllt Anforderungen	DAI (GB)	DAI (GB)	35
M 2.a20-1	Spezifikation von Musterszenarien im Kreuzungsbereich	CSEI (JV)	DAI (GB)	1
M 2.a20-2	siehe μ MS 2.a30-4 (Längs- und Kreuzungsverkehr zusammengelegt)	CSEI (JV)	DAI (GB)	22
M 2.a20-3	Applikationsentwicklung für ausgewählte Szenarien fertiggestellt	CSEI (JV)	DAI (GB)	43
M 2.a30-1	Spezifikation Musterszenarien Längsverkehr	DAI (MM)	DAI (GB)	3
M 2.a30-2	Erste funktionsfähige Implementierung: Musteranwendungen	BMW (nn)	DAI (GB)	36
M 2.a30-3	Finale (reproduzierbare) Version der Musteranwendung	BMW (nn)	DAI (GB)	42
M 2.a30-4	Funktions- und Szenarienauswahl Längs- und Kreuzungsverkehr	DAI (MM)	DAI (GB)	22

Tabelle 9: Beispiellapplikationen zu bestimmten Situationen/Fahraufgaben

		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.b10-1	Testplan (Funktionen) erstellt, generische Kreuzungsanfordgn. abgeleitet	CSEI (JV)	IZVW (HPK)	42
M 2.b20-1	Auswahl der öffentlichen Kreuzung erfolgt	DAI (GN)	IZVW (HPK)	2
M 2.b20-2	Testinfrastruktur in Funktion	MRM (nn)	IZVW (HPK)	28
M 2.b20-3	Probandenversuche durchgeführt	MRM (nn)	IZVW (HPK)	38
M 2.b20-4	Dokumentierte Ergebnisse liegen vor	WM&C (RW)	IZVW (HPK)	45

Tabelle 10: Applikationstest und -evaluierung

Schlussbericht
Ko-PER, Kooperative Perzeption



		TAP / μ MS Koordinator	AP Koordinator	PM
M 2.c10-1	Veröffentlichungen, Vorträge Workshops, Ko-PER Statusseminare	HSA (DO)	DAI (MM)	45
M 2.c20-1	Projekt-Halbzeitpräsentation absolviert (durchweg erfolgreich!)	CSEI (JV)	DAI (MM)	20
M 2.c30-1	Veranstaltung angekündigt	HSA (DO)	DAI (MM)	37
M 2.c30-2	Festlegung / Auswahl der Einzelpräsentationen	BMW (FK)	DAI (MM)	38
M 2.c30-3	Verabschiedung des Veranstaltungsprogramms	BMW (FK)	DAI (MM)	41
M 2.c30-4	Fertigstellung des Präsentationsmaterials (Poster, Videoclips, etc.)	BMW (FK)	DAI (MM)	43
M 2.c30-5	Schlusspräsentation	BMW (FK)	DAI (MM)	44
M 2-110	Ko-PER Förderprojekt-Management (Sprecherfunktion)	BMW (RW)	BMW (RW)	45

Tabelle 11: Verwertung und Öffentlichkeitsarbeit

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Als Nachfolgeprojekt zum PReVENT Teilprojekt INTERSAFE wurde im 7. Rahmenprogramm das Projekt INTERSAFE-2 als eigenständiges STREP gestartet. Dieses greift Aspekte aus PReVENT auf (zum einen natürlich aus INTERSAFE-1 aber auch aus dem PReVENT Teilprojekt COMPOSE) erweitert aber die Perzeption bzgl. der Infrastruktursensorik. Basierend auf bordeigener Sensorik und dieser Infrastruktursensorik sowie unter Nutzung von V2V-Kommunikationstechnik werden Assistenzsysteme zum Linksabbiegen, Einbiegen und Kreuzen (Schutz vor Kollisionen mit Gegen- bzw. Querverkehr) und zum Rechtsabbiegen (Schutz von Fußgängern und Radfahrern, insbesondere in Hinblick auf LKW) entwickelt. Die Situationserfassung geschieht dabei sowohl durch Sensoren im Fahrzeug als auch durch Sensoren in der Infrastruktur. Ziel ist die Umsetzung auch erweiterter Assistenzstrategien (teilautonomer Eingriff), so dass dadurch ein zusätzlicher Sicherheitsgewinn realisierbar ist.

Das AKTIV AS Teilprojekt Kreuzungsassistenz (KAS) befasst sich mit der Entwicklung von Demonstratoren zur Aktiven Sicherheit für Querverkehrsassistenz, Abbiegeassistenz über die Spur des Gegenverkehrs, sowie Ampelassistenz mit Anfahren an der Kreuzung und Berücksichtigung des Vorderverkehrs. Die Wahrnehmung der relevanten Fahrzeuge erfolgt entweder kooperativ über Positionierungssysteme (GNSS) und Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation oder über Onboard Sensorik (Abstandssensorik, Video). Ziel des Projekts ist der Machbarkeitsnachweis und die Wirksamkeitsbewertung für diese Systeme. Die in Ko-PER geplante Infrastruktur-Sensorik in Kombination mit Infrastruktur-Fahrzeug-Kommunikation wird in AKTIV nicht untersucht.

Die während der Demonstrator-Entwicklung gewonnenen Ergebnisse von AKTIV können vor allem hinsichtlich machbarer Funktionsausprägungen und wirksamer MMI-Ausprägungen fortlaufend in Ko-PER einfließen. Ferner soll in Ko-PER im Wesentlichen die gleiche Funktechnologie für Aktive Sicherheit eingesetzt werden, die in den Vorgänger- bzw. Parallelprojekten (z.B. NoW, AKTIV, SIM-TD) entwickelt wird. Ebenfalls kann auf den Erfahrungen zur Fahrumgebungsmodellierung und insbesondere zu einem karten- und sensorbasierten Datenmodell aus den Vorgängerprojekten INVENT, PReVENT und AKTIV aufgebaut werden.

Im SafeSpot Teilprojekt INFRASENSE und Testsite Dortmund werden infrastruktur-basierte Sensornetzwerke samt Perzeptionsalgorithmen entwickelt, das Projekt zielt auf gefährliche Konditionen (Ölspur, Nebelbank, scharfe Kurven, Tunnelleinfahrten, streunende Tiere, etc.) auch an Kreuzungen. Die kommunikationsbasierte Gefahrenwarnung geschieht auf der Zeitskala von Sekunden (und nicht in Sekundenbruchteilen wie bei Ko-PER) und bleibt daher auf die Zeitskala der Fahrerinformation beschränkt.

Die Übersicht der oben erwähnten Förderprojekte zeigt, dass die Basis für die Alleinstellungsmerkmale von Ko-PER vor allem in der engen zeitnahen Verknüpfung der elektronischen Wahrnehmung diverser fahrzeug- und infrastrukturgebundener Sensornetzwerke begründet ist. Unter „zeitnah“ sind hierbei Größenordnungen zu verstehen, die deutlich unterhalb der menschlichen Reaktionszeit liegen und die Netzwerk-übergreifende Sensordatenfusion diverser Perzeptoren führt zu einer Umgebungserfassung zuvor unerreichter Re-

dundanz und Vollständigkeit, deren neue Quantität und Qualität und man durchaus mit dem Motto „Viele Augenpaare sehen mehr als eines“ verknüpfen kann.

Basierend auf dieser zuvor unerreichten Wahrnehmungsdichte und –dynamik, werden beispielhafte Funktionen der Kooperativen Aktiven Sicherheit und der Kooperativen Fahrerassistenz entwickelt. Dazu muss genuine F&E-Arbeit auf den Gebieten maschinelle („künstliche“) Perzeption, Fahrzeug-Eigenlokalisierung, fahrzeugübergreifende Datenfusion, Szeneninterpretation, und HMI, sowie der Integration der entsprechenden Ergebnisse in fahrzeuggebundene Gesamtsysteme geleistet werden.

Im Zuge dieser Arbeiten ist die Nutzung von Ergebnissen aus und von Synergien mit AKTIV-AS, SafeSpot, InterSafe2 fest eingeplant.

Insbesondere jedoch, soll der komplementäre Charakter des Ko-PER Vorhabens im Verhältnis zu SIM-TD mit einem intensiven Ergebnis- bzw. Erkenntnisaustausch in besonderer Weise kultiviert und gepflegt werden.

5 Erzielte Ergebnisse

5.1 AP 2.100 Projekt Management

Im Berichtszeitraum nahm CSEI an den folgenden Projekttreffen teil:

- Juli 2012: AG-Fahrzeug und Plenum
- November 2012: AG-Fahrzeug und Plenum
- Februar 2013: AG-Fahrzeug und Plenum
- Mai 2013: AG-Fahrzeug und Plenum

Darüber hinaus gab es noch fünf Telefonkonferenzen 2HJ2012 zur Durchsprache von aktuellen Themen und dem Projektstatus zwischen den Projektpartnern.

Darüber hinaus gab es noch sechs Telefonkonferenzen 1HJ2013 zur Durchsprache von aktuellen Themen und dem Projektstatus zwischen den Projektpartnern.

Zu allen Projekttreffen und zu den Telefonkonferenzen sind die Protokolle auf dem Projektserver abgelegt (Projectplace)

CSEI nam an fünf Messkampagnen mit Partnerbeteiligung (MK05 bis MK08b) teil und hat zusätzlich an drei Tagen interne Messungen durchgeführt (siehe auch Abbildung Abbildung 1).



Abbildung 1: CSEI Versuchsträger an der öffentlichen Kreuzung (MK08b)

Hier wurden die Fahrzeugperzeption sowie später auch die Kommunikation getestet und umfangreiche Daten für die spätere Auswertung aufgezeichnet.

CSEI nam an sieben Messkampagnen mit Partnerbeteiligung (MK08c bis MK91) teil und hat zusätzlich einige interne Messungen durchgeführt (siehe auch Abbildung Abbildung 2).



Abbildung 2: CSEI Versuchsträger an der öffentlichen Kreuzung (MK91)

Hier wurden die Fahrzeugperzeption sowie später auch die Kommunikation getestet und umfangreiche Daten für die spätere Auswertung aufgezeichnet.

5.2 AP 2.210 Anforderungen und Spezifikationen

Im Meilenstein M2.210-2a wurde gemeinsam mit den Partnern ein Dokument erstellt, das die zu verwendenden Sensoren für die Kreuzungsperzeption festlegt. In diesem Dokument sind für die Kreuzung in Ulm, Alzenau und Aschaffenburg alle benötigten Sensoren spezifiziert.

Dieses Dokument bildete die Grundlage zur Beschaffung der Kamera- und Lasersensoren sowie der Gehäusen und Halterungen.

Die Kreuzungselektronik-Hardware im Bezug auf Rechner und das Netzwerk wurde gemeinsam mit den Partnern im Meilenstein M2.210-2b definiert. Hier finden sich eine detaillierte Spezifikation der einzusetzenden PC's sowie deren Vernetzung aufgrund der Anforderungen der Kreuzungsperzeption. Aufgrund der in diesem Dokument getroffenen Festlegungen wurden die benötigten PC's für alle Testkreuzungen angefragt und teilweise auch bereits bestellt.

5.3 AP 2.220 Spezifikation der Hardware-Ausstattung von Musterkreuzungen

CSEI hat hier die Anforderungen an die generische Testkreuzung definiert. Die Kreuzungsperzeption wird demnach aus 7 Laserscannern, 5 Standardkameras und 2 hochauflösenden Kameras bestehen. Dazu werden noch Geräte für die Kommunikation und Ortung integriert.

Das Datenerfassungssystem für die von den Kreuzungssensoren aufgezeichneten Daten wurde im Meilenstein M2.220-2 zusammen mit den Partnern beschrieben. Der Schwerpunkt des Dokuments liegt auf der schritthaltenden Datenspeicherung der Sensorrohdaten des Perzeptionssystems. Hieraus ergeben sich die Größen der zu verwendenden Datenspeicher und der Ablauf von Datenaufzeichnung bzw. der Offline-Abspielung.

Das Dokument ist aktuell in der Prüfungsphase und wird voraussichtlich im Projektmonat 13 festgeschrieben sein. Da ein Großteil der PC's inklusive Datenspeicher bereits bestellt wurde hat die verspätete Fertigstellung des Dokuments keine Verschiebungen des Terminplans zur Folge. 8 Laserscanner (LS), 5 Standardkameras (SK) und 2 hochauflösende Kameras (HK)

sind betriebsbereit und ein mobiler Kontrollraum (MKR) für die Aufnahme von 5 PC's steht zur Verfügung. Die Zeitsynchronisation erfolgt über synchrone Triggerpulse an LS und SK bzw. HK. Gleichzeitig wird eine CAN-Botschaft mit Absolutzeit (UTC aus GPS-Empfänger) an den Aufzeichnungsrechner (im MKR) gesendet.

5.4 AP 2.250 Aufbau und Betrieb generische Testkreuzung

Durch die Verzögerungen im Bewilligungsprozess konnte der Aufbau der generischen Kreuzung, die u.a. zur frühen Generierung von Sensordaten im Projekt vorgesehen war, nicht im geplanten Zeitraum realisiert werden. Eine frühzeitige Beschaffung von Perzeptionssensoren zur Festlegung der auszuwählenden Sensoren war deshalb nicht möglich. Diese Sensoren werden jetzt im Laufe des 2. Projekthalbjahres bestellt.

Die Planung und der Aufbau der generischen Kreuzung wurden, ausgehend von den Konstruktionsplänen der Ulmer Kreuzung, von CSEI begonnen. Verschiedene Konzepte einer generischen Kreuzung wurden entworfen und vorrangig in der Arbeitsgruppe Kreuzung diskutiert. Der letzte Stand der Abstimmung inklusive des Standorts in der Nähe des CSEI-Firmengeländes ist auf der Abbildung Abbildung 3 zu sehen.



Abbildung 3: Generische Kreuzung in Alzenau mit Sensorportal

Die generische Testkreuzung in Alzenau wird im Dokument M2.250-1 beschrieben. Der Inhalt dieser Spezifikation gliedert sich in folgende Punkte:

- Beschreibung des Testgeländes
- Konzeption und Testmethode
- Umsetzung der Musterszenarien
- Anordnung der Sensoren
- Definition der Ausbaustufen

Im Projektmonat 7 ging das Dokument in den Sign-Off und dient seitdem als Grundlage für die detaillierte Planung der Perzeptionseinrichtung an der generischen Testkreuzung im Conti-Safety-Park in Alzenau.

In der Abbildung 4 ist der inzwischen detaillierte Aufbau des Sensorportals auf dem nachgebildeten Testgelände als 3D-CAD-Grafik zu sehen. Das Portal misst 12,2 auf 12,2 Meter und wird 6,5 Meter hoch sein. An drei Traversen und einem Pfosten werden insgesamt 8 LD-MRS Laserscanner von Sick und 5 Standard- sowie 2 hochauflösende Kameras angebracht (LS1-8; SK1-5; HK1+2). Außer dieser Perzeptionssensoren sind noch ein GPS-Empfänger zur Positions-Referenzierung, 2 RFID-TAG's zur Fahrzeugeigenlokalisierung ein Kommunikationsmodul (SimTD) und eine Daten-Zeitsynchronisations-Einheit vorgesehen. Der Aufbau wird darüber hinaus noch für die Bewegung eines Fußgängerdummies genutzt.

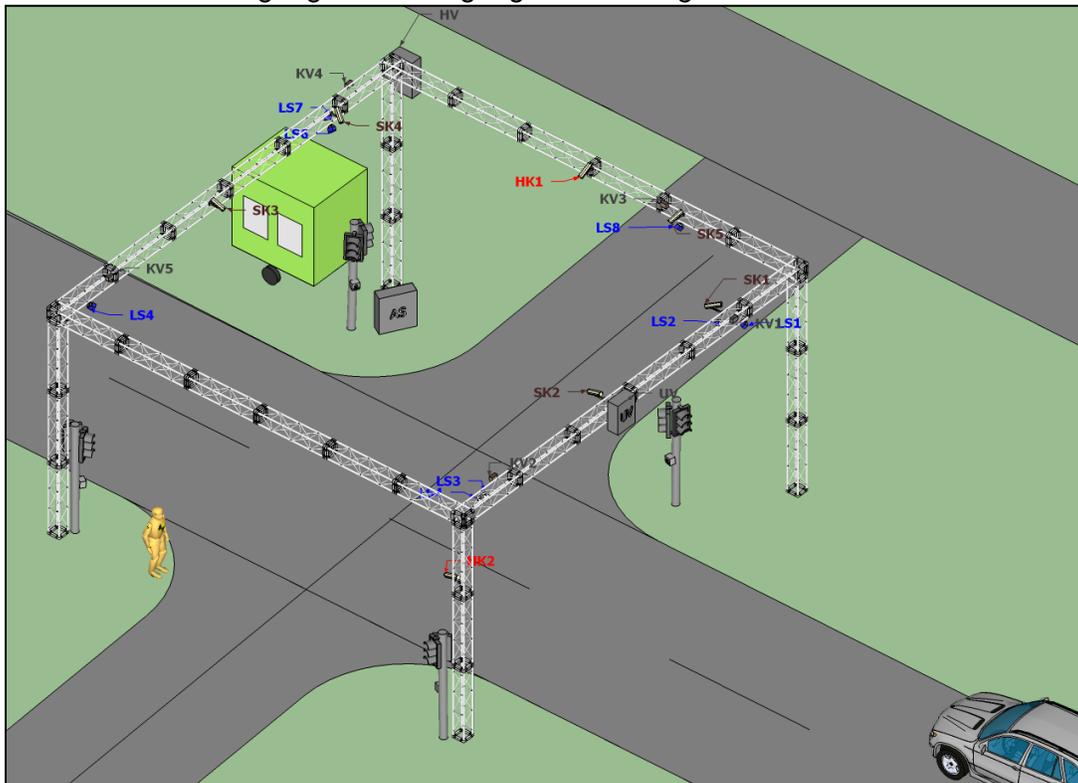


Abbildung 4: Aufbau der Kreuzungsperzeption im Conti-Safety-Park

Der prinzipielle Aufbau der Verkabelung der Sensoren ist auf der Abbildung 5 zu sehen. Ausgehend vom zentralen Schaltschrank, der in einem Büro-Anhänger untergebracht sein wird (hellgrüner Wagen auf Abbildung 1), laufen die Signalleitungen zunächst in den Hauptverteiler (HV) und verzweigen dort weiter in den Unterverteiler (UV). Die Verteiler sind auf 6m Höhe fest am Portal angebracht und über mehrere Leitungen steckbar mit dem Schaltschrank verbunden.

