Sichere Intelligente Mobilität

Testfeld Deutschland

Deliverable D5.5

TP5-Abschlussbericht – Teil B-3

Technische Bewertung

Version	1.0
Verbreitung	Konsortium
Projektkoordination	Daimler AG
Versionssdatum	09.12.2013

sim^{TD} wird gefördert und unterstützt durch

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Dieses Dokument wurde erstellt von Andreas Wenzel (Continental Engineering Services GmbH).

Beiträge wurden verfasst von:

Jan von Eycken	– Continental
Andreas Wenzel	– Continental
Wilfried Enkelmann	– Daimler AG
Attila Jaeger	– TU Darmstadt
Carsten Kühnel	– Hessen Mobil
Robert Mänz	– AUDI AG
Volker Kanngießer	– Stadt Frankfurt am Main
Gunther Schaaf	– Robert Bosch GmbH
Markus Bauer	– BWM Group
Christian Ress	– Ford Research & Advanced Engineering Europe
Peter Zahn	– BMW Group
Hongjun Pu	– Continental
Jan-Niklas Meier	– Volkswagen AG
Jonas Vogt	– Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes
Norbert Bißmeyer	– Fraunhofer SIT
Stefan Götz	– Continental
Dieter Heussner	– Hessen Mobil
Harald Berninger	– Adam Opel AG
Marc Menzel	– Continental

Projektkoordination
Dr. Christian Weiß
Daimler AG
HPC 050 – X430
71059 Sindelfingen
Germany

Telefon	+49 7031 90 47118
Fax	+49 711 3052154999
E-Mail	christian.a.weiss@daimler.com

Das sim^{TD}-Konsortium übernimmt keinerlei Haftung in Bezug auf die veröffentlichten Deliverables. Änderungen sind ohne Ankündigung möglich. © Copyright 2013 sim^{TD}-Konsortium.

The sim^{TD} consortium will not be liable for any use of the published deliverables. Contents are subject to change without notice. © Copyright 2013 sim^{TD} consortium.

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines 1
2 Funktionsspezifische Bewertung 2
2.1 Funktion F_1.1.3 Erfassung der Straßenwetterlage 2
2.1.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 2
2.1.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 3
2.1.3 Fragenkatalog 5
2.2 Funktion F_1.1.4 Bereitstellung Straßenverkehrslage 6
2.2.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 6
2.2.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 7
2.2.3 Fragenkatalog 11
2.3 Funktion F_1.2.1 Straßenvorausschau 13
2.3.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 13
2.3.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 13
2.3.3 Fragenkatalog 14
2.4 Funktion F_1.2.2 Baustelleninformationssystem 16
2.4.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 16
2.4.2 Beschreibung der ausgewerteten Kenngrößen 16
2.4.3 Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen 18
2.4.4 Fragenkatalog 20
2.4.5 Fazit 21
2.5 Funktion F_1.2.3 Erweiterte Navigation 22
2.5.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 22
2.5.2 Beschreibung der ausgewerteten Kenngrößen 22
2.5.3 Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen 23
2.5.4 Fragenkatalog 24
2.6 Funktion F_1.3.1 Umleitungsempfehlung 25
2.6.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 25
2.6.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 26
2.6.3 Fragenkatalog 29
2.7 Funktion F_1.3.2 Netzsteuerung LSA 30
2.7.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 30
2.7.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 31
2.7.3 Weitere TP4-Kenngröße 33
2.7.4 Fragenkatalog 34
2.8 Funktion F_1.3.3 lokale verkehrsabhängige Steuerung 36

2.8.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 36
2.8.2 Bewertung Softwarekomponente „MapMatching“ 37
2.8.3 Bewertung Softwarekomponente „AphaMessage“ 40
2.8.4 Fragenkatalog 44
2.8.5 Exkurs: Erläuterung zu Dichtewerten 46
2.9 Funktion F_2.1.1 Hinderniswarnung 49
2.9.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 49
2.9.2 Beschreibung der durchgeführten technischen Versuche 50
2.9.3 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 54
2.9.4 Fragenkatalog 56
2.10 Funktion F_2.1.2 Stauendewarnung 58
2.10.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 58
2.10.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 58
2.10.3 Fragenkatalog 60
2.11 Funktion F_2.1.3 Straßenwetterwarnung 61
2.11.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 61
2.11.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 61
2.11.3 Fragenkatalog 65
2.12 Funktion F_2.1.4 Einsatzfahrzeugwarnung 67
2.12.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 67
2.12.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 67
2.12.3 Fragenkatalog 68
2.13 Funktion F_2.2.1 Verkehrszeichenassistent 70
2.13.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 70
2.13.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 70
2.13.3 Fragenkatalog 72
2.14 Funktion F_2.2.2 Ampelphasenassistent 73
2.14.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 73
2.14.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 73
2.14.3 Fragenkatalog 75
2.15 Funktion F_2.2.3 Elektronisches Bremslicht 76
2.15.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 76
2.15.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 77
2.15.3 Weitere TP4-Kenngrößen 79
2.15.4 Fragenkatalog 79
2.16 Funktion F_2.2.4 Kreuzungsquerverkehrsassistent 81
2.16.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 81

2.16.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 81
2.16.3 Weitere Kenngrößen und zusammenfassende Bewertung 86
2.16.4 Fragenkatalog 87
2.17 Funktion F_3.1.1 Internetbasierte Informationsdienste 89
2.17.1 Ziele und Aufgaben der Funktion 89
2.17.2 Bewertung 90
2.17.3 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 90
2.17.4 Fragenkatalog 94
2.18 Funktion F_3.1.2 Standortinformationsdienste 96
2.18.1 Beschreibung der Funktion 96
2.18.2 Beschreibung der durchgeführten technischen Versuche 97
2.18.3 Beschreibung der auszuwertenden Kenngrößen pro Versuchstyp 98
2.18.4 Ergebnisse der Bewertung pro Kenngröße 99
2.18.5 Fragenkatalog 101
2.18.6 Fazit 103
3 Funktionsübergreifende Bewertung 104
3.1.1 Funktion F_1.1.2 Fahrzeugseitige Datenerfassung 104
3.1.2 Ziele und Aufgaben der Funktion 104
3.1.3 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 104
3.1.4 Fragenkatalog 105
3.2 Kommunikationsversuche 106
3.2.1 Beschreibung der Kommunikationsversuche 106
3.2.2 Grenzen der Kommunikationsversuche und der Bewertung 106
3.2.3 Beschreibung des Bewertungskonzepts 110
3.2.4 Modellierung Hinderniswarnung 110
3.2.5 Modellierung Querverkehrsassistent 110
3.2.6 Vorgehen bei der Bewertung 111
3.2.7 Bewertung 113
3.2.8 Fragenkatalog 125
3.2.9 Zusammenfassung 125
3.3 IRS 126
3.3.1 Ziele und Aufgaben des Reichweiten-Versuchs 126
3.3.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen 126
3.3.3 Fragenkatalog 129
3.4 IT-Sicherheit 130
3.4.1 Bewertung der IT-Sicherheit 131
3.5 Verfügbarkeit der simTD-Versuchszentrale 133

3.5.1 Ziele und Aufgaben der sim^{TD}-Versuchszentrale 133
3.5.2 Die Kern-ICS 135
3.5.3 Die weiteren Server der ICS 136
3.5.4 Auswertung 137
3.5.5 Fragenkatalog 141
3.5.6 Erkenntnisse der Verfügbarkeit der sim^{TD}-Versuchszentrale für einen möglichen Regelbetrieb. 142
3.6 Reife des WLAN-Standards 144
3.6.1 Status der ETSI Standardisierung 144
3.6.2 Mandate /453 der EC an die Europäischen Standardisierungsgremien 148
3.6.3 Standards ausgearbeitet durch ETSI Technical Committee ITS 150
3.6.4 Standards ausgearbeitet durch CEN 150
3.6.5 Bewertung der Standardisierung 151
3.7 Positionierung und Zeitsynchronisation 152
3.7.1 Ziele und Aufgaben der Komponenten Positionierung und Zeitsynchronisation 152
3.7.2 Beschreibung der ausgewerteten Kenngrößen 153
3.7.3 Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen 157
3.7.4 Fragenkatalog 161
4 Kernfragen zur Bewertung Technik 163
5 Forschungsleitende Hypothesen für Technik 165
6 Fazit 168

Abbildungen

Abbildung 2.1: Dichtewerte 47
Abbildung 2.2: Auszug aus den Daten der IRS, (Abschnitt gs15) 48
Abbildung 2.3: Auszug aus den Daten der Zentrale (IGLZ), Abschnitt gs15 48
Abbildung 2.4: CAM-Trace aus sim^{TD}-Log, Anlage SM9a, Abschnitt gs15 49
Abbildung 2.5: Auszug aus den Daten der Zentrale (IGLZ), Abschnitt gs15 49
Abbildung 2.6: Versuchsort „Waldparkplatz“ und Zufahrt der empfangenden Fahrzeuge. 50
Abbildung 2.7: Histogramm Reaktionszeit Verkehrsereignisse 92
Abbildung 2.8: Histogramm Reaktionszeit Verkehrslage 93
Abbildung 2.9: Histogramm Reaktionszeit Webcam-Bilder 93
Abbildung 2.10: Auswertung der Kommunikation beim Flottenstützpunkt (2G/3G) 100
Abbildung 2.11: Verfügbarkeit der Funktion F_3.1.2 100
Abbildung 2.12: Reaktionszeit der Funktion F_3.1.2 101
Abbildung 3.1: Empfangsleistungen für einen ausgewählten Teildatensatz bei 20dBm 108
Abbildung 3.2: Fehlerraten auf der Geraden im Wald 113
Abbildung 3.3: Fehlerraten an der Kurve nahe dem Wald 114
Abbildung 3.4: Kurve aus Sicht des sich nähernden Fahrzeugs 115
Abbildung 3.5: Fehlerraten auf der Autobahn 116
Abbildung 3.6: Verzögerungsstreifen aus Sicht eines sich nähernden Fahrzeugs 117
Abbildung 3.7: Fehlerrate auf dem Verzögerungsstreifen 118
Abbildung 3.8: Fehlerraten im Tunnel 119
Abbildung 3.9: Fehlerraten an der Kreuzung im Wald 121
Abbildung 3.10: Fehlerraten an der Stadtkreuzung 122
Abbildung 3.11: Fehlerraten an der Kreuzung nahe dem Tunnel 124
Abbildung 3.12: Funktionsorientierte ICS Gesamtübersicht seitens Hessen Mobil 134
Abbildung 3.13: Die sim^{TD}-ICS aus technischer Sicht 135
Abbildung 3.14: ETSI Standardisierung gemäß M/453, Status vom Juni 2012 144
Abbildung 3.15: Status der Standardisierung (April 2012) – Generell 145
Abbildung 3.16: Status der Standardisierung (April 2012) – Tests I 145
Abbildung 3.17: Status der Standardisierung (April 2012) – Tests II 146
Abbildung 3.18: Status der Standardisierung (April 2012) – Applikationen 146
Abbildung 3.19: Status der Standardisierung (April 2012) – Facilities 146
Abbildung 3.20: Status der Standardisierung (April 2012) – Network und Transport 147
Abbildung 3.21: Status der Standardisierung (April 2012) – Access und Media 147
Abbildung 3.22: Status der Standardisierung (April 2012) – Management 148
Abbildung 3.23: Status der Standardisierung (April 2012) – Security 148

Abbildung 3.24: Aufbau des Messsystems 154
Abbildung 3.25: Ausschnitt aus der Messung mit Verlauf der Referenzmessung, der Messpunkte des u-blox-Receivers sowie der gefilterten Position der BO..155
Abbildung 3.26: Alter der GPS-Positionen zum Zeitpunkt der Verarbeitung in der BO.....156
Abbildung 3.27: Zeitdifferenz GPS - Systemuhr, inklusive Startphase 159
Abbildung 3.28: Zeitsynchronisation in Abhängigkeit der Systemlaufzeit, ...160
Abbildung 3.29: ITS-G5 Latenzzeit auf Netzwerkebene 161

Tabellen

Tabelle 2.1: Auswertungstabelle 8
Tabelle 2.2: Im Feldversuch durchgeführte Versuche....50
Tabelle 2.3: Übersicht über die Durchläufe des Drehbuchs 65....51
Tabelle 2.4: Tupel für die von der F_2.1.1 benötigten Eingangsgrößen 55
Tabelle 2.5: Die Versuchsdurchläufe 90
Tabelle 3.1: Klassifizierung der Reichweiten nach Aufbaustandort 129
Tabelle 3.2: ICS Anwendungen....138
Tabelle 3.3: Tägliche Verfügbarkeit der sim^{TD}-ICS im Versuchszeitraum 139
Tabelle 3.4: Genauigkeit des Positionierungssystems über die Gesamtdauer der Messung 157
Tabelle 3.5: Genauigkeit des Positionierungssystems über die Gesamtdauer der Messung 158
Tabelle 3.6: Ermittelter Anteil $\Delta t \leq 10ms$ 159

1 Allgemeines

Die technische Bewertung für den Feldversuch in sim^{TD} wurde in zwei Stufen durchgeführt. Zunächst wurden die funktionsspezifischen und funktionsübergreifenden Versuchsergebnisse separat bewertet. Anschließend wurde die technische Gesamtbewertung des Feldversuchs aus den Einzelergebnissen abgeleitet.

Zur Durchführung der Bewertung wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Für jedes Thema wird ein Verantwortlicher für die Bewertung benannt. In der Regel ist der Verantwortliche auch maßgeblich an der Auswertung des entsprechenden Themas beteiligt gewesen und hat somit einen tieferen Einblick in die Details der zu bewertenden Funktionalität.
2. Zur Vereinheitlichung der einzelnen Bewertungen wurde ein Template erstellt und zur Verfügung gestellt- Die Verantwortlichen erarbeiten auf Basis dieses Templates eine erste Bewertung und verteilen diese an das Team Technik zum Review.
3. Die erste Bewertung wurde vom Team Technik in einem Workshop ausführlich diskutiert und hinterfragt. Aus diesem ersten Review beim Workshop wird die finale Fassung der Einzelbewertung vom Verantwortlichen erstellt
4. Der Inhalt der einzelnen Bewertungsdokumente für die jeweiligen Funktionen / Themen wird anschließend in dem hier vorliegenden Gesamtdokument zusammengeführt. Dabei werden grundsätzlich keine inhaltlichen, sondern nur formale Änderungen vorgenommen.
5. Zusätzlich zu den Einzelbewertungen wurde vom Team Technik anhand der „7 Kernfragen“ und der „Forschungsleitenden Hypothesen Technik“ eine zusammenfassende technische Bewertung des Feldversuchs in sim^{TD} erstellt.
6. Das Gesamtdokument wurde abschließend einem finalen Review von allen Beteiligten unterzogen. Die Ergebnisse dieses Reviews fließen dann in den endgültigen Stand dieses Dokuments ein.

2 Funktionsspezifische Bewertung

Am Anfang der einzelnen Bewertungen werden die Ziele und Aufgaben der jeweiligen Funktion kurz beschrieben.

Anschließend werden zur funktionsspezifischen Bewertung bestimmte Kenngrößen herangezogen. Hierbei wird grundsätzlich zwischen 2 Arten von Kenngrößen unterschieden:

- **TP5-Kenngrößen:** Diese Kenngrößen sind für alle Funktionen einheitlich unter 2.1.1 bis 2.1.7 im Bewertungstemplate aufgeführt. Nicht alle diese Kenngrößen können innerhalb der einzelnen Funktionen bewertet werden. Nicht bewertete Kenngrößen werden in den einzelnen Bewertungsdokumenten entsprechend gekennzeichnet. In dem hier vorliegenden Dokument werden die nicht bewerteten Kenngrößen der Übersicht halber weggelassen. Grundsätzlich sollte mindestens die Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“ bewertet werden.

  Folgende TP5-Kenngrößen wurden definiert:

  - Korrekte Funktionalität der Funktion
  - Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen
  - Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen
  - Latenzzeit
  - Verlustrate
  - Reichweite
  - Zeit zwischen 2 empfangenen CAMs

- **TP4-Kenngrößen:** Dies sind weitere Kenngrößen, welche von den FETs betrachtet wurden, aber nicht als einheitliche TP5-Kenngröße definiert sind. Diese Kenngrößen werden zusätzlich zur Bewertung der einzelnen Funktionen berücksichtigt. Für diese speziellen Kenngrößen gibt es von TP5 keinen Bewertungsmaßstab.

  Außerdem wird aus Sicht jeder Funktion ein von TP5 definierter Fragenkatalog beantwortet. Die entsprechenden Antworten finden sich am Ende der jeweiligen funktionsspezifischen Bewertung.

2.1 Funktion F_1.1.3 Erfassung der Straßenwetterlage

2.1.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion „F_1.1.3 – Erfassung der Straßenwetterlage“ erfüllt die Aufgaben

- Wetter-Ereignisdetektion (anhand von SWIS und SBA-Messstationen),
- Ereignisextrapolation (Wetterprofile auf Basis PVD),
- Ereignisfusion (aus Fahrzeug-Ereignismeldungen, Wetterprofilen und Messstationen) und
- Kommunikation (Meldungsverbreitung/-kodierung, Meldungsempfang/-dekodierung).

Nur wenn alle Aufgaben korrekt erfüllt werden, kann das volle Potenzial der Funktion entfaltet werden.

Durch die das gesamte Versuchsgebiet erfassende Übersicht und die durch Nutzung von Mobilfunk große Reichweite, soll die Funktion die Verbreitung von Ereignismeldungen über die Möglichkeiten der C2C-Kommunikation hinaus unterstützen.

Zusätzlich liefern die hochgenauen und umfangreichen Sensoren der Wettermessstationen qualitativ hochwertige Daten, die die Güte der Ereignismeldungen verbessern können.

2.1.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

Für die Auswertung bzw. die Bewertung wurde der gesamte Zeitraum vom 02.07.2012 bis 14.12.2012 betrachtet.

2.1.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Diese Kenngröße stellt dar, wie groß der zeitliche Anteil ist, an dem die Funktion im Dauerbetrieb verfügbar, d. h. nicht fehlerbedingt ausgefallen, war.

Es wurde der Zeitraum vom 02.07.2012 bis 14.12.2012 im 24/7-Betrieb betrachtet.

Wenn im Verzeichnis „c2xmo“, in dem alle ausgesendeten Nachrichten geloggt werden, keine Logs erstellt wurden, bzw. wenn keine DENs irgendeiner auf der ICS laufenden Funktion versendet wurden, gilt die Funktion, aus nicht näher ermittelbaren Ursachen, als so stark beeinträchtigt, dass nicht von einer ordnungsgemäßen Funktionsweise ausgegangen werden kann.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 90% – 100%

Mittel: 60% – 90%

Schlecht: 0% – 60%

Aufgrund des prototypischen Charakters von sim^{TD} wird keine Reife wie für den Normalbetrieb eines Servers erwartet.

Ergebnis:

Mittel: 73,2% der Zeit war die Funktion vollständig einsatzbereit

Besondere Anmerkungen:

Die ICS wurde pro Tag für eine Stunde neu gestartet. Diese Zeit (4,2%) ist hier nicht berücksichtigt.

Möglicherweise gab es während des ausgewerteten Zeitraums weitere Gründe für das Fehlen der Logdateien, z. B. dass nur das entsprechende Logging der ICS nicht verfügbar war. Die exakte Ursache konnte nicht näher ermittelt werden.

Stichproben haben gezeigt, dass Zeitpunkte, in denen z. B. die Baustellenwarnung Probleme mit dem Betrieb feststellte, durch die hier aufgeführte Analyse erfasst werden.

2.1.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Diese Kenngröße stellt dar, ob Ereignisse durch infrastrukturseitige (F_1.1.3) oder fahrzeugseitige (F_2.1.3) Wetterdetektion früher erkannt werden können.

Dabei können nur Ereignisse verglichen werden, die von beiden Funktionen erkannt wurden.

Die Auswertung erfolgte auf Grundlage von etwa 72.000 Situationen.

Es wurde verglichen, ob ein Fahrzeug zuerst durch die zentralseitige Funktion oder durch die fahrzeugseitige Funktion informiert wurde.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 15% – 100%

Mittel: 5% – 15%

Schlecht: 0% – 5%

Da die Zentrale Daten über einen gewissen Zeitraum aggregiert, bevor sie eine Meldung versendet, und da die Versuche i.d.R. in Kolonnenfahrten absolviert wurden, ist ein Wert von 5% bereits als positives Ergebnis zu betrachten.

Ergebnis:

Mittel: 10,2% der Fälle wurde das Fahrzeug durch F113 informiert

Besondere Anmerkungen:

Es wurden nur nach Kenngröße Richtigkeit (fahrzeugseitig) bestätigte Ereignisse berücksichtigt.

2.1.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Diese Kenngröße stellt dar, ob die Funktion Wetterereignisse korrekt, d. h. nur dann wenn auch tatsächlich eine Wettersituation vorhanden war, erfasst hat. Dazu wird überprüft, ob bei den am betreffenden Ort vorhandenen Fahrzeugen ebenfalls Anzeichen für ein Wetterereignis erkannt wurden.

Die Auswertung erfolgte auf Grundlage von etwa 5.000 Ereignissen.

Ein Ereignis gilt als bestätigt, wenn etwa zum Zeitpunkt der Detektion bei mind. einem Fahrzeug an vergleichbarer Position ein Indiz (z. B. Betätigung des Scheibenwischers) auf ein solches Wetterereignis hindeutet.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 80% – 100%

Mittel: 60% – 80%

Schlecht: 0% – 60%

Aufgrund des prototypischen Charakters von sim^{TD} wird keine Reife wie für die Serie erwartet. Ein Fehler bei fünf Detektionen kann hier toleriert werden, wenn mehr als die Hälfte (3 von 5) falsch sind ist dies zu viel.

Ergebnis:

Schlecht: 26,4% der Ereignisse bestätigt

Besondere Anmerkungen:

Bei der Auswertung wurde festgestellt, dass Nachrichten für Ereignisse versendet wurden, die nicht gültig waren, d. h. die Gültigkeitsdauer war bereits abgelaufen.

Die Ergebnisse zur technischen Auswertung der F113 deuten u.a. darauf hin, dass die regionale Ausdehnung von Wettergebieten evtl. überschätzt wurde. Für eine spätere Umsetzung gilt zu untersuchen, ob eine höhere Messstationsdichte oder das Hinzuziehen weiterer Wetterdaten die Genauigkeit erhöht.

2.1.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ein false-positiv Anteil von 74% ist zu hoch.
- Eine Ausfallzeit von 23% ist hoch
- Es konnte in 10% der Fälle ein Fahrzeug durch die Funktion mit Informationen versorgt werden, die sie sonst, also bei ausschließlicher Verwendung der C2C Funktion F_2.1.3, später oder nie erhalten hätte.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Die Ereignisdetektion und Verarbeitungsgeschwindigkeit im Allgemeinen sowie die Funktionsstabilität kann optimiert werden.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Die Probleme scheinen implementierungsbedingt zu sein oder ihre Ursache in der zur Verfügung stehenden Hardware zu haben und sind damit als sim^{TD}-spezifisch einzuschätzen.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- Es ist nicht davon auszugehen, da Optimierungen möglich sind.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Nicht untersucht. Es entsteht der Eindruck, dass die Kommunikation zufriedenstellend gearbeitet hat.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Nicht untersucht.
- Die Funktion arbeitet überwiegend mittels Mobilfunk, dazu gibt es gesonderte Auswertungen sowie Bewertungen.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- IRS: mit Mobilfunk: irrelevant, ohne Mobilfunk: Durch größere Verbreitungsradien der Nachrichten mittels Multi-Hop beherrschbar.
- IVS: Mehr Daten bieten die Möglichkeit einer zuverlässigeren Ereignisdetektion.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*
- Die Ortungsgenauigkeit reicht aus.

- *Falls ihre Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*
- Nicht untersucht

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*
- Nicht untersucht, da zentralseitige Funktion.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*
- Die üblichen Anforderungen eines Kommunikationssystems.
- Insbesondere signierte Nachrichten: Da die Informationen von einer zentralen, also als zuverlässig einzuschätzenden, Quelle stammen, ist eine digitale Signatur notwendig, um Missbrauch vorzubeugen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*
- DEN (draft)
- PVD (draft)
- TPEG-TEC (draft)

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*
- Infrastruktur:
- Die Wettermessstationen liefern bereits eine breite Auswahl an Sensordaten.
- Eine höhere Dichte dieser Messstationen verbessert die Datengrundlage.
- IVS (via PVD):
- Prinzipiell sind alle wetterbezogenen Sensoren (Sichtweite, Niederschlagsmenge, Temperatur etc.) hilfreich.

2.2 Funktion F_1.1.4 Bereitstellung Straßenverkehrslage

2.2.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Aktuell wird die Außerortsverkehrslage anhand der Daten stationärer Verkehrserfassungsquerschnitte modellbasiert ermittelt. Durch die in Teilbereichen des Straßennetzes vorliegenden größeren Abstände zwischen den Datenerfassungs-querschnitten ergeben sich mitunter Ungenauigkeiten in der modellbasierten Verkehrslageermittlung. Für das nachgeordnete Netz liegen streckenweise nur wenige Informationen zur Verkehrslage vor. Es gibt heute eine Verkehrslage für die Straßen des Landes Hessen und eine Verkehrslage für ausgewählte Straßen der Stadt Frankfurt am Main, jedoch keine gemeinsame Verkehrslage für beide Bereiche. Ziel der Funktion ist die

Verdichtung und Optimierung der Verkehrslageermittlung für die Straßen des Landes Hessen durch Fusion infrastrukturseitig erfasster Daten mit fahrzeugseitig erfassten Daten. Weiterhin wird eine Zusammenfassung der sim^{TD}-Verkehrslage-Land und der sim^{TD}-Verkehrslage-Stadt zu einer sim^{TD}-Gesamtverkehrslage umgesetzt.

2.2.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.2.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

Die Funktionalität der F_1.1.4 wurde in der Entwicklungsphase durch die Integration von Simulationsdaten in das Verkehrsmodell getestet. Hier konnten auch Aussagen zur Güte der Verkehrslageermittlung in Abhängigkeit von der Ausstattungsrate getroffen werden. Die Funktionalität der F_1.1.4 wurde zudem im Testbetrieb mit Realdaten untersucht. Dabei konnten jedoch aufgrund der stark schwankenden Ausstattungsraten keine belastbaren quantitativen Aussagen getroffen werden. Die Bewertung der Funktionalität mit Realdaten erfolgt daher lediglich auf Basis von Einzelfallbetrachtungen qualitativer Natur.