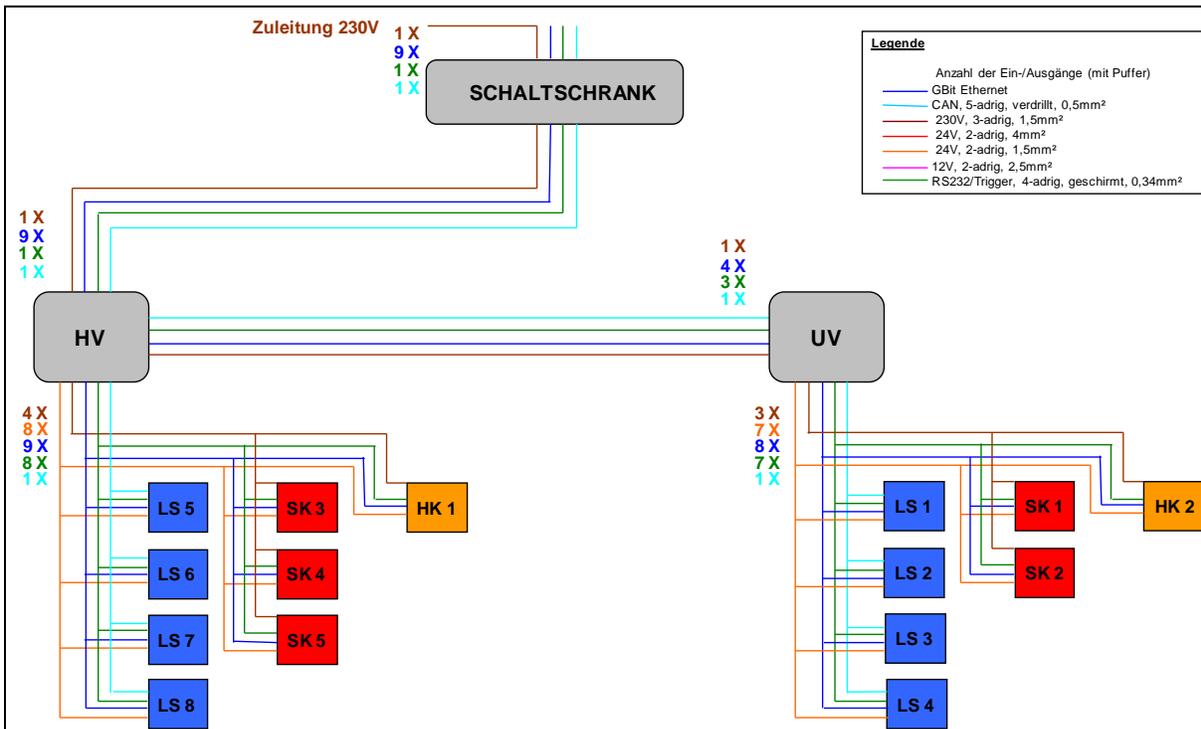


Abbildung 5: Verkabelungsschema der Kreuzungsperzeption

Bezüglich des Meilensteins M2.250-2a sind die folgenden Aktivitäten im Gange bzw. bereits abgeschlossen:

- Das Testgelände wurde vermessen und die genaue Position des Portals und der Sensoren festgelegt (Siehe Abbildung 4)
- Das Verkabelungskonzept (Siehe Abbildung 5) wurde festgelegt und der wesentliche Umfang Unterbeauftragt (Lieferung M13)
- Die Lieferung des Sensorportals ist im Projektmonat 9 erfolgt
- Ein Büro-Anhänger zur Unterbringung von 5 PC's, dem Schaltschrank und des Bedienpersonals wurde bestellt (Lieferung M12)
- Die Anfertigung von Halterungen für die Sensoren wurde intern beauftragt (Lieferung M13)

Das weitere Vorgehen wurde gegenüber der Planung in den Ausbaustufen geändert und zwar die Ausbaustufen 1a und 1b mit der Stufe 2a zusammengefasst. D.h. das jetzt die komplette Funktionalität der Ausbaustufe 2a ohne die Zwischenschritte zur Verfügung stehen wird. Der vorher geplante Teilschritt 1a Verkabelung und Inbetriebnahme bzw. 1b Sensormontage wurde aufgrund der schwierigen Wetterbedingungen in das Gebäude von CSEI verlegt. Das Gerüst (Sensorportal) wird jetzt erst nach der Vorinbetriebnahme im CSEI-Gebäude auf dem Testgelände (Conti-Safety-Park) aufgebaut. Dadurch ist es möglich, alle Sensoren mit Verkabelung zunächst auf ca. 1 Meter Höhe anzuschließen und zu prüfen. Erst danach wird das Portal auf die komplette Größe im Freien aufgebaut und mit einem Mobilkran auf die 6,5 Meter Gesamthöhe gehoben und positioniert.

Mit dieser Vorgehensweise kann der Termin M14 (Ende März 2011) im folgenden Meilenstein M2.250-3a (Ausbaustufe 2a) ohne Verzögerung erreicht werden.

Seit Anfang März steht das Sensorportal auf dem CSEI Test-Gelände Conti-Safety-City in Alzenau (Abbildung 6). Alle Sensoren sind über 2 Schaltschränke mit Versorgungsspannung für den Betrieb und die Klimatisierung angeschlossen. Auch die Signalleitungen bestehend aus Ethernet-, CAN- und Trigger-Leitungen sind über die beiden Schaltschränke zusätzlich mit 5 kleineren Verteilerkästen miteinander verbunden. Ethernet- und CAN-Leitungen sind über Steckverbindungen mit dem mobilen Kontrollraum (MKR) lösbar angeschlossen. Somit stehen im MKR alle notwendigen Daten aus den Sensoren zum Anschluss an die 5 Auswerterechner zur Verfügung.



Abbildung 6: Generische Kreuzung mit Sensorportal und MKR

Einen Blick in den mobilen Kontrollraum gewährt das folgende Bild (Abbildung 7). Am linken Rand sieht man das PC-Rack, in der Mitte die Kontrollbildschirme mit den Tastaturen. Durch die Fenster kann das Geschehen auf der Kreuzung zusätzlich direkt beobachtet werden.



Abbildung 7: Blick in den mobilen Kontrollraum (MKR)

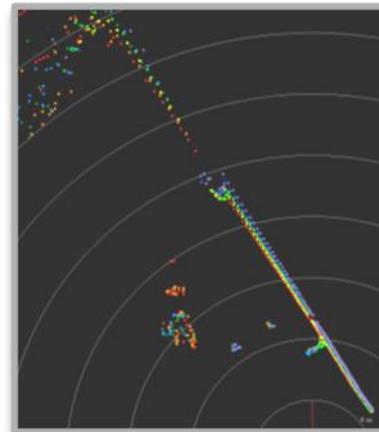


Abbildung 8: Detektionspunkte eines Laserscanners (LSx)

Die Abbildung 8 auf der vorherigen Seite zeigt die Messwerte eines Laserscanners angezeigt über die Standard-Software der Firma Sick. Die Lange Gerade bestehend aus Messpunkten in 8 verschiedenen Farben zeigt die Fahrbahnoberfläche. Alle Punkte links davon befinden sich darüber.

Den Blick auf die generische Kreuzung aus der jeweiligen Sicht der 5 Standardkameras zeigt die Abbildung 9. Mit diesen Kameras werden die 3 zufließenden Kreuzungsarme und der zentrale Bereich der Kreuzung aufgenommen.

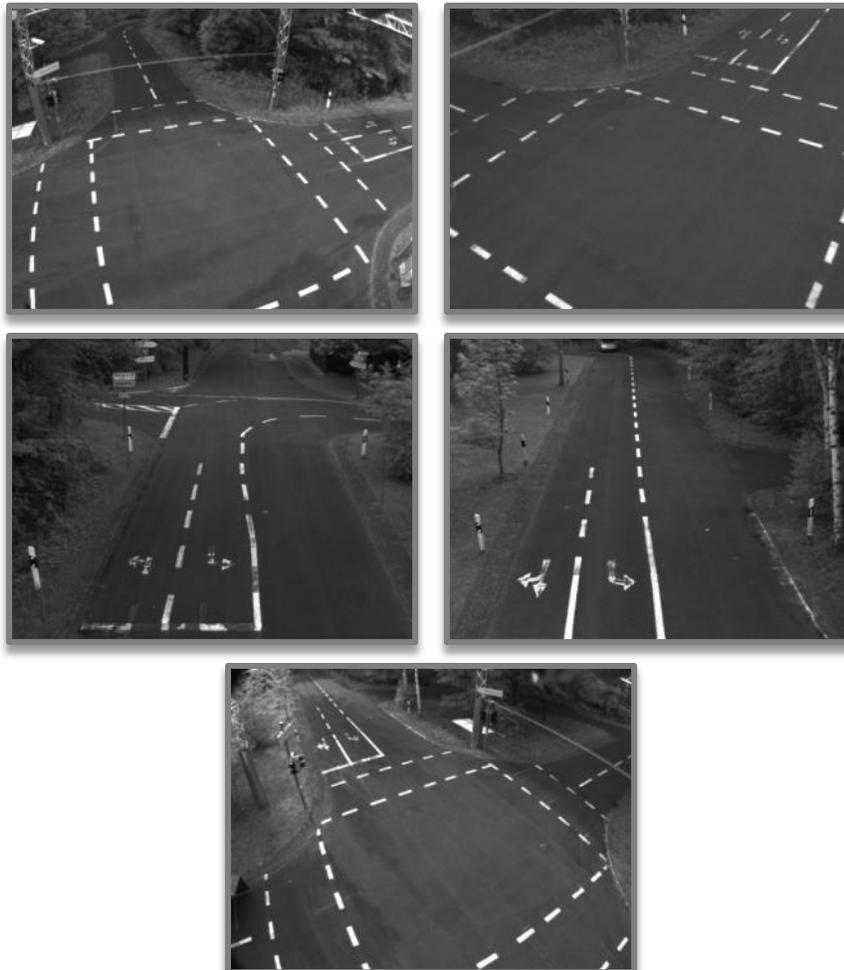


Abbildung 9: Bilder der 5 Standardkameras (SK1 bis SK5)



Abbildung 10: Bild der hochauflösenden Kamera (HK2)

Zusätzlich zu den 5 Standardkameras sind noch 2 hochauflösende Kameras verbaut, die einen Fußgängerüberweg von 2 Seiten beobachten. In der Abbildung 10 sieht man hier den bewegbaren Fußgänger-Dummy mit Blick entlang seiner Bewegungsrichtung. Die Auflösung der Kamera entspricht der HD-Auflösung (1920x1080 Pixel) im 16:9 Format um die Details für eine Fußgängerabsichtserkennung zu erkennen.

Für die Kalibrierung der Laserscanner und Kameras wurde von CSEI ein „Kalibrierobjekt“ erstellt (Abbildung 11). Es bietet die Möglichkeit über eine große verstellbare Fläche (1,5x3m) den Winkel relativ zu den Scannern bzw. Kameras einzustellen.



Abbildung 11: Kalibrierobjekt für Laserscanner und Kamera

Außer der Winkelverstellung ist das Kalibrierobjekt noch mit Bodenrollen ausgerüstet, die ein müheloses verschieben auf der Fahrbahn ermöglichen. Während des Kalibriervorgangs wird das Objekt an verschiedene Positionen auf den Kreuzungsfahrbahnen geschoben und ausgerichtet. Dabei sollte es immer von mindestens 2 Laserscannern gut detektiert werden.

Im April 2011 wurden die Reichweiten und Abstrahlcharakteristik der in Ko-PER zu verwendenden SimTD CCU gemessen. Der Ablauf dieser Messungen ist im Folgenden näher beschreiben (Siehe auch Abbildung 12):

- Das Ego- bzw. Hasenfahrzeug fährt von Westen auf die Kreuzung zu, daran vorbei und wieder zurück.
- Dabei steht das zweite Fahrzeug an den folgenden Positionen:
- Hasenfahrzeug steht hinter dem Eingang
- Hasenfahrzeug steht am Kreuzungsarm Südseite
- 30, 15 und 5 Meter bis zum Kreuzungsmittelpunkt
- Egofahrzeug steht an Kreuzungsarm Südseite
- 30, 15 und 5 Meter bis zum Kreuzungsmittelpunkt

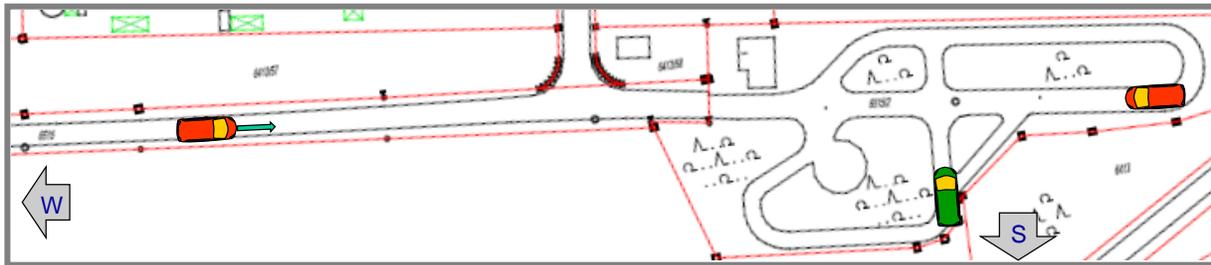


Abbildung 12: Lageplan der Kommunikationsreichweiten-Messungen

Die Ergebnisse der Messungen sind auf dem nachfolgenden Diagramm (Abbildung 13) zu sehen. Auf der Hochachse werden die erzielten Reichweiten in Metern dargestellt, die untere Achse zeigt von links nach rechts jeweils die statische Position des Hasenfahrzeug und die Tiefenachse beschreibt die Fahrtrichtung des Ego-Fahrzeugs.

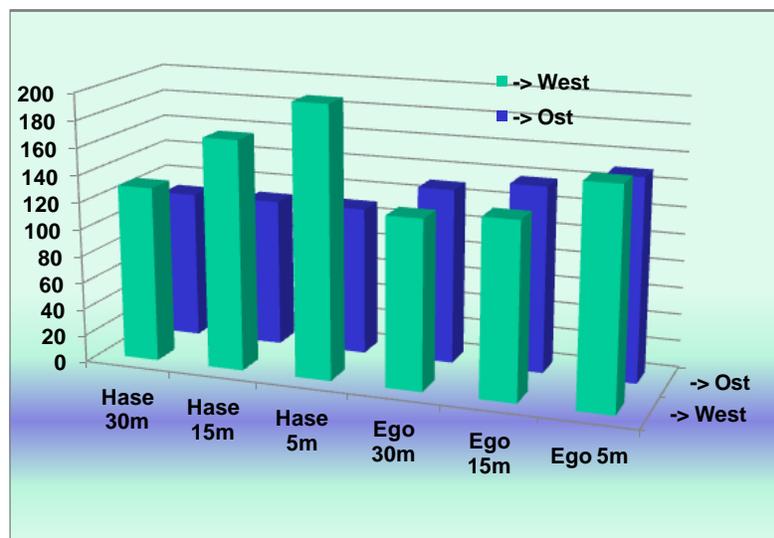


Abbildung 13: Diagramm der gemessenen Kommunikationsreichweiten

- Die Reichweiten bewegen sich zwischen 340m bei direkter Sicht und 110m bei Verdeckung durch Bäume
- Die Reichweite verbessert sich mit der Annäherung des querende Fahrzeugs an die Kreuzungsmittelpunkt (130->150m)
- Das in westliche Richtung bewegte Ego-Fzg hat höhere Reichweiten erzielt, in östlicher Richtung allerdings niedrigere

In der Ausbaustufe III wird die Ko-TAG-Funktionalität für die Fahrzeugeigenlokalisierung und die Kommunikations-Hardware an der Testkreuzung installiert. Im Einzelnen betrifft das die folgenden μ Meilensteine:

- **μ Meilenstein 2.250-4a: Inbetriebnahme 3a, Ko-TAGs integriert**

Der Testbedarf für die Lokalisierung von Versuchsträgern mit Ko-TAG Transpondern hat sich zunächst an die Versuchskreuzung Aschaffenburg verlagert. Aus diesem Grund war eine Umsetzung zum vorgesehenen Termin im Projektmonat 28 für die Kreuzung in Alzenau bisher nicht notwendig. Eine Integration von zwei Ko-TAG Version 1.0 Transpondern ist jetzt sowohl für die Versuchskreuzung Aschaffenburg, als auch für die Versuchskreuzung in Alzenau im Projektmonat 38 erfolgt. Es entstehen dadurch keine Verzögerungen im Projektablauf im Bezug auf die nachfolgenden μ Meilensteine (Abbildung 14).



Abbildung 14: Ko-TAG v1.0, Anschlüsse TX (links), Power (Mitte unten), RX (rechts)

- **μ Meilenstein 2.250-4b: Inbetriebnahme 3b, Ko-PER CCU integriert**

Die Erstinbetriebnahme der CCU (Kommunikationseinheit) ist termingerecht zusammen mit der Inbetriebnahme in den Versuchsträgern erfolgt (Abbildung 15). Die gesamte Hardware wurde dazu in einer Laborwerkstatt aufgebaut und entsprechend getestet. Die Integration in die Versuchskreuzung Alzenau kann jetzt, bei einem konkreten Bedarf an Versuchsfahrten an der Kreuzung Alzenau mit benötigter Kommunikation, kurzfristig erfolgen (innerhalb von 2 Wochen). Die dadurch frei gewordenen Kapazitäten wurden von CSEI aktuell für die Vorbereitung des Versuchsträgers genutzt. Die Durchführung von Testkampagnen wird dadurch bei entsprechendem Planungsvorlauf nicht verzögert.



Abbildung 15: CCU mit Antennen und Kabel bei der Erstinbetriebnahme

5.5 AP 2.420 Ausstattung mit Sensorik und Kommunikationseinheiten

Im Meilenstein M2.2420-1 Sensor- u. Rechnerausstattung V-Fahrzeuge (ohne VCCU, Tightly Coupled GNSS/ISS, Ko-TAG Subsystem) wurde der vollzogene Einbau von Sensoren und Rechnern dokumentiert. Das Ergebnis ist in der Abbildung 16 zu sehen. Drei Sensoren und 4 Rechner sind im CSEI-Versuchsfahrzeug fest verbaut.

Über den Meilenstein M2.2420-1 hinaus sind auch bereits die Aktoren Bremsansteuerung, elektrischer Gurtstraffer und 2 Monitore eingebaut.