Bewertungsmaßstab:

Gut: Trefferrate größer 80% sowie Fehlerrate kleiner 15%

Mittel: Trefferrate zwischen 60% und 80 % sowie Fehlerrate zwischen 15% und 30 %

Schlecht: Trefferrate kleiner 60% und Fehlerrate größer 30%

Ergebnis des Feldversuchs:

Eine pauschale Bewertung ist in diesem Fall nur schwer möglich, da die Treffer- und Fehlerraten von der Ausstattungsrate und den Maßnahmen zur Wahrung der Privatsphäre abhängen. Unter der Voraussetzung, dass eine Ausstattungsrate von ca. 2% erreicht werden kann und die Pseudonymwechsel nicht häufiger als alle 15-Minuten erfolgen, kann eine gute Funktionalität und damit verbunden in vielen Teilbereichen des Autobahnnetzes eine Verbesserung der Verkehrszustandsbestimmung erreicht werden. Selbst eine deutliche Steigerung der Ausstattungsrate führt nicht mehr zu einer spürbaren Verbesserung der Störungserkennung. So tritt bei einer Ausstattungsrate von 4% bereits eine Sättigung ein.

Bei der Umsetzung der Pseudonymwechsel in sim^{TD} konnten ungefähr 95% der in der Zentrale einlaufenden Datensätze zur Verkehrslageermittlung herangezogen werden.

Die für die korrekte Arbeitsweise des Funktionsalgorithmus notwendigen Systemkomponenten haben während der technisch ungestört verlaufenen Versuchsfahrten stets die benötigten Daten korrekt und zeitgerecht geliefert. Fahrzeugseitige Ausfälle oder Verlustraten bei der Datenübertragung wurden nicht betrachtet. Ausfälle der zentralenseitigen Infrastruktur konnten während der gezielt gefahrenen Versuche zur Verkehrslageermittlung nicht festgestellt werden. Während der Nicht instruierten Fahrten (NiF)- kam es jedoch mitunter zu kurzzeitigen Ausfällen, die durch den installierten Überwachungsmechanismus meist jedoch frühzeitig registriert und zeitnah behoben werden konnten. Hieraus lässt sich eine Kernaussage des Dokuments ableiten.

Kernaussage 1: Das System hat in der bestehenden Konfiguration in den meisten Fällen die korrekte Funktionalität bestätigen können. So konnten 95% der angekommenen Daten verarbeitet werden.

Der Funktionsalgorithmus hat sich im Versuch als zielführend und zuverlässig erwiesen. Die Funktion kann durch die Generierung einer verbesserten Informationslage eine Effizienzsteigerung der Verkehrssteuerungs- und Verkehrslenkungsmaßnahmen bewirken. Dies führt zu einer weiteren Kernaussage.

Kernaussage 2: Grundsätzlich ist der realisierte Funktionsalgorithmus in der Lage, die Verkehrslageinformationen zu verbessern und damit eine Effizienzsteigerung von Verkehrssteuerungsmaßnahmen zu bewirken.

2.2.2.2 Kenngröße "Einfluss der Ausstattungsrate"

Die Ausstattungsrate hat bei der Bestimmung von Verkehrszuständen auf Basis fahrzeugbasierter Daten einen wesentlichen Einfluss auf die Güte der Ergebnisse. So kann bei niedrigen Ausstattungsraten zwar die grundsätzliche Funktionalität der Ermittlung der Verkehrslage nachgewiesen werden. Eine Verbesserung der Verkehrszustandsbestimmung und insbesondere der Störungserkennung ist jedoch zuverlässig erst bei höheren Ausstattungsraten möglich.

Bewertungsmaßstab:

Gut: Trefferrate größer 80% sowie Fehlerrate kleiner 15%

Mittel: Trefferrate zwischen 60% und 80 % sowie Fehlerrate zwischen 15% und 30 %

Schlecht: Trefferrate kleiner 60% und Fehlerrate größer 30%

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Ausstattungsrate hat bei der Bestimmung von Verkehrszuständen auf Basis fahrzeugbasierter Daten einen wesentlichen Einfluss auf die Güte der Ergebnisse. Zur Bewertung der Funktionalität wurde ein Gütemaß herangezogen, dass die rein fahrzeugbasierte oder die fusionierte Verkehrslage auf eine "tatsächliche" Referenzverkehrslage bezieht. Im Rahmen von simulativen Untersuchungen konnten hier sehr gute Aussagen zu Güte der Verkehrslagebestimmung unter verschiedenen Ausstattungsraten getroffen werden.

Tabelle 2.1: Auswertungstabelle

Ausstattungs-rate	Synch. Flow (S) Treffer	Synch. Flow (S) Fehler	Wide Mov. Jam (J) Treffer	Wide Mov. Jam (J) Fehler
2%	0,73 ± 0,01	0,14 ± 0,02	0,91 ± 0,01	0,11 ± 0,01
0,5 %	0,55 ± 0,04	0,15 ± 0,02	0,84 ± 0,04	0,08 ± 0,01
0,25%	0,39 ± 0,07	0,16 ± 0,03	0,69 ± 0,09	0,08 ± 0,02

Die Auswertungstabelle zeigt, dass bei einer Ausstattungsrate von 2% die Staus sehr zuverlässig erkannt werden. Selbst bei einer Ausstattungsrate von 0,5 % können Staus noch sehr gut abgebildet werden. Die exakte modellbasierte Nachbildung des synchronisierten Verkehrs erscheint dagegen schwieriger zu sein, da Erkennungsrate bei einer zweiprozentigen Ausstattungsrate nur bei 73% liegt. Dafür liegt die Fehldetektionsrate bei unter 15 %, was sehr gut ist. Die Nachbildung des synchronisierten Verkehrs bei einer Ausstattungsrate von 0,5% ist dagegen mit einer Trefferrate von 0,55 schlecht.

Die Ermittlung der Referenzverkehrslage in der Simulation ist problemlos möglich. Als Ergebnis der simulativen Untersuchungen kann folgende Kernaussage festgehalten werden.

Kernaussage 3: Ab einer fahrzeugseitigen Ausstattungsrate von 2% generiert die Ermittlung einer fusionierten Verkehrslage einen stabilen Mehrwert gegenüber einer konventionellen Verkehrslagenermittlung über stationären Detektoren bei Detektorabständen von > 1 km. Ab einer Ausstattungsrate von 4% kann keine spürbare Verbesserung der Verkehrslageinformation mehr erreicht werden.

Im Feldversuch konnte diese Art von Auswertung nicht durchgeführt werden, da zum einen die Bestimmung der Ausstattungsrate durch die Betrachtung der in sim^{TD} generierten Daten nicht möglich war, zum anderen die Referenzierung nur in dem Maß möglich war, wie sie die bestehende stationäre Detektorik und das in der VZH arbeitende Verkehrsmodell erlauben. Bei einer niedrigen Detektordichte ist eine Aussage zur Güte der fusionierten Verkehrslage daher in sim^{TD} nicht zuverlässig referenzierbar. Aus diesem Grund wurde auf eine quantitative Analyse des Feldtests verzichtet. Es wurde lediglich qualitative Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Verkehrslagen vorgenommen. Hierbei fällt auf, dass die fusionierte Verkehrslage insbesondere auf Strecken mit größerem Detektorabstand bei entsprechenden Ausstattungsraten eine plausible und feine Verkehrslage liefert, die eine Verbesserung gegenüber der rein detektorbasierten Verkehrslage darstellt.

2.2.2.3 Kenngröße "Einfluss der Datentypen"

Die Verwendung unterschiedlicher Datentypen führt zu unterschiedlichen Gütemaßen und Aufwänden bei der Integration der Fahrtverlaufsdaten in das Fahrzeug. Aus diesem Grund wurden hier die Einflüsse der Nutzung unterschiedlicher Datentypen auf die Güte der Verkehrslageermittlung untersucht.

Bewertungsmaßstab:

Es wurde kein quantitativer Bewertungsmaßstab verwendet, da eine qualitative Beurteilung vorgenommen wurde.

Sowohl Mobilfunk als auch ITS-G5 haben sich als Kommunikationstechnologie für diese Funktion als zweckmäßig erwiesen. Die Versuchszentrale hat während des Feldversuchs ungefähr 2.800.000 Datensätze empfangen und ungefähr 95% davon zur Ermittlung der Verkehrslage verwendet.

Die Daten-Wiederholfrequenz gemäß sim^{TD}-Spezifikation spielt für die Bestimmung der Verkehrslage eine wesentliche Rolle. Eine zu geringe Wiederholfrequenz erschwert die zeitlich-räumliche Verortung der Zustandsübergänge, eine zu hohe Wiederholfrequenz verkompliziert die zentralenseitige Verarbeitung aufgrund zu großer Datenmengen. Ideal wären periodisch (2-5 Sek.-Intervalle) erhobene Datensätze mit Zeit, Position und Geschwindigkeiten. Neben den angesprochenen zeitbezogenen Intervallen können die Daten auch weg- oder zeit-weg-periodisch erfasst werden.

Die Verkehrslagefusion in sim^{TD} verarbeitet mit den PVD, CAM und DENM drei Arten von Nachrichten aus den Fahrzeugen. Als effizientester „Standard“ erwies sich hierbei das PVD-Format, da es die Anforderungen der Verkehrslagefusion weitgehend erfüllt. Die Erfahrungen mit dem in sim^{TD} spezifizierten PVD-Format fließen in die Standardisierungsbemühungen der CEN ein. CAM wurden ebenfalls verarbeitet. Sie können infrastrukturseitig jedoch nur im Empfangsbereich einer IRS empfangen werden und sind damit für die Ermittlung der Verkehrslage nur von eingeschränktem Nutzen. Zudem erfordert die für die Verkehrslageermittlung zu hohe Informationsdichte Filtervorgänge auf der IRS oder der ICS, um das zu übertragende und in der Zentrale zu verarbeitende Datenvolumen zu reduzieren. Eine Übertragung von CAM über Mobilfunk ist aufgrund des hohen Datenaufkommens

ebenfalls unzweckmäßig. DENM können aufgrund ihres ereignisorientierten Charakters zur Plausibilisierung der anderen Datenarten herangezogen werden und sollten im Wesentlichen dem zentralenseitigen Ereignismanagement dienen. Die Ermittlung der Verkehrslage weist die Stauwarnungs-DENMs gesondert zeitlich und räumlich verortet aus. Bei der Betrachtung der grafisch aufbereiteten Verkehrslageinformationen wurde deutlich, dass die Stauerkennung der Fahrzeuge und die der Verkehrslageermittlung zum Teil deutlich voneinander abweichen. Dies ist auf die unterschiedlichen Algorithmen zur Ermittlung des Zustandsübergangs zurückzuführen. Während die Intention der fahrzeugseitig erzeugten Stauwarnungs-DENMs die Warnung vor Bremsvorgängen ist, wird die zentralenseitig bestimmte Verkehrslage durch die Betrachtung der mittleren Geschwindigkeiten auf einem Streckensegment zur Beurteilung herangezogen.

Hieraus kann folgende Kernaussage getroffen werden:

Kernaussage 4: Die Übertragung der Informationen per PVD über Mobilfunk und IRS hat sich als zweckmäßig zur Umsetzung der Ermittlung der Verkehrslage erwiesen. Die Ermittlung der Verkehrslage über CAM und reiner IRS-Kommunikation ist nur eingeschränkt möglich, da der Erfassungshorizont für die Verkehrslageerfassung sehr kleinräumig ist und damit nur eine beschränkte Aussagefähigkeit besitzt. DENM können zur Plausibilisierung und zum Ereignismanagement herangezogen werden.

2.2.2.4 Kenngröße "Einfluss der Ortungsgenauigkeit"

Die Ortungsgenauigkeit spielt bei der Verkehrslageermittlung insofern eine Rolle, dass bei der Bestimmung der Verkehrszustände auf Basis stationär erhobener Daten eine spurgenaue Zuordnung erfolgen kann. Dies ist bei einer nicht permanent fahrstreifenfeinen Positionierung der Fahrzeuge nicht möglich.

Bewertungsmaßstab:

Es wurde kein quantitativer Bewertungsmaßstab verwendet, da eine qualitative Beurteilung vorgenommen wurde.

Die vom sim^{TD}-System bereit gestellte Ortungsgenauigkeit war in allen Fällen ausreichend, um die korrekte Funktionalität der Ermittlung der Verkehrslage zu gewährleisten. Im Detail waren die „gematchten“ Positionen zwar nicht sehr präzise, so zeigten die grafisch aufbereiteten Trajektorien auch Fahrzeuge mit negativen Geschwindigkeiten (Rückwärtsfahrende Fahrzeuge), die hieraus entstehenden Zuordnungsprobleme konnten aber im Lauf des Feldversuchs algorithmisch behoben werden.

Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass die von einem Seriensystem bereitgestellte Ortungsgenauigkeit nach Stand der Technik eine gute Funktionalität gewährleisten kann. Perspektivisch könnte eine fahrstreifengenaue Ortung die Verkehrsmodelle befähigen, sehr präzise fahrstreifenfeine Berechnungen zur Verkehrslage durchzuführen. Dies kann insbesondere bei der Führung auf Parallelfahrbahnen oder in Baustellenbereichen von Bedeutung sein. Dies ist bisher nur durch die stationäre Detektorik möglich. Die Erweiterung der Verkehrslageermittlung in dieser Hinsicht würde allerdings eine weitere Anpassung der Verkehrslagefusionsalgorithmik voraussetzen.

Kernaussage 5: Die Ortungsgenauigkeit nach Stand der Technik ist für die Funktion im Allgemeinen ausreichend. Eine verbesserte Ortung könnte die fahrstreifenfeine Verkehrslageermittlung ermöglichen, die in besonderen Anwendungsfällen von Bedeutung ist. Hierzu sind allerdings weitere zentralenseitige Anpassungen notwendig

2.2.2.5 Kenngröße "Einfluss von Maßnahmen zur Wahrung der Privatsphäre"

Die Verkehrslageermittlung beruht auf der Deutung der Fahrtverlaufsdaten von Fahrzeugen oder Fahrzeugkollektiven. In sim^{TD} wurden zur Wahrung der Privatsphäre Mechanismen installiert, die diese gewährleisten sollen. Hierzu gehört der periodische Pseudonymwechsel. Dieser erschwert die Zuordnung der Fahrtverlaufsdaten und damit die Ermittlung der Verkehrslage. Hier wurde untersucht, welchen Einfluss die Pseudonymwechsel auf die Güte der Verkehrslagebestimmung besitzen.

Zur Wahrung der Privatsphäre der Verkehrsteilnehmer ist es notwendig, Maßnahmen zu ergreifen, die eine Erfassung und Verarbeitung personenbezogener Informationen verhindern. Eine Maßnahme hierzu ist die fahrzeug- oder IRS-seitige Datenaggregation. Dies ist auch für die Verkehrslagefusion eine unproblematische Vorgehensweise. Die Rohdaten werden in der derzeitigen Ausgestaltung des Systems zwar zur Verkehrslageermittlung genutzt, die Integration aggregierter Daten könnte jedoch in einem weiteren Entwicklungsschritt verwirklicht werden

Zudem wurde in sim^{TD} ein Pseudonymwechsel implementiert, der zeitperiodisch die kommunizierte Kennung eines Fahrzeugs wechselt. Dieser Wechsel erschwert die Zuordnung der Fahrzeugtrajektorien vor und nach dem Zeitpunkt eines Wechsels. Findet der Pseudonymwechsel jedoch nicht häufiger als im 15-Minutentakt statt, dann kann die Fusion trotzdem ihre volle Funktionalität entwickeln.

Dies führt zu einer weiteren Kernaussage:

Kernaussage 6: Detaillierte Fahrtverlaufsdaten werden nicht benötigt. Aggregierte Daten reichen aus, was eine fahrzeug- oder IRS-seitige Aggregation ermöglicht. Der implementierte Pseudonymwechsel ist für die Fusionsalgorithmik zwar problematisch, bei einer Wechselhäufigkeit in Intervallen größer 15 Minuten kann die Algorithmik jedoch ihre volle Funktionalität entwickeln.

2.2.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja. Unter den Rahmenbedingungen, dass eine Ausstattungsrate größer 2 % erreicht wird und dass Pseudonymwechsel nicht häufiger als im 15-Minuten-Takt erfolgen hat die F_1.1.4 eine gute Funktionalität gezeigt.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Verbesserungen können durch eine fahrstreifenfeine Ortung erzielt werden.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD} -spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Die Ortungs-, Ausstattungs- und Privacy-Problematik sind nicht sim^{TD}-spezifisch.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Übertragung auf einem hybriden Kommunikationsweg hat sich als zweckmäßig erwiesen, wobei die Übertragung der Informationen über Mobilfunk aufgrund der besseren Netzabdeckung für die Gewährleistung der großflächigen Funktionalität wesentlich ist.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die CAM-Frequenz ist für die Nutzung zur Verkehrslageermittlung eher zu hoch. Sie erfordert Filter- bzw. Aggregationsvorgänge. Die Nutzung der PVD analog zur sim^{TD}-Spezifikation hat sich als zweckmäßig erwiesen.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die IVS-Ausstattungsrate von 2 % ermöglicht eine sehr gute Bestimmung der Verkehrslage. Bereits ab einer Ausstattungsrate von 4% können nur noch unwesentliche Verbesserungen in der Bestimmung der Verkehrszustände verzeichnet werden.

- Die IRS-Ausstattungsrate spielt eine untergeordnete Rolle, falls eine Mobilfunkübertragung der PVD umgesetzt wird. Sollte dies nicht der Fall sein, dann ist die Dichte des IRS Netzes von entscheidender Bedeutung, da in diesem Fall nur die CAMs und PVDs für den Empfangsbereich zzgl. des Speicherbereichs der Wegpunkte genutzt werden können. Dies würde nur eine punktuelle Bestimmung der Verkehrslage zur Folge haben.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Ja, die fahrstreifenfeine Ortung würde eine fahrstreifenbezogene Verkehrslageermittlung ermöglichen.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Multi-Hop wurde nicht benutzt.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Das HMI wurde in dieser Funktion nicht genutzt.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Aufgrund der Nutzung von Fahrtverlaufsdaten müssen hohe Anforderungen Privacy und Security gestellt werden. Durch Aggregationsvorgänge und Pseudonymwechsel sollten diese jedoch erfüllt werden können.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- CAM, DENM, hinzu kam ein noch nicht standardisiertes Datenformat PVD. Hier bemüht sich ein Standardisierungsgremium der CEN, die Standardisierung des PVD-Formats voranzutreiben.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine.

2.3 Funktion F_1.2.1 Straßenvorausschau

2.3.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Straßenvorausschau ist als günstige Funktion gedacht, um dem Fahrer ohne digitale Karte eine gewisse Vorausschau auf die unmittelbar vor ihm liegenden Straßensegmente zu geben im Sinne einer lokalen, digitalen, dynamischen Karte, die sich von Informationen umliegender bzw. entgegenkommender Fahrzeuge speist. Im Gegensatz zur Erweiterten Navigation setzt diese Funktion keine Navigation und keine Karte voraus. Dadurch kann sich eine wesentlich höhere Ausstattungsrate ergeben als bei digitalen Navigationssystemen.

2.3.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.3.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 100%-80% relevant (1 von 5)

Mittel: 80%-60% relevant (2 von 5)

Schlecht: < 60%

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist schlecht, da in mehr als 50% der Fälle weniger als 30 örtlich relevante Kanten vorlagen und damit auch die Anzeige nicht relevant war.

2.3.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, zu einem angemessenen Zeitpunkt erhalten worden sind.

Bewertungsmaßstab:

Gut: > 2 Min.	entspricht einem Horizont > 1,5km
Mittel: 1 Min <= x <= 2Min	entspricht einem Horizont > 800 m
Schlecht: < 1 Min	entspricht einem Horizont < 800 m

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist gut, da in mehr als 90% der Fälle die durchschnittliche Restlebensdauer über 2 Minuten liegt.

2.3.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, örtlich gesehen angemessen sind.

Bewertungsmaßstab:

Gut: >50	gutes Umfeldbild zur Wiedererkennung
Mittel: 50 <= x <= 30	normales Bild zur Wiedererkennung
Schlecht: < 30	Umgebung wird nur schlecht wiedererkannt.

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist schlecht, da in mehr als 50% der Fälle weniger als 30 örtlich relevante Kanten vorlagen

2.3.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- ja

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Die Probleme (geringe Anzahl örtlich relevanter Kanten) wird durch mehr Fahrzeuge und höheren Datenaustausch verbessert.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- Siehe Frage vorher.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die Funkreichweite und die Anzahl der Kommunikationsteilnehmer haben Einfluss auf die Anzahl örtlich relevanter Kanten.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Eine höhere Fahrzeugdichte wäre wünschenswert.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Gut.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Nein.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Nicht bewertbar. Ist in der technischen Untersuchung der Funktion nicht als Fokus betrachtet worden.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die Üblichen hinausgehend.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- sim^{TD} ähnlicher ETSI-Draft.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Nein. Kamerabilder als statische Funktionalität sind in den Funktionen 3.x betrachtet worden.

2.4 Funktion F_1.2.2 Baustelleninformationssystem

2.4.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion F122 dient der Reduktion des Informationsmangels des Fahrers bei der Zufahrt zu und innerhalb einer Baustelle. Vor der Einfahrt in eine Baustelle wird der Fahrer über die voraussichtliche Verzögerung, die sich durch die Durchfahrt ergibt, und die ihn erwartende Geometrie informiert. Dies beinhaltet die Anzahl der Spuren und ggf. Fahrspurverschwenkungen sowie bauliche Trennungen.

In der Baustelle erhält der Fahrer in Abhängigkeit seiner aktuellen Position Informationen über die Geometrie und die berechneten Geschwindigkeitsprofile. So kann er den für ihn optimalen Weg durch die Baustelle wählen.

Ziel der Funktion ist es, sowohl dem einzelnen Fahrer eine flüssige und sichere Durchfahrt durch eine Baustelle zu ermöglichen, als auch insgesamt einen effizienteren Verkehrsfluss trotz Baustellen zu begünstigen.

Um dies zu realisieren ist es notwendig, dass die Funktion die folgenden Aufgaben erfüllt:

1. Verfügbarkeit – Die Nachrichten, die die Funktion in der Verkehrszentrale berechnet und versendet, sollen stets in den Versuchsfahrzeugen empfangen werden.
2. Berechnung korrekter Baustellengeometrie – Die berechneten Baustellengeometrien sollen fehlerfrei sein. Dies betrifft sowohl die Anzahl der erkannten Fahrspuren als auch die Position und Dimension von verschwenkten und baulich abgetrennten Fahrspuren.
3. Berechnung korrekter Geschwindigkeitsbereiche – Die Geschwindigkeitsprofile, die für die Baustelle berechnet wurden, sollen bezüglich der Geschwindigkeit und der räumlichen Abgrenzungen zutreffend sein.
4. Zeitliche Relevanz – Die Funktion soll die Baustelleninformationen rechtzeitig ins Fahrzeug liefern und dort zur Anzeige bringen.

2.4.2 Beschreibung der ausgewerteten Kenngrößen

2.4.2.1 Kenngröße „Verfügbarkeit“

Wir messen die Verfügbarkeit der Funktion über den Anteil der in den Fahrzeugen empfangener F122-Nachrichten aus der VsZ:

n_{sD} = *Anzahl der in der VsZ versendeten DEN Nachrichten*

n_{rD} = *Anzahl der in der IVS empfangenen DEN Nachrichten*

n_{sA} = *Anzahl der vom F122 versendeten ASD Nachrichten*

nrA = *Anzahl der in der IVS empfangenen ASD Nachrichten*

vDEN = *nrD / nsD*

vASD = *nrA / nsA*

K_122_Verfügbarkeit = $(v_{DEN} + v_{ASD}) / 2$

2.4.2.2 Kenngröße „Richtigkeit Geometrie“

Die Richtigkeit der Geometrie brechen wir auf in die Richtigkeit der erkannten Spuren und die der erkannten baulich getrennten Verschwenkungen. Für beide Teile benötigen wir eine

Soll-Beschreibung der Baustellengeometrie, die passend zur durchfahrenen Baustelle manuell erstellt werden muss.

In Schritten von 50 Metern werden die Anzahl der erkannten und tatsächlichen Spuren miteinander verglichen und ein Ergebniswert w_o an Offset o [in Metern] berechnet:

s_{Soll} =*Anzahl der tatsächlichen Spuren*

s_{Ist} =*Anzahl der berechneten Spuren*

$$w_o = \begin{cases} 1 & sSoll = sIst \\ s_{Soll} / s_{Ist} & s_{Soll} < s_{Ist} \\ sIst / sSoll & sSoll > sIst \end{cases}$$

Richtigkeit_Spuren = *Durchschnitt über alle* w_o

Für die Richtigkeit der Verschwenkungen werden die Offsets der Anfänge und Enden der ernannten und tatsächlichen Verschwenkungen miteinander verglichen:

ASoll =Tatsächlicher Offset des Anfangs einer Verschwenkung

AIst =Berechneter Offset des Anfangs einer Verschwenkung

ESoll =Tatsächlicher Offset des Endes einer Verschwenkung

EIst =Berechneter Offset des Endes einer Verschwenkung

wA =1.0 - (min(| ASoll – AIst | , 100) / 100)

wE =1.0 - (min(| ESoll – EIst | , 100) / 100)

wT =Durchschnitt über alle wA, wE

nSoll =Anzahl der tatsächlichen Verschwenkungen

nIst =Anzahl der berechneten Verschwenkungen

$$\textbf{\textit{Richtigkeit_Trennung}} = \begin{cases} w_T & n_{Soll} = n_{Ist} \\ w_T \cdot n_{Soll} / n_{Ist} & n_{Soll} < n_{Ist} \\ w_T \cdot n_{Ist} / n_{Soll} & n_{Soll} > n_{Ist} \end{cases}$$

Beide Teilergebnisse werden für die Berechnung der allgemeinen Richtigkeit der Geometrie gleichstark gewichtet:

K_122_Richtigkeit_Geometrie *= (Richtigkeit_Spuren + Richtigkeit_Trennung) / 2*

2.4.2.3 Kenngröße „Richtigkeit Verkehrslage“

Für diese Kenngröße ist ebenfalls eine Soll-Baustellenbeschreibung notwendig, um die berechneten und erwarteten Geschwindigkeitsbereiche miteinander vergleichen zu können. Hierfür werden die Baustellengeometrien wieder abschnittsweise betrachtet und pro Abschnitt die Geschwindigkeitsklassen der Spuren miteinander verglichen. Die Abschnitte haben wie für die Kenngröße Richtigkeit_Geometrie eine feste Länge von 50 Metern. Im Fall, dass die Anzahl der Spuren nicht korrekt erkannt wurden, wird vor dem Vergleich ein bestmöglicher Abgleich vollzogen. Damit ergeben sich pro Kachel die geordneten Mengen { v_{Ist} } und { v_{Soll} } von berechneten und erwarteten Geschwindigkeitsklassen. Für jedes zuordenbare Paar aus den beiden Mengen ergibt sich ein Qualitätswert $q_{i,j}$:

$q_{i,j}$ =*1 - (min(|* $v_{Ist} - v_{Soll}$ *| , 2) / 2)*

Für jeden Abschnitt wird dann ein Abschnittswert k_i berechnet:

$$k_i = Durchschnitt\ über\ alle\ q_{i,j}$$

Die Korrektheit der Klassen wird abschließend als Durchschnitt über die Abschnittswerte bestimmt:

$$\textbf{\textit{Richtigkeit_Klassen}} = Durchschnitt\ über\ alle\ k_i$$

Außerdem wird noch das Verhältnis der prognostizierten (d_{Soll}) zur tatsächlich gemessenen (d_{Ist}) Durchfahrtsdauer berücksichtigt:

$$\textbf{\textit{Richtigkeit_Dauer}} = \begin{cases} 1 & d_{Soll} = d_{Ist} \\ d_{Soll} / d_{Ist} & d_{Soll} < d_{Ist} \\ d_{Ist} / d_{Soll} & d_{Soll} > d_{Ist} \end{cases}$$

Schließlich wird die Richtigkeit der Geschwindigkeitsklassen bei der Berechnung der finalen Kenngröße dreifach gewichtet:

$$\textbf{\textit{K_122_Richtigkeit_Verkehrslage}} = 0.75 \cdot Richtigkeit_Klassen + 0.25 \cdot Richtigkeit_Dauer$$

2.4.2.4 Kenngröße „Zeitliche Genauigkeit“

Die Kenngröße „Zeitliche Genauigkeit“ gibt an, ob die von der Funktion gelieferten Daten zum Zeitpunkt der Auslieferung korrekt oder möglicherweise bereits veraltet sind.