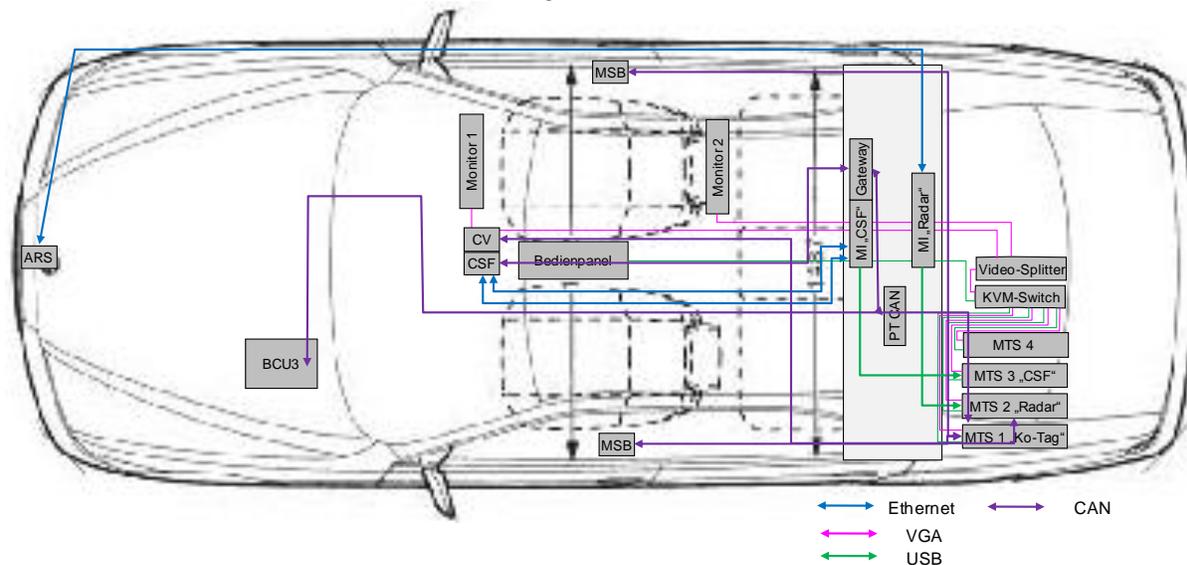


Abbildung 16: Versuchsfahrzeug mit Einbauten und Vernetzung

Das CSEI-Versuchsfahrzeug ist mit einem kombinierten Fern- und Nahbereichsradar ausgerüstet, der über eine Rechneinheit (PC) zusammen mit den Zeitstempeln aus der CSEI-SyncBox aufgezeichnet werden kann. Diese Recheneinheit dient später auch als Schnittstelle zur Kommunikationseinheit (Ko-PER CCU), d.h. dort werden die Sensordaten online gefiltert, getrackt und in das Ko-PER-Format gebracht.

Darüber hinaus verfügt der Versuchsträger über eine Fußgängerer-Erkennungsfunktion die mit Hilfe einer Ko-TAG Onboard-Unit Version 1.0 fusioniert mit einer Kamera realisiert wurde. Die-

se Sensordaten werden allerdings nicht in das Ko-PER-Format transformiert, sie dienen nur zur Auslösung von Warnkaskaden und der automatischen Notbremse.

Neben der Anzeige des aktuellen Funktionsstatus auf einem Bildschirm sind, haptische Warnungen über Gurtstraffer, akustische Warnmeldungen und zusätzlich ein Bremsengriff im Versuchsträger integriert.

▪ **Aktorik Fahrdynamik: Ansteuerbarer Bremsbooster**

Die Elektronische Ansteuerung der Bremsanlage erfolgt mit einem parallelen Steuergerät (Siehe Abbildung 17). Das vorhandene Steuergerät übernimmt unverändert die Bremsenansteuerung, das zusätzliche Steuergerät kann mit einem Steuerbefehl ein Magnetventil im Bremsbooster ansteuern und damit gezielt den Bremsdrucks zur Fahrzeugverzögerung auslösen. Das Zusatzsteuergerät ist mittels private CAN mit dem Auslöserechner verbunden und per Not-Aus Schalter vom Fahrer abschaltbar.

Das Ergebnis der Leistungsmessung mit vorgefüllten Zylindern (Pre-Fill) ist im Diagramm der Abbildung 18 zu sehen. Bei der Vorgabe eines Bremsdrucks von 100 bar ergab sich nach 220ms eine mittlere Verzögerung von 5,9 m/s² (nasse Straße). Bei trockener Straße konnten hier sogar Werte über 8 m/s² erreicht werden.

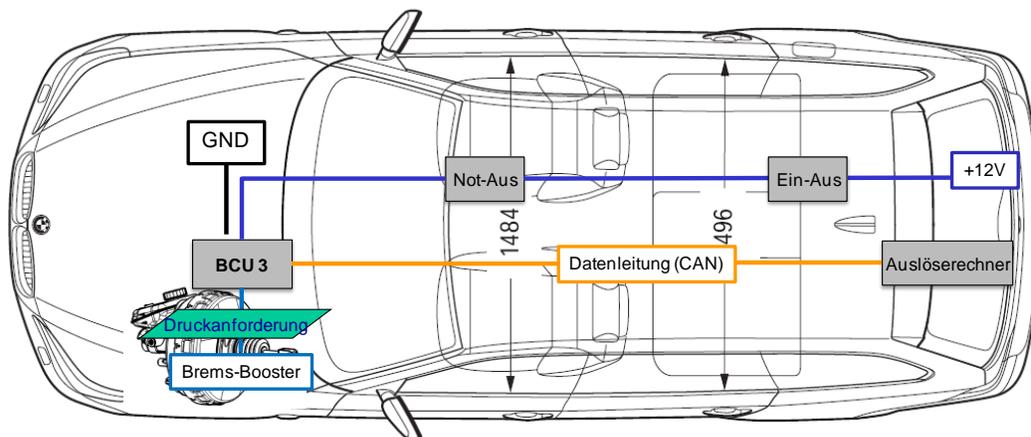


Abbildung 17: Versuchsträger mit ansteuerbarem Bremsbooster

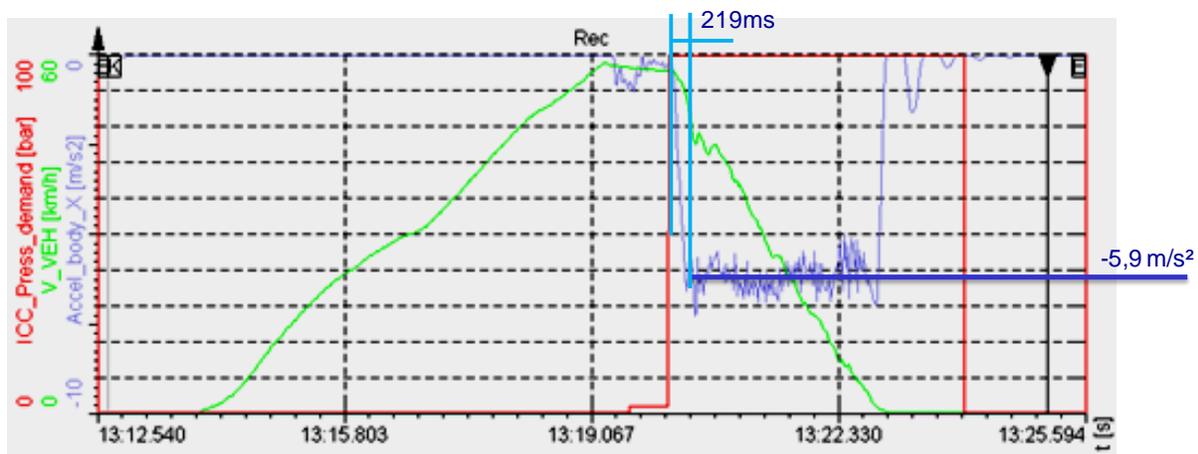


Abbildung 18: Diagramm mit Verlauf von Bremsdruck, Geschwindigkeit und Beschleunigung

▪ **Aktorik Haptik: elektromotorische Gurtstraffer auf Fahrer- und Beifahrerseite**

Die Ansteuerung der Gurtstraffer ermöglicht verschiedene Zugprofile zur optimalen Anpassung einer haptischen Warnung. Die maximal mögliche elektrische Gurtzugkraft beträgt 250N. Der Einbauort sowie ein Bild des Straffers sind in der Abbildung 19 zu sehen.

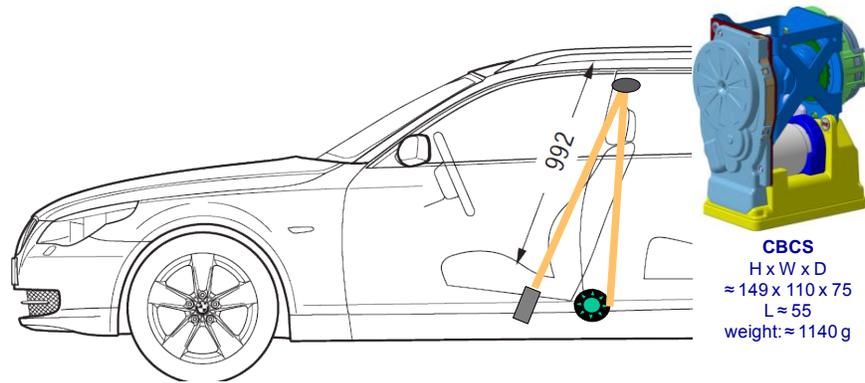


Abbildung 19: Versuchsträger mit integrierten elektrischen Gurtstraffern

▪ **Sensorik Ko-TAG OBU Version 1.0:**

Die hier im Versuchsträger verbaute Transponder-Technologie hat folgende Vorteile gegenüber herkömmlichen, vorausschauenden Sensor-Technologien (Radar, Lidar, Kamera):

- sichere Objektklassifikation
- Objektlokalisierung selbst ohne direkte Sichtverbindung
- kontinuierliches Objekttracking
- Einzelauflösung bei Fußgängergruppen

Der Aufbau des Sensorsystems ist in der Abbildung 20 dargestellt. Es besteht aus den Ko-TAG-Einheiten, z.B. am Fußgänger, sowie der Onboard-Unit im Versuchsträger.



Abbildung 20: Fußgängerschutzsystem mit Transpondertechnologie

▪ **Sensorik Radarsensor: Nah- und Fernbereich 77GHz (ARS 300)**

Zur Erkennung und Klassifizierung von Fahrzeugen wurde der konzerninterne Radarsensor ARS 300 in den Versuchsträger integriert (Abbildung 21). Die Reichweite beträgt im Nahbereich 60m sowie im Fernbereich 200m. Dabei wird eine Genauigkeit bei der Abstandsmessung von +/- 0,25m erreicht. Die Öffnungswinkel betragen nah 56° / fern 18°, bei einer Auflösung von nah +/- 2° / fern +/- 0,1°. Die Wiederholrate liegt bei 66ms, wobei mit einer Latenz von 120ms ermittelt werden konnte.

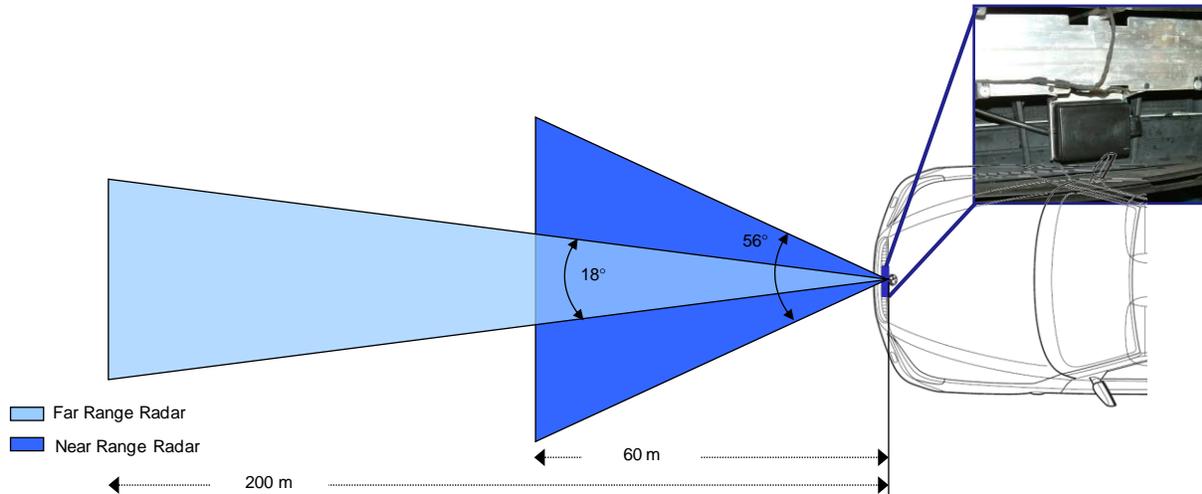


Abbildung 21: Sichtbereiche und Einbau des Radarsensors

▪ **Steuerung Kommunikation: Ko-PER CCU (modifiziert aus Sim-TD)**

Für die Kommunikation von Fahrzeugen mit der Infrastruktur (Kreuzungen) aber auch anderen Fahrzeugen wurde im Versuchsträger eine sogenannte „Central Communication Unit“ oder kurz CCU eingebaut. Die Ko-PER CCU hat die folgenden Möglichkeiten zur Funkübertragung: Ein ITS-G5 Modul für V2X-Kommunikation (802.11p 5,9GHz WLAN), WLAN 2.4 GHz und GSM/UMTS für Software-Updates. Zusätzlich ist noch ein GPS-Empfänger integriert, der hier nur für die Zeitsynchronisation genutzt wird (Abbildung 22). Die Verbindung zum Steuerrechner erfolgt über Ethernet.



Abbildung 22: Central Kommunikation Unit (CCU) im Versuchsträger integriert

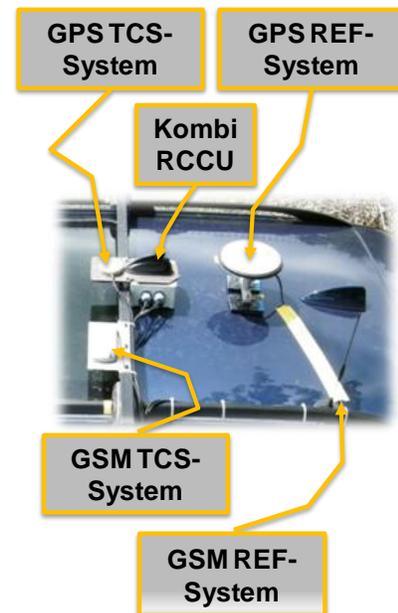
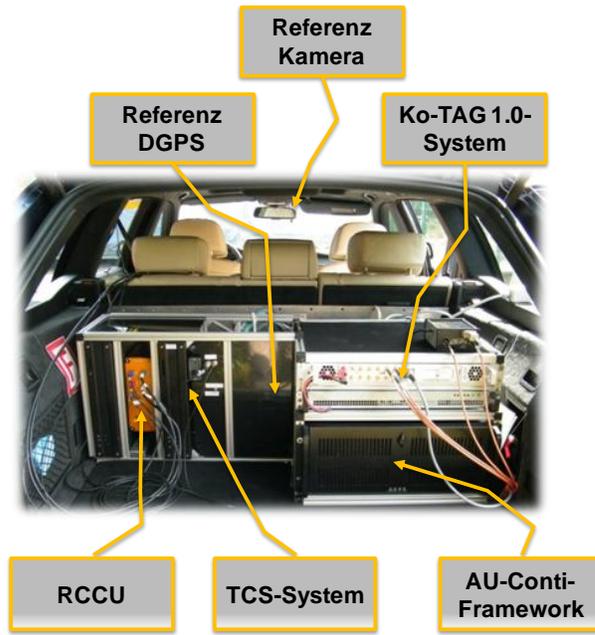


Abbildung 23: Antennen auf dem Dach des Versuchsträgers

Auf dem Dach (Abbildung 23) befinden sich die Antennen der Kommunikation (Kombinations-Antenne für CCU), des Tightly Coupled GPS (TCG) Systems (GPS-Empfang und GSM für Korrekturdaten) sowie die GPS-Tellerantenne und eine weitere GSM-Antenne für das Lokalisierungs-Referenzsystem (ADMA).



Im Fahrzeugheck (Abbildung 24) sind in einem gemeinsamen Rack die Lokalisierungs-, Kommunikations- und Sensorauswertungs- Systeme verbaut. Auch der Steuerungsrechner (Applikation-Unit AU) mit dem CSEI-eigenen Software-Framework ist rechts unten in diesem Rack integriert.

In der Abbildung 10 sind des Weiteren noch das Referenzsystem zur exakten Ermittlung der Eigenposition (vor der Rückbank) und die Kamera (im Bereich Rückspiegel) zur Speicherung von Referenzbildern angedeutet. Diese Kamera wird zusätzlich noch zur Erkennung von Fußgängern mit den Daten aus der Ko-TAG OBU fusioniert.

Abbildung 24: Überblick der Einbauten im Versuchsträger

▪ Aufbau der Steuerungssoftware

In der Abbildung 25 sind die einzelnen Module der Steuerungssoftware für die Darstellung der Versuchsträgerfunktion sowie Datenspeicherung und Kommunikation zu sehen.

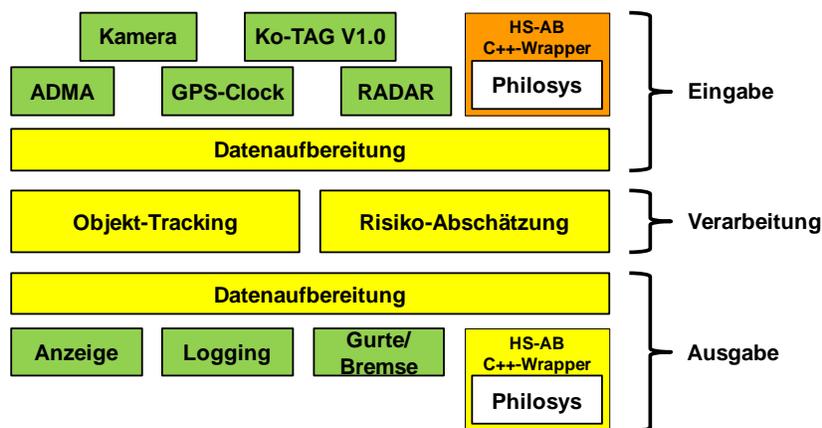


Abbildung 25: Struktur der Steuerungssoftware

Die zentralen Module Objekt-Tracking und Risiko-Abschätzung erhalten ihre Daten aus den verschiedenen Sensoren bzw. Empfängern, die im Modul Datenaufbereitung konditioniert und teilweise auch fusioniert wurden.

Über eine weitere ausgangsseitige Datenaufbereitung werden Informationen angezeigt, auf Festplatte geschrieben (Logging), über Funk weitergegeben aber auch die Aktuatoren Gurtstraffer und Bremse angesteuert.

Die Kommunikationshardware (SimTD CCU) wurde in den CSEI-Versuchsträger integriert und mit der von Continental Teves im Rahmen des Projektes bereitgestellten KoPER-CCU-Software versehen. Die Kommunikationsdaten können bidirektional im 100 ms Takt mit der partnerspezifischen Applikation Unit (AU), hier Conti-Framework, ausgetauscht werden. Dies wurde u.a. mit der Messkampagne MK08 entsprechend nachgewiesen.