Ein Beispiel für eine schlechte zeitliche Genauigkeit ist, dass die Geometrie Baustelle über Nacht verändert wird (z. B. durch Einfügen einer Verschwenkung), die Funktion dies jedoch am nächsten Morgen noch nicht erkannt hat und somit veraltete Daten ausliefert.

2.4.3 Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen

Aufgrund der bereits im Auswertungsdokument angeführten Probleme konnte die Auswertung der Funktion nur eingeschränkt erfolgen. Nichtsdestotrotz können generelle Aussagen über die Funktion und im speziellen außerdem über die Richtigkeit der Geometrie getroffen werden.

2.4.3.1 Kenngröße Richtigkeit der Geometrie

Um die Richtigkeit der Geometriebestimmung zu bestimmen werden folgende Bewertungskriterien angelegt:

1. **Korrektheit der Anzahl der Spuren und baulichen Trennungen.** Es ist essentiell, dass die Funktion die richtige Anzahl an Spuren und die korrekte Lage der baulichen Trennungen bestimmt. Wenn diese grundlegenden Informationen falsch vorliegen ist mit einer Nichtakzeptanz durch den Fahrer zu rechnen.
2. **Konvergieren der Berechnung zu einer korrekten Geometrie**. Die Baustellengeometrie wird dynamisch bestimmt während Fahrzeuge durch die Baustelle fahren und ihre Positionsdaten abliefern. Um eine langfristig sichere Funktion zu gewährleisten ist es notwendig, dass die berechnete Geometrie mit steigender Anzahl verfügbarer Eingangsdaten stabil wird und sich der realen Geometrie annähert. Was nicht passieren sollte ist, dass die Güte der Geometrie nach Erreichen eines Maximalwertes wieder abnimmt und mit den weiteren Eingangsdaten schwankt.

In der Auswertung der Fahrversuche wurde gezeigt, dass die Funktion prinzipiell in der Lage ist, eine korrekte Geometrie nach Bewertungskriterium 1 zu errechnen. Im Positivbeispiel

wurde gezeigt, dass nach ca. 75 Fahrzeugdurchfahrten eine Richtigkeit der Spuranzahl von ca. 93% erreicht werden konnte. Für die bauliche Trennung gilt, dass diese gegen Ende der Durchfahrten ca. 50% genau bestimmt werden konnte. Insgesamt ergibt sich dadurch eine Richtigkeit von ca. 70%.

Im Negativbeispiel zeigt sich ein anderes Bild. Hier werden 120 Baustellendurchfahrten betrachtet, die dazu führen, dass die Richtigkeit der baulichen Trennung, die zunächst bei 100% war, schließlich auf 0% absinkt. Außerdem ist keine kontinuierliche Steigerung der Richtigkeit der Geometrie zu verzeichnen, wie es für Bewertungskriterium 2 notwendig wäre. Die Richtigkeit der Spuranzahl steigt bis zu einer Anzahl von 60 PVDs an, schwankt anschließend aber weiterhin stark. Die nach 120 Durchfahrten erzeugte Geometrie hat aus Sicht des Fahrers nur sehr wenig mit der Realität zu tun und ist so in keiner Weise hilfreich.

Insgesamt ist diese Kenngröße daher als schlecht zu bewerten.

Die Ursachen hierfür werden in der Auswertung der Fahrversuche ebenfalls kurz betrachtet. In den dort dargestellten Histogrammen ist die Verteilung der Positionen aus den Durchfahrten über der Breite der Fahrbahn dargestellt. Im Histogramm in Kapitel 3.4 werden die bei tatsächlich vorhandenen drei Spuren aufgenommenen Daten dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Positionsdaten der PVDs insgesamt über einen Bereich von 25 Metern verteilt sind. Insgesamt sind mit dem bloßen Auge 7 Maxima der Verteilung zu erkennen, von denen drei bereits korrekter Weise durch die Rauschschwelle ausgefiltert wurden. Ein viertes Maximum hat einen so hohen Wert, dass die Filterung hier nicht mehr greift.

Die Ausreißerwerte deuten darauf hin, dass Daten von Fahrzeugen abgeliefert wurden, deren Ortung ein seitliches Offset zur Fahrbahn besaß. Zudem sind die vermeintlichen drei Hauptmaxima nicht sehr diskret ausgeprägt. Der Bereich von ca. 3 Metern um ein Signifikanzmaximum liegt über dem berechneten Schwellwert. Dies deckt sich mit der Auswertung der Besseren Ortung, in der eine Genauigkeit der Positionierung von 3 Metern bestimmt wurde. Eine korrekte Bestimmung einzelner Fahrspuren und baulicher Trennungen ist trotz statistischer Auswertung mit diesen Werten nur sehr eingeschränkt möglich.

2.4.3.2 Kenngröße „Zeitliche Genauigkeit“

Sofern die Funktion (wie im Positivbeispiel) in der Lage ist, eine korrekte Geometrie zu bestimmen, wird dies innerhalb einer relativ geringen Anzahl von Durchfahrten erreicht. Ca. 75 PVD-Sätze reichen hier für die Bestimmung der Geometrie aus.

Dadurch ist die Funktion in der Lage, zeitnah auf geänderte Verhältnisse wie den Umbau der Baustelle oder auch auf sich ändernde Geschwindigkeitsprofile zu reagieren. Je nach Ausstattungsrate ergeben sich unterschiedliche Reaktionszeiten. Es wird von einer Zahl von durchschnittlich 30 Fahrzeugen pro Minute ausgegangen:

$$t_{20\%} = 0{,}03\ {}^{min}/_{Fzg} \times 75\ Fzg + 20\% = 11{,}25\ min$$

$$t_{50\%} = 0{,}03\ {}^{min}/_{Fzg} \times 75\ Fzg + 50\% = 4{,}5\ min$$

$$t_{100\%} = 0{,}03\ {}^{min}/_{Fzg} \times 75\ Fzg = 2{,}25\ min$$

Es ist also davon auszugehen, dass die Funktion auch bei geringen Ausstattungsraten und einer für Baustellenverkehr konservativen Annahme von Fahrzeugdurchfahrten pro Minute in der Lage ist, innerhalb von ca. 10 Minuten komplette Baustellengeometrien zu berechnen.

2.4.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Die Funktion hat grundsätzlich in ihrem Konzept funktioniert. Große konzeptionelle Fehler konnten nicht beobachtet werden. Eine zufriedenstellende Güte der Daten konnte die Funktion allerdings nicht liefern.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen?*

- Für eine korrekte Berechnung der Baustellengeometrie ist eine höhere Ortungsgenauigkeit als die zur Verfügung stehende notwendig.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Es ist davon auszugehen, dass die beschriebenen Probleme sim^{TD}-spezifisch sind. Bereits in aktuellen Serienfahrzeugen sind Ortungslösungen mit höherer Genauigkeit verfügbar. Dabei ist allerdings zu beachten, dass eine oft eingesetzte kartenbasierte Ortung für die Funktion nicht sinnvoll ist. Hierbei würde eine Fahrspurauswertung nicht mehr möglich sein.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- Bereits in aktuellen Serienfahrzeugen sind Ortungslösungen mit höherer Genauigkeit verfügbar. Außerdem sind in einem Seriensystem vermutlich mehr Informationen, die z. B. durch die Autobahnmeistereien eingebracht werden, verfügbar.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Es sind keine Probleme mit der Kommunikationstechnologie bekannt, die die Funktion behindert hätten.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Es gibt einen Einfluss der Mobilfunkabdeckung bzw. der WLAN-Reichweite zwischen IRS und Fahrzeug. Da die Informationen aber bereits Minuten vor Eintreffen in der Baustelle an das Fahrzeug übermittelt werden können wird dies als unkritisch angesehen.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Eine erhöhte Ausstattungsrate ermöglicht der Funktion schnellere Reaktionen auf Änderungen in Baustellengeometrie und Geschwindigkeitsprofilen.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Eine korrekte Ortung in den Fahrzeugen ist die kritische Komponente für diese Funktion. Mit ihr steht und fällt die Güte der generierten Daten.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Wurde nicht untersucht.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Warnzeitpunkte für die Funktion waren meist rechtzeitig.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Da die Funktion Fahrzeugtrajektorien sammelt muss sichergestellt werden, dass diese vor der Erfassung anonymisiert oder pseudonymisiert werden.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Sofern verfügbar könnten Fahrzeugsensoren, die in der Lage sind mehrere Fahrspuren zu erkennen (beispielsweise Kameras), diese Daten sammeln und der Funktion zur Verfügung stellen. Dadurch könnte vermutlich eine höhere Genauigkeit erreicht werden.

2.4.5 Fazit

Die Funktion konnte im Feldversuch die grundsätzliche Durchführbarkeit ihres Konzepts unter Beweis stellen. Die Übermittelung von Fahrzeugdaten in die Zentrale und die dortige Berechnung einer Geometrie, die anschließend wieder zurück in die Fahrzeuge gespielt wird, funktioniert. Die verwendeten Kommunikationswege sind diesen Anforderungen gewachsen und behindern die Funktion nicht.

Es zeigt sich jedoch, dass die Ortung eine kritische Komponente in diesem Konzept ist. Mit der hier erreichten Ortungsgenauigkeit ist eine zufriedenstellende Implementierung der Funktion nicht möglich. Trotz statistischer Auswertungen im zentralenseitigen Teil der Funktion ist eine spurgenaue Ortung im Fahrzeug notwendig.

2.5 Funktion F_1.2.3 Erweiterte Navigation

2.5.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Diese Funktion informiert das Navigationssystem eines Fahrzeugs über verkehrlich relevante lokale sowie über die unmittelbare Umgebung hinausgehende Ereignisse. Die Daten verschiedener Quellen werden gesammelt und vom Navigationssystem bei der Routenplanung und -führung berücksichtigt.

Mögliche Quellen sind andere Fahrzeuge (Durchschnittsgeschwindigkeiten, Reibwerte etc.) oder Verkehrsinfrastruktur (Verkehrsaufkommen, Verlustzeiten, Straßenwetter, Umleitungsempfehlungen etc.).

Hier ist die logische Trennung zwischen F121 und F123 zu beachten: Die Straßenvorausschau gewinnt ihre Daten aus Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation, ohne Daten der Infrastruktur. Die Erweiterte Navigation gewinnt zusätzliche Daten aus der Infrastruktur und speist sie in die Datenfusion der Hauptfunktion 1.2 ein. F123 macht aber selbst keine Fahrzeug-Fahrzeug Kommunikation.

Die Nutzung der Funktion ist sowohl in der Stadt, Überland als auch auf Autobahnen möglich.

Der Empfänger erhält vom Sender Informationen über verkehrlich relevante Ereignisse, wie z. B. Verkehrsfluss, Verlustzeiten, Durchschnittsgeschwindigkeiten, Sperrungen und Umleitungen. Diese Informationen werden in das Navigationssystem des Empfängers eingespielt und bei der Routenplanung und -führung berücksichtigt.

2.5.2 Beschreibung der ausgewerteten Kenngrößen

2.5.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

2.5.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, zu einem angemessenen Zeitpunkt erhalten worden sind.

2.5.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, örtlich gesehen angemessen sind.

2.5.2.4 Kenngröße „Latenzzeit“

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines Übertragungsprozesses (z. B. das Übertragen einer CAM). Sie stellt also eine Verzögerungszeit dar.

2.5.2.5 Kenngröße „Verlustrate“

Die Verlustrate stellt den Anteil der verloren Nachrichten an der Gesamtzahl der max. empfangbaren Nachrichten dar (IRS + IVS).

2.5.2.6 Kenngröße „Reichweite“

Die Reichweite gibt den Radius um eine ITS-Station an, innerhalb dessen die Übertragung von Nachrichten von dieser ITS-Station zu anderen ITS-Stationen erfolgen kann.

2.5.2.7 Kenngröße „Zeit zwischen 2 empfangenen CAMs“

Die Kenngröße gibt die Zeitspanne zwischen dem Empfang von 2 CAMs an.

2.5.3 Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen

Bei der Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen wird zwischen 2 Arten von Kenngrößen unterschieden:

- TP5-Kenngrößen: Diese Kenngrößen sind unter den Punkten 2.5.3.1 bis 2.5.3.7 aufgeführt. Nicht alle diese Kenngrößen können innerhalb der einzelnen Funktionen bewertet werden. Nicht bewertete Kenngrößen werden einfach offen gelassen. Es muss aber mindestens die Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“ aus- und bewertet werden. Für die Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“ werden die Schwellwerte für den Bewertungsmaßstab bei der Auswertung jeweils mitgeliefert.
- Zusätzliche TP4-Kenngrößen: Kenngrößen, die von den FETs betrachtet wurden, aber nicht zu den TP5-Kenngrößen gehören.

2.5.3.1 Kenngröße 1: Korrekte Funktionalität der Funktion

Bewertungsmaßstab:

Gut: 100%-80% relevant (1 von 5)
Mittel: 80%-60% relevant (2 von 5)
Schlecht: < 60%

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist schlecht, da in 0% der Fälle die Funktionsgruppe (Funktion aktiv) vor der Kontrollgruppe (Funktion inaktiv) am Zielort eintraf.

2.5.3.2 Kenngröße 2: Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferter Informationen

Bewertungsmaßstab:

Gut: > 2 km wie Navi
Mittel: > 1 km noch sicheres Ausfädeln möglich
Schlecht: < 1 km

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist gut, da in mehr als 85% der Fälle die Vorwarndistanz 2 km und höher waren.

2.5.3.3 Kenngröße 3: Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferter Informationen

Analog 2.5.3.2.

Die Untersuchung der zeitlichen Relevanz der Information gibt gleichermaßen eine Auskunft über die örtliche Relevanz.

2.5.3.4 Kenngröße 4: Latenzzeit

Nicht ausgewertet.

2.5.3.5 Kenngröße 5: Verlustrate (beim Empfang versendeter Nachrichten)

Nicht bewertet.

2.5.3.6 Kenngröße 6: Reichweite

Nicht ausgewertet.

2.5.3.7 Kenngröße 7: Zeit zwischen 2 empfangenen CAMs

Nicht ausgewertet.

2.5.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Nein, keine Funktionalität nachweisbar.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Ursache unbekannt. Auslegung des Szenarios ggf. nicht optimal. Die Möglichkeit eine alternative Autobahn zu nutzen wär unter Umständen besser.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Probleme nicht sim^{TD}-spezifisch, sondern systematisch.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- Siehe Frage vorher.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Kein direkter Einfluss.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Eine höhere Fahrzeugdichte wäre zur Staubestimmung wünschenswert.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Ausreichend.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Nicht bewertbar.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Nicht bewertbar.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die Üblichen hinausgehenden.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- sim^{TD}-typischen ETSI-Draft.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine.

2.6 Funktion F_1.3.1 Umleitungsempfehlung

2.6.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Aufgabe der Funktion ist die Information der Fahrer über zu erwartende Verlustzeiten sowie über mögliche Alternativrouten, mit denen bei Störungen auf der Hauptroute eine geringere Reisezeit erreicht werden kann. In der Versuchszentrale werden Störungen im Straßennetz identifiziert und entsprechende Strategien für das Umleitungsmanagement aktiviert. Die verfügbare Kapazität der Alternativrouten wird auf der Grundlage der Daten zur

Gesamtverkehrslage, zur Reisezeit sowie unter Berücksichtigung der identifizierten Verkehrsereignisse geprüft. Infolgedessen werden Umleitungsempfehlungen an die Fahrzeuge gesendet. Die in den Fahrzeugen angekommene Umleitungsempfehlung wird hinsichtlich ihrer Relevanz für die Position und Fahrtrichtung des jeweiligen Fahrzeugs geprüft und dem Fahrer über das HMI übermittelt.

2.6.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.6.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen. Die Korrekte Funktionalität der Funktion wurde im Rahmen der technischen Auswertung nur im Hinblick auf die korrekte Anzeige einer Umleitungsempfehlung im Fahrzeug getestet. Für die Bundesautobahn A 5 wurde in Fahrtrichtung Nord eine permanente Umleitungsempfehlung eingerichtet, die bei jeder Durchfahrt angezeigt werden sollte. Im Rahmen der Betrachtungen zur Kenngröße "Korrekte Funktionalität der F_1.3.1, soll ermittelt werden in wie vielen Fällen die Meldung tatsächlich auf dem HMI des Fahrzeugs angezeigt wurde. Nicht Gegenstand der Betrachtungen ist die Plausibilität der angezeigten Umleitungsempfehlung. Diese wird in der nichttechnischen Auswertung der Feldversuche seitens der TU München vorgenommen.

Bewertungsmaßstab:

Gut: Anzeigequote von > 80 %

Mittel: Anzeigequote 80 und 70%

Schlecht: Anzeigequote von < 70%

Ergebnis des Feldversuchs:

Im Rahmen des Feldversuchs wurden sechs geplante Versuche für die Funktion F_1.3.1 gefahren. Diese teilen sich auf drei technische und drei nicht-technische Versuche auf. Für die Auswertung der technischen Versuche wurden jedoch auch die nicht-technischen Versuche mitbetrachtet. Ein Versuch konnte aufgrund unplausibler Daten nicht ausgewertet werden. Es wurde im Rahmen dieses Anwendungsfalls eine Route (ID L1) gefahren.

Die hybride Übertragung der Meldungen mit sowohl Mobilfunk als auch ITS-G5 hat sich als zweckmäßige Kommunikationstechnologie für diese Funktion erwiesen. Es konnten nur wenige Fehler bei der Datenübertragung über DENMs von der ICS ins Fahrzeug festgestellt werden.

Die CAM-Wiederholfrequenz gemäß sim^{TD}-Spezifikation spielt im Rahmen des Umleitungsmanagements nur für die Bestimmung der Verkehrslage eine Rolle. Die Rolle der CAM bei der Bestimmung der Verkehrslage ist zudem eher untergeordnet, da zur Ermittlung der Verkehrslage die Probe Vehicle Data PVD herangezogen werden sollten. Diese entsprechen den Anforderungen der Verkehrslageermittlung besser, weil die Filterung bzw. Datenaggregation deutlich vereinfacht werden, eine höhere Flächendeckung erreicht werden kann sowie die zu übertragende Datenmenge verringert wird. (vgl. F_1.1.4)

Kernaussage 1: Die Übertragung der Informationen per DENM hat sich als zweckmäßig zur Umsetzung der Umleitungsempfehlung erwiesen.

Die vom sim^{TD}-System bereit gestellte Ortungsgenauigkeit war in allen Fällen ausreichend, um die korrekte Funktionalität der Umleitungsempfehlung zu gewährleisten. Als wichtig hat sich die Lage der erwarteten Traces (Trajektorie/Fahrtverlauf eines Fahrzeugs, dargestellt durch Zeit-Weg-Punkte) erwiesen, da bei zu ungenauer Positionierung der Enden der Traces die Umleitungsempfehlung zu früh oder zu spät angezeigt wird. Hierbei kann es sein, dass sich die Definition der Traces über die Location Code List (LCL) als zu ungenau erweist. Eine zu frühe Anzeige wäre eher unkritisch, eine zu späte Anzeige würde dagegen die Nutzung der Alternativroute erschweren oder gar verhindern. Dies würde sich auf die Nutzerakzeptanz der Funktion negativ auswirken. Anstelle eines nicht georeferenzierten LCL-Ansatzes wäre eine georeferenzierte Auslösung anzustreben (bspw. TPEG-TEC[1]).

Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass die von einem Seriensystem bereitgestellte Ortungsgenauigkeit nach Stand der Technik für eine akzeptable und kundenwertige Funktionalität ausreichend sein wird. Für eine funktionale Umsetzung ist eine genaue Positionierung der Traces allerdings unabdingbar.

Kernaussage 2: Die Ortungsgenauigkeit nach Stand der Technik ist für die Funktion ausreichend. Eine verbesserte Genauigkeit würde die Qualität der Funktion nur in einem sehr geringen Maß steigern. Entscheidend ist jedoch die Positionierung der Traces, da ein zu langer Trace eine zu späte Anzeige der Umleitungsempfehlung zur Folge hat, so dass Verkehrsteilnehmer die Empfehlung nicht mehr befolgen können.

Die für die korrekte Arbeitsweise des Funktionsalgorithmus notwendigen Systemkomponenten haben während der technisch ungestört verlaufenen Versuchsfahrten stets die benötigten Daten korrekt und zeitgerecht geliefert. Dies trifft auf ca. 88% der insgesamt gesammelten Messdaten zu. Wird der angelegte Bewertungsmaßstab zu Grunde gelegt, dann bedeutet dies eine für ein Forschungssystem gute Funktionalität. Für den Regelbetrieb sollte die Übertragung der DENMs in das Fahrzeug noch zuverlässiger erfolgen und eine georeferenzierte Auslösung der Anzeige sichergestellt werden.

Kernaussage 3: Das System hat in der bestehenden Konfiguration in 88% aller Fälle die korrekte Funktionalität bestätigen können. Allerdings sind in einigen Punkten noch Verbesserungen zu erreichen. Die zentralenseitige Systemreife für die Serie kann noch nicht bestätigt werden. Sie ist aber durch einige gezielte Anpassungen zu erreichen.

2.6.2.2 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, örtlich gesehen angemessen sind. Eine Auswertung der Daten in dieser Hinsicht wäre empfehlenswert gewesen, da eine verspätete Anzeige der Information dazu führt, dass der Verkehrsteilnehmer die Alternativroute nicht mehr befahren kann. In diesem Fall ist die örtliche Relevanz verschlechtert. Im Feldversuch kam es während der gezielten Versuche zur Umleitungsempfehlung selten zu umleitungsrelevanten Situationen. Außerdem wurde die technische Machbarkeit nur an einem Querschnitt auf der BAB A 5 zwischen Anschlussstelle Niederrad und Westkreuz Frankfurt getestet, so dass diese Kenngröße aufgrund der geringen Stichprobe keine Aussagekraft hatte. Aus diesem Grund wurde auf eine Auswertung verzichtet. Es können jedoch allgemeingültige Aussagen im Rahmen einer qualitativen Bewertung erfolgen.

[1] Transport Protocol Expert Group – Traffic Event Compact

2.6.2.3 Kenngröße "Einfluss der Ausstattungsrate"

Die Kenngröße "Einfluss der Ausstattungsrate" beschreibt qualitativ den Einfluss, den Schwankungen der Ausstattungsrate auf die verkehrlichen Wirkungen haben. Dieser wird im wesentlich durch die Simulation beschrieben Es lassen sich jedoch einige qualitative Aussagen ableiten.

Bewertungsmaßstab:

Ergebnisse liefert Simulation, generelle qualitative Aussagen sind möglich

Ergebnis des Feldversuchs/der Simulation:

Die Funktion weist befolgungsgradabhängig ab dem ersten Nutzer einen volkswirtschaftlichen Nutzen auf, da sich die Summe aller Reisezeiten im Netz in der Regel mit steigendem Befolgungsgrad bis zum Netzoptimum minimiert. Theoretisch könnte ein zu hoher Befolgungsgrad einen negativen volkswirtschaftlichen Nutzen haben, wenn zu viele Fahrzeuge auf die Alternativroute ausweichen, dadurch eine neue Störung entsteht und somit die Summe aller Reisezeiten im Netz steigt. Dieser Fall wird durch die Steuerungsalgorithmik vermieden, indem die Umleitungsempfehlung bei Erreichen eines Schwellenwertes wieder aufgehoben wird. Hierzu ist die Kenntnis der aktuellen Verkehrslage unabdingbar.

Kernaussage 4: Die Umleitungsempfehlung generiert ab dem ersten Kunden in Abhängigkeit des Befolgungsgrades einen Nutzen in Form einer Verringerung der Gesamtreisezeit aller Verkehrsteilnehmer im Netz. Erst bei Erreichen des Netzoptimums kann kein weiterer Nutzen generiert werden.

2.6.2.4 Kenngröße "Güte der Darstellung im HMI"

Die Kenngröße "Güte der Darstellung im HMI" beschreibt qualitativ die Beurteilung der HMI-Präsentation. Sollte die Umleitungsempfehlung unverständlich dargestellt werden, dann hätte dies einen negativen Einfluss auf die Akzeptanz und damit die Wirkungen der Umleitungsempfehlung.

Bewertungsmaßstab:

Es wurde kein quantitativer Bewertungsmaßstab verwendet, da eine qualitative Beurteilung vorgenommen wurde.

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Darstellung der Umleitungsempfehlung auf dem HMI war insofern mangelhaft, als dass keine Zeilenumbrüche dargestellt wurden. Trotz mehrerer Versuche dieses Problem durch Updates zu beheben, konnte erst nach Beendigung des Feldversuchs eine Lösung gefunden werden. Durch die Darstellung der Zeilenumbrüche durch kryptische Zeichen, waren die Fahrer nur selten in der Lage, die Umleitungsempfehlung zu deuten.

Zudem waren infolge allgemeiner technischer Probleme bei den für die HMI-Bewertung vorgesehenen Versuchsdurchläufen keine valide systematische Auswertung von Rückmeldungen zum HMI möglich.

Da die durchgeführte Fahrerbefragung aufgrund dieser technischen Probleme auf nicht-validen Daten basiert, ist davon auszugehen, dass die Datenbasis nicht vorhanden ist, um eine Aussage zum Informationszeitpunkt und zur individuellen Nützlichkeit zu liefern. Dies war allerdings ein sim^{TD}-spezifisches Problem und es wird in der Serie nicht auftauchen.

2.6.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Die technische Umsetzung der Umleitungsempfehlung führte zu einer Anzeigequote von ca. 88%. Diese (für ein Forschungssystem) gute Anzeigequote zeigt, dass das System grundsätzlich funktioniert. Einige Fehler in der Datenübertragung, der Auslösemechanismen der Anzeige sowie der Darstellung im HMI zeigen jedoch noch Optimierungsbedarf.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Die oben beschrieben Probleme sind sim^{TD}-spezifisch und können für eine Serienanwendung behoben werden.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie nicht auftreten, weil* die Ursachen der aufgetretenen Probleme bekannt sind und es die technischen Möglichkeiten erlauben, sie zu beheben.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Übertragung auf einem hybriden Kommunikationsweg hat sich als zweckmäßig erwiesen.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die CAM-Frequenz spielt hier keine Rolle, die Reichweiten und Verlustraten wurden nicht näher untersucht. Latenzzeiten sind für diese Anwendung nicht relevant.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Je höher die IVS-Ausstattungsrate ist, desto höher ist die Wirkung der Umleitungsempfehlung. Die IRS-Ausstattungsrate spielt eine untergeordnete Rolle, wenn eine Mobilfunkübertragung der DENM umgesetzt wird. Sollte dies nicht der Fall sein, dann ist die Ausstattung wesentlicher Entscheidungspunkte im Netz mit IRS sinnvoll.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Ja, die fahrstreifenfeine Ortung würde in Bereichen mit baulich getrenntem parallel geführtem Verkehr verbessern. Da dies jedoch nur in kleinen Teilen des Netzes der Fall ist, würde die Wirkung der Umleitungsempfehlung nur unwesentlich erhöht.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Multi-Hop wurde nicht benutzt.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Nein, die Anzeige der Umleitungsempfehlung war aufgrund der nicht vorhandenen Darstellung von Zeilenumbrüchen als mangelhaft zu bewerten. Im Nachgang zu den Feldversuchen wurde der Fehler jedoch behoben.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Da in diesem Fall nur Informationen von der Zentrale ins Fahrzeug übermittelt werden, sind Maßnahmen zur Privacy nicht erforderlich. Zur Sicherstellung der Authentizität der Meldungen zur Umleitungsempfehlung sollte eine Meldungszertifizierung erfolgen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- DENM wurden zur Übertragung der Informationen ins Fahrzeug genutzt

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine

2.7 Funktion F_1.3.2 Netzsteuerung LSA

2.7.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Über infrastrukturseitige und fahrzeugseitige Erfassungseinrichtungen (Detektoren und IVS) wird die aktuelle Verkehrslage im Straßenverkehrsnetz der Stadt Frankfurt am Main erfasst und in F132 in einem Verkehrsmodell zu einer räumlich-zeitlichen Repräsentation der Verkehrslage fusioniert.

Mit Hilfe eines Wirkungsmodells werden die Auswirkungen verschiedener Steuerungsalternativen für jede Lichtsignalanlage (LSA) für die nächsten 5 - 15 Minuten prognostiziert und dahingehend optimiert, dass auf der einen Seite eine minimale Verlustzeit sowohl für den ÖPNV als auch für den motorisierten Individualverkehr (mIV) und den nicht motorisierten Individualverkehr (nmIV) entsteht, auf der anderen Seite aber auch die Anzahl der Stopps des mIV verringert werden. Die hieraus entstehenden optimalen Rahmensignalpläne werden an die Lichtsignalanlagen geschickt, die diese unmittelbar umsetzen und dadurch den Verkehrsfluss optimieren.

Die Funktion F132 besteht aus mehreren Komponenten auf der IRS und in der IGLZ. Die Funktion auf der IRS (C2XServiceOTS2) empfängt Daten vom Relevanzfilter der Umfeldtabelle (CAM, DEN, PVD) und schickt diese in die Verkehrsmanagementzentrale

IGLZ. Dort werden diese Daten in die Verkehrslage der Stadt Frankfurt am Main fusioniert (DRIVERS). Die Verkehrslage wird an ein Netzsteuerungsmodul (BALANCE) übergeben, das die Lichtsignalanlagen mit Hilfe eines Optimierungsmodells optimiert, sogenannte Rahmensignalpläne erzeugt und diese an die angeschlossenen Lichtsignalanlagen (Verkehrsfluss) sendet

2.7.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.7.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

Für die Funktion F132 wurde **nur die Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“** bewertet.

Die Bewertung erfolgte nur für die Versuche, die aufgrund der Auswertung als **valide** eingestuft werden.

Valide sind all die Versuche, bei denen das Grundsystem (DRIVERS, BALANCE, Verkehrsrechner) verfügbar war und

- Rahmensignalpläne generiert und via Netzsteuerungsbefehle an die angeschlossenen LSAs verschickt wurden **oder**
- CAMs an die IGLZ verschickt wurden

Von den 6 ausgewerteten Versuchen waren 4 valide, weil CAMs verschickt wurden.

Von den 6 ausgewerteten Versuchen waren 2 valide, weil Rahmensignalpläne verschickt wurden.

Die beiden Kriterien sind **unabhängig voneinander zu betrachten**, da der Versand von Rahmensignalplänen technisch auch funktioniert, wenn keine CAMs verschickt werden, es stehen dann für die Berechnung nur die im Versuchsgebiet ohnehin vorhandenen Detektionseinrichtungen zur Verfügung.

Fazit:

5 Versuche gingen in die Bewertung ein:

- 1 Versuch, in dem Rahmensignalplan verschickt wurde und CAMS empfangen wurde
- 1 Versuch, in dem nur Rahmensignalpläne verschickt wurde, aber keine CAMs empfangen wurden (NULLFALL, d. h. da waren auch keine CAMs geplant)
- 3 Versuche, in denen nur CAMs empfangen wurde, aber die Netzsteuerung im „Blindbetrieb/Testbetrieb“ lief.

Der 6. Versuch ging nicht in die Bewertung ein, weil er nicht valide war: Es wurden weder CAMs an die IRS geschickt, noch war die Netzsteuerung aktiv.

Bewertung:

Gut: Die korrekte Funktionalität wird dann mit GUT bewertet, wenn

- die Kenngröße C2XServiceOTS2 in mehr als 80% des Versuchszeitraums mehr als 500 CAMs pro Minute an die IGLZ verschickt, Um eine Optimierung der in der IGLZ generierten Verkehrslage zu erreichen, sollten 500 C2X-Nachrichten/Minute in der

IGLZ ankommen. Je weniger CAMs verschickt werden und je länger der Versand dauert, umso weniger Fahrzeugdaten können für die Optimierung der Verkehrslageberechnung und die darauf aufbauende Rahmensignalplanerstellung genutzt werden. Letztendlich ist für die Funktion 132 nur wichtig, dass überhaupt CAMS in der IGLZ ankommen. Die CAMS werden benutzt, um Geschwindigkeiten im Modell zu kalibrieren, die Funktion läuft aber auch, wenn überhaupt keine CAMS übermittelt werden. 500 sind aus Entwicklersicht notwendig, um überhaupt einen Effekt zu erzielen. Es findet immer nur eine netzweite Betrachtung statt, um eine Optimierung des betrachteten Netzes zu erreichen. Die CAMS sind nur eine zusätzliche Eingangsgröße für das Verkehrsmodell und nicht die alleinige. Entscheidend für F132 ist, dass die Rahmensignalpläne in der IGLZ generiert und verschickt werden

- die Kenngrößen Netzsteuerungsbefehl (!NB) und Netzsteuerungsmeldung (NSM übereinstimmen (D.h. es wurden Rahmensignalpläne verschickt und es gab auch eine Bestätigung dafür von den LSA),
- der Aktorstatus zeigt, dass alle 9 LSA, an die die Rahmensignalpläne verschickt werden, auch verfügbar sind.

Mittel: Die korrekte Funktionalität wird mit MITTEL bewertet, wenn

- die Kenngröße C2XServiceOTS2 in mehr als 80% des Versuchszeitraums keine bzw. weniger als 500 C2X-Nachrichten / Minute in die IGLZ geschickt hat,
- die Kenngrößen !NB und NSM übereinstimmen (D.h. es wurden Rahmensignalpläne verschickt und es gab auch eine Bestätigung dafür von den LSA) oder
- Der Aktorstatus zeigt, dass max. 2 LSA nicht verfügbar sind.

Das System funktioniert zwar, aber ohne C2X-Funktionalität. Es werden ausschließlich Detektorwerte von Induktionsschleifen verwendet, betroffene LSA Signalzeitenpläne werden nicht optimiert.

Schlecht: Die korrekte Funktionalität der Funktion wird als SCHLECHT bewertet, wenn

- die Kenngrößen !NB und NSM nicht übereinstimmen (D.h. es wurden Rahmensignalpläne generiert und auch verschickt)
- der Aktorstatus zeigt, dass 3 und mehr LSA nicht verfügbar sind

Ergebnis:

Fall 1:

Für den **einen Versuch,** in dem CAMs übermittelt und die Rahmensignalpläne an die LSAs verschickt wurden, wird die **Korrektheit der Funktion mit GUT** bewertet, weil in mehr als 80% des Versuchszeitraums mehr als 500 CAMs/Minute übermittelt wurden und der Versand der Rahmensignalpläne an alle 9 LSA und deren Rückmeldung in 100% der Fälle übereinstimmten.

Fall 2:

Für die **4 Versuche**, in denen nur CAMs übermittelt wurden, wird die **Korrektheit mit GUT** bewertet, weil in 82,5 % des Versuchszeitraums mehr als 500 CAMs /Minute übermittelt wurden.

Fall 3:

Für den **einen Versuch (Nullfall),** in dem nur die Rahmensignalpläne an die LSAs verschickt wurden, wird die **Korrektheit mit GUT** bewertet, weil in 100% der Fälle der Versand der Rahmensignalpläne und die Rückmeldung der LSAs übereinstimmten.

2.7.3 Weitere TP4-Kenngröße

Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems ist die Summe der Verfügbarkeit der Einzelkomponenten. Da es sich bei der IGLZ um ein produktives Verkehrsmanagementsystem handelt, wird die Verfügbarkeit der Einzelkomponenten, insbesondere die Verfügbarkeit der technischen Systeme in der IGLZ, der Verkehrsrechner und der Lichtsignalanlagen, nicht durch sim^{TD} überwacht, sondern durch IGLZ-interne Systeme wie beispielsweise HostMonitor oder Watchdog. Ein Ausfall einer Einzelkomponente führt nicht zwangsweise zum Ausfall des Gesamtsystems. Fällt beispielsweise die Datenübertragung einer Lichtsignalanlage zur IGLZ temporär aus, führt dies nicht zum Ausfall des Gesamtsystems.

Die Verfügbarkeit des Gesamtsystems ist erforderlich, damit die Funktion technisch korrekt funktioniert.

Die Funktion funktioniert dann technisch korrekt, wenn im ausgewerteten Versuchszeitraum

- mindestens 500 CAMs pro Minute an die IRS verschickt und diese an die IGLZ weitergeschickt wurden und
- für alle LSAs, die mit der Netzsteuerung beeinflusst werden sollen, Rahmensignalpläne in der IGLZ erzeugt wurden.

Das überwachte technische Gesamtsystem besteht aus folgenden Komponenten und deren Kenngrößen

DRIVERS

Für das Verkehrslagemodul DRIVERS wurde die **Kenngröße LOS (**Level of Service) ausgewertet. Der LOS wird von DRIVERS alle 5 Minuten geschrieben und ist ein Indiz für die technische Verfügbarkeit von DRIVERS.

BALANCE

Folgende Kenngrößen wurden für BALANCE ausgewertet:

Kenngröße !LB:

zeigt an, ob die Netzsteuerungskomponente technisch verfügbar ist und dass alle 5 Minuten von BALANCE für jede betroffene LSA ein Rahmensignalzeitenplan errechnet wurde.

Kenngröße !NB:

Diese Kenngröße gibt an, ob die von BALANCE erzeugten Rahmensignalpläne auch von der Funktion F132 als Netzsteuerungsbefehl an die LSA gesendet wurden wenn BALANCE optimale Signalzeitenpläne errechnet hat. Wird innerhalb des gesetzten Intervalls von 5 Minuten kein Netzsteuerungsbefehl versendet, so deutet dies auf ein technisch nicht einwandfreies Arbeiten von BALANCE hin.

Verkehrsrechner (IKR)

Für die Komponente OPD3 wurden folgende Kenngrößen überwacht:

1. #SV: Allgemeine Verfügbarkeit der Datenverbindung zw. OCIT- Client 3 und OCIT-Server des Verkehrsrechners
2. AKS: Aktorstatus, also Betriebsstatus (gestört – OK) der LSAs im Versuchsgebiet. Sind mehr als 3 LSAs gleichzeitig ausgefallen, so wurde hierfür der Status BAD angezeigt.

Für die Komponente OPD4 wurden folgende Kenngrößen überwacht:

1. #SV: Allgemeine Verfügbarkeit der Datenverbindung zw. OCIT-Clients4 und OCIT-Server des Verkehrsrechners.
2. DEE: Anzahl der der Detektoren im Versuchsgebiet (Verfügbarkeit der Detektoren), für die Detektorereignisse in die IGLZ geliefert wurden Liefern während des Versuchszeitraums weniger als 70% der angeschlossenen Detektoren keine Daten über mehr als 15 Minuten, so wurde hierfür der Status BAD angezeigt.
3. GRS: Anzahl der Signalgruppen im Versuchsgebiet, für die Signalbilder geliefert werden (Verfügbarkeit der Signalbilder) Liefern während des Versuchszeitraums weniger als 70% aller Signalgruppen aller LSAs keine Daten über mehr als 15 Minuten, so wurde hierfür der Status BAD angezeigt.

Für die Komponente OPD5 wurden folgende Kenngrößen überwacht:

1. NSM: Netzsteuerungsmodus. Quittung einer LSA über einen empfangenen Netzsteuerungsbefehl. Die Rückmeldungen der LSA auf die Netzsteuerungsbefehle muss mit der Summe der versendeten Rahmensignalpläne übereinstimmen.

C2XServiceOTS2

Für die Komponente C2XServiceOTS2 wurden die Anzahl der eintreffenden Nachrichten pro Minute überwacht. Wurden weniger als 500 Nachrichten pro Minute während des Versuchs empfangen, so ist die Anzahl der Nachrichten nicht ausreichend.

2.7.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja, die Funktion F132 hat technisch gemäß der Spezifikation funktioniert, wenn die am Gesamtsystem beteiligten Komponenten (DRIVERS, BALANCE, IKR, C2XService zur Verfügung standen

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Kommunikation zwischen der IRS und der IGLZ wurde mittels des in den DIN SPEC 91213-1 und DIN SPEC 91213-2standardisierten Schnittstellenprotokolls OTS2 realisiert. Dies erwies sich als stabil und robust.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Um eine Optimierung der in der IGLZ generierten Verkehrslage zu erreichen, sollten 500 C2X-Nachrichten/Minute in der IGLZ ankommen. Je weniger CAMs verschickt werden und je länger der Versand dauert, umso weniger Fahrzeugdaten können für die Optimierung der Verkehrslageberechnung und die darauf aufbauende Rahmensignalplanerstellung genutzt werden.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Je mehr sim^{TD}-Fahrzeuge unterwegs sind, umso besser wird die herkömmliche Detektion (Induktionsschleifen, Kameras..) optimiert und kann im günstigsten Falle ganz wegfallen

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Die Stadt Frankfurt hat ein IT-Netzwerk- und Sicherheitskonzept erstellt, das die Datenübertragung von außen in das Netz der Stadt Frankfurt (Daten der IRS in die IGLZ (Verkehrsmanagementsystem der Stadt Frankfurt)) und die Datenübertragung von der IGLZ zur ICS regelt.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Für die Übertragung der C2X-Daten (CAM) von der IRS in die IGLZ wird das in der DIN SPEC 91213-1 und DIN SPEC 91213-2 spezifizierte OTS2-Protokoll genutzt.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

2.8 Funktion F_1.3.3 lokale verkehrsabhängige Steuerung

2.8.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion F133 - Lokale verkehrsabhängige LSA-Steuerung - liefert zusätzlich zu den über die herkömmliche Detektion (z. B. Induktionsschleifen) erfassten Daten weitere Informationen, die für die Beurteilung der Verkehrslage an der LSA ausgewertet werden können.

Durch Kenntnis der genauen Position, Geschwindigkeit sowie der Auswertung der Richtungsanzeige aller relevanten Fahrzeuge des Individualverkehrs entsteht ein qualitativ verbessertes Bild über den Verkehrszustand am Knotenpunkt. Die LSA kann dadurch eine geeignete Steuerungsstrategie erzeugen und lokal umsetzen. sim^{TD}-Fahrzeuge dienen damit als Ergänzung zur herkömmlichen Detektion.

Um die Fahrzeuge wie oben beschrieben als Detektoren nutzen zu können, muss ein besonderes Augenmerk auf der korrekten Georeferenzierung der Fahrzeuge (Fahrstreifen, Fahrtrichtung, Geschwindigkeit) liegen. Aus den Fahrzeugdaten berechnete Dichtewerte (s.a. Kapitel 2.8.5: Exkurs Dichtewerte) werden im Versuchsgebiet über parallele elektrische Kontakte übertragen, welche vom Steuergerät analog zu den Detektoren ausgewertet werden.

Die lokale verkehrsabhängige LSA-Steuerung arbeitet als mikroskopische Steuerung vollkommen autonom.

Neben der lokalen verkehrsabhängigen LSA-Steuerung nutzt auch die Funktion F2.2.2 (Ampelphasenassistent) LSA-Informationen, die zur IRS übertragen und dort von der F2.2.2 weiterverarbeitet werden.

Deshalb werden an dieser Stelle zwei Softwarekomponenten ausgewertet. Sie benutzen ähnliche Kriterien zur technischen Auswertung.

2.8.1.1 Softwarekomponente „MapMatching“

Die Softwarekomponente MapMatching liest Fahrzeugpositionen, Blinker und sonstige zusätzliche Information aus der Umfeldtabelle der IRS aus und ordnet sie anhand der Topologiedatei gemäß D21.4: Spezifikation der Kommunikationsprotokolle den Fahrspuren zu. Anschließend wird die Information über die Anzahl Fahrzeuge auf den einzelnen Fahrspuren in ein Format gewandelt, welches dem Steuergerät via Pulsbreitenmodulation auf die bestehenden Detektoreingänge zur Verfügung gestellt wird.

2.8.1.2 Softwarekomponente „AphaMessage“

Der Ampelphasenassistent ist eine eigenständige Funktion (F2.2.2). Es gibt jedoch eine Softwarekomponente „AphaMessage“, die unter Verwaltung der hier beschriebenen Funktion 1.3.3 geführt wird.

Die Softwarekomponente AphaMessage nimmt die Vorhersagewerte des Steuergerätes pro Signalgruppe in Empfang, kombiniert sie mit den aktuellen Signalgruppenzuständen und formatiert sie schließlich anhand der Topologiedatei gemäß D21.4 so um, dass das daraus entstandene Telegramm sekündlich über ein Interface an den Ampelphasenassistenten weitergegeben werden kann.

Die Bewertung erfolgt getrennt für die Softwarekomponente MapMatching und AphaMessage.

2.8.2 Bewertung Softwarekomponente „MapMatching“

2.8.2.1 Feststellung der validen Versuche

Es gilt hier explizit festzustellen, dass die korrekte Funktionalität der Softwarekomponente MapMatching von der Qualität der gelieferten Daten abhängt. Die Bewertung in diesem Dokument, also die Aussage, ob die Softwarekomponente gut, mittel oder schlecht gearbeitet hat, kann nur für die Fälle erfolgen, in denen die Versuche valide waren, d. h. die Eingangsdaten den Anforderungen entsprochen haben. Die validen Versuche wurden wie folgt festgestellt:

Für die Softwarekomponente MapMatching haben 45% der Versuche die Note „gut“ erhalten. Schlechtere Noten kamen durch zu hohe Latenzzeiten (CAMs, Signalgruppen), eine zu niedrige Frequenz der CAMs oder durch einen zu hohen Prozentsatz von CAMs mit fehlenden Geschwindigkeiten zu Stande.

In 38% der Versuche gab es Mängel in den Versuchs-Voraussetzungen: Einerseits fehlten CAMs, andererseits war in Einzelfällen die OCIT-Kommunikation ausgefallen. Diese Versuche werden von der Bewertung ausgenommen.

Damit ergibt sich**:**

Für das MapMatching sind 62% der Versuche valide und kommen somit in die Bewertung.

Insgesamt wurden 109 Versuche ausgewertet, von denen 67 (62%) als valide eingestuft wurden.

2.8.2.2 Kenngröße 1: Korrekte Funktionalität der Funktion

Das Ausgangsdatum, mit dessen Hilfe die technische Korrektheit des Funktionsalgorithmus bewertet wird, ist der von der Funktion erzeugte Dichtewert (eine Erläuterung zum Dichtewert findet sich im Exkurs am Ende des Dokuments).

Je Versuch muss mindestens einer der Dichtewerte einen Wert > 0 aufweisen, damit der Versuch gemäß dieses Kriteriums als „gut“ klassifiziert werden kann:

Dichtewerte	Mindestens ein Dichtewert > 0	gut
	sonst	unbefriedigend

In zwei von 67 validen Versuchen (2,99% aller validen Versuche) konnten keine Dichtewerte ermittelt werden, entsprechend wurden diese beiden Versuche als unbefriedigend klassifiziert.

Die Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“ ist dann „gut“, wenn in > 95% der validen Versuche Dichtewerte festgestellt wurden:

Dichtewerte	Anzahl valider Versuche mit empfangenen Dichtewerten	≥ 95%	gut
		≥ 90%	mittel
		< 90%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	97,01 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Der Dichtewert macht keine Aussage über die inhaltliche Korrektheit der spurgenauen Ortung, sondern nur darüber, ob Fahrzeuge überhaupt erkannt wurden, d. h. in 97,01% aller Fälle wurde mindestens eine Zuordnung eines Fahrzeuges zu einer Fahrspur erkannt. Es wird bei der technischen Bewertung keine Auswertung vorgenommen, ob die spurgenaue

Ortung auch korrekt ist. Die korrekte spurgenaue Ortung (inhaltliche Auswertung) wurde eingehend im Testgelände geprüft.

2.8.2.3 Kenngröße 4: Latenzzeit

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines bestimmten Prozesses (z. B. das Übertragen einer Nachricht). Die Latenzzeit stellt also eine Verzögerungszeit dar.

Latenzzeit der Signalgruppen-Daten: Liegt die Zeitdifferenz zwischen dem Zustandswechsel der Signalgruppe (rot, rot-gelb, grün, gelb, gelb blinken, aus) und dessen Ankunft im OSGI-Software-Bundle auf der IRS innerhalb eines festgelegten zeitlichen Rahmens?

Hinweis:

Das MapMatching braucht tatsächlich die Latenzzeiten nicht, aber für die korrekte Regelung durch das Steuerverfahren VS-PLUS sind die Latenzzeiten wichtig, da die Dichtewerte je nach Signalgruppenzustand anders übermittelt werden. Die technische Bewertung des Steuerverfahrens ist aber nicht mehr Gegenstand der Bewertung der Funktion.

Die Latenzzeit der Signalgruppen-Daten ist dann GUT, wenn die Zeitdifferenz zwischen der Erzeugung des Signalgruppenzustandswechsels und dessen Ankunft auf der IRS nicht länger als 2 Sekunden dauert. Der Wert 100% bedeutet: In 100% des betrachteten Zeitraums war die Latenzzeit kleiner oder gleich 2 Sekunden. Die 2 Sekunden sind gemeinsam mit AUDI so gewählt worden, dass das Steuergerät vertretbare Resultate liefern kann.

Latenzzeit der Signalgruppen	< 2 Sekunden	≥ 98%	gut
		≥ 95%	mittel
		< 95%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	99,48 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Latenzzeit der CAMs: Liegt die Zeitdifferenz zwischen der Erzeugung der CAM und der Ankunft im OSGI-Software-Bundle innerhalb eines festgelegten zeitlichen Rahmens?

Die Latenzzeit der CAMs ist dann GUT, wenn die Zeitdifferenz zwischen der Erzeugung der CAMs und deren Ankunft auf der IRS nicht länger als 2 Sekunden dauert. Der Wert 100% bedeutet: In 100% des betrachteten Zeitraums war die Latenzzeit nicht größer als 2 Sekunden.

Latenzzeit der CAMs (Zeitdifferenz zwischen Erzeugung der CAM und Ankunft im Bundle)	< 2 Sekunden	≥ 90%	gut
		≥ 80%	mittel
		< 80%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	96,82 % über alle validen Versuche
	„Gut“

In 96,82% wurde dem Steuerverfahren über das MapMatching eine aktuelle Position der Fahrzeuge geliefert.

2.8.2.4 Weitere TP4-Kenngrößen für die Softwarekomponente MapMatching

1. Frequenz der CAMs

Frequenz der Positions-CAMS pro Fahrzeug: Werden ausreichend CAMs pro festgelegtem Zeitintervall verschickt?

Die Frequenz der CAMs mit Positionsangabe ist dann GUT, wenn pro Fahrzeug im Detektionsbereich alle 2 Sekunden eine CAM gesendet wird. Ist das in mehr als 90% über den Versuchszeitraum betrachtet der Fall, dann ist das Resultat für dieses Kriterium GUT.

Frequenz der Positions-CAMs pro Fahrzeug	mindestens alle 2 Sekunden eine CAM je Fahrzeug	≥ 90%	gut
		≥ 80%	mittel
		< 80%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	94,99 % über alle validen Versuche
	„Gut“

2. Reihenfolge der CAMs

Die Reihenfolge der CAMs ist wie folgt bewertbar:

Korrekte Reihenfolge der CAMs: Kommen die CAMs desselben Fahrzeuges immer in der richtigen zeitlichen Reihenfolge?

Wenn CAMs in falscher Reihenfolge in der Softwarekomponente MapMatching ankommen, werden die veralteten CAMs weggeworfen - sortieren geht nicht, denn jede CAM wird sofort verarbeitet.

Die Bewertung der Reihenfolge der CAMs ist dann GUT, wenn höchstens 10% der CAMs auf Grund einer falschen Reihenfolge verworfen werden.

Korrekte Reihenfolge der CAMs	Anzahl verworfener CAMs	≤ 10%	gut
		≤ 20%	mittel
		> 20%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	0% über alle validen Versuche
	„Gut“

3. Vollständige Inhalte der CAMs

Stehen die Position und die Geschwindigkeit in allen CAMs? Die Bewertung des Empfangs von CAMs mit Position und Geschwindigkeit ist dann GUT, wenn Position und Geschwindigkeit in mehr als 90% der gelieferten CAMs enthalten sind

Prozentsatz an CAMs mit Geschwindigkeit	Position und Geschwindigkeit in CAM enthalten	≥ 90%	gut
		≥ 80%	mittel
		< 80%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	91,22 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Wenn unvollständige CAMS geliefert werden, dann müssen diese verworfen werden und werden behandelt wie nicht angekommene CAMs, d. h. sie stehen für die Ermittlung des Dichtewertes nicht zur Verfügung

4. Vollständigkeit der Signalgruppenwechsel

Werden alle Signalgruppen-Zustandswechsel empfangen?