In der Abbildung 25 sind die einzelnen Module der Steuerungssoftware für die Darstellung der Versuchsträgerfunktion sowie Datenspeicherung und Kommunikation zu sehen.

Die zentralen Module Objekt-Tracking und Risiko-Abschätzung erhalten ihre Daten aus den verschiedenen Sensoren bzw. Empfängern, die im Modul Datenaufbereitung konditioniert und teilweise auch fusioniert wurden. Die Schnittstelle zur CCU befindet sich an den mit Eingabe und Ausgabe bezeichneten Klammern. Über eine weitere ausgangsseitige Datenaufbereitung werden Informationen angezeigt, auf Festplatte geschrieben (Logging), über Funk weitergegeben aber auch die Meldung für den Fahrer optisch/akustisch generiert.

5.6 AP 2.430 Inbetriebnahme und Verifikation (HW-Einzelmodule)

Der Meilenstein M2.430-1 Sensoren + Datenaufzeichnungssystem in Fahrzeuge integriert (ohne VCCU, Tightly Coupled GNSS/ISS, Ko-TAG Subsystem) war im Projektmonat 9 zu erledigen.



Eine Teilaufgabe war die Integration der Sensoren und der Datenaufzeichnung. Testaufnahmen mit einer sog. „Sync-Box“ wurden durchgeführt (Siehe Abbildung 26), um die GNSS basierte Zeitstempelung der Sensordaten zu evaluieren. Dabei konnten auch schon erste Aussagen über die Latenzzeiten der Sensoren gewonnen werden.

Da die im CSEI-Versuchsfahrzeug integrierten Sensoren (Radar, Kamera, Lidar) nicht direkt über einen Synchronisationspuls getaktet werden können kann die Sync-Box hier nur zur Generierung eines parallelen Zeitstempels auf einem CAN-Bus eingesetzt werden.

Für diese Funktionalität wird CSEI eine eigene Hardware mit vergleichbarer Genauigkeit aufbauen und die Funktion entsprechend nachweisen.

Abbildung 26: Targetpendel und Versuchsfahrzeug bei Sensor-Zeitsynchronisationstest

Der Meilenstein M2.430-1 Sensoren + Datenaufzeichnungssystem in Fahrzeuge integriert (ohne VCCU, Tightly Coupled GNSS/ISS, Ko-TAG Subsystem) war im Projektmonat 9 zu erledigen und ist von Seiten CSEI im Monat 14 mit einer eigenen Hard- und Software abgeschlossen worden.

Der Nachweis der gemeinsamen UTC-Basis zwischen CSEI-SyncBox und – Ko-PER-SyncBox (aus der generischen Kreuzung) wurde wie nachfolgend geführt:

Als gemeinsamer Signalgenerator wurde ein GPS-Empfänger benutzt (Fastrax)
Zu Datenaufzeichnung diente ein MTS Rechner (PC mit Conti-Framework) mit zwei CAN-Eingängen (Abbildung 27).

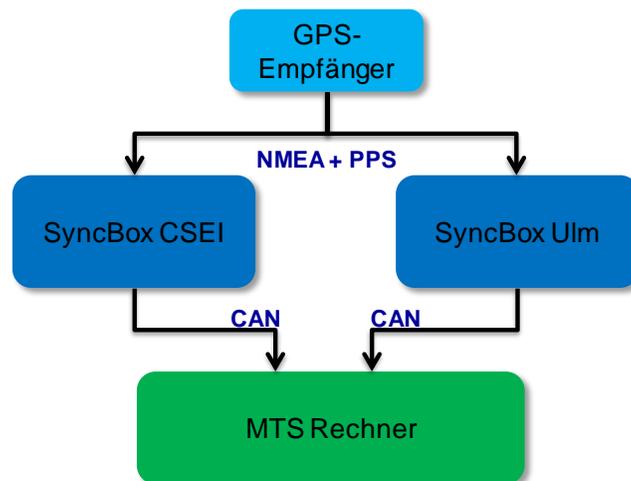


Abbildung 27: Aufbauschema der Zeitsynchronisations-Verifikation

Die Messergebnisse sind auf den folgenden beiden Diagrammen zu sehen (Abbildung 28). Im ersten Diagramm ist auf der Hochachse der Wert des Zeitzählers in $1 \cdot 10^5 \mu\text{s}$ aufgetragen, d.h. bei der Zahl 10 im Diagramm ergibt sich ein Wert von $1.000.000 \mu\text{s}$ bzw. 1 Sekunde. Auf der horizontalen Achse sind die CAN-Messages mit einer Frequenz von 25 Hz mit ihrer Zeitstempelnummer zu sehen.

Im Diagramm darunter ist jetzt die Differenz aus beiden Zeitstempeln CSEI-SyncBox und – Ko-PER-SyncBox in μs aufgetragen.

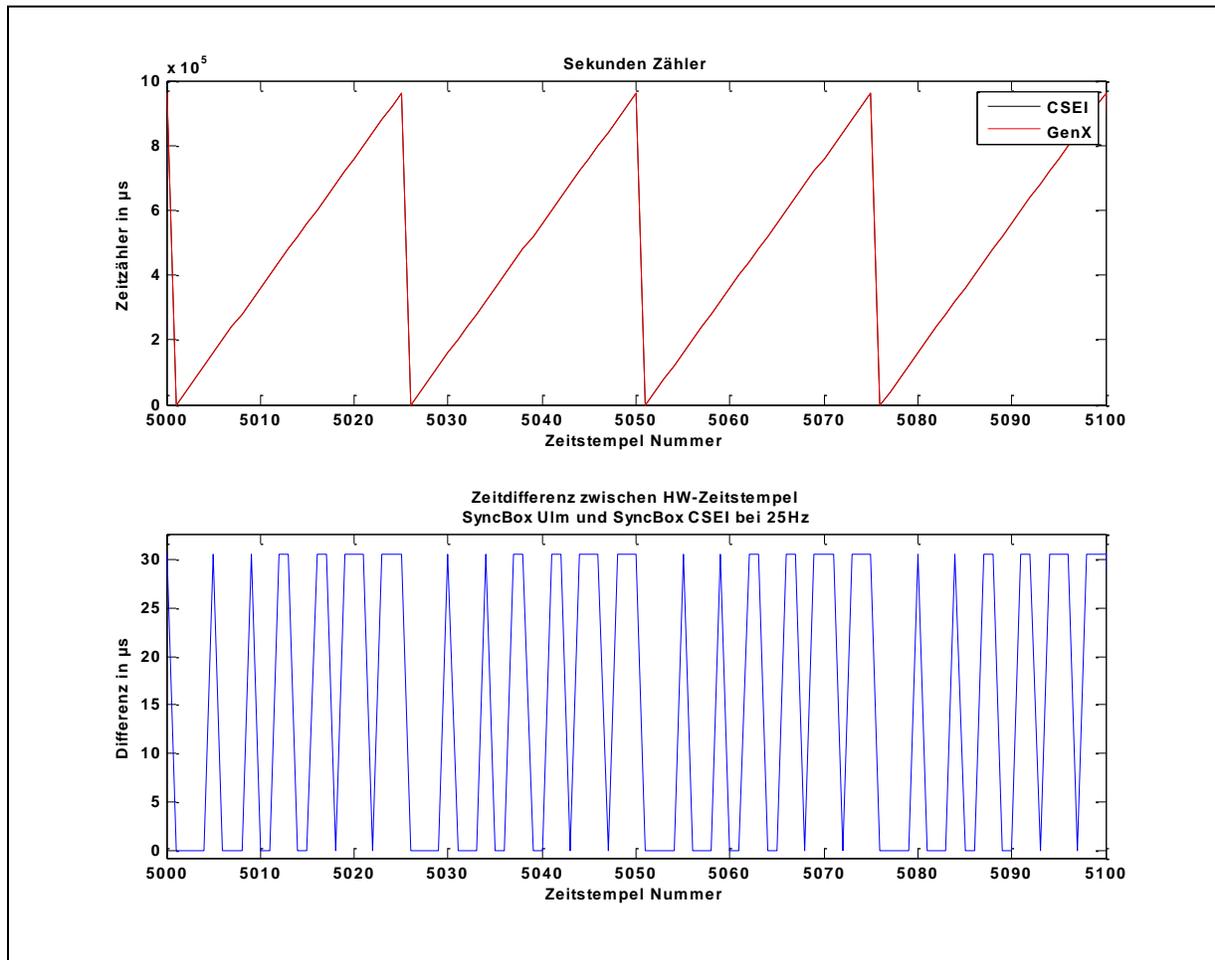


Abbildung 28: Diagramm von Zeitsignal und Differenz

Die gesamte Aufnahmedauer der Messdaten betrug 10min in den Diagrammen ist eine Ausschnitt von 4 Sekunden dargestellt. Es ergibt sich eine maximale Abweichung zwischen den Zeitstempeln von $30,52\mu\text{s}$, d.h. die geforderte Genauigkeit von unter $1000\mu\text{s}$ wird sicher erreicht und sogar deutlich unterschritten. Die zeitliche Auflösung der Uhren beträgt 15 Bit, was auch genau den $30,52\mu\text{s}$ an Abweichung entspricht.

Wenn es zu einem Ausbleiben des GPS-Empfangs $> 30\text{s}$ kommt, wird ein Fehler Flag gesendet. Auch bei einer Messung von 1 Stunde dauer waren ebenfalls keine Auffälligkeiten festzustellen.

5.7 AP 2.440 Validierung der Zeitstempelung von Sensordaten

Der $\mu\text{MS-2.440-1}$ umfasst die Arbeiten zur Sicherstellung des korrekten datentechnische Zusammenspiels sämtlicher für die jeweilige Fahrzeugfunktion erforderlichen Sensoren, der Sensor-Synchronisationseinheit, des GNSS basierten Zeitgebers, sowie des Wirtsrechners und der Datenaufzeichnungssysteme. Er ist damit Voraussetzung sowohl für die Durchführung schritthaltender quasisynchroner Datenaufzeichnungen als auch für die schritthaltende Perzeption bzw. Szeneninterpretation (lokal und/oder fahrzeugübergreifend)

Unter Quasi-Synchronität ist hierbei die auf wenige Millisekunden genaue Zeitstempelung der einzelnen Sensordatensätze zu verstehen – wobei die in der Sensordaten-Pipeline von der Signalerfassung bis zur Ankunft im Wirtsrechner verstreichende Latenzzeit hinreichend genau zu berücksichtigen ist: Die im Zeitstempel codierten UTC Modulo- 2^{32} -Millisekunden haben sich dabei auf den **Zeitpunkt der Messdaten-Erfassung** und mitnichten auf der Zeitpunkt der Messdaten-Ankunft im Wirtsrechner zu beziehen. Dauert der zugrunde liegende Messvorgang für sich schon mehrere Millisekunden (wie zum Beispiel bei Videokameras oder scannenden Sensoren), so ist als Referenzzeit der Beginn des Datenerfassungszyklus zu verwenden. Dies hat die folgenden Gründe: bei einem triggerbaren Sensor (z.B. Kamera) ist ohne die Zusatzinformation der Belichtungszeit nur der Anfang der Messperiode als sinnvoller Wert verwendbar. Bei Laserscannern ist die Zeitdauer für einen Scan bekannt, der Zeitpunkt der Triggerung (= Mitte des Scans) kann daher auf den Anfang zurückgerechnet werden. Alle anderen Zeitpunkte sind durch die Unkenntnis der Zeitdauer unsicherer und ungenauer. Bei nicht-triggerbaren Sensoren, die auch kein Messzeitpunktsignal liefern (Seriensensoren), ist sowieso nur im besten Fall der Zeitpunkt des Interrupts an der PC-Schnittstelle verwendbar.

Wie oben bereits erwähnt ist die korrekte Zeitstempelung der Daten ein essentieller Bestandteil für den erfolgreichen Verlauf von Ko-PER. Daher wird dieser Aspekt im Rahmen dieses Mikrozeilensteins detailliert untersucht. Die Zeitstempelung der Sensordaten und der Fusionsdaten, welche die Basis der kommunizierten Daten darstellen, müssen hierfür im Idealfall die folgenden Kriterien erfüllt sein:

- Die Zeitstempel der Sensordaten entsprechen exakt dem Aufnahmezeitpunkt
- Die Zeitstempel der fusionierten Daten entsprechen dem Aufnahmezeitpunkt der zuletzt in das System integrierten Messdaten und repräsentieren so die Information über das Umfeld zu dem angegebenen Zeitpunkt.

Daraus leiten sich die folgenden Punkte ab:

- Der zeitliche Offset zwischen Aufnahmezeitpunkt (wie oben definiert) und der Vergabe des Zeitstempels muss genau ermittelt werden.
- Die Zeitstempel müssen zu einer globalen Zeitbasis (UTC) vergeben werden, auf die in allen Fahrzeugen hochgenau synchronisiert werden muss.

Die Bestimmung der zeitlichen Offsets zwischen Aufnahmezeitpunkt und der Zeitstempelvergabe erfordert hohen Aufwand, den die Partner im Rahmen des Projektes erbringen. Der Nachweis der korrekten Zeitstempelung der Sensordaten kann partnerübergreifend ebenfalls nur mit sehr hohem Aufwand erfolgen. Hierfür eignen sich beispielsweise Methoden, welche bewegte Ziele, deren reale Bewegung bekannt ist (Ground Truth) im Sensor detektiert werden. Aus beiden Bewegungsabläufen wird anschließend die Phasenverschiebung bestimmt. Diese entspricht der zeitlichen Verzögerung zwischen realer Bewegung und der Vergabe des Zeitstempels auf den Sensordaten.

Hierbei ergeben sich jedoch folgende Probleme:

- Jeder Sensor besitzt gewisse physikalisch bedingte Messfehler. Dieses Sensorrauschen addiert sich zu der durch den Sensor wahrgenommenen Bewegung. Räumlicher und zeitlicher Fehler überlagern sich also und können nicht eindeutig voneinander getrennt werden.
- Die Sensordaten der Partner sind sehr heterogen (Videosystem, Laserscanner, Radar). Jeder Sensortyp besitzt gewisse Vor- und Nachteile bei der Bestimmung von Positions- bzw. Geschwindigkeitsdaten und eignet sich daher für bestimmte Bewegungsmuster besser oder schlechter. Ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Sensoren ist daher sehr schwierig.

Aufgrund dieser Punkte wurde auf dem Treffen der AG Fahrzeuge und Funktionen am 06.08.2010 beschlossen, dass für die Ermittlung der zeitlichen Genauigkeit partnerübergreifend mit der im Folgenden beschriebenen Methodik umgesetzt wird.

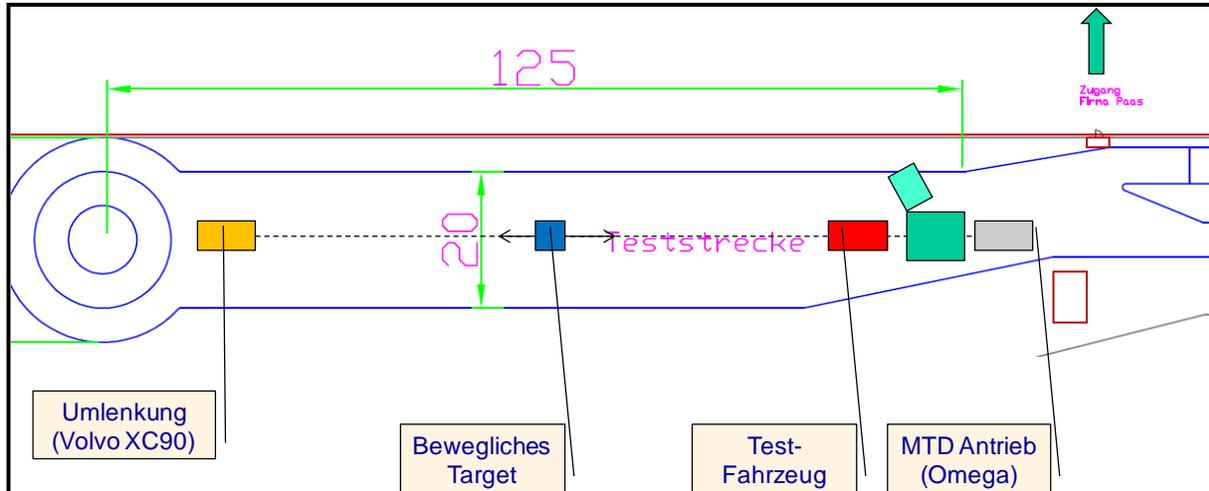


Abbildung 29: Aufbauplan Validierungstest Continental Safety Dynamic Area

Das Moving Target Device (MTD), welches im Rahmen von Ko-KOMP entwickelt wurde, dient als bewegliches Ziel. Dieses Objekt wird mit zwei Cornerreflektoren ausgestattet. Mit Hilfe des auf dem System verbauten ADMA-Systems (welches im Rahmen von Ko-PER ebenfalls als Referenzsystem zur Positionierung verwendet wird) werden die Ground Truth-Bewegungsdaten aufgezeichnet. Das ADMA-System liefert diese Daten hochgenau synchron zur UTC-Zeitbasis (Siehe auch Abbildung 29).

Das MTD wird in einer beschleunigten Längsbewegung vor einem Versuchsträger bewegt, idealerweise mit sinusförmiger Geschwindigkeitsmodulation. Der Versuchsträger zeichnet Radardaten auf, wobei die ebenfalls zur UTC-Zeitbasis vorliegenden, zu verifizierenden Zeitstempel vergeben werden. Auf Basis dieser Daten wird das MTD mit Hilfe von Trackingverfahrens zeitlich und räumlich verfolgt, wobei das Trackingverfahren bzw. die darin verwendeten Prozess- und Messmodelle auf das Objekt bzw. auf die Geschwindigkeitstrajektorie optimiert wird. Dadurch ist es möglich, dass die getrackte Trajektorie möglichst phasenverschiebungsfrei ist. Dennoch bleibt eine gewisse, durch die Glättung des Trackingverfahrens inhärente Phasenverschiebung bestehen.

Durch ein Kreuzkorrelationsverfahren wird der zeitliche Fehler zwischen der Ground Truth und der getrackten Trajektorie ermittelt. Hierfür wurde nacheinander die Distanz sowie die Geschwindigkeit des getrackten Objektes als Korrelationswerte verwendet. Dabei hat sich ergeben, dass die Geschwindigkeitswerte aussagekräftigere Ergebnisse mit geringerer Phasenverschiebung zulassen, da Änderungen der Geschwindigkeit mit Hilfe der Dopplerinformation der Radare direkt messbar sind und die Variabilität der Geschwindigkeit höher ist als die des Ortes. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Ergebnisse der Geschwindigkeitskorrelation verwendet.

Das oben beschriebene Verfahren wird pro Versuchsträger mehrfach nacheinander durchgeführt und in einzelnen Sequenzen abgespeichert. Eine Visualisierung der Ergebnisse ist in Abbildung 30 beispielhaft für eine Sequenz des Delphi-Versuchsträgers abgebildet. In dieser Grafik wurde mit Hilfe des Korrelationsverfahrens ein Delay von 3 ms ermittelt. Dies lässt den

Schluss zu, dass der reale zeitliche Fehler kleiner als dieser Wert ist, da darin die oben erwähnte zusätzliche Phasenverschiebung des Trackings beinhaltet ist.

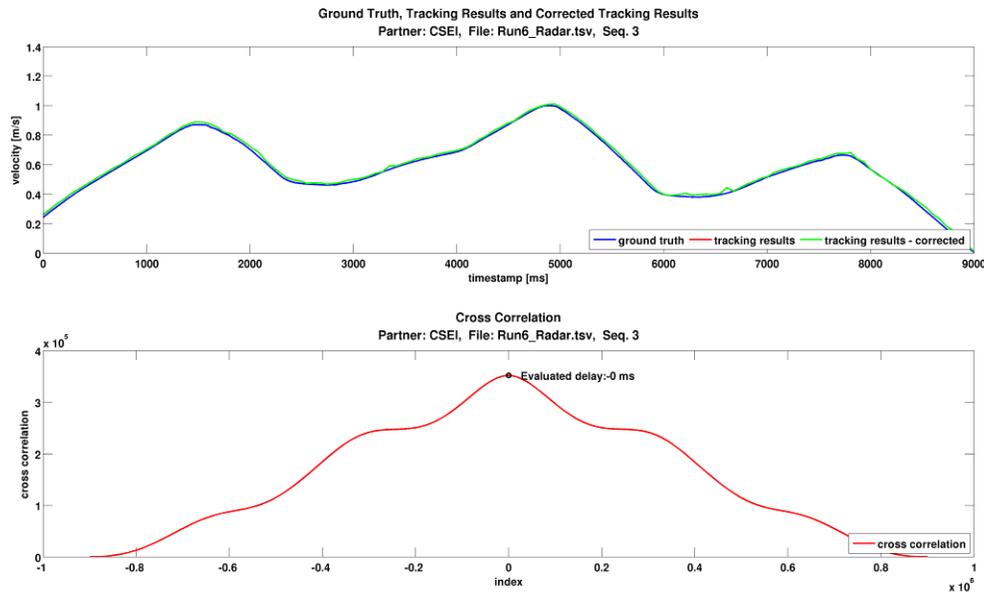


Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung der Evaluationsergebnisse einer Sequenz

Das Ergebnis der Evaluation lässt wie folgt beschreiben:

In der Abbildung 30 oben: Ground Truth der Geschwindigkeit in [m/s] (blau), Ergebnisse des Trackings (rot) und durch den ermittelten Zeitdelay korrigierte Trackingergebnisse (grün) über der Zeit [ms]. Unten: Korrelationsergebnis der Geschwindigkeitskurven über den Verschiebungsindex.

Es ist ersichtlich, dass das Maximum von 85,2 ms einen statistischen Ausreißer repräsentiert, der auf Bewegungen zurückzuführen ist, die durch das verwendete Trackingverfahren nur mit starker Phasenverschiebung nachgeführt werden kann (z.B. sehr starke Beschleunigung). Alle ermittelten Korrelationsfehler subsumieren die zeitlichen Delays und die durch das Trackingverfahren entstehende Phasenverschiebung. Für Ko-PER ist jedoch letztere ausschlaggebend. Die durch Zeitstempelfehler und Phasenverschiebung entstehenden Fehler in der Zustandsschätzung müssen klein genug sein, um eine Assoziation der kommunizierenden Objekte zu ermöglichen.

Der statistisch signifikante Korrelationsfehler von 28,2 ms wirkt sich auf die Größen der Zustandsschätzung wie folgt aus:

Bei einer relativen Geschwindigkeit von 200 km/h ergibt sich, bei einem zeitlichen Korrelationsfehler von 28,2 ms, ein direkter Ortsfehler von 1,6m. Dieser Fehler ist in Längsrichtung geringer als die Hälfte einer Fahrzeuglänge. Daher ist auch in diesem Worst-Case-Fehler die Assoziation möglich.

5.8 AP 2.510 Systemanforderungen und Spezifikation der Fahrzeugperzeption



Zusammen mit den Fahrzeug betreibenden Partnern BMW, DAI und DELPHI wurde die Lieferung L-2.510-1 Spezifikation und Anforderungen an die fahrzeuglokale Perzeption erarbeitet. Hierin sind die Eigenschaften der in den Fahrzeugen verbauten Sensoren näher beschrieben. CSEI stellt das auf der Abbildung 31 zu sehende Fahrzeug mit Radar-, Lidar- und Kamerasensorik zur Verfügung.

Abbildung 31: CSEI-Versuchsfahrzeug BMW 530xi

5.9 AP 2.580 Test und Evaluierung der fahrzeuglokalen Perzeption

Zu den Versuchsaufbauten gehören das Moving-Target-Device, mit dem ein PKW simuliert werden kann, sowie ein Fußgängerdummy, der von CSEI bei Bedarf bereitgestellt wird. Weiterhin sind im Rahmen der Testkampagnen mobile Verdeckungen für alle Sensorarten notwendig.

▪ Moving-Target-Device

Das Moving-Target-Device wurde bereits zur Verifikation der korrekten Zeitstempelung der Sensormessdaten der Partner eingesetzt. Es wird in Zukunft bei Szenarien zum Einsatz kommen, bei denen eine Kollision mit dem Target nicht ausgeschlossen werden kann.



Abbildung 32: Target für den Längsverkehr, CSEI Testgelände Dynamic Aera

In der Abbildung 32 ist über das Panoramafoto die ganze Ausdehnung der Anlage inklusive des Längs-/ Folgeverkehrs-Targets zu sehen. Mit dieser Anlage lässt sich auch ein weiteres Target für den Querverkehr an Kreuzungen bewegen. In der folgenden Abbildung 33 ist dieses Target auf der Testkreuzung Alzenau zu sehen.



Abbildung 33: Target für den Querverkehr, CSEI Testgelände City

Zwei kurze Sätze über die Funktionsweise des Moving-Target-Device (Abbildung 34):
Über eine elektromotorisch angetriebene Seiltrommel wird ein Zugseil auf- bzw. gleichzeitig auch abgewickelt. Damit wird das Target mit Hilfe einer Umlenkrolle hin- und her bewegt. Geführt wird das Target dabei von einem zweiten, fest verspannten Führungsseil.

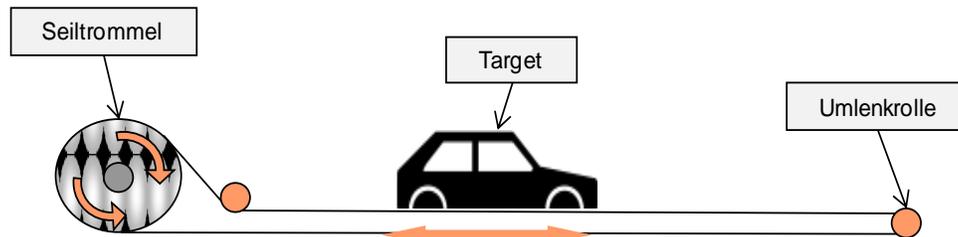


Abbildung 34: Funktionsprinzip Moving-Target-Device

In der folgenden Tabelle (Abbildung 35) sind die wesentlichen Eigenschaften der Testeinrichtung eingetragen:

Technische Daten	
Typische Distanz	$s = 100 \text{ m} / 150 \text{ m}$
Targetgeschwindigkeit	$v \leq 80 \text{ km/h}$
Targetbeschleunigung	$a \approx \pm 1 \text{ g}$
Spurgenauigkeit	$d = \pm 2,5 \text{ cm}$
Kollisionsgeschwindigkeit	$\Delta v \leq 40 \text{ km/h}$ (Schadenfrei)
Sensor Technologien	Radar, Kamera, Lidar (Laser)

Abbildung 35: Tabelle technische Daten Moving-Target-Device

▪ Fußgängerdummy

Der Fußgängerdummy kommt bei allen Szenarien zum Einsatz, bei denen Fußgänger einer unmittelbaren Gefährdung durch einen anderen Verkehrsteilnehmer ausgesetzt sind. In der folgenden Abbildung 36 ist ein entsprechender Dummy auf einer beweglichen Plattform zu sehen. Außer dieser Plattform besteht auch die Möglichkeit den Fußgängerdummy an einer Seilbahn über einen Fußgängerüberweg schweben zu lassen. Beide Testvorrichtungen inklusive geeigneter Dummies sind bei CSEI vorhanden und stehen für Ko-PER-Testkampagnen zur Verfügung.



Abbildung 36: Fußgängerdummy, CSEI Testgelände City

▪ Mobile Verdeckungen

Für den Test der lokalen und Fahrzeugübergreifenden Perzeption werden mobile Verdeckungen für alle Sensorarten benötigt. Diese sollten, um für die in mehreren Fahrzeugen verbauten Radarsensoren ein Hindernis darzustellen, vorzugsweise elektrisch leitend sein.

Im Rahmen erster Tests hat sich gezeigt, dass die notwendigen Verdeckungen einfach mit normalen PKW erzeugt werden können. Wesentlicher Vorteile sind, dass einerseits die Verdeckung der Radarsensorik gewährleistet ist, PKW in ausreichender Anzahl bei den Partnern verfügbar sind und die Rüstzeit minimal ist. Daher werden in den zukünftigen Testkampagnen, wo nötig, PKW als Verdeckungen verwendet.

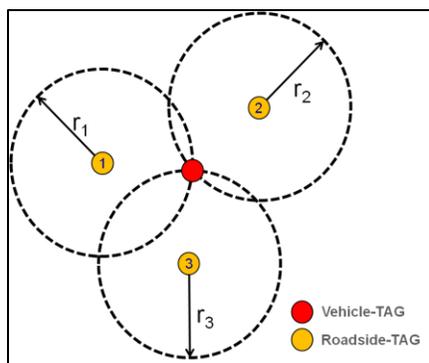
Im Nachgang zur Messkampagne MK08 am 24.10.2012 an der Hochschule Aschaffenburg konnte die Korrektheit der gesendeten Radardaten des CSEI-Versuchsträgers nachgewiesen werden. Dazu fuhr der driveU-Versuchsträger in sieben Versuchsvarianten auf das stehende CSEI-Fahrzeug zu. Dabei wurden die Daten aus dem RTK-GNSS-Referenzsystem des driveU-Fahrzeugs mit den kommunizierten Daten aus dem CSEI-Fahrzeug verglichen. Die ermittelten Abweichungen lagen durchwegs innerhalb der Spezifikation, sodass sowohl die zeitliche als auch die örtliche Objektinformation im Rahmen der Messgenauigkeiten übereinstimmten.

5.10 AP 2.610 Systemanforderungen und Spezifikation der Fahrzeug-Eigenlok.

CSEI wirkte bei der Erstellung des Dokuments L 2.610-1 Fahrzeugeigenlokalisierung an Kreuzungen mit. In diesem Dokument sind die Randbedingungen für verschiedene Möglichkeiten der Fahrzeug-Lokalisierung festgelegt. CSEI verfolgt hier die Nutzung von ortsfesten RFID-Tags aus dem Projekt Ko-TAG.

5.11 AP 2.670 Ko-TAG Kreuzungsortungssystem

Verfahren zur Eigenlokalisierung an straßenseitigen Infrastruktureinrichtungen (beispielsweise Kreuzungen) mittels Ko-TAG Transpondern wurden sowohl für die Systeme Ko-TAG 1.0 als auch Ko-TAG 2.0 entwickelt. Die entsprechenden Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem Schwesterprojekt Ko-TAG.



Funktionsprinzip und Aufbau des Systems

Die Eigenlokalisierung anhand von Transpondern der Ko-TAG 1.0 Generation basiert auf der Verwendung reiner Entfernungsmessungen nach dem Round Trip of Flight (RTOF) Verfahren. Mit dem Ko-TAG 1.0 System ist es möglich, den Abstand eines Master-TAGs zu einzelnen Roadside-TAGs mit einer Standardabweichung von 4,7cm zu ermitteln. Setzt man voraus, dass die exakte geographische Position der Roadside-TAGs bekannt ist, kann mittels Laterationsansatz unter Verwendung von mindestens drei Abständen die Position des Master-TAGs erfolgen.

Abbildung 37: Funktionsprinzip der Trilateration

Als Ergebnis aus diesem Lokalisierungsansatz erhält man die Längen und Breitengrade-Koordinaten des Master-TAGs. Mittels nachgeschalteter Datenverarbeitung kann zusätzlich die Geschwindigkeit des Master-TAGs und dessen Orientierung geschätzt werden.

Die Onboard-Einheit des Versuchsträgers ist mit einem OBU-TAG der Ko-TAG 1.0 Generation ausgestattet. Dieses ist mit einer omnidirektionalen Sende-/Empfangsantenne ausgestattet welche vertikal einen schmalen Öffnungswinkel aufweist um Mehrwegeeffekte wie bspw. Reflexionen über die Motorhaube eines Fahrzeugs reduzieren zu können (Abbildung 38).

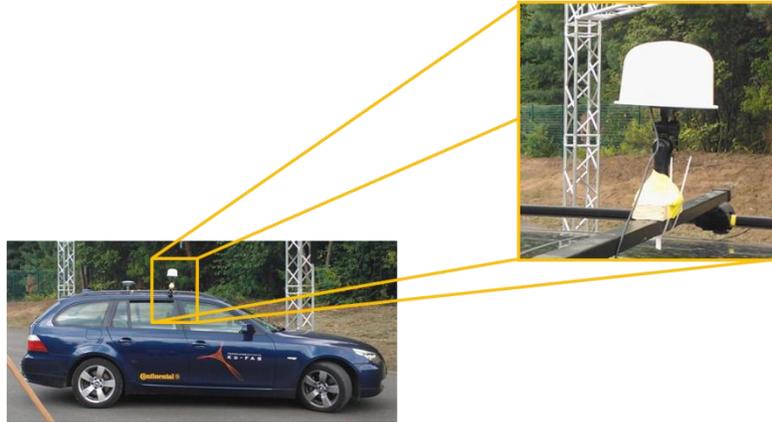


Abbildung 38: Antenne der Onboard Einheit

Die Roadside-TAGs sind mit einem Diversity Switch ausgestattet, welcher den abwechselnden Betrieb zweier Antennen an einem TAG zulässt. Dies hat zur Folge, dass pro TAG zwei IDs vergeben werden. Die hierfür verwendeten Antennen weisen eine Richtcharakteristik von ca. 180° auf um eventuelle Mehrwegreflexionen an Objekten hinter den RoadSide-TAGs auf ein Minimum zu reduzieren. Der Reduktion dieser Mehrwege dient auch die Ausführung der TAG-Befestigungen aus Holz, welche eine Antennen-Montagehöhe zwischen 2,5m und 4,0m über dem Testfeld ermöglichen (Abbildung 39).

Datenverarbeitungsschritte

Die Verarbeitung der Rohdaten gliedert sich in drei Schritte. Das so genannte Preprocessing hat hierbei die Aufgabe die Entfernungsmessdaten auf Plausibilität und Qualität zu prüfen. Weiterhin wird die Einbauhöhe der Roadside-TAGs rechnerisch korrigiert (Abbildung 40, Abbildung 41).



Abbildung 39: Roadside-TAG mit Holzstativ

Preprocessing

Distance plausibility check:

- Min/Max Values

Signal quality check:

- Minimum threshold

Height correction:

- Correct offset for different antenne heights

Position calculation

Lateration:

- $\dim(\text{dist}_{pre})$ equations

Find optimum position:

- least squares method

Dies ist notwendig, da schlechte oder unplausible Daten zu einer Verfälschung der Positionsbe-rechnung führen würden.

Nach dem Preprocessing wird die tatsächliche Positionsbe-rechnung durchgeführt. Hierbei bedient man sich, wie bereits erwähnt, des Verfahrens der Trilateration.

Abbildung 40: Arbeitsschritt Position calculation

Abbildung 41: Arbeitsschritt Preprocessing

Aufgrund der großen Anzahl an Roadside-TAGs ist das hierfür verwendete Gleichungssystem aber unter Umständen überbestimmt, weswegen eine Ideallösung anhand der Methode der Summe der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt wird.

Die aus der Positionsberechnung resultierenden Rohpositionen weisen noch eine gewisse Unschärfe aus, welche mittels eines Extended Kalman Filters geglättet wird. Neben der Glättung hat dieses Vorgehen den Vorteil, dass bei kurzen Messaussetzern die Position präzisiert werden kann. Weiterhin ist man mittels des Kalman-Filters in der Lage verschiedene Zustandsgrößen abzuleiten, die nicht direkt gemessen werden können. In der hier beschriebenen Anwendung wird dies genutzt um die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung des Objekts zu schätzen. Dem Kalman Filter wird hierbei das Modell konstanter Geschwindigkeit zu Grunde gelegt (Abbildung 42). Dies bedeutet, dass man annimmt, dass sich die Geschwindigkeit eines Objekts zwischen zwei Zeitschritten nicht verändert. Eventuelle Geschwindigkeitsänderungen werden als Rauschterm modelliert.

Filtering

Extended Kalman Filter:

- Smoothing position
- Speed estimation
- Moving direction estimation
- Prediction of new state if no measurement data available
- CV-model (constant velocity)

Abbildung 42: Arbeitsschritt Filtering

Erst nach dem Filterschritt liegen Zustandsdaten in der für den Einsatzzweck ausreichender Qualität vor.

Erzielte Ergebnisse

Das System wurde auf einem ehemaligen Flugfeld in Aschaffenburg/Nilkheim getestet (Abbildung 43). Hierzu wurden acht Roadside-Units um das Testfeld platziert und deren Position mittels RTK-DGPS vermessen. Das Testfahrzeug wurde mit einem Onboard-TAG ausgestattet. Als Referenzsystem kam ein RTK-DGPS System zu Einsatz.