Die Vollständigkeit der auf der IRS empfangenen Signalgruppenwechsel ist dann GUT, wenn mindestens 99% der Signalgruppenzustandswechsel im gemessenen Zeitraum auf der IRS angekommen sind.

Prozentsatz empfangener SG-Werte	abhängig von der LSA	≥ 99%	gut
		≥ 95%	mittel
		< 95%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	99,82 % über alle validen Versuche
	„Gut“

2.8.3 Bewertung Softwarekomponente „AphaMessage“

2.8.3.1 Erläuterungen zur Softwarekomponente AphaMessage

Der Ampelphasenassistent ist eine eigenständige Funktion (2.2.2). Dennoch gibt es eine Softwarekomponente „AphaMessage“, die unter Verwaltung der hier beschriebenen Funktion 1.3.3 geführt wird. Die Aufgabe der Softwarekomponente ist es, dem Interface der Funktion 2.2.2 (innerhalb der IRS) die Vorhersagewerte für den nächsten Signalgruppenwechsel 1x pro Sekunde zur Verfügung zu stellen. Im Einzelnen sind das die nachfolgenden Werte:

- Signalgruppe
- Min time to change
- Max time to change
- Most likely time to change
- Confidence interval (d. h. Zuverlässigkeitsindex für die Vorhersagewerte)
- Zeitstempel (IRS-Zeit)
- Signalgruppen-Zustandswechsel

Die Daten werden jeweils auf den entsprechenden Fahrstreifen bezogen übermittelt. Außerdem wird mitgeteilt, ob der nächste Wechsel auf „Grün“ oder „Rot“ geht. Zusätzlich werden auch noch ein paar konstante topologische Informationen über den Knotenpunkt übermittelt.

Die Softwarekomponente AphaMessage stellt der Funktion F222 nur Daten zur Verfügung, sonst hat diese Softwarekomponente keine Aufgabe.

Die Struktur der übermittelten Daten entspricht der Definition aus dem Dokument D21.4.

2.8.3.2 Feststellung der validen Versuche

Es gilt hier explizit festzustellen, dass die korrekte Funktionalität der Softwarekomponente AphaMessage von der Qualität der gelieferten Daten abhängt. Die Bewertung in diesem Dokument, also die Aussage, ob die Softwarekomponente gut, mittel oder schlecht gearbeitet hat, kann nur für die Fälle erfolgen, in denen die Versuche valide waren, d. h. die Eingangsdaten den Anforderungen entsprochen haben. Die validen Versuche wurden wie folgt festgestellt:

Für die Softwarekomponente AphaMessage haben **79% der Versuche** die Note „gut“ erhalten. Probleme, die zu einer Herabstufung der Note führten, waren i.d.R. zu hohe Latenzzeiten[2].

In 4% der Fälle gab es Mängel in der OCIT-Kommunikation (d. h. die Vorhersagewerte konnten nicht korrekt über die Lichtsignalsteuerungszentrale an die IRS übermittelt werden). Diese 4% wurden als nicht valide gewertet und von der Bewertung ausgenommen.

Damit ergibt sich**:**

Für AphaMessage sind 96% der Versuche valide und kommen somit in die Bewertung.

Insgesamt wurden 159 Versuche ausgewertet, von denen 6 (4%) nicht valide waren, d. h. in die Bewertung gehen noch 153 valide Versuche ein.

2.8.3.3 Kenngröße 1: Korrekte Funktionalität der Funktion

Da die Softwarekomponente AphaMessage „nur“ Datenlieferant für die Funktion F222 ist, kann technisch auch nur bewertet werden, ob die Softwarekomponente die Daten „abgeliefert“ hat.

Das Kriterium für die korrekte Funktionalität der Funktion ist die sekündliche Übergabe von Daten an das Interface der Funktion 2.2.2. auf der IRS.

Es kann nachgewiesen werden, dass die Softwarekomponente sekündlich den entsprechenden Methodenaufruf der IRS-Komponente der Funktion 2.2.2 tätigt und dabei jeweils die o.g. Signal-Daten des Steuergerätes übermittelt. Dies wird durch einen sog. Watchdog sichergestellt, der sekündlich den entsprechenden Prozess überwacht.

In 100% der validen Versuche (über alle IRS) wurde der Watchdog mit 100% bewertet, d. h. dadurch wurde sichergestellt, dass die APHA-Funktionskomponente von F2.2.2 1x pro Sekunde aufgerufen wurde.

Bedienfrequenz des Watchdog	1x pro Sekunde	100% < 100%	gut schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	100% über alle validen Versuche
	„Gut“

[2] Auch die Belastung der IRSen war signifikant; dies konnte beobachtet werden, wenn die Rechenzeit für den AphaMessage Prozess, welche normalerweise konstant sein sollte, niedriger ausfiel. Diese rein informative Erkenntnis floss jedoch nicht in die Note mit ein.

Eine weitergehende Bewertung (z. B: ob alle Datenpakete auch sekündlich angekommen sind) kann nur von der Funktion 2.2.2 vorgenommen werden.

2.8.3.4 Kenngröße 4: Latenzzeit

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines bestimmten Prozesses (z. B. das Übertragen einer Nachricht). Die Latenzzeit stellt also eine Verzögerungszeit dar.

Latenzzeit der Signalgruppen-Daten:

Liegt die Zeitdifferenz zwischen dem Zustandswechsel der Signalgruppe (rot, rot-gelb, grün, gelb, gelb blinken, aus) und dessen Ankunft im Bundle auf der IRS innerhalb eines festgelegten zeitlichen Rahmens.

Die Latenzzeit der Signalgruppen-Daten ist dann GUT, wenn die Zeitdifferenz zwischen der Erzeugung des Signalgruppenzustandswechsels und dessen Ankunft auf der IRS nicht länger als 2 Sekunden dauert. Der Wert 100% bedeutet: In 100% des betrachteten Zeitraums war die Latenzzeit kleiner oder gleich 2 Sekunden.

Latenzzeit der Signalgruppen-Daten (Zeitdifferenz zwischen Zustandswechsel der Signalgruppe und der Ankunft im Bundle)	< 2 Sekunden	≥ 98%	gut
		≥ 95%	mittel
		< 95%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	99,69 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Latenzzeit der AP-Werte:

AP-Werte (Anwenderprogrammwerte) sind die Vorhersagewerte (Prognosewerte des nächsten Zustandswechsels) aus dem Steuergerät.

Liegt die Zeitdifferenz zwischen den Vorhersagewerten aus dem Steuergerät für den nächsten Signalgruppenwechsel und deren Ankunft im OSGI-Software-Bundle auf der IRS innerhalb eines festgelegten zeitlichen Rahmens?

Die Latenzzeit der AP-Werte ist dann GUT, wenn die Zeitdifferenz zwischen den Vorhersagewerten aus dem Steuergerät für den nächsten Signalgruppenwechsel und deren Ankunft im Bundle auf der IRS nicht länger als 2 Sekunden dauert. Der Wert 100% bedeutet: In 100% des betrachteten Zeitraums war die Latenzzeit kleiner oder gleich 2 Sekunden

Latenzzeit der AP-Werte (Zeitdifferenz zwischen Zustandswechsel der Signalgruppe und der Ankunft im Bundle)	< 2 Sekunden	≥ 98%	gut
		≥ 95%	mittel
		< 95%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	99,71 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Hinweis:

Die Zuverlässigkeit der Prognose wird von F2.2.2 inhaltlich aus- und bewertet.

2.8.3.5 Kenngröße 7: Zeit zwischen zwei empfangenen CAMs

Die Kenngröße „Zeit zwischen 2 empfangenen CAMs“ (engl. Consecutive CAM Period) gibt eine Aussage darüber ob und zu welchen Zeiten es zu kurz- oder längerfristigen Ausfällen der Kommunikation kommt

Diese Kenngröße wird nur für die Softwarekomponente MapMatching ausgewertet.

2.8.3.6 Weitere TP4-Kenngröße für die Softwarekomponente AphaMessage

Vollständigkeit der Signalgruppenwechsel:

Werden alle Signalgruppen-Zustandswechsel empfangen?

Die Vollständigkeit der auf der IRS empfangenen Signalgruppenwechsel ist dann GUT, wenn mindestens 95% der Signalgruppenzustandswechsel im gemessenen Zeitraum auf der IRS angekommen sind.

Prozentsatz empfangener SG-Werte	≥ 95%	gut
	≥ 90%	mittel
	< 90%	schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	96,42 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Vollständigkeit AP-Werte:

Werden alle Vorhersagewerte auf der IRS empfangen?

Vom LSA-Steuerverfahren werden für jede Signalgruppe einer LSA 5 Vorhersagewerte pro Sekunde erzeugt.

An die IRS können aber aufgrund der Spezifikation des Kommunikationsprotokolles (OCIT) nur Änderungen bei den Vorhersagewerten übertragen werden. Diese Änderungen sind wiederum abhängig vom Verkehrsaufkommen an der einzelnen LSA.

Das bedeutet, dass die Anzahl der Vorhersagewerte, die an die IRS übertragen werden, für jede LSA unterschiedlich sind und für jede LSA separat bestimmt werden muss. D.H. für jede LSA muss im 1. Schritt ermittelt werden, welche Anzahl an Änderungen die 100% als Bezugsgröße für den 2. Schritt ergibt (es kommt vor, dass 40% der übermittelten Vorhersagewerte als GUT zu werten ist, weil es nicht mehr Änderungen aufgrund des Verhaltens der LSA gab).

Der 2. Schritt der Bewertung besteht darin, die empfangenen Vorhersagewerte für jede LSA mit ihrer jeweiligen in Schritt 1 ermittelten Bezugsgröße in Beziehung zu setzen.

Das Kriterium „Vollständigkeit der empfangenen AP-Werte (Vorhersagewerte)“ ist dann GUT, wenn über alle Versuche und alle LSA betrachtet mehr als 95% der in Schritt 1 ermittelten AP-Werte auf der IRS empfangen wurden.

Prozentsatz empfangener AP-Werte über alle validen Versuche (je LSA wurde eine individuelle Bezugsgröße ermittelt)	≥ 95% ≥ 90% < 90%	gut mittel schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	97,95 % über alle validen Versuche
	„Gut“

Differenz zwischen Latenzzeiten:

Sind die Latenzzeiten bei Signalgruppen und AP-Werten etwa gleich lang?

Die Differenz zwischen den Latenzzeiten bei der Übermittlung der Signalgruppenzustände und der AP-Werte ist dann GUT, wenn die Differenz des Mittelwertes der Latenzzeiten nicht größer als 1 Sekunde, über den jeweiligen Versuchszeitraum betrachtet, ist.

Differenz der Latenzzeit-Mittelwerte (Mittelwert < 1 Sekunde)	>= 95% Gut „< 95% schlecht

Ergebnis des Feldversuchs	95,42 % über alle validen Versuche
	„GUT“

In 95,42% der validen Versuche war die Latzenzzeitendifferenz GUT, weil kleiner eine Sekunde, d. h., der SG-Wechsel müsste technisch mit der Prognose übereinstimmen. Ob die Prognose richtig war, wird hier nicht bewertet (s.o.).Je größer die Differenz der Latenzzeiten ist, umso mehr laufen die Signalgruppenwechsel und die Prognose zeitlich auseinander, d. h. der übermittelte Signalgruppenwechsel stimmt nicht mit der Prognose überein, d. h. es wird der falsche SG-Zustand vorausgesagt.

2.8.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Die Funktion funktioniert dann gut, wenn die Qualität der Eingangsdaten gut ist.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil …*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja:

- AphaMessage: Die Kommunikation von der LSA bis zur IRS via TCP/IP über das städtische Netz: Latenzzeiten waren gemäß der Spezifikation gut.
  Die Kommunikation von IRS ins Fahrzeug muss von der entsprechenden Komponente „MapMatching“ beurteilt werden: Kommunikation von Fahrzeug bis in die IRS via Umfeldtabelle: Latenzzeit gut, Vollständigkeit der CAMs (nach Anfangsschwierigkeiten) gut, Anzahl der CAMs pro Fahrzeug ist ausreichend und damit gut (alle 2 Sekunden eine CAM), jedoch weniger als ursprünglich spezifiziert (5 CAMs/Sekunde). Die Funktion wurde programmiertechnisch so angepasst, dass sie mit weniger CAM‘s auskommt, als ursprünglich spezifiziert.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- MapMatching: Frequenz von 0.5 Hz ausreichend, meist zwischen 1 Hz und 0.4 Hz

  Die Funktion wurde im Laufe der Entwicklung fehlertoleranter programmiert, damit auch mit einer geringen Anzahl von CAMs/Fahrzeug (alle 2 Sekunden ein CAM pro Fahrzeug) die Funktion lauffähig ist.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die Funktion wird an jeder LSA, die mit einer IRS gekoppelt ist, eingesetzt. Sie wirkt lokal an der LSA, deshalb kann keine Aussage zur Ausstattungsrate gemacht werden.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- MapMatching: Für die Funktion genügt die aktuelle Positionsgenauigkeit von rund +/- 7 m (obwohl die Komponente Verbesserte Ortung (Kap 2.4.3.1) theoretisch eine Toleranz von 3 m schafft). Bei spurgenauer Ortung könnte auf die Übermittlung des Blinkers verzichtet werden.

Hinweis:

Wir wissen nicht, wie zuverlässig der Blinker ist. Im Testgelände hat die Übermittlung des Blinkers funktioniert. Das MapMatching interessiert, ob das Fahrzeug abbiegen will oder nicht. Dabei ist es bei mehreren Fahrspuren in eine Richtung egal, auf welcher der Fahrspuren sich das Fahrzeug befindet. Das Map Matching benötigt eigentlich eine **zielfeine Ortung**, d. h. die Komponente muss herausfinden, wohin das Fahrzeug fahren will. Dafür kann entweder die Information über den Blinker benutzt werden oder es muss eine spurgenaue Ortung geliefert werden

- *Falls ihre Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- AphaMessage und MapMatching erzeugen keine Ausgabe auf dem HMI

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Die Stadt Frankfurt hat ein IT-Netzwerk- und Sicherheitskonzept erstellt, das die Datenübertragung von außen in das Netz der Stadt Frankfurt (Daten der IRS in die IGLZ (Verkehrsmanagementsystem der Stadt Frankfurt)) und die Datenübertragung von der IGLZ zur ICS regelt.
- Die Funktion muss sich ansonsten darauf verlassen können, dass die Eingangsdaten korrekt sind. Bei inkorrekten Daten werden beim AphaMessage falsche Vorhersagewerte gemeldet und beim MapMatching falsche Fahrzeuge am Knoten an- und abgemeldet

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- MapMatching: CAM, keine Erweiterungen nötig
- AphaMessage: OCIT-Instations (Schnittstellenstandard bei LSA, um Verkehrsdaten zu übertragen)

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine

2.8.5 Exkurs: Erläuterung zu Dichtewerten

Das zu untersuchende Gebiet (hier: die einzelnen Knotenpunkte) wird in GPS-Abschnitte unterteilt, die über eine ID referenzierbar sind. Für jeden Abschnitt werden auf der IRS sekündlich Dichtewerte ermittelt. Die Dichte wird als Füllgrad eines Straßenabschnitts in Prozent ausgedrückt und gibt damit indirekt die Anzahl der Fahrzeuge an. Die Anzahl der Fahrzeuge bei einem Dichtewert von 100% ergibt sich aus der Größe bzw. Länge des Abschnitts (wie viele Fahrzeuge passen maximal in den Abschnitt), d. h. sie ist je Abschnitt unterschiedlich. Diejenigen Abschnitte, die unmittelbar an die Haltelinie der Lichtsignalanlage grenzen, haben eine Länge von 50 Metern, diejenigen Abschnitte, die weiter vorgelagert in der Zufahrt zur LSA liegen, haben eine Länge von 150 Metern.

Die Dichtewerte werden mittels sog. Pulsbreitenmodulation mit einer Frequenz von 1Hz (also einer Übertragung pro Sekunde) über elektrische Kontakte zum Steuergerät übertragen. Am Beispiel bedeutet das: Ein Dichtewert von 10% wird durch einen Impuls von 100ms übermittelt.

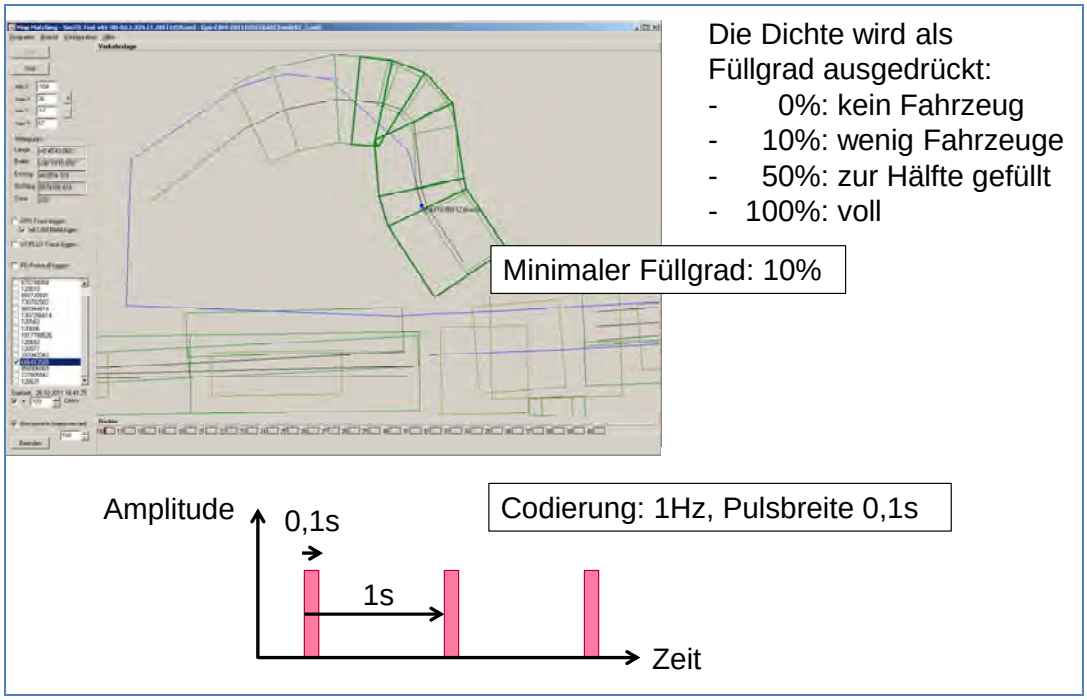


Abbildung 2.1: Dichtewerte

Zusätzlich zur oben dargestellten Funktionsbewertung kann nun exemplarisch nachgewiesen werden,

- dass innerhalb der validen Versuche alle Fahrzeuge, die von der IRS erkannt wurden, auch durch das MapMatching erkannt wurden und
- dass die daraus resultierenden Dichtewerte korrekt an das Steuergerät übertragen wurden.

Die folgenden beiden Screenshots aus Logfiles belegen, dass die Dichtewerte korrekt von der IRS zum Steuergerät übermittelt wurden. Dazu dient ein Datenauszug aus der IGLZ, d. h. es wird noch zusätzlich die OCIT-Kommunikation zwischen Steuergerät und Verkehrsmanagement in die Prüfung mit einbezogen.

Die erste Tabelle zeigt die Belegungsdaten für verschiedene Abschnitte zu jeder Sekunde, aufgezeichnet auf der IRS. Die Belegungswerte sind immer als Vielfache von 10% angegeben (vgl. die obigen Ausführungen zur Pulsbreitenmodulation).

Die untere Grafik zeigt die Belegungseingänge in der IGLZ für Abschnitt gs15. Abschnitte werden in der IGLZ analog zu normalen Detektoren behandelt. Es zeigt sich, dass die Werte dort entsprechend wieder auftauchen[3] (mit einem Zeitversatz von 1 Stunde wegen unterschiedlicher Zeitbasen).

[3] Die Dichtewerte werden als Impulse unterschiedlicher Länge übertragen (Pulsbreitenmodulation, z. B. 20% = 200ms). Der Unterschied zwischen 20% in der IRS und 0,18 im IGLZ-Log liegt an der Abtastung des Detektorsignals im Steuergerät. Hier misst das Steuergerät nur 180 ms eines Impulses von 200 ms Länge.

1	Datum	Zeit	19	11	12	13	14	15
387	07.12.2012	11:07:46.051	0	0	0	0	0	0
388	07.12.2012	11:07:47.037	0	0	0	10	0	0
389	07.12.2012	11:07:48.077	0	0	0	0	0	0
390	07.12.2012	11:07:49.049	0	0	0	0	0	20
391	07.12.2012	11:07:50.043	20	0	0	0	0	0
392	07.12.2012	11:07:51.002	0	0	0	0	0	0
393	07.12.2012	11:07:52.028	0	0	0	0	20	0
394	07.12.2012	11:07:53.259	0	0	0	0	0	20
395	07.12.2012	11:07:54.054	0	0	0	0	0	0
396	07.12.2012	11:07:55.034	0	0	0	0	0	0
397	07.12.2012	11:07:56.026	0	0	0	0	0	0
398	07.12.2012	11:07:57.020	0	0	0	10	0	0
399	07.12.2012	11:07:58.038	0	0	0	0	0	0
400	07.12.2012	11:07:59.053	0	0	0	0	0	0
401	07.12.2012	11:08:00.049	0	0	0	0	0	0
402	07.12.2012	11:08:01.112	0	0	0	0	0	0
403	07.12.2012	11:08:02.023	0	0	0	0	0	0
404	07.12.2012	11:08:03.056	0	0	0	0	0	20
405	07.12.2012	11:08:04.054	0	0	0	0	0	0
406	07.12.2012	11:08:05.056	0	0	0	0	0	0

Abbildung 2.2: Auszug aus den Daten der IRS, relevant ist die letzte Spalte (Abschnitt gs15)

148	240323634693	DEE	ov4	R	07.12.2012	12:07:48	07.12.2012 12:07:48	07.12.2012 12:07:48	0,18
149	240323634720	DEE	ov4	R	07.12.2012	12:07:52	07.12.2012 12:07:52	07.12.2012 12:07:52	0,18
150	240323638839	DEE	ov4	R	07.12.2012	12:08:02	07.12.2012 12:08:02	07.12.2012 12:08:02	0,18

Abbildung 2.3: Auszug aus den Daten der Zentrale (IGLZ), Abschnitt gs15

Die beiden nachfolgenden Bilder zeigen, dass alle Fahrzeuge, die als Trace aus dem sim^{TD} Log erkennbar sind, auch in der IGLZ als Detektorbelegung erkennbar sind (der blaue Punkt stellt ein sim^{TD} Fahrzeug mit seiner Trajektorie dar).

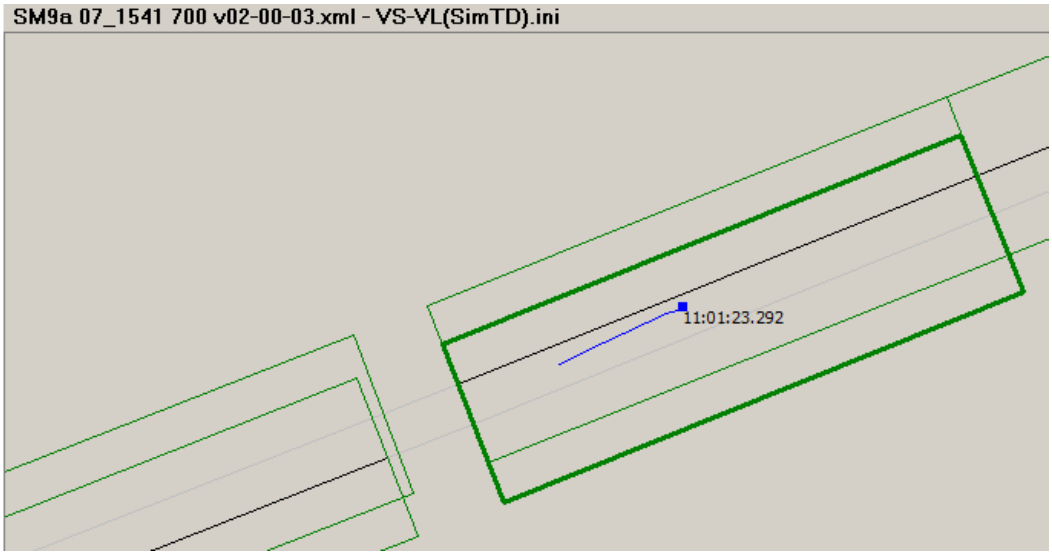


Abbildung 2.4: CAM-Trace aus sim^{TD}-Log, Anlage SM9a, Abschnitt gs15

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Datum	Zeit	19	11	12	13	14	15
55	07.12.2012	11:01:20.033	0	0	0	0	0	0
56	07.12.2012	11:01:22.493	0	0	0	0	0	0
57	07.12.2012	11:01:23.049	0	0	0	0	0	20
58	07.12.2012	11:01:25.526	0	0	0	0	0	20
59	07.12.2012	11:01:26.031	0	0	0	0	20	0

Abbildung 2.5: Auszug aus den Daten der Zentrale (IGLZ), Abschnitt gs15

2.9 Funktion F_2.1.1 Hinderniswarnung

2.9.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Bei der Funktion F211 handelt es sich um die Warnung vor Hindernissen auf der Fahrstrecke. Diese können vom Hindernis selbst (im Falle liegengebliebenes Fahrzeug, LGFZG) oder vom Fahrer (MD, manuelle Detektion) detektiert werden. Der Fahrer des empfangenden Fahrzeugs wird frühzeitig gewarnt und kann sein Fahrverhalten anpassen – häufig lange bevor er das Hindernis selbst erkannt hätte. Der positive Einfluss auf die Fahr- und Verkehrssicherheit ist von der Zuverlässigkeit der Funktion und der zeitnahen Warnung des Fahrers abhängig.

Eine detaillierte Funktionsbeschreibung findet sich in den Deliverables D11.3.

- Die Kenngrößen werden aus den in der Logging-Datenbank aufgezeichneten Messgrößen vor allem der F211 aber auch anderer Komponenten durch ein Auswerteprogramm ermittelt. Im Folgenden genannte Zeitpunkte sind absolut zu verstehen. Sie werden ggfs. zur Vereinfachung der weiteren Verarbeitung in relative Zeiten (z. B. seit Versuchsstart) umgerechnet.
- Die gelieferten Kenngrößen sind in den folgenden Abschnitten beschrieben. Dabei wird unter „Berechnung“ in manchen Fällen kein Formelzusammenhang, sondern lediglich die grundsätzliche Berechnung dargestellt. Der genaue Algorithmus des Auswerteprogramms wird von F211 bereitgestellt.