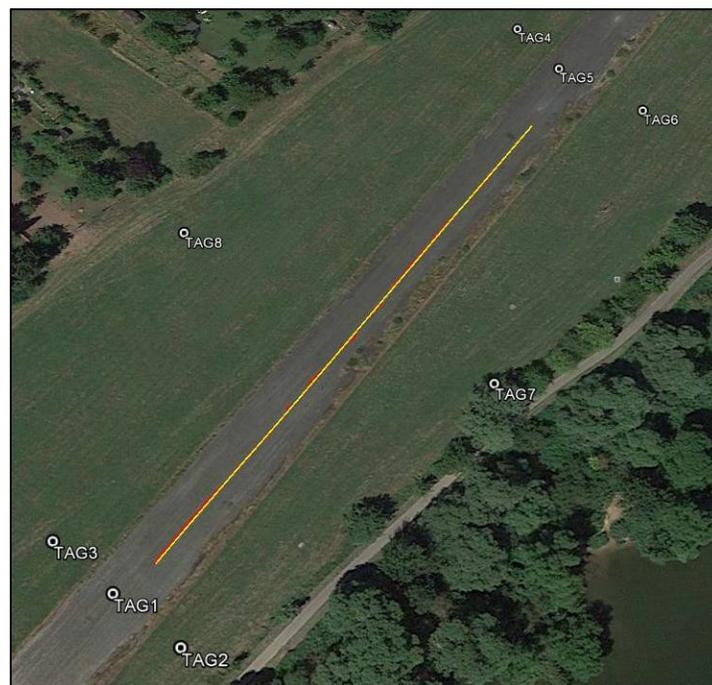


Abbildung 43: Test-Setup in Aschaffenburg Nilkheim

Die untersuchte Geradeausfahrt lieferte folgende Ergebnisse:

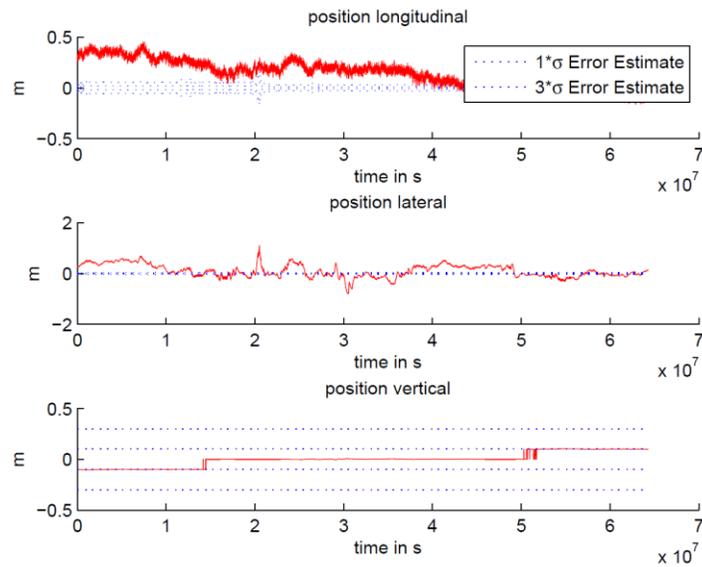


Abbildung 44: Laterale, longitudinale und vertikale Abweichung der Ko-TAG 1.0 Eigenlokalisierung zum Referenzsystem

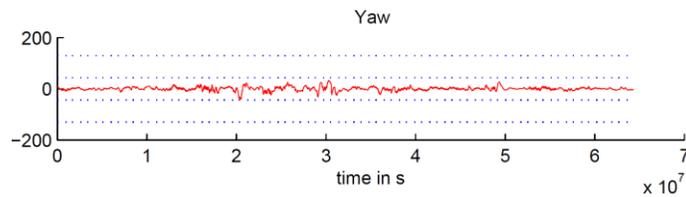
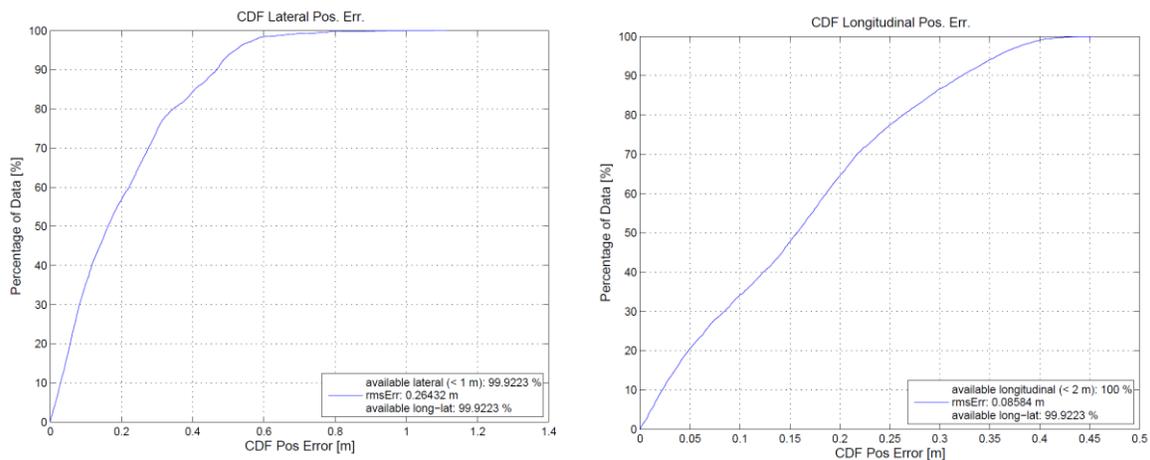


Abbildung 45: Abweichung der Orientierung der Ko-TAG 1.0 Eigenlokalisierung zum Referenzsystem [°]



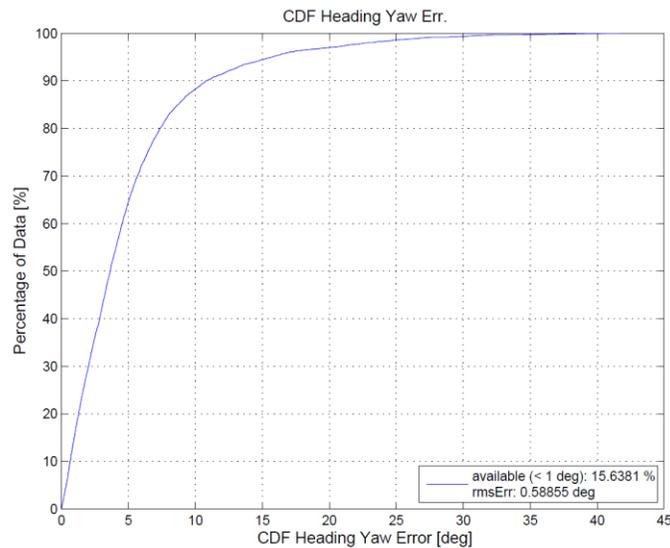


Abbildung 46: Verfügbarkeit der Ko-TAG 1.0 Eigenlokalisierung in lateraler (links), longitudinaler (rechts) Richtung sowie der Orientierung (unten)

Legt man als Gütekriterium zu Grunde, dass die laterale Abweichung maximal einen Meter, die longitudinale Abweichung maximal zwei Meter und die Orientierungsabweichung maximal ein Grad betragen darf, ist aus Abbildung 46 zu erkennen, dass die Orientierungsschätzung in einem zu großen Prozentsatz stärker als gefordert abweicht. Weiterhin zeigt sich aus Abbildung 46, dass Positionsangabe im untersuchten Szenario nahezu immer die geforderte Genauigkeit erreicht.

5.12 AP 2.840 Test- und Evaluierungsplan

Voraussetzung für die im Rahmen von Ko-PER zu entwickelnde Fahrzeug übergreifende Fusion bildet die fahrzeuglokale Perzeption.

Die Ziele der Evaluierung der fahrzeuglokalen Perzeption sind im μ MS-2.580-1 beschrieben. In diesem Dokument wurden Test-Szenarien für Messkampagnen spezifiziert sowie zu evaluierende Größen festgelegt. Das Ziel besteht darin, eine quantitative Aussage über die Güte der Fahrzeugübergreifenden Perzeption zu erhalten.

Es wurden die Messkampagnen (4, 5, 6, 7,8) durchgeführt, deren Datenablage erfolgte im Ko-PER-spezifischen Datenformat.

Der Messplan umfasste die beteiligten Partner und die wesentlichen Parameter der Szenarien sowie das Ziel der jeweiligen Messkampagne. Als Referenzsysteme dienten RTK-GNSS-Referenzsysteme, bei CSEI war dies ein ADMA System der Firma Genesis.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse leitet sich ein partnerspezifischer Handlungsbedarf ab, um das übergeordnete Ziel, die Evaluierung der fahrzeuglokalen Perzeption, zu erreichen

Als Beispiel für die zahlreichen Testfahrten sei hier die MK05 näher beschrieben:

Datum:	18.07.2012
Ort:	Aschheim, Autokino
Teilnehmer:	BMW, CSE, DEL, MRM
Ziele:	2. Test der fahrzeuglokalen Perzeption
Link zu Projektplace zum Ordner der MK05:	

<https://service.projectplace.com/pp/pp.cgi/r781494751>

erforderliche Vorbedingungen für Teilnahme:

- Bezugspunkt des Referenzsystems entspricht der Ko-PER Konvention
- die fahrzeuglokale Perzeption in den Versuchsträgern läuft
- die Perzeptionsergebnisse werden global zeitgestempelt
- Logging: *.ref, *.mes, *.ref.xml, *.mes.xml Dateien
- Befüllung: *.ref, *.mes, *.ref.xml, *.mes.xml Dateien nach Ko-PER Konvention
- die CPM und Referenzdaten werden mit der Philosys API weggeschrieben
- Erweiterungen vergleiche:

Ko-PER_Abschluss_MK_05_1-1.docx mit dem Link

<https://service.projectplace.com/pp/pp.cgi/r777806760>

- Bereitstellung der *.ref, *.mes, *.ref.xml, *.mes.xml Dateien der MK auf dem FORWISS-Server

Ergebnis der MK05 (Abbildung 47):

CSEI hatte die oben genannten Bedingungen erfüllt und es ergaben sich die folgenden Abweichungen zur Referenzmessung:

- Orientierung (Yaw): $-1,9^\circ$ und $-2,0^\circ$
- Position: 0,27 m und 0,28 m
- Höhe: -44,01 m und -43,91 m

Außer bei der Höhenmessung lagen die Abweichungen innerhalb der geforderten Toleranz. Die Höhe musste für die nachfolgenden Kampagnien richtig referenziert werden (über Ellipsoid).



Abbildung 47: MK05 mit driveU und CSEI Versuchsträger im Autokino Aschheim

Wie in Punkt 1.1 bereits erwähnt, wurden zahlreiche gemeinsame Messkampagnen an der Kreuzung in Aschaffenburg durchgeführt. Dabei kommunizierte der CSEI-Versuchsträger seine Eigenposition mit einem RTK-GNSS-Referenzsystem (ADMA System der Firma Genesis). In der folgenden Abbildung 48 sind die Messpunkte der Eigenposition des CSEI-Versuchsträgers in rot dargestellt. Die weiteren Farben kennzeichnen jeweils die Position der Partner-Versuchsträger. Durch die dahinter liegende Fahrspurdarstellung (grau) lässt sich die Fahrstrecke sehr gut erkennen.

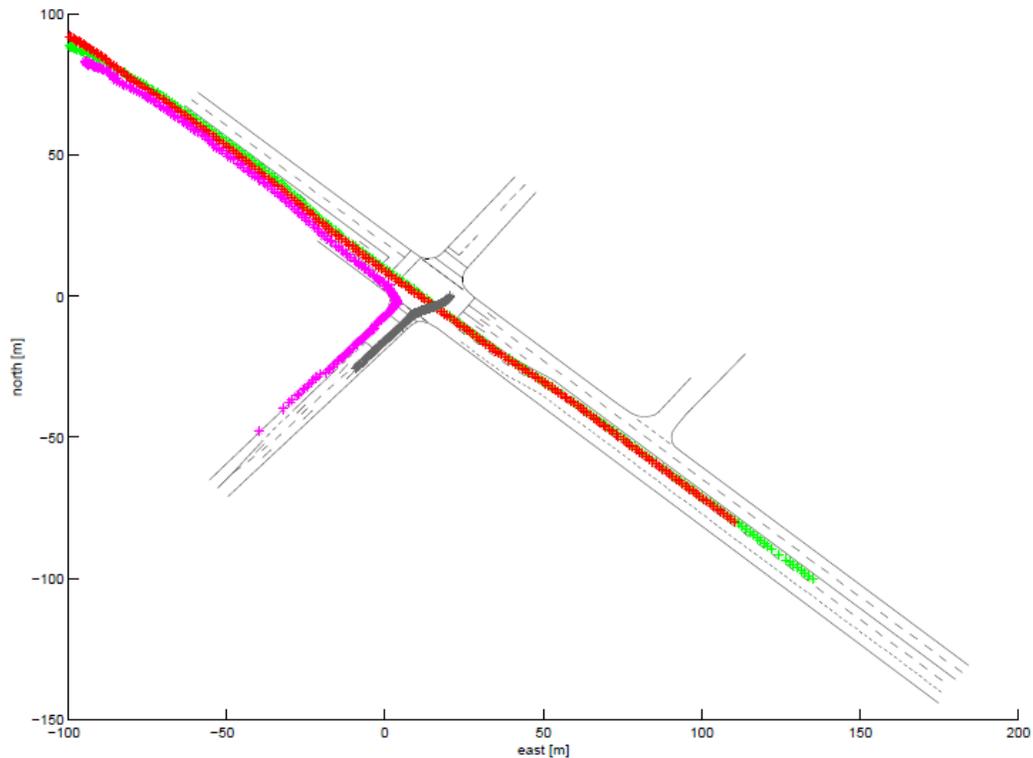


Abbildung 48: North-East-Plot kommunizierter Eigenpositionen

5.13 AP 2.a20 Spezifikation der Beispielapplikationen für Kreuzungsanwendungen

In Zusammenarbeit mit den Partnern BMW, DAI, HSA und MRM wurde die Lieferung zum Meilenstein M 2.a20-1 erarbeitet. CSEI hat hier die erste Vorlage mit den Musterszenarien, wie in Abbildung 49 zu sehen, erstellt.

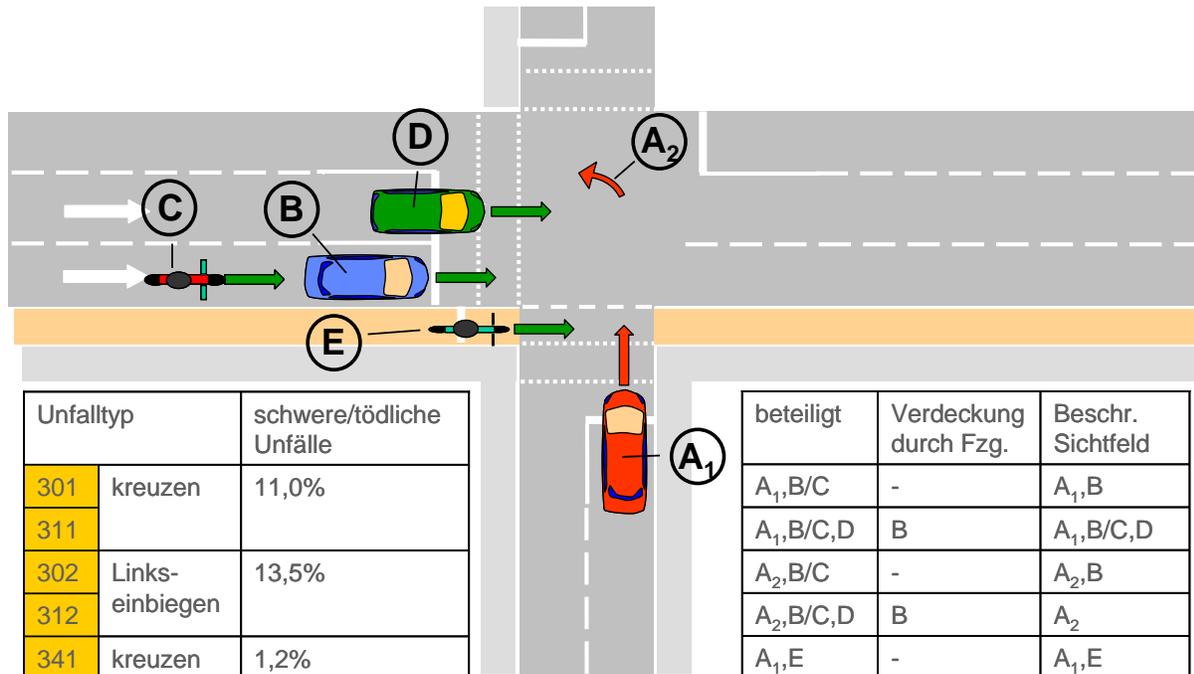


Abbildung 49: Beispiel eines Musterszenarios für die Kreuzungsanwendung

Im Mikromeilenstein 2.a20-2 wird die Funktions- und Szenarienauswahl für die Kreuzung definiert. Die Innerhalb von Ko-PER zu implementierenden Funktionen und Szenarien für die Kreuzung werden in diesem Arbeitspaket ausgewählt und spezifiziert. Alle innerhalb von Ko-PER adressierten Szenarien wurden bereits im Mikromeilenstein μ MS 2.920-1 „Spezifikation der Anwendungsfälle als Szenarien“ und im 2.a20-1 „Spezifikation von Musterszenarien im Kreuzungsbereich“ definiert. Prioritäten in Form einer Liste möglicher zu implementierenden Szenarien und Funktionen wurden im Mikromeilenstein 2.a10-1 „Erstkonzepte der Situationsanalyse“ festgelegt.

In diesem Mikromeilenstein 2.a20-2 wird darauf aufbauend eine Spezifikation erstellt, die eine Auswahl von Szenarien und Funktionen enthält, die dann auch implementiert werden.

Aufgrund von nicht abgeschlossenen partnerinternen Abstimmungen konnte der Mikromeilenstein noch nicht bis Ende des Berichtszeitraums abgeschlossen werden. Betrachtet man die Abhängigkeiten zu den folgenden Arbeitspaketen, so ist diese Verzögerung jedoch unkritisch. Dieser Mikromeilenstein wird voraussichtlich dann im PM 25 abgeschlossen werden

Im μ Mikromeilenstein 2.a20-2 wurde aufbauend auf μ MS 2.920-1 „Spezifikation der Anwendungsfälle als Szenarien“ und im 2.a20-1 „Spezifikation von Musterszenarien im Kreuzungsbereich“ eine erste Spezifikation erstellt, die eine Auswahl von Szenarien und Funktionen enthält. Darin wird das CSEI-Fahrzeug eine Fußgängerschutzfunktion realisieren, die in den auf der Abbildung 50 und Abbildung 51 zu sehenden Szenarien des Links-/ und Rechts-Abbiegens Anwendung finden wird.

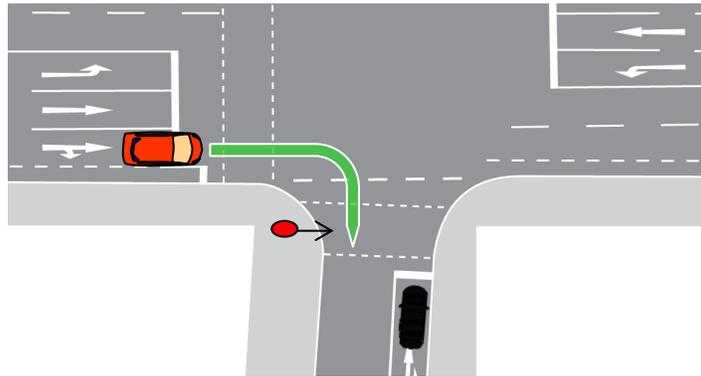


Abbildung 50: Funktionsszenario Rechtsabbiegen mit kreuzendem Fußgänger

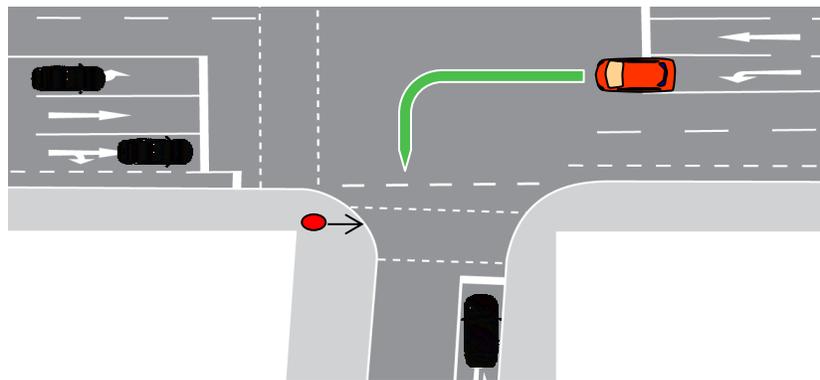


Abbildung 51: Funktionsszenario Linkssabbiegen mit kreuzendem Fußgänger

Der CSEI-Versuchsträger wird die folgenden Funktionen im Kreuzungsbereich umsetzen:

- Warnung des Fahrers und optional des Fußgängers (Hupe) auf Basis der kommunizierten Fußgänger-Intensionserkennung der Kreuzung iDEN mit der integrierten PED-Message und den Empfang der iCPM (PDO des Fußgängers).
- Autonome Bremsung nur wenn die Fusion der iDEN mit der Fahrzeugkamera und dem Radar ein genügend hohe Auslösesicherheit erreicht.
- Kommunikation von Objektdaten (PDO) und der Eigenposition (EIS) an andere Verkehrsteilnehmer mit der vCPM, wobei online die Eigenposition über DGPS mit gekoppelter Inertialsensorik (ADMA) realisiert wird. Parallel wird die Lokalisation mit Ko-TAG OBU V1.0 untersucht. Die klassifizierten Objekte werden hier alleine aus der Radarsensorik generiert.

Das CSEI-Fahrzeug wird eine Fußgängerschutzfunktion realisieren, die in dem auf der Abbildung 52 zu sehenden Szenario des Rechts-Abbiegens Anwendung finden wird.

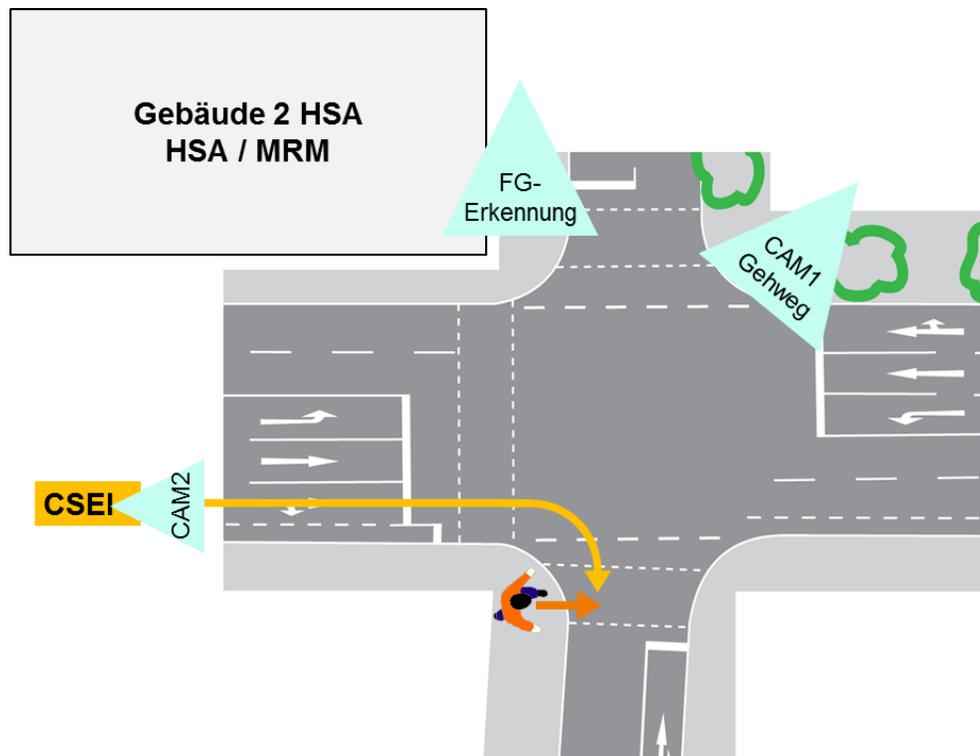


Abbildung 52: Funktionsszenario Rechtsabbiegen mit kreuzendem Fußgänger

Der CSEI-Versuchsträger wird die folgenden Funktionen im Kreuzungsbereich umsetzen:

- Information des Fahrers auf Basis der kommunizierten Fußgänger-Intensionserkennung der Kreuzung iDEN mit der integrierten PED-Message und den Empfang der iCPM (PDO des Fußgängers).
- Kommunikation von Objektdaten (PDO) und der Eigenposition (EIS) an andere Verkehrsteilnehmer mit der vCPM, wobei online die Eigenposition über DGPS mit gekoppelter Inertialsensorik (ADMA) realisiert wird. Parallel wird die Lokalisation mit Ko-TAG OBU V1.0 untersucht. Die klassifizierten Objekte werden hier alleine aus der Radarsensorik generiert.

5.14 AP 2.b10 Testplan ausgewählter Funktionen

Die realisierte Auswahl aus den möglichen Funktionen ist im μ MS-Dokument 2.c30-2 detailliert beschrieben, einen Überblick darüber geben die folgenden Punkte:

- Kreuzen und amerikanisches Abbiegen

Das Kreuzen erfolgt mit Sichtverdeckung und das Amerikanische Abbiegen mit verdecktem Gegenverkehr. Als Datengrundlage dient das Perzeptionsergebnis von 2 Fahrzeugen und zusätzlich der Kreuzung (Siehe Gliederungspunkt 2 von 2.c30-2).

- Fußgänger- und Radfahrschutz mit TAG

Die Synergie zwischen den Entwicklungsergebnissen aus dem Projekt Ko-PER und dem Projekt Ko-TAG wird hier adressiert. Im Szenario A und B wird die Position und Bewegung des Fußgängers/Radfahrers durch das Ko-TAG Fahrzeug erfasst und an den Ko-PER Versuchs-

träger übermittelt. Im Szenario C erfasst die Kreuzung die Position und Bewegung des verletzlichen Verkehrsteilnehmers (VRU) und übermittelt diese via Funk an den Ko-PER Versuchsträger (Siehe Gliederungspunkt 3 von 2.c30-2).

- Fußgängerschutz mit Kreuzungsperzeption

Die Funktion wird als „Abbiegen mit Weitblick“ beschrieben. Die Datengrundlage bildet das Kreuzungs-Perzeptionssystem zusammen mit der Intentionserkennung und wird in einem fahrenden Versuchsträger umgesetzt (Siehe Gliederungspunkt 4 von 2.c30-2).

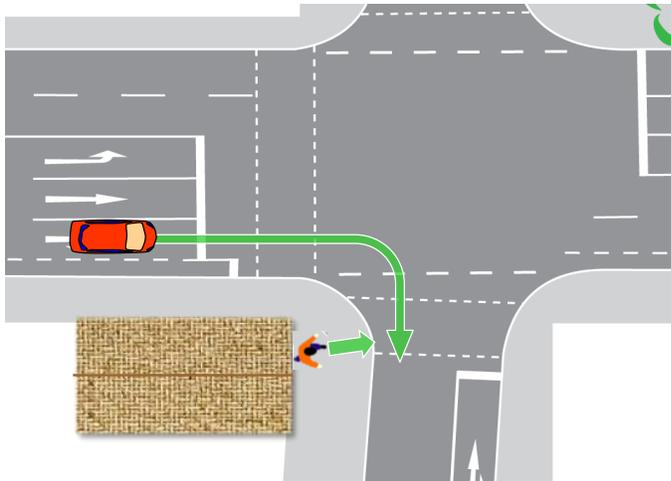
5.15 AP 2.b20 Testinfrastruktur in Funktion

Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Kreuzung in Alzenau sind erfolgt. Zum finale Abschluss des Meilensteins zählt auch die Lieferung der finalen Version der MAP-Nachricht. Die Inbetriebnahme der Kommunikation (Ko-PER-CCU) an der Testkreuzung Alzenau ist auch erfolgt (ohne fest montierte Antennen). Für die Lokalisation von Fahrzeugen an der Testkreuzung stehen 2 Ko-TAG Version 1.0 Einheiten zur Verfügung.

Zur Testinfrastruktur zählt auch das sogenannte „Movable Target Device“ (verfahrbare Fahrzeugattrappe) von CSEI, das für die Validierung der Zeitsynchronisation bei Fahrzeugen bereits im Einsatz war. Desweiteren stehen auch Fußgängerdummies zum Testen der Fahrzeugfunktion zur Verfügung.

Funktion: „Hinweis auf querenden Fußgänger beim Rechtsabbiegen“

Im Testplan unter dem Szenario „Rechtsabbiegender PKW – querender Fußgänger“ sind die durchgeführten Tests zur Entwicklung der Funktion zu finden. In der folgenden Abbildung 53 ist das Szenario, wie auch in der Abschlusspräsentation gezeigt, zu sehen.



Für die Funktion „Hinweis auf querenden Fußgänger beim Rechtsabbiegen“ wurden die Funktionstests an der öffentlichen Kreuzung in Aschaffenburg am Tage innerhalb des normalen Verkehrsbetrieb bzw. an der Vorbereitung zur Abschlusspräsentation im abgesperrten Bereich geplant und durchgeführt. Zur Durchführung der Funktionserprobung wurden jeweils die Kreuzungsperzeption inklusive der Kommunikation (HSA/MRM), ein Fußgänger (HSA) und das Fahrzeug mit der eigentlichen Funktion benötigt.

Abbildung 53: Querender Fußgänger an Kreuzung

Die ersten Testfahrten mit Funktion am 30. August dienen zur grundsätzlichen Erprobung, zur späteren Analyse wurden alle wesentlichen Daten aufgezeichnet (inkl. Referenzposition des Fahrzeugs). In den weiteren Testfahrten am 5. September (zur MK93), 8. September (Generalprobe) und 16. September (Freigabe) wurde die Funktion weiter optimiert und abgesichert.

Funktionsbeschreibung:

Das Egofahrzeug fährt auf eine Kreuzung zu und möchte rechts abbiegen. Gleichzeitig beginnt ein Fußgänger den Kreuzungsast, in den das Fahrzeug einbiegen möchte, zu überqueren. Der Fahrer kann den Fußgänger noch nicht erkennen, müsste aber bereits seine Geschwindigkeit reduzieren, um noch komfortabel vor dem querenden Fußgänger anhalten zu können. Hier wird der Fahrer jetzt mit einem akustischen und visuellen Hinweis (Abbildung 54) unterstützt, so dass er frühzeitig reagieren kann. Die Entstehung einer gefährlichen Situation wird dadurch schon im Ansatz vermieden.



Abbildung 54: Hinweis beim Rechtsabbiegen

Die Information über den querenden Fußgänger wird hierbei von der Infrastruktur per Funk (ITS G5) an das Fahrzeug übertragen (Abbildung 55). Die Infrastruktur liefert bereits eine entsprechende Meldung mit Angabe der Laufrichtung (iDEN/PED), wenn der Fußgänger sich noch im Loslaufvorgang befindet (Absichtserkennung). Zusammen mit der Eigenposition des Fahrzeugs und der ebenfalls per Funk übertragenen Position des Fußgängers wird unter Zuhilfenahme von weiteren Daten wie Fahrzeugtrajektorie und Fahrerabsicht (Blinker) das Kollisionsrisiko im Fahrzeug berechnet. Zu einem definierten Zeitpunkt erfolgt dann der entsprechende Hinweis an den Fahrer.

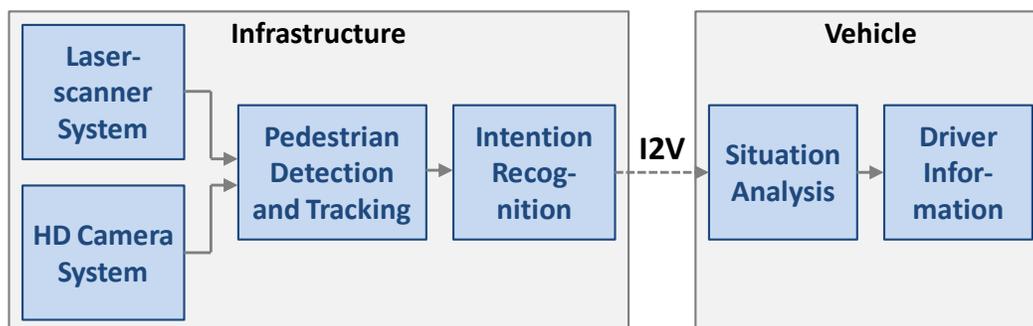


Abbildung 55: Informationsfluss Infrastruktur zu Fahrzeug

5.16 AP 2.c20 Projekthalbzeitpräsentation

Die Projekthalbzeitpräsentation fand vom 28. bis 29. September 2011 statt. CSEI war hier zum überwiegenden Teil an der Vorbereitung und Durchführung des Technikdemo-Tages am 29. September beteiligt. Die einzelnen Aktivitäten auf dem CSEI-Eigenen und angrenzendem Gelände zeigt die Abbildung 56.



Abbildung 56: Lageplan Projekthalbzeitpräsentation Continental Safety Test Area

Die folgenden Abbildungen zeigen jeweils Auszüge aus den während der Technikdemo vorgestellten Postern der Arbeitsgruppe Kreuzung. CSEI hatte hierbei die Aufgabe, die Testkreuzung Alzenau mit ihrer Nutzung im Projekt Ko-PER zu beschreiben. Zu diesem Zweck wurden anschauliche Grafiken, Bilder und beschreibende Texte erstellt und in Form eines Posters den Besuchern vorgestellt (Abbildung 57 bis 61).

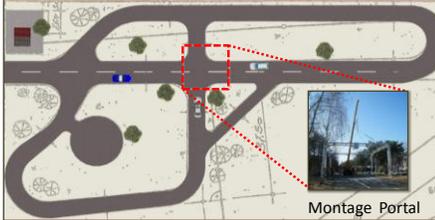
Im Einzelnen wurden die Themen:

- Testgelände mit Sensor-Portal
- Sensoren der Kreuzungsperzeption
- Sensorabdeckung der Kreuzungsperzeption
- räumliche und zeitliche Kalibrierung
- durchführbare Testszenarien

adressiert.

Testgelände mit Sensor-Portal

- Abgesperrtes Testgelände mit 120m gerader Straße und Kreuzung mit Ampelanlage
- Ein 12,2m x 12,2m breites und 6,5m hohes Portal aus Alu-Gitterrohr trägt die Sensoren, Verkabelung und die Schaltanlage
- Die Sensorhalterungen für Laserscanner und Kameras sind in 3 Drehrichtungen verstellbar
- Ein Mobiler Kontrollraum mit Auswerterechnern ist über Steckverbindungen mit dem Sensorportal verbunden



Lageplan Sensor-Portal, Continental Safety Park City



Scanner-Halterung



Kameragehäuse

Abbildung 57: Testkreuzung Alzenau

Sensoren der Kreuzungsperzeption

8 Laserscanner **LS**

- Abstandsmessung
- 8 Messebenen
- 12,5 Hz
- Öffnungswinkel: 100° hor / 6,4° ver

5 Standard Kameras **SK**

- Objekterkennung
- 656 x 494 pixel
- 25 Hz
- 8 bits/pixel mono
- 4,2 / 6 / 12 mm Objektive

2 Hochauflösende Kameras **HK**

- Absichtserkennung
- 1920 x 1080 pixel
- 50 Hz
- 8 bits/pixel mono
- 7,5 mm Objektiv

Skizze Sensorpositionen

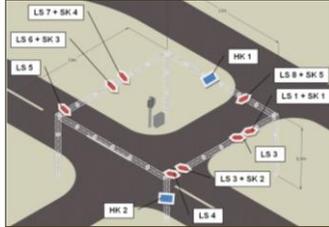


Abbildung 58: Sensoren

Sensor-Abdeckung der Kreuzungsperzeption

- LS 2, 3, 6 und 8: Zuführende Fahrstreifen
- LS 4 und 5: Rad- und Fußweg
- LS 1 und 7: Zentralbereich Kreuzung
- SK 1 und 4: Zentralbereich Kreuzung
- SK 2, 3 und 5: Fernbereich 3 Kreuzungszufahrten
- HK 1: Rad- bzw. Fußgängerüberweg mit Gehsteigen
- HK 2: um 90° gedrehter Blickwinkel.

In Kamera-Ansicht eingeblendete Laserscanner -Daten



Infrarotbild

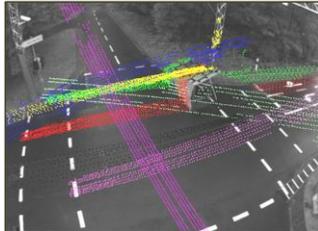


Abbildung 59: Sensor-Abdeckung

Räumliche und zeitliche Kalibrierung

- 3D Messdaten der Laserscanner liegen in einem Koordinatensystem vor
- Kamerabilder verschiedener Blickrichtungen ergeben ein 3D-Bild
- Position der Laserscanner- und Kameraobjekte sind global in WGS-84 bekannt
- Zeitliche Synchronisation der Sensoren auf Basis mikrosekundengenaue PPS-Signale eines GPS Empfängers
- Verteilung der hochgenauen Pulse an Kameras und Laserscanner (Abw. < 1ms)
- Generierung von zyklischen CAN-Nachrichten mit hochgenauem UTC-Zeitstempel
- Assoziation UTC-Zeitstempel – Sensordaten im Aufzeichnungsrechner (Abw. < 5ms)

Signalverlauf & Zeitsync.