2.9.2 Beschreibung der durchgeführten technischen Versuche

Von den in D13.2 geplanten technischen Versuchen wurden die folgenden drei im Feldversuch durchgeführt

Tabelle 2.2: Im Feldversuch durchgeführte Versuche

Versuchs-ID	Drehbuch	Beschreibung
T_F_2.1.1_03_K0102	65/94	Prüft, ob die Funktion vor relevanten liegengebliebenen Fahrzeugen warnt
T_F_2.1.1_04_K0204	65	Prüft, ob die Funktion false positives liefert
T_F_2.1.1_UE01_K0104	-	Funktionszustand, Information zur Robustheit der Funktion

Dabei wird im Versuch T_F_2.1.1_03_K0102 eine Zufahrt auf ein liegengebliebenes Fahrzeug (Drehbuch 65) bzw. eine Baustelle (Drehbuch 94) durchgeführt. Es gibt jeweils eine Experimental- und Kontrollgruppe sowie im Falle von Drehbuch 65 ein Initialfahrzeug, das durch Anhalten und Aktivieren des Warnblinkers zum liegengebliebenen Fahrzeug wird. Die Durchführung von Drehbuch 65 erfolgte am Versuchsort „Waldparkplatz“.

Abbildung 2.6: Versuchsort „Waldparkplatz“ und Zufahrt der empfangenden Fahrzeuge. Der Ort des liegengebliebenen Fahrzeugs ist mit einem Stern markiert

Versuch T_F_2.1.1_04_K0204 kann insofern bewertet werden, dass die empfangenen DEN-Nachrichten und geloggten Hindernisaggregate nahezu immer einen geringen Abstand zur tatsächlichen Hindernisposition aufwiesen. Nahezu immer bedeutet: abgesehen von leicht identifizierbaren Abständen >> 1 km; diese sind auf eingestreute Phantomereignisse zurückzuführen. Ein Beispiel hierfür sind fehlausgelöste Hindernisse durch Fehlbedienung des HMI. Es gab in diesem Sinne also keine false positives.

Versuch T_F_2.1.1_UE01_K0104 wurde in Form eines Dauerloggings während der o. g. Drehbücher durchgeführt.

Der ebenfalls angedachte Versuch T_F_2.1.1_08_K0107 (Optimierung der DENM-Parameter Sendehäufigkeit & ExpiryTime) konnte nicht durchgeführt werden, da es im Feldversuch nicht möglich war, die Stellgrößen der Funktion 2.1.1 entsprechend zu verstellen und systematisch Schlüsse aus den Logdaten der Kommunikationsfunktionen zu ziehen. Da im Falle eines Nachrichtenempfangs die HMI-Anzeige rechtzeitig erschien, ist dies nur von geringem Nachteil.

Bei einigen Versuchen des Drehbuchs 65 traten unbrauchbare Datensätze auf (zu den Ursachen siehe Drehbuch 65). Insbesondere gab es in zwei Versuchen überhaupt kein liegengebliebenes Fahrzeug. Die Versuche zu Drehbuch 94 blieben komplett ohne Erfolg, es wurde nie eine DENM des Typs 3 (Baustelle) empfangen. Es liegt nahe, die Ursache darin zu suchen, dass keine solchen DENM während der Versuche ausgesendet worden waren.

Tabelle 2.3: Übersicht über die Durchläufe des Drehbuchs 65

#	Durchlauf	Datum	Beteiligte Fzg.	Auswertbare Fgz. (Agg./HMI)	Status / Ursache Fehler
1	787	5.7.	4	4/2	OK
2	816	9.7.	20		Initialfahrzeug sendet nicht
3	872	16.7.	15		Initialfahrzeug sendet nicht
4	928	24.7.	14	12/12	OK
5	944	25.7.	4		Initialfahrzeug sendet nicht
6	956	27.7.	16		Initialfahrzeug sendet nicht
7	995	2.8.	14		Initialfahrzeug sendet nicht
8	1046	8.8.	13		Falscher DENM-Typ beim Senden
9	1056	9.8.	8	7/7	OK
10	1057	9.8.	10	9/8	OK
11	1065	10.8.	12		Kein Initialfahrzeug
12	1066	10.8.	12		Initialfahrzeug sendet nicht
13	1068	10.8.	17		Initialfahrzeug sendet nicht

#	Durchlauf	Datum	Beteiligte Fzg.	Auswertbare Fgz. (Agg./HMI)	Status / Ursache Fehler
14	1083	14.8.	16		Initialfahrzeug sendet nicht
15	1128	17.8.	13	11/11	OK
16	1145	20.8.	13	12/7	OK
17	1190	24.8.	13	11/8	OK
18	1201	29.8.	19	7/6	OK
19	1258	6.9.	11	10/8	Falscher DENM-Typ beim Senden
20	1290	11.9.	7	7/5	OK
21	1292	11.9.	9	9/0	OK
22	1318	12.9.	11	11/4	OK
23	1320	12.9.	7	7/6	OK
24	1326	13.9.	17	17/17	OK
25	1339	14.9.	13	13/13	Kein Empfang
26	1367	18.9.	14		Initialfahrzeug sendet nicht
27	1386	20.9.	16		Initialfahrzeug sendet nicht
28	1391	21.9.	14	14/11	Kein Empfang
29	1445	28.9.	13	13/10	Source ID variiert
30	1505	5.10.	16	14/13	OK
31	1552	12.10.	18	18/8	OK

#	Durchlauf	Datum	Beteiligte Fzg.	Auswertbare Fgz. (Agg./HMI)	Status / Ursache Fehler
32	1625	24.10.	36	36/36	OK
33	1675	1.11.	22	22/22	Kein Empfang
34	1696	5.11.	16	14/13	OK
35	1749	7.11.	11	10/7	Kein Empfang
36	1792	13.11.	18	18/17	Falscher DENM-Typ beim Senden
37	1827	15.11.	19		Kein Initialfahrzeug
38	1988	7.12.	18	15/5	Source ID variiert
39	1996	10.12.	17	16/6	OK
40	2024	13.12.	17		Initialfahrzeug sendet nicht
41	2033	14.12.	19	19/17	OK
42	2036	14.12.	18	16/14	OK

Dies bedeutet für das liegengebliebene Fahrzeug, dass

- in 27 Initialfahrzeugen die Detektion und der DENM-Versand
- in 392 Experimentalfahrzeugen der DENM-Empfang, die Weiterverarbeitung und die HMI-Anzeige

untersucht werden konnten.

Für die Baustelle waren entsprechende Untersuchungen nicht möglich.

Die Funktion F211 „Hinderniswarnung“ wurde im Feldversuch anhand ihres Anwendungsfalls A2112 „Liegengebliebenes Fahrzeug“ erprobt. Eine Erprobung ihres Anwendungsfalls A2114 „Baustellenwarnung“ scheiterte am Fehlen einer DENM-Nachricht.

Von den 42 durchgeführten Versuchen scheiterten 2 aufgrund eines Fehlers in der Versuchssteuerung und 13 aufgrund fehlender DENM-Nachrichten durch das liegengebliebene Fahrzeug. Für letztere Fälle sind verschiedene Ursachen denkbar, es ist allerdings unbekannt welche von ihnen zutrifft.

In den verbleibenden 27 Fällen empfingen 95 % der beteiligten Fahrzeuge die vom liegengebliebenen Fahrzeug ausgesendete DENM-Nachricht. In 79 % dieser Fahrzeuge erfolgte eine HMI-Anzeige.

Eine Warnanzeige erfolgte frühestens in 350 m Entfernung. Die beobachteten TTC liegen in 95 % der Fälle oberhalb von 4 s.

2.9.3 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet. Im Einzelnen sind dies:

- K_2.1.1_Fahrzeugzustand_LGFZG_Start: Zeitpunkt des Eintritts in den Zustand „ist ein liegengebliebenes Fahrzeug (LGFZG)“
- K_2.1.1_Fahrzeugzustand_LGFZG_End: Zeitpunkt des Verlassens des Zustands „ist ein LGFZG“
- K_2.1.1_Fahrzeugzustand_LGFZG_Detektion: Detektionszeitpunkt einer DENM aufgrund von Zustand „ist ein LGFZG“
- K_2.1.1_Fahrzeugzustand_LGFZG_DENVersand“ - Versandzeitpunkt einer DENM aufgrund von Zustand „ist ein LGFZG“
- K_2.1.1_Fahrzeugzustand_MD_Detektion“ - Detektionszeitpunkt einer DENM aufgrund von Ereignis „manuelle Detektion (MD) wurde ausgelöst“
- K_2.1.1_Fahrzeugzustand_MD_DENVersand“ - Versandzeitpunkt einer DENM aufgrund von Ereignis „MD wurde ausgelöst“
- K_2.1.1_OBS_Position – Position, an der ein Hindernis detektiert wurde
- K_2.1.1_Warnzeitpunkt – Zeitpunkt(e) einer Warnung, hierbei wird unterschieden zwischen erstmaliger Anzeige (diese kann „Info“ oder Warnung sein), ggfs. Übergang Info→ Warnung, Wegnahme der Anzeige
- K_2.1.1_Warnort – Position des Hindernisses vor dem gewarnt wurde[4]
- K_2.1.1_Abweichung_Position_Hindernis_Aggregat – Abweichung der tatsächlichen Hindernisposition von der im Hindernisaggregat angenommenen Position
- K_2.1.1_Mittelwert_Abweichung_HindernisPositionen – Mittelwert dieser Abweichungen
- K_2.1.1_Standardabweichung_Abweichung_HindernisPositionen – Standardabweichung dieser Abweichungen
- K_2.1.1_DEN_Verarbeitung_Optimierung“ – Optimierung der Parameter
- K_2.1.1_Status_Funktion

Die benötigten Eingangsgrößen werden von der F_2.1.1 in den folgend aufgeführten Messgrößentupeln aus geloggt.

---

[4]) Ist bei den durchgeführten Versuchen normalerweise identisch, da es nur eine Datenquelle (das liegengebliebene Fahrzeug) gibt. Allenfalls durch dessen Bewegung könnten Abweichungen entstehen.

Tabelle 2.4: Tupel für die von der F_2.1.1 benötigten Eingangsgrößen

ID	Messgrößentupel
490019	m_F211_HMIPresentation_Auftrag
490020	m_F211_RelevantesAggregat
490021	m_F211_AutomatischeDetektion_Status
490022	m_F211_DENProcessing
490023	m_F211_Funktion_Status
490024	m_F211_AggregationProcess1
490025	m_F211_AggregationProcess2
490026	m_F211_HindernisErkannt
40054	m_IVS_AU_VAPIClient_VehicleSpeed
40050	m_IVS_AU_VAPIClient_HazardWarningSystem

2.9.3.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Zu bestimmen ist das Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen. Da Zeiträume für die Funktion keinen Sinn ergeben wird unter Nichtberücksichtigung der Fälle ohne erfolgreiches Senden durchs Initialfahrzeug die Zahl der erfolgreichen Darstellungen einer Warnung verwendet.

Bewertungsmaßstab:

Gut: > 80 %

Mittel: 60 - 80 %

Schlecht: < 60 %

Ergebnis des Feldversuchs:

Klassifizierung **mittel**, da ordnungsgemäße Funktion in 79 % der Fälle

2.9.3.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, zu einem angemessenen Zeitpunkt erhalten worden sind.

Bewertungsmaßstab:

Gut: > 4 s
Mittel: 3 - 4 s

Schlecht: <3 s

Ergebnis des Feldversuchs:

Klassifizierung **gut**, da TTC zu 95 % in diesem Bereich.

2.9.3.3 Kenngröße „Verlustrate“

Würde die Verlustrate auf das Aussenden von DEN-Nachrichten bezogen, so wurden in 13 der 40 Versuche (33 %) mit definiertem Initialfahrzeug gar keine Daten gesendet. Die Ursache hierfür mag jedoch mit der Kommunikation gar nichts zu tun haben: wie oben diskutiert wurde in manchen Fällen gar nichts versendet. In den übrigen Versuchen (DENM-Nachrichten wurden gesendet) betrug die Verlustrate 5 %.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	< 10 %
Mittel:	20 – 10 %
Schlecht:	>20 %

Ergebnis des Feldversuchs:

Klassifizierung **gut**, da Verlustrate 5 %

Besondere Anmerkungen:

Der Bewertungsmaßstab (s. u.) wurde relativ großzügig angelegt, nicht zuletzt wegen des extrem ungünstigen Waldparkplatz-Szenarios.

2.9.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja im Anwendungsfall „liegengebliebenes Fahrzeug“.
- Nein im Anwendungsfall „Baustelle“. Die folgenden drei Fragen beziehen sich auf diesen Anwendungsfall

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen?*

- Die Verkehrszentrale muss eine entsprechende DENM versenden

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Das Problem war sim^{TD}-spezifisch und steht in der Serie nicht zu erwarten

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- die Verkehrszentrale entsprechende DENMs versenden wird

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja. Die verwendeten DENMs erwiesen sich als adäquat.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die in sim^{TD} gemessenen Latenzzeiten erlauben einen zuverlässigen Betrieb der Funktion F_2.1.1 „Hinderniswarnung“. Die Informationsreichweiten sind zufriedenstellend, zumal eine ungünstige Verortung (Waldparkplatz) gewählt worden war. Die Verlustrate war in den korrekt abgelaufenen Versuchen gering.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Für den Anwendungsfall A_2.1.1.2 „Liegengebliebenes Fahrzeug“ müssen sowohl Sender als auch Empfänger mit einer IVS ausgestattet sein. Detektionen durch Dritte (insbesondere manuell durch die Fahrer vorbeifahrender Fahrzeuge) kann diese Abhängigkeit entschärfen. Mangels durchgeführter Versuche ist eine Abschätzung nicht möglich. Die Funktion ist von der IRS-Ausstattung unabhängig.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Die Qualität der Fahrzeugpositionierung ist für die Funktion F_2.1.1 ausreichend. Als vorausschauende Warnung (Größenordnung einige 100 m, Anzeige in 50 m-Schritten) sind Abweichungen in der Größenordnung der GPS-Genauigkeit vernachlässigbar. Eine spurgenaue Positionierung würde die Performance der bestehenden Funktion nicht verbessern, sie aber um ein wertvolles Feature erweitern, da der Fahrer informiert werden könnte, ob sich das liegengebliebene Fahrzeug in seiner eigenen Spur befindet.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die HMI-Implementierung war für die Anzeige der Warnung angemessen.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Die Funktion F_2.1.1 stellt die gleichen Anforderungen an Security und Datenschutz wie alle kommunikationsbasierten Funktionen, die Fahrzeugposition und Fahrparameter versenden. Sie stellt darüber hinaus keine speziellen Anforderungen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Es wurden DEN-Messages entsprechend einem Draft von ETSI verwendet. Dieser ist in D21.4 dokumentiert.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Durch keine, da die Funktion typischerweise über ein Ereignis außerhalb des Sichtbereichs sowohl des Fahrers als auch der Sensoren informiert und im Gegensatz zu Umfeldsensorik den Hindernistyp genau kennt.

2.10 Funktion F_2.1.2 Stauendewarnung

2.10.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Stauendewarnung besteht aus

- Detektion eines Stauereignisses,
- Kommunikation (Meldungsverbreitung, Meldungsempfang)
- Warnung/Info bei Relevanz.

Für eine detaillierte Beschreibung wird auf Deliverable D11.3 verwiesen.

2.10.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.10.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Die Kenngröße K_212_Funktionalität wertet die Zeitdifferenz Δt und Positionsdifferenz Δp zwischen offline detektierten und den während der Versuche geloggten Stauereignissen aus.

Bewertungsmaßstab Funktionalität Ort:

Gut: $\Delta p < 20$ m

Mittel: 20 m $< \Delta p <$ 100 m

Schlecht: 100 m $< \Delta p$

Bewertungsmaßstab Funktionalität Zeit:

Gut: $\Delta t < 2$ s

Mittel: 2 s $< \Delta t <$ 10 s

Schlecht: 10 s $< \Delta t$

Bewertung Funktionalität Ort:

Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl ausgewerteter Nachrichten.

Gut: 75,4 %

Mittel: 6,4 %

Schlecht: 18,2 %

Bewertung Funktionalität Zeit**:**

Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl ausgewerteter Nachrichten.

Gut: 70,7 %

Mittel: 9,3 %

Schlecht: 20,0 %

Klassifizierung:

Mittel, da in weniger als 80% der Fälle die Bewertungsmaßstäbe für „gut“ unterschritten wurden.

2.10.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Diese Kenngröße wertet die TTC beim erstmaligen Empfang einer Meldung zu einem Stauereignis aus.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 6 s < TTC

Mittel: 2 s < TTC < 6 s

Schlecht: TTC < 2 s

Bewertung:

Gut: 97,2 %

Mittel: 2,7 %

Schlecht: 0,1 %

Klassifizierung: gut, da in mehr als 80% der Fälle die Bewertungsmaßstäbe für „gut“ überschritten wurden.

2.10.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Diese Kenngröße wertet die Positionsdifferenz zwischen dem Empfang eines relevanten Stauereignisses und dem Ereignisort aus.

Zusätzlich wird noch die Distanz zwischen dem Ereignisort und dem Ort ausgewertet, an welchem der Präsentationsauftrag erfolgte.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 400 m <Δp_HMI

Mittel: 200 m < Δp_HMI < 400 m

Schlecht: Δp_HMI < 200 m

Bewertung:

Gut: 88,7 %

Mittel: 9,4 %

Schlecht: 1,9 %

Klassifizierung: gut, da in mehr als 80% der Fälle die Bewertungsmaßstäbe für „gut“ überschritten wurden.

2.10.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja, die verwendeten DEN-Nachrichten erwiesen sich als adäquat.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Hoch, die Kommunikationsparameter beeinflussen die Verbreitung der Informationen im Netz.

- Die in sim^{TD} gemessenen Latenzzeiten erlauben einen zuverlässigen Betrieb der Funktion. Die Informationsreichweiten sind sehr gut.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Hoch, die Ausstattungsrate beeinflusst die Verbreitung der Informationen im Netz.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Mittel. Eine spurgenaue Ortung hätte keinen wesentlichen Einfluss auf die Funktionalität.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Technisch betrachtet bezogen auf den gemeldeten Ereignisort ja. Laut Rückmeldung der Nutzer erfolgte die HMI-Präsentation meist zu spät. Mögliche Ursache: ein Stauende ist

nicht ortsfest. Es wandert entgegen der Fahrtrichtung. Dieser Aspekt wurde in der Funktion nicht modelliert.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die üblichen hinausgehenden Anforderungen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Es werden DEN-Nachrichten übermittelt. Es sind keine weiteren Standards für die Funktionalität der Funktion erforderlich.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine bordeigenen Sensoren.

2.11 Funktion F_2.1.3 Straßenwetterwarnung

2.11.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion „F_2.1.3 – Straßenwetterwarnung“ erfüllt die Aufgaben

- Wetter-Ereignisdetektion (anhand von Fahrzeugdaten),
- Ereignisaggregation von empfangenen Fahrzeug- und ICS-Ereignismeldungen (räumlich und nach Detektionszuverlässigkeit),
- Fahrerinformation und Warnung auf dem HMI (bei Annäherung an ein Ereignis) und
- Kommunikation (Meldungsverbreitung/-kodierung, Meldungsempfang/-dekodierung).

Die Funktion erkennt also selbstständig Wettergefahren und teilt diese mittels C2C-Kommunikation anderen Fahrzeugen mit, damit dort eine frühzeitige Fahrerinformation auf dem HMI erfolgen kann. Ist ein Fahrzeug das erste, das eine Wettersituation erreicht (Initialfahrzeug), kann hier keine Warnung erfolgen, da das Ereignis noch nicht bekannt ist.

Jede Nachricht hat eine Gültigkeitsdauer von 10 Minuten. In dieser Zeit wird die Nachricht in einem Umkreis von 5 km durch wiederholtes Senden und Multi-Hopping verbreitet.

2.11.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

Für die Auswertung bzw. die Bewertung wurde der gesamte Zeitraum vom 02.07.2012 bis 14.12.2012 betrachtet.

2.11.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Diese Kenngröße stellt dar, wie viele Fehler die Funktion erzeugt.

Wenn die Funktion einen Fehler loggt, wird aufgrund des Fehlers beurteilt, ob er durch die Funktion verursacht wurde oder ob ein Fehler einer anderen Komponente durch die Funktion erkannt wurde.

Die Auswertung erfolgt auf Grundlage der etwa 530 geloggten relevanten Fehler.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 0 – 1 Fehler/Fzg./Tag

Mittel: 1 – 10 Fehler/Fzg./Tag

Schlecht: über 10 Fehler/Fzg./Tag

Aufgrund des prototypischen Charakters von sim^{TD} wird keine Reife wie für die Serie erwartet. Durchschnittlich ein Fehler pro Fahrzeug und Tag sind folglich akzeptabel, mehr als zehn Fehler schränken die Funktionalität unverhältnismäßig ein.

Ergebnis:

Gut: 0,04 Fehler/Fzg./Tag

Besondere Anmerkungen:

Rund 94% der geloggten Fehler waren Fehler anderer Komponenten und wurden hier nicht berücksichtigt, da sie für die Bewertung der Funktionsstabilität nicht relevant sind.

Die Fehler konnten i.d.R. auf große Verzögerungen in der Verarbeitung zurückgeführt werden, deren Ursache vermutliche die zeitweise extreme Systemauslastung ist.

2.11.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße stellt dar, zu welchem Zeitpunkt eine Warnung vor einem Wetterereignis angezeigt wurde.

Für die Auswertung wurden mehr als 14.000 HMI-Aufträge berücksichtigt.

Die Warnung vor Wettergefahren erfolgt aufgrund des Abstandes zu einem Wetterereignis. Deshalb ist der *richtige Zeitpunkt* als *richtige Entfernung* aufzufassen. Eine Warnung erfolgt dabei frühestens 1.000 Meter vor einem Ereignis.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 500 m – 1000 m

Mittel: 200 m – 500 m

Schlecht: 0 m – 200 m

Es ist zu berücksichtigen, dass die Versuchsfahrten i.d.R. in Kolonnenfahrten erfolgten. Deshalb ist hier eine durchschnittliche Warnung in einer Entfernung von 500m bereits gut. Eine Warnung innerhalb der letzten 200m ist jedoch auch unter diesen Bedingungen zu knapp.

Ergebnis:

Gut: 636 m vor dem Ereignis erfolgt die Warnung im Durchschnitt

Besondere Anmerkungen:

In 67,6% der Fälle konnte der erste HMI Auftrag sehr früh (>500m) erteilt werden, in nur 11,0% der Fälle erst sehr spät (<200m).

2.11.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Diese Kenngröße stellt dar, ob die Funktion Wetterereignisse korrekt, d. h. nur dann wenn auch tatsächlich eine Wettersituation vorhanden war, erfasst hat. Dazu wird überprüft, wie viele der am betreffenden Ort vorhandenen Fahrzeuge ein Wetterereignis detektiert haben und wie viele nicht.

Die Auswertung erfolgte auf Grundlage von etwa 75.000 Ereignissen.

Ein Ereignis gilt als bestätigt, wenn etwa zum Zeitpunkt der Detektion bei mind. einem Fahrzeug an vergleichbarer Position ebenfalls alle Bedingungen für die Detektion eines solchen Wetterereignisses erfüllt sind.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 80% – 100%

Mittel: 60% – 80%

Schlecht: 0% – 60%

Aufgrund des prototypischen Charakters von sim^{TD} wird keine Reife wie für die Serie erwartet. Ein Fehler bei fünf Detektionen kann hier toleriert werden, wenn mehr als die Hälfte (3 von 5) falsch sind ist dies zu viel.

Ergebnis:

Gut: 90,4% der Ereignisse werden bestätigt.

Besondere Anmerkungen:

sim^{TD}-spezifische Faktoren, die die Funktionalität einschränken (z. B. Systemlast) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Es ist zu erwarten, dass ihre Berücksichtigung das Ergebnis weiter verbessern würde.

Nebelereignisse wurden nur zu 30% bestätigt. Ursachen sind hier:

- Hohe Wahrscheinlichkeit, dass vergessen wird die Nebelschlussleuchte abzuschalten. Besonders beim Verlassen von Parkplätzen.
- Große Unterschiede in der subjektiven Einschätzung, ob die Straßensituation das Einschalten der Nebelschlussleuchte rechtfertigt.

2.11.2.4 Kenngröße „Latenzzeit“

Die Kenngröße stellt dar, wie alt die Nachrichten sind, wenn die Funktion sie empfängt, wie lange also der Detektionszeitpunkt des Ereignisses zurückliegt. Dabei ist zu beachten, dass eine Nachricht von Fahrzeugen über weite Strecken transportiert werden kann, bis ein neuer Kommunikationspartner in Reichweite ist.

Für die Berechnung der Kenngröße wurden mehr als 1,7 Millionen empfangene Nachrichten berücksichtigt. Diese wurden auch über Multi-Hop verbreitet und waren 600 Sekunden gültig.

Bewertungsmaßstab:

Es erfolgt keine Bewertung, da die Verbreitungsgeschwindigkeit im Wesentlichen vom gefahrenen Szenario abhängt. Die Kenngröße hat informativen Charakter.

Ergebnis:

146,5 Sekunden dauert die Übertragung im Durchschnitt.

- In 12,7% der Fälle wurde die Nachricht in unter 1 Sekunde übertragen.
- In 27,7% der Fälle wurde die Nachricht in unter 10 Sekunden übertragen.
- In 46,0% der Fälle wurde die Nachricht in unter 60 Sekunden übertragen.
- In 79,7% der Fälle wurde die Nachricht in unter 5 Minuten übertragen.

Besondere Anmerkungen:

- Es ist zu beachten, dass es sich hierbei nicht um die Latenz im Sinne der Nachrichtentechnik bzw. Datenverarbeitung handelt. Es handelt sich hierbei vielmehr um die Verbreitungsgeschwindigkeit von C2C Nachrichten.
- Die Übertragungszeit hängen vom gefahrenen Szenario bzw. von der Verfügbarkeit eines Empfängers zum entsprechenden Zeitpunkt ab.
- Aufgrund der geringen bzw. nicht repräsentativen Fahrzeugdichte und den bei den Versuchen üblichen Kolonnenfahrten ist zu beachten, dass die Ergebnisse nicht repräsentativ für Einführungsszenarien sind.

2.11.2.5 Kenngröße „Reichweite“

Die Kenngröße stellt dar, wie weit die Nachrichten transportiert wurden, bis die Funktion sie empfängt. Dabei ist zu beachten, dass eine Nachricht per Multi-Hop verbreitet wird. Dabei ist zu beachten, dass eine Nachricht von Fahrzeugen über weite Strecken transportiert werden kann, bis ein neuer Kommunikationspartner in Reichweite ist.

Bewertungsmaßstab:

Es erfolgt keine Bewertung, da die Übertragungsreichweite im Wesentlichen vom gefahrenen Scenario abhängt. Die Kenngröße hat informativen Charakter.

Ergebnis:

1951 m wurden die Nachrichten im Durchschnitt transportiert.

- 58,1% der empfangenen DENs wurden mehr als 1000 m transportiert.
- 27,5% der empfangenen DENs wurden mehr als 2000 m transportiert.
- 25,3% der empfangenen DENs wurden mehr als 3000 m transportiert.
- 15,9% der empfangenen DENs wurden mehr als 4000 m transportiert.
- 9,3% der empfangenen DENs wurden mehr als 5000 m transportiert.