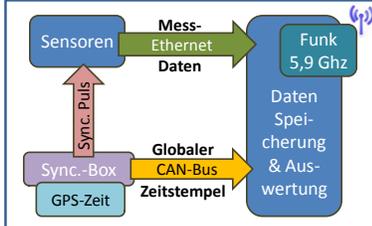


Abbildung 60: Kalibrierung

Durchführbare Testszenarien

- Kreuzende Fahrzeuge mit bis zu 70km/h bzw. 30km/h für den Kreuzungsgast
- Links- und Rechtsabbiegen mit Gehweg oder Radweg
- Über bewegte Attrappen (Fußgänger, Radfahrer, Kraftfahrzeuge) sind gefährliche Situationen darstellbar

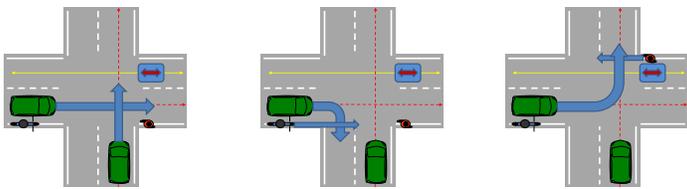


Abbildung 61: Testszenarien

5.17 AP 2.c30 Projektabschlusspräsentation

Am 18. und 19. September 2013 fand die Ko-FAS Abschlusspräsentation in Aschaffenburg statt (Abbildung 62). An beiden Tagen leistete das Verbundprojekt Ko-PER wesentliche Beiträge zum Erfolg der Veranstaltung. Am ersten Tag der Abschlusspräsentation trug Ko-PER neben einem Übersichtsvortrag in vier Fachvortragssitzungen insgesamt sechzehn ausgewählte Fachreferate bei (siehe Kapitel 2).

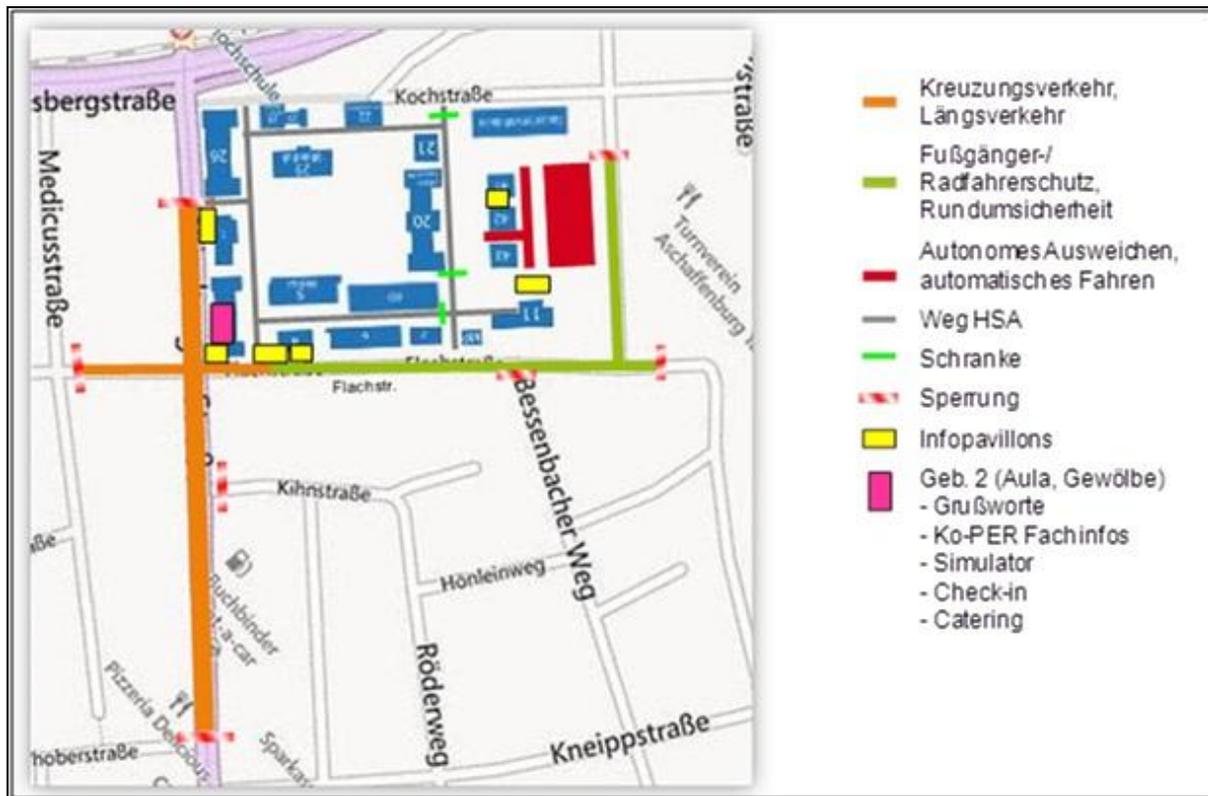


Abbildung 62: Lageplan der Ko-FAS Projektabschlusspräsentation.

Im Mittelpunkt des zweiten Tages standen die insgesamt sechs, von drei partnerübergreifenden Ko-PER Teams gezeigten fahraktiven Fahrdemonstrationen, die unter Verwendung von insgesamt 34 Postern zahlreichen Bildschirmpräsentationen sowie Live-Demonstrationen des Fahrtrainers und der Perzeptions-Ergebnisse der Versuchskreuzung gesamthaft und im Einzelnen (d.h. auf Modulebene) erläutert wurden (Tabelle 12: Ko-PER Poster mit CSEI-Beteiligung).

#	Poster	Modul	Verantwortlich	Dateiname (Hyperlink auf Projectplace)
6	Demonstration III: Turning with Foresightedness	Fahrdemo	Prof. Dr. Konrad Doll (HSA)	ko-fas_ko-per_demo3_hsa_csei.pdf
17	ITS-G5 Communication Measurement Results	Kommunikation	Sven Kopetzki (DELPHI)	ko-fas_ko-per_communication_measurements.pdf
21	Will He Run into Danger? (Prediction of Pedestrian Behaviour)	Kreuzung	Michael Goldhammer (HSA)	ko-fas_ko-per_intersection_prediction_of_pedestrian_behaviour.pdf
25	Vehicle Self-Localization: Overview	Lokalisierung	Dr. Roland Krzikalla (SICK)	ko-fas_ko-per_localization_overview.pdf

Tabelle 12: Ko-PER Poster mit CSEI-Beteiligung.

CSEI beteiligte sich mit der Fahrdemo 3 (Tabelle 13 Abbildung 63), einer Präsentation (Tabelle 14, Abbildung 64, Abbildung 65) und mehreren gemeinsamen Postern an der Ko-PER Abschlusspräsentation.

#	Team	Beteiligte	Szenario
6	C	CSEI & HSA	Pedestrian protection at intersections (@ right turn)

Tabelle 13: Fahraktive Demonstration mit CSEI-Beteiligung



Abbildung 63: Fahrdemo 3 (Team C).

#	Bildschirmpräsentation	Ort	Verantwortlich	Dateiname (Hyperlink auf Projectplace)
3	Fahrdemo 3 (Fußgänger)	Pavillon Würzburger Str.	Prof. Dr. Konrad Doll (HSA)	ko-fas_ko-per_demo3_ped_csei_hsa.pdf ko-fas_ko-per_demo3_ped_intention_hsa.wmv (Dateien liegen vor)

Tabelle 14: Bildschirmpräsentation mit CSEI-Beteiligung, die bei der Abschlusspräsentation im Pavillon bzw. im Foyer der Hochschule gezeigt wurde.

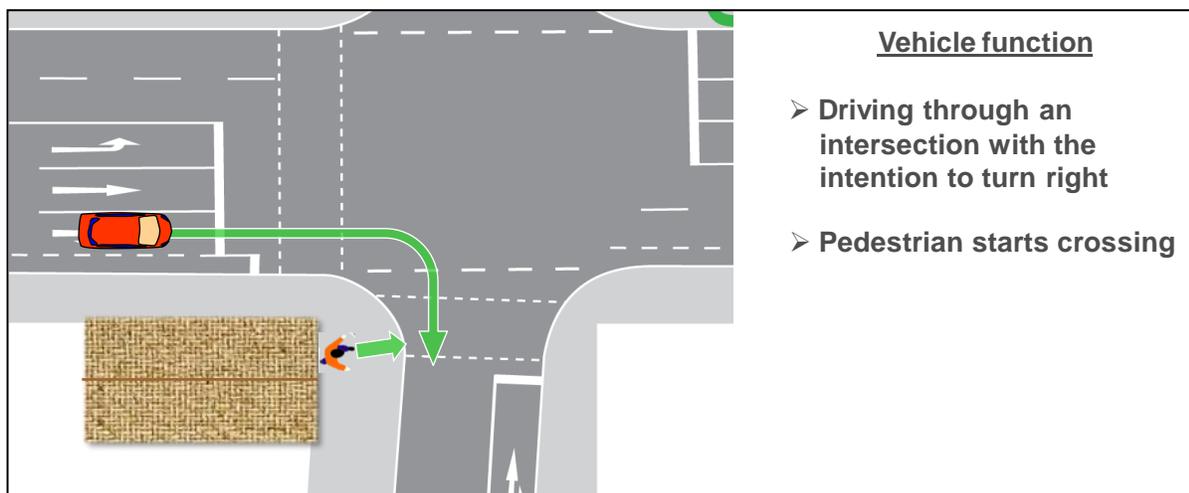


Abbildung 64: Auszug aus der Bildschirmpräsentation zur Fahrdemo 3 „Abbiegen mit Weitblick“ (Team C) – Szenario-Darstellung.



Abbildung 65: Auszug aus der Bildschirmpräsentation zur Fahrdemo 3 „Abbiegen mit Weitblick“ (Team C) – Funktions-Darstellung.

6 Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Ziel des Verbundprojektes Ko-PER ist die wesentliche Reduzierung oder Vermeidung von Unfällen im Straßenverkehr durch die Erforschung von Verfahren zur kooperativen Erfassung des Verkehrsumfelds unter Verwendung präziser Methoden zur Eigenlokalisierung, hochwertiger Umfeldsensoren und Kommunikation von Objektdaten über Car2Car und Car2X Systeme.

Der Focus liegt hier klar bei Unfallarten mit hohem prozentualem Anteil an Personen- und schwerwiegenden Sachschäden. Die Fortschritte in der passiven Sicherheit und die zunehmende Verbreitung der elektronischen Fahrwerksregelungssysteme (ESP bzw. DSC) führen tendenziell zu einer kontinuierlichen Reduktion der so genannten Fahrunfälle (Schleudern, Verlassen der Fahrbahn, etc.). Als Konsequenz hat das eine relative Zunahme der Unfallarten im Längsverkehr sowie der Kreuzungsunfälle zur Folge.

Nach den Erhebungen des statistischen Bundesamtes für das Jahr 2007 entfielen in der Bundesrepublik Deutschland 36,7% (bzw. 43%) des Unfallgeschehens mit Personenschäden (bzw. schwerwiegenden Sachschäden) auf Unfälle an Kreuzungen¹. Die Unfallarten Auffahren, Kollision bei Spurwechseln und beim Überholen verursachen insgesamt 28,2 % der Personenschäden (im Einzelnen jeweils 15,9%, 4,4% und 7,9%) bzw. insgesamt 18,7% (im Einzelnen 5,2% 4% und 9,5%) der Unfälle mit schwerwiegenden Sachschäden.

Mit den oben genannten neuen Konzepten sollen Applikationen im Bereich von Kreuzungen als auch im Bereich Längsverkehr betrachtet werden. Ein wesentliches Ziel der Firma CSEI ist die Erforschung kooperativer Methoden im Bereich von Kreuzungen. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt dabei in der Erforschung von Algorithmen zur Ermittlung von Verkehrsumfeldsituationen im Kreuzungsbereich. Dazu wurde eine generische Kreuzung für die Durchführung der Forschungsarbeiten aufgebaut und zusätzlich eine mit Sensoren und Kommunikation bestückte öffentliche Kreuzung genutzt. CSEI hat dazu auch ein eigenes Versuchsfahrzeug mit Eigenlokalisierung und Kommunikation ausgerüstet und für Funktionserprobungen eingesetzt.

Das Verbundprojekt „Ko-PER“ leistet somit einen wichtigen Beitrag zu den Zielsetzungen „Unfallfreier Verkehr“ und vertritt daher primär makroökonomische und erst in zweiter Linie mikroökonomische Interessen. Die Positionierung des Projekts als Wegbereiter einer kooperativen und damit künftig auch kollektiven Sicherheit im Straßenverkehr weist über die traditionelle Rolle der Premium-Hersteller und Zulieferer auf dem Gebiet der Fahrerassistenz und Unfallfolgenminderung deutlich hinaus. Wegweisend ist, dass auch Kleinwagen und Mittelklasse-Fahrzeuge mit geringfügiger oder fehlender Sensorikausstattung und ungeschützte Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer, in systematischer Weise am erzielten Sicherheitsgewinn beteiligt werden.

Hinsichtlich der Verringerung der Unfallopferzahlen, der mit dem Unfallgeschehen einhergehenden Sachschäden, der Zeit- und Kraftstoffverluste und der daraus folgenden Umweltbelastungen durch sekundär auftretende Verkehrsstörungen, ist gerade die Einbeziehung der Unter- und Mittelklassefahrzeuge aufgrund ihrer hohen Verbreitung von großer Wichtigkeit und wesentlichem gesellschaftlichem Interesse.

Während die Fahrerassistenz im Allgemeinen schon in Serienfahrzeugen zu finden ist, wird die Kommunikation zwischen Fahrzeugen als auch zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen in etwa 2 bis 3 Jahren im Markt zu finden sein. Dort besteht dann die Möglichkeit, die hier im Verbundprojekt Ko-PER erforschten Funktionen mit einzubringen

7 Veröffentlichungen

Die wesentlichen Veröffentlichungen von CSEI zum Vorschungsprojekt Ko-PER erfolgten jeweils über die Zwischen- und Abschlusspräsentation. Weitere Veröffentlichungen sind indirekt über Beiträge zu den Veröffentlichungen der Projektpartner erfolgt.

Die Projekthalbzeitpräsentation fand vom 28. bis 29. September 2011 statt. Die dort gezeigten Vorträge und Poster sind seitdem über die Internetseiten von Ko-PER einer breiten Öffentlichkeit zugänglich.

Siehe auch: <http://ko-fas.de/deutsch/veranstaltungen/zwischenpraesentation.html>

Am 18. und 19. September 2013 fand die Ko-FAS Abschlusspräsentation in Aschaffenburg statt. Auch hier wurden die dafür erstellten Unterlagen und Vorträge auf die Internetseiten des Projekts hochgeladen.

Siehe auch: <http://ko-fas.de/deutsch/veranstaltungen/abschlusspraesentation.html>

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN Intended	2. type of document (e. g. report, publication) Final report
3. title Research Initiative Ko-FAS, Cooperative Project Ko-PER Driver Assistance and Preventive Safety via Cooperative Perception Final Report, project part: Continental Safety Engineering International GmbH	
4. author(s) (family name, first name(s)) Vetter, Johannes	5. end of project 30 November 2013
	6. publication date 1 August 2014
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Continental Safety Engineering International GmbH Carl-Zeiss-Str. 9 63755 Alzenau	9. originator's report no.
	10. reference no. 19S9022I
	11. no. of pages 59
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references -
	14. no. of tables 14
	15. no. of figures 65
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract Main goal of the research project Ko-PER is a significant reduction of accidents in road traffic by using cooperative technologies for an almost seamless surveillance of the traffic surroundings. This can be achieved by combining state of the art C2X communication technologies with onboard sensors and sophisticated self-localization technologies. Main focus of Continental within Ko-PER was the set-up of a generic testing-intersection and the development of the function "Crossing pedestrian while turning right". The information about the latter function is provided to the car by a communication message (ITS G5) from side of the infrastructure. Sensors in the infrastructure detect and classify the object and transmit the information about the pedestrian "object" combined with the information about the motion direction and the potential motion intention of the pedestrian. This external information is combined within the car with the own position information and the vehicle dynamics information. This allows the assessment of the potential collision risk with the "detected" pedestrian. If the collision risk exceeds a certain limit, the driver will be warned accordingly. These new cooperative functions will lead to a significant improvement of traffic safety if such communication systems combined with the proper sensor and localization systems would be introduced broadly into the market.	
19. keywords Driver assistance system, Car2X communication, cooperative perception, pedestrian protection	
20. publisher -	21. price -

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Forschungsinitiative Ko-FAS, Verbundprojekt Ko-PER Fahrerassistenz und präventive Sicherheit mittels Kooperativer Perzeption Schlussbericht, Teilvorhaben: Continental Safety Engineering International GmbH	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Vetter, Johannes	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.11.2013
	6. Veröffentlichungsdatum 01.08.2014
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Continental Safety Engineering International GmbH Carl-Zeiss-Str. 9 63755 Alzenau	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19S9022I
	11. Seitenzahl 59
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben keine
	14. Tabellen 14
	15. Abbildungen 65
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Das Ziel des Verbundprojektes Ko-PER ist die wesentliche Reduzierung oder Vermeidung von Unfällen im Straßenverkehr durch die Erforschung von Verfahren zur kooperativen Erfassung des Verkehrsumfelds unter Verwendung präziser Methoden zur Eigenlokalisierung, hochwertiger Umfeldsensoren und Kommunikation von Objektdaten über Car2Car und Car2X Systeme Die Funktion „Hinweis auf querenden Fußgänger beim Rechtsabbiegen“: Die Information über den querenden Fußgänger wird von der Infrastruktur per Funk (ITS G5) an das Fahrzeug übertragen. Die Infrastruktur liefert bereits eine entsprechende Meldung mit Angabe der Laufrichtung (iDEN/PED), wenn der Fußgänger sich noch im Loslaufvorgang befindet (Absichtserkennung). Zusammen mit der Eigenposition des Fahrzeugs und der ebenfalls per Funk übertragenen Position des Fußgängers wird unter Zuhilfenahme von weiteren Daten wie Fahrzeugtrajektorie und Fahrerabsicht (Blinker) das Kollisionsrisiko im Fahrzeug berechnet. Zu einem definierten Zeitpunkt erfolgt dann der entsprechende Hinweis an den Fahrer. Ein signifikanter Sicherheitsgewinn aufgrund der Situationsanalyse und einer frühzeitigen Fahrerinformation noch vor der Sichtbarkeit des Fußgängers war deutlich erkennbar. Die hier erforschte Fahrerassistenzfunktion kann zukünftig in Fahrzeuge mit Kommunikationsmöglichkeiten integriert werden. Voraussetzung für die Funktion ist allerdings eine entsprechende Funkinformation der Infrastruktur oder eines anderen Fahrzeugs mit Fußgängererkennung. Zusätzlich wird eine spurgenaue Fahrzeugortung benötigt.	
19. Schlagwörter Fahrerassistenzsystem, Car2X-Kommunikation, Kooperativer Perzeption, Fußgängerschutz	
20. Verlag	21. Preis