Besondere Anmerkungen:

Es ist zu beachten, dass es sich hierbei nicht um eine Übertragungsreichweite im nachrichtentechnischen Sinne handelt, da Multi-Hop eingesetzt wird.

Die Reichweiten hängen vom gefahrenen Szenario bzw. von der Verfügbarkeit eines Empfängers in der entsprechenden Entfernung ab.

Aus diesen Daten kann keine Verlustrate abgeleitet werden.

Aufgrund der geringen bzw. nicht repräsentativen Fahrzeugdichte und den bei den Versuchen üblichen Kolonnenfahrten ist zu beachten, dass die Ergebnisse nicht repräsentativ für Einführungsszenarien sind.

2.11.2.6 Kenngröße „Zeit für die Verarbeitung von Nachrichten“

Diese Kenngröße stellt dar, wie viel Rechenzeit die Funktion

- für das Detektieren eines Wetterereignisses und das Bestimmen des Ereignisbereiches
- für das Verarbeiten von eingehenden Nachrichten, also das Umwandeln der in der DEN enthaltenen Informationen in die interne Repräsentation

benötigt. Diese Zeit beinhaltet auch die Zeit, die für das Aggregieren, also das Zusammenfügen mit bereits bekannten Ereignissen, benötigt wird.

Aus technischen Gründen kann nur die während der Bearbeitung verstrichene Zeit erfasst werden und nicht die Rechenzeit, die die Funktion auf der CPU zugeteilt bekommen hat. Es ist also auch die Zeit enthalten, die mittels Multitasking anderen Prozessen zugeteilt wurde.

Für die Auswertung wurden etwa 3,25 Millionen Ereignisdetektionen bzw. Empfangsvorgänge berücksichtigt.

Aus technischen Gründen können bei dieser Berechnung der Verarbeitungslatenz Verzögerungen durch Multitasking bei hoher Systemlast nicht ausgefiltert werden und sind somit enthalten.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 0,0ms – 10,0ms

Mittel: 10,0ms – 100,0ms

Schlecht: über 100,0ms

Bei einer Verarbeitungszeit von unter 1/100 Sekunde ist keine Verzögerung vom Menschen mehr wahrnehmbar, deshalb ist dies gut. Bei einer Verarbeitungszeit von unter 1/10 Sekunde können nur bis zu 10 Nachrichten verarbeitet werden. Das ist zu wenig und deshalb schlecht.

Ergebnis:

Gut: 4,87 ms durchschnittliche Verarbeitungszeit für Ereignisempfang/-detektion.

Besondere Anmerkungen:

Insgesamt ist die Erfassung der Verarbeitungszeit unter Java nicht einfach.

2.11.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD} Funktion funktioniert?*

- Ereignisse wurden zuverlässig erkannt, Nachrichten zügig verarbeitet und HMI-Aufträge gemäß den vorhandenen Ereignissen generiert.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Mit 90% Detektionszuverlässigkeit besteht noch Verbesserungspotenzial. Insbesondere bei der Nebeldetektion ist dies durch zusätzliche Sensoren möglich.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Es ist zu erwarten, dass ein Seriensystem stabiler arbeiten wird, als das sim^{TD}-Gesamtsystem, so dass weniger Fehler anderer Komponenten oder durch Systemlast zu erwarten sind.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- Die Detektionszuverlässigkeit kann unter Verwendung optimierter Algorithmen und erweiterter Sensorik erhöht werden.
- Das Gesamtsystem wird stabiler sein.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja, die Übertragung von Nachrichten mittels C2C-Kommunikation hat funktioniert.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- CAM-Frequenz: irrelevant.
- Reichweite: Bei ausreichender Ausstattungsrate und mit Multi-Hop beherrschbar.
- Latenz: Die Funktion ist nicht sehr zeitkritisch.
- Verlustrate: Durch Wiederholung von Nachrichten beherrschbar.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- IVS: Höhere Ausstattungsraten verbessern die Verbreitung von Nachrichten, so werden insgesamt weniger „Initialfahrzeuge“ benötigt.
- IRS: irrelevant, da C2C-Funktion

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Die Ortungsgenauigkeit reicht aus.

- *Falls ihre Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Nicht explizit untersucht. Nahezu alle Fahrzeuge wurden rechtzeitig informiert.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Nicht untersucht

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die üblichen Anforderungen eines Kommunikationssystems hinausgehenden

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- DEN (draft)
- TPEG-TEC (draft)

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Prinzipiell sind alle wetterbezogenen Sensoren (Sichtweite, Niederschlagsmenge, Temperatur etc.) hilfreich. Dies trifft besonders für die Nebeldetektion zu.

2.12 Funktion F_2.1.4 Einsatzfahrzeugwarnung

2.12.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Einsatzfahrzeugwarnung unterscheidet zwischen Wirk- und Relevanzbereich. Im Wirkbereich soll der Fahrer i. d. R. direkt gewarnt werden. Befindet sich das Einsatzfahrzeug nur im Relevanzbereich, wird lediglich über die Position des Einsatzfahrzeugs informiert, um ihm Entwarnung zu geben.

Für eine detaillierte Beschreibung wird auf Deliverable D11.3 verwiesen.

2.12.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.12.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Die Kenngröße K_214_Fehlwarnungsquote wertet die Zeitdifferenz Δt und Positionsdifferenz Δp zwischen offline detektierten und den während der Versuche geloggten Stauereignissen aus.

Bewertungsmaßstab:

Gut: Vertrauenswahrscheinlichkeit >= 80 %

Mittel: 60 % < Vertrauenswahrscheinlichkeit < 80 %

Schlecht: Vertrauenswahrscheinlichkeit < 60 %

Die Vertrauenswahrscheinlichkeit beträgt 78 %.

Klassifizierung:

mittel, da die Vertrauenswahrscheinlichkeit kleiner als 80% beträgt.

2.12.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Diese Kenngröße K_214_Vorwarnzeit wertet die Zeitspanne aus, die der Fahrer für eine Reaktion auf eine Information/Warnung hat.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 6 s <= TTC <= 30 s

Mittel: 30 s < TTC <= 60 s

Schlecht: 60 s < TTC

Bewertung:

Die Prozentangaben beziehen sich auf die Anzahl ausgewerteter Nachrichten.

Gut:	56,52 %
Mittel:	10,9 %
Schlecht:	32,6 %

Klassifizierung:

Mittel, da in weniger als 80% der Fälle die Bewertungsmaßstab für „gut“ unterschritten wurden.

2.12.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja.
- Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass die Funktion F214 die gestellten Anforderungen zwar grundsätzlich erfüllt, jedoch aufgrund der örtlichen Randbedingungen eine nicht-vermeidbare Tendenz zu kleineren Vorwarnzeiten zu beobachten ist. Diese sind im öffentlichen Straßenverkehr so nicht zu erwarten.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja, die verwendeten CAM und DEN-Nachrichten erwiesen sich als adäquat.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Hoch, die Kommunikationsparameter beeinflussen die Verbreitung der Informationen im Netz.
- Die in sim^{TD} gemessenen Latenzzeiten erlauben einen zuverlässigen Betrieb der Funktion. Die Informationsreichweiten sind sehr gut.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Hoch, die Ausstattungsrate beeinflusst die Verbreitung der Informationen im Netz.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Gering. Eine spurgenaue Ortung hätte keinen Einfluss auf die Funktionalität.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die üblichen hinausgehenden Anforderungen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Es werden CAM und DEN-Nachrichten übermittelt. Es sind keine weiteren Standards für die Funktionalität der Funktion erforderlich.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine bordeigenen Sensoren.

2.13 Funktion F_2.2.1 Verkehrszeichenassistent

2.13.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion Verkehrszeichenassistenz hat zum Ziel, dem Fahrer die jeweils relevanten Verkehrszeichen rechtzeitig vor deren Gültigkeitsbeginn zur Anzeige zu bringen bzw., je nach Ausprägung, den Fahrer vor Verstößen zu warnen.

2.13.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.13.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Die korrekte Funktionalität der Funktion wurde im gesamten Versuchszeitraum festgestellt. Ausgenommen sind selbstverständlich Zeiten der Nichtverfügbarkeit des sim^{TD}-Systems, die nicht der Funktion zuzuschreiben waren. Die Log-Daten des Feldversuchs standen komplett zur Verfügung und konnten ausgewertet werden.

Bewertungsmaßstab:

> **Gut**: mehr als 90% der Verkehrszeichen werden rechtzeitig mit korrektem Inhalt dargestellt
>
> **Mittel**: 50% bis 90% der Verkehrszeichen werden rechtzeitig mit korrektem Inhalt dargestellt
>
> **Schlecht**: weniger als 50% der Verkehrszeichen werden rechtzeitig mit korrektem Inhalt dargestellt

Bemerkung: Definition der Schwellen in Anlehnung an bestehende Speed Limit Informations-Systeme.

Ergebnis des Feldversuchs:

Der Feldversuch hat insbes. das Problem der Qualität der Daten in der Datenbank und der Latenzzeit bei Wechselverkehrszeichen aufgezeigt.

Besondere Anmerkungen:

- Datenbank-/Kartenqualität ist kritisch
- Latenzzeit zwischen dargestelltem Wert auf Wechsel Verkehrszeichen (WVZ) und übertragenem Wert der IRS ist kritisch. Differenzen zwischen diesen beiden Werten werden vom Fahrer nicht verstanden. Heute verfügbare Systeme (Speed Limit Information) zeigen dem Fahrer den Wert an, den er auch sieht.

Bewertung: **mittel**, abhängig vom jeweiligen Streckenabschnitt unterschiedliche Werte

2.13.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die zeitliche Relevanz der erhaltenen Informationen wurde wie folgt festgestellt:

Bewertungsmaßstab:

Gut: Anzeige spätestens 8 sec vor Erreichen des Schildes in 90%, beruhend darauf, dass dann ein Abbau der Geschwindigkeit mit Schleppmoment bzw. sehr komfortabler Verzögerung von bis zu 20km/h möglich ist.

Mittel: Anzeige spätestens 5 sec vor Erreichen des Schildes in 90%

Schlecht: Anzeige später

Ergebnis des Feldversuchs:

die Funktion hat bzgl. ihres Zeitverhaltens die Anforderungen erfüllt und kann mit 92% als **gut** bezeichnet werden.

Bewertung: **gut**

2.13.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Beim Verkehrszeichenassistenten ist die zeitliche Relevanz die ausschlaggebende Größe, da diese inhärent den Bezug zur gefahrenen Geschwindigkeit herstellt.

Besondere Anmerkungen:

- Beim Verkehrszeichenassistenten ist die zeitliche Relevanz essentiell, da diese direkt die Fahrzeuggeschwindigkeit beinhaltet.
- Die örtliche Relevanz wird deshalb nicht ausgewertet.

Kenngröße „Latenzzeit“

Die Latenzzeit der Funktion lässt sich als Latenz zwischen Matching und HMI Auftrag ermitteln.

Bewertungsmaßstab:

Gut: Zeit zwischen Matching und Anzeige im HMI kleiner 4 sec.

Mittel: Zeit in 10% der Fälle größer 4 sec.

Schlecht: Zeit in 50% der Fälle größer 4 sec.

Ergebnis des Feldversuchs:

die Latenzzeit wurde eingehalten und betrug im Mittel 3,7 sec, die Funktion kann in diesem Zusammenhang als **gut** bewertet werden.

Bewertung: **gut**

2.13.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- eingeschränkt

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Datenqualität (aus Datenbank), Latenz zwischen WVZ und IRS

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- beeinflusst durch die Architektur der sim^{TD}-IRS

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- beeinflusst durch die Architektur der sim^{TD}-IRS

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- hybride Kommunikationsarchitektur gut geeignet: lernende Karten für statische VZ über Mobilfunk, WVZ über ITS G5, sim^{TD}-Architektur geeignet, jedoch Kommunikationsarchitektur aufgrund Latenzen noch zu verbessern.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- IRS Reichweite beeinflusst v.a. den Effizienzanteil der Funktion Verkehrszeichenassistent

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- IRS vor allem für WVZ relevant

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- gering. Spurgenaue Positionierung v.a. im Bereich von Ausfahrten oder dem seltenen Fall spurspezifischer Tempolimits hilfreich

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- nicht relevant

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Gefahr des HMI Overflow, Anzeigezeit und –menge muss sehr genau betrachtet werden

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- keine über die üblichen Anforderungen einer Kommunikationsfunktion hinausgehende

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Standardisierung der IRS-Botschaften erforderlich, offen, aktuell in Umsetzung bei ISO/CEN

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Kamera (heutige Serientechnologie)

2.14 Funktion F_2.2.2 Ampelphasenassistent

2.14.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Der Ampelphasen Assistent/Warnung ist eine Funktion zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses im Bereich von lichtsignalgeregelten Kreuzungen sowie zur Erhöhung der Sicherheit und des Komforts des Fahrers.

Der Fahrer erhält Informationen über die aktuelle Ampelphase, wie z. B. die optimale Geschwindigkeit für eine Grüne Welle oder die verbleibende Restrotzeit.

Mit Hilfe der Information über die LSA-Phasen lässt sich z. B. durch Fahrerinformation über „Grüne Wellen“ der Verkehrsfluss vergleichmäßigen oder durch rechtzeitige Information über eine kommende Rotphase das Risiko für Rotlichtüberfahren vermindern.

2.14.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.14.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

- Nicht auswertbar, da lediglich 4,7% der Daten in der Funktion empfangen wurden. (Basierend auf Daten von der Lichtsignalanlage (SPaT-Nachrichten))

2.14.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, zu einem angemessenen Zeitpunkt erhalten worden sind.

- Nicht auswertbar, da lediglich 4,7% der Daten in der Funktion empfangen wurden.
- Kann durch die Kenngröße „Reaktionszeit“ abgebildet werden. Siehe „Reaktionszeit“.

2.14.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, örtlich gesehen angemessen sind.

- Nicht auswertbar, da lediglich 4,7% der Daten in der Funktion empfangen wurden.
- Nicht relevant, da Anzeige von lokal ausgesendeten Daten abhängt. Eine Bewertung der „Spurgenauigkeit“ kann durch F222 nicht erfolgen, da die Funktion auf der besseren Ortung aufbaut.

2.14.2.4 Kenngröße „Verlustrate“

Die Verlustrate stellt den Anteil der verloren Nachrichten an der Gesamtzahl der max. empfangbaren Nachrichten dar (IRS + IVS).

Bewertungsmaßstab:

Gut: > 90% konstante Kommunikation

notwendig um Wechsel rechtzeitig mitzubekommen.

Mittel: 90% <= x <= 50% der Empfang jeder zweiten Nachricht ermöglicht bei 1Hz-Betrieb immer noch eine Funktion im Fahrzeug ohne Flimmern, Änderung kommen erst 1s später an

Schlecht: < 50%

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist schlecht, da lediglich 4,7% der ausgesendeten SPaT-Nachrichten empfangen wurden.

Besondere Anmerkungen:

Technische Probleme und Phänomene aufgetreten (Hop-Sturm, LDM-Nachrichtenverlust, etc.)

2.14.2.5 Reaktionszeit

Die Reaktionszeit beschreibt die Zeit zwischen Erzeugung eine SPaT Nachricht in der IRS und der daraus resultierenden Anzeige im Fahrzeug. Sie beschreibt also die Zeit, die das System benötigt um auf Änderungen zu reagieren und diese dem Fahrer mitzuteilen.

Bewertungsmaßstab:

Gut: <1s Ampel ist keine Takt weiter

Mittel: 1 <= x <= 3 Ampel kann bereits Umschaltung angestoßen haben, Wechsel kann aber noch nicht abgeschlossen sein (3s)

Schlecht: >3s

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Klassifizierung ist mittel, da 80% der Fälle unter 2,5s Reaktionszeit liegen

Besondere Anmerkungen:

Gemessen von SPaT-Generierung an der Ampel bis Präsentationsauftrag im Fahrzeug

2.14.3 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Die Funktion war durch technische Randbedingungen (vgl. Besondere Anmerkungen „Verlustrate“) stark eingeschränkt nutzbar. Hat bei Datenempfang aber wie erwartet funktioniert.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Die Probleme sind sim^{TD}-spezifisch, da für eine Serienumsetzung SPaT-Stürme, Lastprobleme in der Hardware und Datenlücken bei der Nachrichtenweiterleitung ausgeschlossen werden.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- Siehe Frage vorher.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Kommunikation war aufgrund spezifischer sim^{TD}-Probleme stark eingeschränkt, zeigt aber keine grundsätzlichen Probleme für den Einsatz bei dieser Funktion.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- sim^{TD}-spezifisches Hop-Problem aufgetreten (zu häufiges Weiter- und Wiederweiterleiten von Nachrichten bis zur Überlast).

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Für Funktion müssen Fahrzeug und Ampel ausgerüstet sein.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Eine spurgenaue Ortung würde die Funktion dahingehend verbessern, dass das Blinker-Signal nichtmehr zwingend notwindig war, um die Fahrspur zu bestimmen..

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Nein. Hop-Sturm im Dezember (Haupterprobungsphase der Funktion).

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Nicht bewertbar.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die Üblichen hinausgehend.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Drafts von SPAT und TOPO-Messages in Anlehnung an SAE und CEN-Arbeiten.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Nein. Ggf. die spurgenaue Positionierung.

2.15 Funktion F_2.2.3 Elektronisches Bremslicht

2.15.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion F_2.2.3 – „Elektronisches Bremslicht“ warnt den Fahrer vor vorausfahrenden Fahrzeugen, die eine unerwartet starke Bremsung durchführen. Der Empfänger ist frühzeitig gewarnt und reduziert seine Geschwindigkeit noch bevor er das bremsende Fahrzeug, zum Beispiel hinter einer Kurve oder einem anderen Fahrzeug, überhaupt sehen kann. Der positive Einfluss auf die Längsführung ist von der Zuverlässigkeit der Funktion und der zeitnahen Warnung des Fahrers abhängig.

Der technische Versuch adressiert diese Aspekte und es wurden in der Auswertung die folgenden Kenngrößen analysiert:

- K_223_Latenzzeit: Zeit zwischen Erkennung der Bremsung und der Ausgabe der Warnung an den Fahrer in Abhängigkeit des Meldungstyps
- K_223_Korrekte_Warnstufe: Korrektheit der Warnstufe in Abhängigkeit von Entfernung und Geschwindigkeitsdifferenz, aggregiert zur Time-to-Collision (TTC)

- K_223_Notbremserkennung: Korrektheit der Erkennung einer starken Bremsung in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Verzögerung

2.15.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.15.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

Im Fall der Funktion F_2.2.3 beschreibt diese Kenngröße die Korrektheit der Warnstufe in Abhängigkeit von Entfernung und Geschwindigkeitsdifferenz, aggregiert zur Time-to-Collision (TTC).

Bewertungsmaßstab:

Gut:	95 - 100%
Mittel:	80 - 95%
Schlecht:	< 80%

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Auswertung der Funktion F_2.2.3 zeigt, dass keine fehlerhaften Warnungen bzw. Informationen an die Fahrer ausgegeben wurden.

Für alle empfangenen Meldungen wurde die richtige Anzeigestufe ermittelt, d. h. 100% korrekte Funktionalität.

Daraus folgt eine Klassifizierung als „gut“.

Besondere Anmerkungen:

- Von den 6 durchgeführten Durchläufen zum Drehbuch 97 konnten 3 relevante Durchläufe am 04.07 und 18.07.2012 zur Validierung genutzt werden. Nicht von allen an den Durchläufen beteiligten Fahrzeugen wurden Logdaten aufgezeichnet, oder diese konnten nicht zur Verfügung gestellt werden. Dies deckt sich mit den Kommentaren der Operatoren im WEB-ScE, dass Fahrzeuge zwar geplant aber aus technischen Gründen nicht am Versuch teilgenommen haben.
- Am 04.07.12 waren 29 Fahrzeuge geplant von denen zwischen 11 und 15 ausfielen (36-52 %).
- Am 18.07.12 waren 34 Fahrzeuge geplant von denen 5 ausfielen (14 %).
- Es lässt sich anhand der Daten im WEB-ScE nicht eindeutig klären, welche Fahrzeuge in welcher Aufstellung oder Gruppierung und zu welchem Zeitpunkt innerhalb des Durchlaufs an einem Versuch teilgenommen haben. Auch die bereitgestellten Tagesberichte sind hier nicht eindeutig, so sagt der Bericht, dass das Drehbuch am 18.07.2012 nicht gefahren wurde, obwohl die Logdaten eine eindeutige Aussage liefern. Die Analyse konnte nicht für einzelne Durchläufe aufbereitet werden, sondern wurde auf den Tag, an dem die Durchläufe stattfanden, bezogen.
- Bei der Analyse der Datensätze der Tage, an denen der Versuch stattfand, konnte jedoch festgestellt werden, dass auch außerhalb des Testgeländes, auf dem der Versuch stattfand, Bremsverzögerungen auftraten, die die Funktion F_2.2.3 regelkonform ausgelöst haben. Ebenso wurden diese Meldungen in nachfolgenden

sim^{TD}-Fahrzeugen regelkonform empfangen und das HMI aktiviert. Da die errechneten Durchschnittswerte für Bremsungen auf und außerhalb des Testgeländes in Stichproben ähnlich waren, wurden alle Ereignisse als Datengrundlage zur Auswertung herangezogen, wodurch sich eine größere Zahl an Durchläufen und Ereignissen ergab, als geplant.

Bewertung: **gut**

2.15.2.2 Kenngröße „Latenzzeit“

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines Übertragungsprozesses (z. B. das Übertragen einer CAM). Sie stellt also eine Verzögerungszeit dar.

Im Fall der Funktion F_2.2.3 beschreibt diese Kenngröße die Zeit zwischen Erkennung der Bremsung und der Ausgabe der Warnung an den Fahrer in Abhängigkeit des Meldungstyps

Bewertungsmaßstab:

Gut:	Latenzzeit < 200ms
Mittel:	200ms <= Latenzzeit < 350ms
Schlecht:	Latenzzeit >= 350ms

Ergebnis des Feldversuchs:

Latenz ohne Filter:

CAM: 336,61ms, DENM: 191,96ms

Latenz mit Filter:

CAM: 255,30ms, DENM: 191,96ms

Daraus folgt eine Klassifizierung für CAM als „mittel“ und für DENM als „gut“.

Besondere Anmerkungen:

- Für sicherheitskritische Anwendungen sollen die Informationen von anderen Fahrzeugen möglichst schnell verfügbar sein. Ein typisches Zeitintervall, welches auch von anderen Fahrzeugsensoren eingehalten wird, ist 100ms. Um die Unschärfe bei der Zeitmessung im sim^{TD}-System zu berücksichtigen, wurde der Maßstab auf 200ms erhöht, was für eine rechtzeitige Warnung des Fahrers vor plötzlichen Bremsungen ausreicht.
- Filter: Nach einer ersten Analyse wurde festgestellt, dass eine geringe Anzahl an Ausreißern das Ergebnis der CAM-Meldungen erheblich beeinflusst. Filtert man diese Meldungen mit einer Verzögerung von über 1000ms heraus, verringert dies die durchschnittliche Latenz bei den CAMs deutlich.
- Die Bewertung der Ergebnisse bleibt unabhängig vom Filter gleich.

Bewertung: CAM - **mittel,** DENM - **gut**

2.15.3 Weitere TP4-Kenngrößen

2.15.3.1 Kenngröße „Notbremserkennung“

Die Kenngröße gibt die Erkennung einer starken Bremsung in einem auslösenden/ sendenden Fahrzeug in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Verzögerung an.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	95 - 100%
Mittel:	80 - 95%
Schlecht:	< 80%

Ergebnis des Feldversuchs:

Bei der Analyse der aktuellen Fahrparameter zum Zeitpunkt der Bremsung konnten keine fehlerhaften Auslösungen festgestellt werden.

Daraus folgt eine Klassifizierung als „gut“.

Bewertung: **gut**

2.15.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die in sim^{TD} gemessenen Latenzzeiten erlauben einen zuverlässigen Betrieb der Funktion F_2.2.3 „Elektronisches Bremslicht“. Unterschiede gibt es bezüglich der Nachrichtenklassen, mit der eine Notbremsnachricht verschickt wird: Für CAM-Nachrichten ist die Latenzzeit höher als für DENM-Nachrichten. Die Latenzzeit für DENM ist durchweg gut, für CAM noch akzeptabel. Systemoptimierungen des Kommunikationssystems, aber auch innerhalb der Applikation F_2.2.3, lassen eine weitere Verbesserung auch für CAM erwarten.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Für die Funktion F_2.2.3 „Elektronisches Bremslicht“ müssen sowohl Sender als auch Empfänger mit einer IVS ausgestattet sein. Effekte auf den Verkehr unter Berücksichtigung nicht ausgestatteter Fahrzeuge sind nicht im Fokus der technischen Auswertung.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Die Qualität der Fahrzeugpositionierung ist für die Funktion F_2.2.3 ausreichend. In den Funktionsalgorithmus geht nur die relative Position zweier Fahrzeuge ein, der absolute Fehler der Positionierung spielt bei in sim^{TD} gleicher Hardware also eher eine untergeordnete Rolle. Eine spurgenaue Positionierung würde die Funktion weiter verbessern, da gezielt nur vor bremsenden Fahrzeugen in der eigenen Spur gewarnt werden kann.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Es konnte festgestellt werden, dass die nachfolgenden Fahrzeuge die DENM auch als Multi-Hop-Nachricht empfangen haben. Die dadurch höhere Reichweite der Kommunikation ist positiv, andererseits werden Warnungen erst bei Abständen unter 300 Metern erzeugt, die normalerweise mit guter Empfangsreichweite abgedeckt werden können.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die für die Anzeige der Warnung relevante Time-to-Collison wurde nach ersten Erfahrungen mit dem System an die Latenzen des Gesamtsystems angepasst, sodass die Warnungen mit dem sim^{TD}-HMI rechtzeitig angezeigt wurden.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Die Funktion F_2.2.3 stellt die gleichen Anforderungen an Security und Datenschutz wie alle kommunikationsbasierten Funktionen, die Fahrzeugposition und Fahrparameter versenden. Die Funktion F_2.2.3 stellt darüber hinaus keine speziellen Anforderungen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)?* Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?

- ETSI G5: CAM, DENM; weitere Verbesserung durch Positionsketten, wie bereits in neuester Version DENM von ETSI berücksichtigt.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine, da die Funktion über ein Ereignis außerhalb des Sichtbereichs sowohl des Fahrers als auch der Sensoren informiert.

2.16 Funktion F_2.2.4 Kreuzungsquerverkehrsassistent

2.16.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion informiert den eigenen Fahrer an Kreuzungen und Einmündungen über bevorrechtigte querende Fahrzeuge. Falls im Vorfeld kein ausreichendes Verzögern oder Anhalten des eigenen Fahrers erkannt wird, wird dieser gewarnt.

Dazu empfangen ausgerüstete Fahrzeuge während der Anfahrt an eine Kreuzung in ausreichend dichtem Zeittakt die CAM-Nachrichten (Positions- und Bewegungsdaten) der anderen sich annähernden ausgerüsteten Fahrzeuge. Unter Verwendung von Informationen über die Kreuzungsgeometrie, welche ebenfalls per Funk oder separat verfügbar gemacht werden können, werden alle Annäherungen überwacht. Informationen bzw. Warnungen an den eigenen Fahrer werden situationsgerecht zum geeigneten Zeitpunkt ausgegeben.

2.16.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.16.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Als Kenngröße wird das Verhältnis des mit ordnungsgemäßer arbeitender Funktion gefahrenen Zeitraums zum insgesamt mit ordnungsgemäß funktionierendem sim^{TD}-System und aktivierter Funktion gefahrenen Zeitraum definiert.

Für die Auswertung wurden alle Versuchsdurchführungen des für diese Funktion gefahrenen Drehbuchs betrachtet5.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	80 - 100%	Funktion in weniger als 1 von 5 Kreuzungsüberfahrten beeinträchtigt
Mittel:	60 - 80%	Funktion in 1-2 von 5 Kreuzungsüberfahrten beeinträchtigt
Schlecht:	0-60%	Funktion in über 2 von 5 Kreuzungsüberfahrten beeinträchtigt

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Funktion F224 Kreuzungs-Querverkehrsassistent (kurz KQA) hat technisch zu **100%** korrekt funktioniert.

Alle den Voraussetzungen genügenden Überfahrten wurden auf korrekte Funktion überprüft und keine Hinweise auf Zeiträume mit inkorrekter Funktionalität gefunden.

Dementsprechend ist das Ergebnis „**gut**“.

---

[5] Drehbuch 169: Durchfahrt eines Kreuzungs-Parcours auf dem sim^{TD}-Testgelände mit zahlreichen Fahrzeug-Begegnungen an Kreuzungen in unterschiedlichen Konstellationen.

Besondere Anmerkungen:

Voraussetzung für die Auswertung war entsprechend obiger Definition, dass auch das sim^{TD}-System technisch störungsfrei funktionierte und die benötigten Signale (u.a. Vorfahrtsregelung, Fahrzeugsignale inkl. Blinker) senderseitig korrekt bereitgesellt wurden[6]. Diese Voraussetzung war in ca. **31%** aller ausgewerteten Fahrten gegeben.

Für die Auswertung wurden alle elf mit F224/KQA durchgeführten Versuchsdurchläufe mit insgesamt ca. 12.000 Kreuzungsüberquerungen ausgewertet. Daraus wurden 2.738 gültige Kreuzungsüberfahrten ermittelt, in denen die Voraussetzungen gegeben waren[7].

Die Verfügbarkeit des sim^{TD}-Systems während der Versuche ist mit 31% als mittel bis schlecht einzustufen. Die wesentlichen Ursachen dafür wurden im Laufe der Versuche identifiziert. Sie sind in der mangelnden technischen Reife des sim^{TD}-Systems infolge des knappen Projektzeitplans begründet und werden bei Rollout eines produktiven Car2X-Systems voraussichtlich beseitigt sein. Für die Potenzialbewertung einer in der sim^{TD}-Umgebung evaluierten Car2X Assistenzfunktion sind sie daher nachrangig.

Unter Praxisbedingungen in realer Verkehrsumgebung ist mit einer geringeren Verfügbarkeit als unter den Bedingungen der sim^{TD}-Versuche auf dem sim^{TD}-Testgelände zu rechnen, etwa infolge von schlechteren Ortungsbedingungen durch reduzierte Himmelssicht, Teilverdeckungen und Beeinträchtigungen des Funkempfangs, Unvollständigkeit und Ungenauigkeiten der Kreuzungsgeometrien usw. . Auf der anderen Seite kann durch die absehbaren weiteren technische Fortschritte (z. B. Positionierung, s.u. Kap. 2.16.2.3

Besondere Anmerkungen

S. 84) und technische Maßnahmen im Kreuzungsbereich (Überbrückung von Sichthindernissen z. B. mittels „CAM-Repeater“) die Verfügbarkeit wieder wesentlich verbessert werden.

2.16.2.2 Kenngröße „Zeitliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen“

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, zu einem angemessenen Zeitpunkt erhalten worden sind. Für F224/KQA wurde daher geprüft, ob die Informationen spezifikationsgemäß rechtzeitig ausgegeben wurden.

Die Kenngröße bezeichnet somit den Anteil der spezifikationsgemäß rechtzeitig ausgegebenen Anzeigen an den insgesamt ausgegebenen Anzeigen.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	80 - 100%	Weniger als 1 von 5 Anzeigen erfolgen verspätet
Mittel:	60 - 80%	1-2 von 5 Anzeigen erfolgen verspätet
Schlecht:	< 60%	Mehr als 2 von 5 Anzeigen erfolgen verspätet

[6] Während der F224-Versuche aufgetretene Probleme des sim^{TD}-Systems bzw. einzelner Fahrzeugtypen und Komponenten sind in Tickets, dem HF22 –Auswerteprotokoll und den F224 Auswerte-Unterlagen dokumentiert.

[7] Es erfolgte sowohl eine automatisierte Auswertung als auch eine manuelle Auswertung in relevanten Einzelfällen mit „Replay“ der Funktion an Hand der sim^{TD}-Logdaten. Insbesondere wurde die spezifikationsgemäße Ausgabe aller Anzeigen und die Freiheit von Fehlanzeigen überprüft. Einzelheiten siehe Auswertekonzept.

Ergebnis des Feldversuchs:

Es konnte gezeigt werden, dass die **Informations-Stufe** in **99,5%** aller Fälle spezifikationsgemäß rechtzeitig ausgegeben wurde. Lediglich in 0,5% aller Fälle wurde die Information über querenden Verkehr verspätet ausgegeben, weil der querende Verkehr erst später erfasst wurde.

Warnungen wurden zu **100%** rechtzeitig ausgegeben. Für alle ausgewerteten Warnungen war sogar ein zeitlicher Vorlauf von mindestens 1,3s gegeben.
Dementsprechend ist das Ergebnis „**gut**".

Besondere Anmerkungen:

Die Ergebnisse wurden an Hand aller gültigen Kreuzungsüberfahrten ermittelt und dafür alle dabei erhaltenen 612 Info-Ausgaben und 101 Warnausgaben ausgewertet. Die zeitliche Relevanz der Informationen war aus technischer Entwicklungs-Sicht der Funktion sehr gut[8]. Der Querverkehr wurde trotz auf dem Testgelände teilweise vorhandener Verdeckungen mit hoher Zuverlässigkeit rechtzeitig detektiert. Praxis-Erfahrungen aus dem Innenstadt-Bereich liegen aus sim^{TD} nicht vor.

2.16.2.3 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Die Kenngröße gibt an, ob die Informationen, die ein Verkehrsteilnehmer erhält, örtlich gesehen angemessen sind.

Die Relevanz der Information bei KQA ist aus Fahrersicht überwiegend zeitlich und nicht örtlich zu betrachten, da der Fahrer zeitlich rechtzeitig reagieren und bei Bedarf anhalten können muss.

Für den spezifikationsgemäßen zeitlichen Ablauf der Funktion ist jedoch die erzielte Ortungsgenauigkeit ein maßgeblicher Einflussfaktor. Zum einen ist sie für die Güte einer möglichen Spurzuordnung maßgeblich. Zum anderen ist sie bei langsamer Annäherung im Nahbereich einer Halte- oder Sichtlinie auch longitudinal für die Vermeidung etwaiger unnötiger Falschwarnungen bzw. die erzielte Anzeigequote berechtigter Warnungen relevant.

Daher werden unter der Kenngrößen-Abschnitt „Örtliche Relevanz" die Ergebnisse zur beobachteten Ortungsgenauigkeit zusammengefasst.

Bewertungsmaßstab qualitativ:

Gut:	geringes Verbesserungspotenzial
Mittel:	mittleres Verbesserungspotenzial
Schlecht:	großes Verbesserungspotenzial der Funktion durch Verbesserung der Positionsgenauigkeit.

Hinweis: Die Abschätzung des Verbesserungspotenzials der Funktion abhängig von der Ortungsgenauigkeit kann aus folgenden Gründen in sim^{TD} nur als subjektive Experteneinschätzung erfolgen:

[8] Vergleiche aber Absatz 2.16.2.5 zu den Einschränkungen durch erhöhtes Alter von CAM-Nachrichten.

1. In sim^{TD} wurde jede Funktion nur in einer Auslegung untersucht. Daher konnte die Ortungsgenauigkeit nicht als unabhängige Variable systematisch variiert werden. Die Kontrolle der Ortungsgenauigkeit würde ferner ein teures Referenzmesssystem in allen beteiligten Fahrzeugen erfordern
2. Infolge technischer und organisatorischer Probleme der sim^{TD}-Fahrerbefragung konnten in sim^{TD} keine belastbaren Maße zur Funktionsqualität aus Fahrersicht (z. B. Anteile von Fehl- und Falschwarnungen) erhoben werden.

Ergebnis des Feldversuchs:

Die örtliche Relevanz wird als „**mittel**“ bis „**gut**“ eingeschätzt.

Verbesserungen der Positionsgenauigkeit lassen noch kleinere bis mittlere Verbesserungen der zeitlichen Genauigkeit und situativen Treffsicherheit der Funktion erwarten.

Hinweis: Für die Akzeptanz des Fahrers können auch kleinere bis mittlere Verbesserungen eine erhebliche Rolle spielen.

Besondere Anmerkungen:

In **98,5% der Überfahrten** lag das Maximum der Fehlerellipse und damit die von der sim^{TD}-Komponente „Bessere Ortung“ geschätzte örtliche Ungenauigkeit **kleiner gleich 6m**. Dieser Wert entspricht jedoch nicht notwendigerweise der tatsächlichen mittleren örtlichen Ungenauigkeit, da die geschätzte Ungenauigkeit auch wesentlich von der im jeweiligen Fahrzeug verwendeten Parametrierung der „Besseren Ortung“ abhängt, welche wiederum der Güte der im jeweiligen Fahrzeug eingesetzten Sensorik entsprechen sollte. Eine im Mittel zutreffende Schätzung der Ungenauigkeit bedarf entsprechender Kalibrierung. Die in sim^{TD} eingesetzten Fahrzeuge waren in dieser Hinsicht nicht miteinander vergleichbar.

Die Ortungsgenauigkeit mit dem sim^{TD}-System reichte für eine wirksame KQA-Funktion gut aus. In sim^{TD} wurden für die Ortung Korrektursignale verwendet (DGPS)[9]. Diese sind sehr hilfreich aber nicht zwingend erforderlich. Auch bei schlechterer Ortungsgenauigkeit und dementsprechend zeitlich unschärferen Funktions-Anzeigen kann zur Unfallvermeidung beigetragen werden. Ferner würde mit aktueller Positionierungstechnologie Stand 2013 die Positionierung gegenüber dem sim^{TD}-System bei gleichen oder geringeren Kosten weiter verbessert. Es ist zu erwarten, dass sich die Kosten für Korrektursignale bei steigenden Ausrüstungsgraden und günstigeren Übertragungskosten in Zukunft wesentlich reduzieren werden.

Künftige Verbesserungen der Positionierungstechnologie (vgl. z. B. Galileo, preiswerte leistungsfähige Chips, im Chip eng gekoppelte Positionsauswertung, Kostensynergien mit Mobilgeräten) können Ortungsgenauigkeit und Leistungsfähigkeit von KQA-Systemen ebenso weiter verbessern wie absehbare Verbesserungen der Kartierungsmethoden (z. B. selbstlernende Karten).

Diese Entwicklungen werden entsprechend verbesserte Funktionalität nach sich ziehen. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass die im Mittel tatsächlich erzielte Positionsgenauigkeit im Rahmen eines Car2X-Systems möglichst gut an andere Fahrzeuge kommuniziert wird. Entsprechender Standardisierungsbedarf zu minimalen Leistungsanforderungen („minimum performance requirements“) und Prüfprozeduren zur Ermittlung der Positionsgenauigkeit wird aus sim^{TD} heraus in die laufenden und künftigen Standardisierungsaktivitäten eingebracht.

[9] Unser Dank geht an AXIO-NET für die kostenfreie Unterstützung von sim^{TD} durch die Bereitstellung des deutschlandweiten Dienstes ASCOS.

2.16.2.4 Kenngröße „Latenzzeit“

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines Übertragungsprozesses (z. B. das Übertragen einer CAM). Sie stellt also eine Verzögerungszeit dar.

Die für die Güte der Funktion F224/KQA relevante Latenzzeit ist die gesamte Latenzzeit („Gesamtlatenz“), d. h. die Zeit von der Gültigkeit eines Fahrzeugzustandes eines sendenden Fremdfahrzeugs (Position, Geschwindigkeit usw.) bis zur Verfügbarkeit dieses Zustandes in der Funktion des empfangenden Ego-Fahrzeugs. Ein maßgeblicher Teil dieser Gesamtlatenz ist die „Übertragungslatenz“ von der Übergabe des Fahrzeugzustandes an das sendende Car2X-System bis zum Erhalt im empfangenden Car2X-System.

Latenzzeiten durch Kommunikation und Gesamtsystem wurden für die Funktion F224/KQA nicht ausgewertet.

Die in sim^{TD} verwendete Implementierung der Funktion selbst wies eine Latenzzeit von **bis zu 100ms** auf (Zykluszeit). Dies entsprach der kürzesten auf der sim^{TD}-AU („application unit“) verwendbaren Zykluszeit.

Zusätzliche sender- und systemseitige Latenzen außerhalb der Funktion kommen dazu und addieren sich zur Gesamtlatenz. Wesentlich ist die sogenannte CAM-Latenz zwischen gesendeten und empfangenen CAM-Nachrichten.

CAM-Latenz und Gesamtlatenz wurde für die Funktion KQA nicht ausgewertet (sondern innerhalb der sim^{TD}-Kommunikationsversuche).

Besondere Anmerkungen:

Wünschenswert ist idealerweise eine Gesamtlatenz nicht über 100-200ms. Sie ermöglicht eine Bereitstellung von veränderter Zustandsinformation und darauf aufsetzender Anzeigen eines Assistenzsystems noch innerhalb der menschlichen Reaktionszeit auf die vom Menschen visuell erfassten Informationen. Dadurch wird ein „Hinterherhinken“ der Assistenz-Anzeigen vermieden, welches ihren Nutzen reduzieren würde.

Im sim^{TD}-System wurden infolge technischer Störungen häufig teilweise erheblich erhöhte Latenzzeiten festgestellt

Kreuzungsüberfahrten, bei denen infolge von Systemstörungen die Latenzen zwischen dem Senden und dem Empfangen von CAM-Nachrichten über 1,5s betrugen, wurden nicht als gültige Kreuzungsüberfahrt für die Auswertung herangezogen.

2.16.2.5 Kenngröße „Alter von empfangenen CAMs“

Diese Kenngröße umfasst die Zeitdifferenz zwischen aktueller Zeit beim erstmaligen Empfang einer CAM-Nachricht in der Funktion und dem Zeitpunkt im sendenden Fahrzeug auf den sich die CAM-Nachricht enthaltenen Sendezeitstempel.

Für F224/KQA wurde pro Kreuzungsanfahrt das mittlere Alter aller empfangenen CAM-Nachrichten ermittelt.

Es wurde für jede Kreuzungsanfahrt das mittlere Alter aller während dieser Kreuzungsanfahrt empfangenen CAM-Nachrichten ermittelt:

- Unter günstigen Umständen, mutmaßlich während der Kreuzungsanfahrten welche keinen Störungen des sim^{TD}-Systems unterlagen[10], lag das mittlere Alter der empfangenen CAM-Nachrichten während einer Kreuzungsanfahrt typischerweise im Bereich von **100-300 ms**
- Es war auch an hoher Anteil von Kreuzungsüberfahrten mit höherem mittleren Alter der CAM-Nachrichten von **300-1500 ms** zu verzeichnen (je nach Versuchsdurchführung im Bereich 5-70%)
- Oberhalb eines Wertes von **1500 ms** wurde eine Kreuzungsüberfahrt als nicht gültig betrachtet. Solche hohen Werte können nur als Folge von Störungen des sim^{TD}-Systems auftreten.

Die Werte hängen offensichtlich auch systematisch von den jeweiligen Versuchsbedingungen ab und sind dementsprechend nicht normalverteilt[11].

Das Alter der CAMs geht in die Gesamtlatenz ein. Hohe Latenz beeinträchtigt die Funktionsqualität (s.o.). Daher sollten entsprechend Absatz 2.16.2.4 „gute“ Werte besser als 200ms sein. Es gibt Versuchsdurchführungen, in welchen solche guten Werte auch erreicht werden. Insgesamt lag sim^{TD}-System das Alter empfangener CAM-Nachrichten aber häufig erheblich darüber, obwohl mit nicht mehr als 15-20 fahrenden Fahrzeugen die verfügbare Kanalbandbreite bei weitem nicht ausgeschöpft war. Daher ist dieser Wert höchstens mit **„mittel“** mit häufigen Ausreißern Richtung „**schlecht**“ zu bewerten.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass mit einem serientauglichen System „gute“ Werte erreichbar sind.

2.16.3 Weitere Kenngrößen und zusammenfassende Bewertung

Es wurden eine Reihe zusätzlicher funktionsspezifischer Messgrößen erfasst, welche teilweise ebenfalls ausgewertet wurden bzw. noch weiter ausgewertet werden können.

Stand 25.4.2013 konnte erfolgreich nachgewiesen werden, dass auch diese vergleichsweise „fortgeschrittene“ Funktion bereits heute mit **hoher Verfügbarkeit** darstellbar ist, einen hohem Wirkungsgrad aufweisen kann und somit geeignet ist, die Verkehrssicherheit nachhaltig zu verbessern.

Eine **spurgenaue Positionierung** ist dafür **nicht** zwingend erforderlich. Absehbare Fortschritte der Positionierung können den Wirkungsgrad weiter verbessern.

Der tatsächlich in der Praxis ankommende Wirkungsgrad ist naturgemäß von weiteren **Einflussfaktoren** abhängig. Dazu zählen eine gute Verfügbarkeit von Kreuzungsinformationen, bei Bedarf an Problemkreuzungen mit Sichtverdeckungen zusätzliche IRS-Unterstützung („CAM-Repeater“), ein optimiertes Anzeige- und Systemkonzept, weiter verbesserte Akzeptanz unter weiterer Vermeidung unnötiger Anzeigen, weitere Fortschritte der Positionierung, optionale zusätzliche Kombination mit Onboard-Sensorik, und die optimale Kombination mit weiteren Assistenzsystemen im Kreuzungsbereich.

Die CAM-**Wiederholfrequenz** gemäß sim^{TD}-Spezifikation war ausreichend, um eine zuverlässige Funktionalität der Funktion zu gewährleisten. Theoretische Überlegungen und praktische Untersuchungen außerhalb von sim^{TD} zeigen jedoch, dass die Funktionsqualität

[10] Typische Störungen waren z. B. hohe CPU-Last auf CCU oder AU oder hohe Kommunikationslast z. B. durch spezifikationswidrigen Nachrichten-Überschuss im Übertragungskanal(„DENM-Storms“).

[11] Daher wird kein Mittelwert bzw. keine Standardabweichung angegeben.

mit höherer CAM-Wiederholfrequenz steigt und mit niedriger Frequenz sinkt. Die Steuerung der CAM-Senderate in sim^{TD} und im gegenwärtigen ETSI-Draft wird als nicht optimal eingeschätzt. Wünschenswert wäre, dass Bewegungsänderungen sehr schnell mit einer Latenz deutlich unterhalb der menschlichen Reaktionszeit von 200ms per CAM an die Umgebung kommuniziert werden und die verfügbare Car2X-Bandbreite effizienter genutzt wird.

Das **Ergebnis des Feldversuchs** wird aus Funktionssicht als „mittel“ eingeschätzt. Die Ergebnisse sind abweichend von der Ausgangsplanung auf das Testgelände beschränkt[12]. Die Ausbeute an verwertbaren objektiven und subjektiven Daten (Fahrerbefragung) aus den Fahrversuchen ist reduziert.

Dennoch konnten die Realisierbarkeit und die Wirksamkeit der Funktion gut nachgewiesen werden. Ferner können aus den Versuchsdaten noch weitere Hinweise für die Funktionsauslegung gewonnen werden.

2.16.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja.
  Korrekte Funktion Kreuzungs-Querverkehrsassistenz seit Versuchsbeginn.
  Anpassungen bezüglich sim^{TD}-System und Testgelände-Betrieb bis Anfang September 2012 erfolgt (Behebung Kreuzbeeinflussungen Testgelände-Betrieb, unzureichende Fahrzeug- und Logdaten, vgl. Berichte und Tickets).

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …).*

- Einzelne Versuchsdurchgänge und einzelne Fahrten waren infolge von Störungen des sim^{TD}-Systems nicht auswertbar. Abhilfe über höhere Reife des Gesamtsystems und größere Testtiefe erreichbar.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Probleme waren sim^{TD}-spezifisch.

- *Die in sim^{TD} beobachteten Probleme werden so in der Serie nicht auftreten, weil sie* durch sim^{TD}-spezifische Probleme (u.a. knapper Zeitplan und unzureichenden Testumfang, Komponentenabhängigkeiten im Kooperationsprojekt) bedingt waren.

[12] Die Funktionsevaluierung im Versuchsgebiet war nicht möglich, da seitens der Stadt Frankfurt dafür keine geeigneten Strecken zur Verfügung gestellt werden konnten.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja. Es wurde G5 (5,9 GHz, 802.11p) verwendet. Aus aktueller Sicht die verfügbare, ausreichend schnelle und herstellerübergreifend für diese Funktion nutzbare Technologie.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die Kommunikationsparameter in sim^{TD} waren ausreichend für gute Funktionalität unter den sim^{TD}-Bedingungen. Verbesserungen der Kommunikationsparameter, insbesondere eine verbesserte Kontrolle der CAM-Frequenz und die zuverlässige Gewährleistung kurzer Latenzen, können jedoch weiter zur Funktionsqualität beitragen (zeitnahe, situationsgerechte, auf 1/10 s genaue Anzeigen).

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Beide auf eine Kreuzung zufahrenden Fahrzeuge müssen mit IVS ausgerüstet sein, daher quadratischer Zusammenhang zwischen IVS-Ausstattungsrate und gesamtem Sicherheitsnutzen. Grundfunktionalität ist von IRS-Ausstattungsrate unabhängig. Auf Kreuzungen mit Verdeckungen zwischen den Zufahrten kann jedoch ein in die IRS integrierter „CAM-Repeater“ (Wiederholung von aus den Kreuzungsanfahrten eintreffenden CAM-Nachrichten zur Überbrückung von Funkabschattungen) die lokale effektive Reichweite verbessern und so die Kreuzungssicherheit gezielt verbessern (z. B. an Unfallschwerpunkten).

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Ja. Spurgenaue Ortung unterstützt die präzise zeitliche Steuerung der Anzeigen und ermöglicht eine noch bessere Vermeidung unnötiger Anzeigen.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Von Funktion nicht benutzt.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine funktionsspezifischen Anforderungen. Die Funktionsimplementierung wird erleichtert bzw. die Funktionsgüte verbessert, wenn während der Kreuzungsanfahrt in der Monitoring-Phase der Funktion keine Pseudonymwechsel stattfinden. Dies gilt insbesondere bei weniger genauer Positionierung (z. B. schlechter als 5m) und geringerer CAM-Frequenz (z. B. 1 Hz oder geringer).

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- simTD / ETSI / DriveC2X Drafts für CAM, MAP (Kreuzungstopologien) und SPAT (Ampelphasennachrichten, Anwesenheit von Lichtsignalanlagen).

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Mögliche Integration von verfügbarer Abstandssensorik und bildgebender Sensorik.

2.17 Funktion F_3.1.1 Internetbasierte Informationsdienste

2.17.1 Ziele und Aufgaben der Funktion

Die Funktion stellt ausgewählte verkehrsrelevante Informationen, die bisher vorzugsweise im Internet verfügbar sind, über eine internetbasierte Verbindung im Fahrzeug zur Verfügung. Dabei werden aktuelle verkehrsrelevante Informationen kurzfristig und nach Bedarf des Fahrers bereitgestellt. Die Informationen zur Verkehrslage und zu Verkehrsereignissen sowie die Standbilder der Verkehrswebkameras werden im Folgenden als Verkehrsinformationen zusammengefasst.

Alle Verkehrsinformationen werden auf Anfrage an das Fahrzeug übertragen. Der Fahrer hat daraufhin die Möglichkeit seine Route der Verkehrslage anzupassen und seine Entscheidung durch Informationen zu Verkehrsereignissen und Verkehrswebkamerabildern beeinflussen zu lassen.

- Die Informationen über die Verkehrslage werden durch Einfärbung von Streckenabschnitten auf einer Karte am HMI angezeigt.
- Die Einfärbung orientiert sich dabei am Level of Service (freier Verkehr, zähl-fließender Verkehr, stockender Verkehr, Stau, …) bzw. den Fahrzeiten auf diesen Abschnitten.
- Die Verkehrslage kann auch als Sprachinformation bezogen auf Streckenabschnitte über das HMI ausgegeben werden.
- Die Informationen über Verkehrsereignisse und die Positionen von Verkehrswebkameras werden als Points of Interest (POI) in einer Karte am HMI angezeigt.
- Die Umfahrung eines durch ein Verkehrsereignis gestörten oder mit einer Verkehrswebkamera überwachten Abschnitts wird ermöglicht mit Hilfe der Navigationskomponente oder manuell durch den Nutzer.

2.17.2 Bewertung

Im sim^{TD}-Feldtest wurden für die Funktion F_3.1.1 zwei Versuche

- T_F_3.1.1_01_K0100
- T_F_3.1.1_02_K0100_K0200_K0301_K0400_K0500

definiert, die die Verfügbarkeit der Verkehrsereignisse und die Reaktionszeiten der Dienste ermitteln sollen. Die Versuche wurden mit dem Drehbuch 15 durchgeführt. Die folgende Tabelle zeigt die Versuchsdurchläufe, deren Daten der Aus- und Bewertung der Funktion F_1.1.1 verfügbar waren.

Tabelle 2.5: Die Versuchsdurchläufe

Durchlauf	Datum	Zeit geplant	Zeit ist	Anzahl Fzg.	Ausfall
#1160	2012-08-21	14:00 - 15:00	14:19 – 15:22[1)]	21	2
#1378	2012-09-20	09:00 – 10:00	09:12 – 10:40[1)]	113	13
#1547	2012-10-11	09:00 – 10:00	10:30 – 11:44[1)]	106	17
#1783	2012-11-12	18:00 – 19:00	18:59 – 20:08[1)]	111	24
#1982	2012-12-06	08:30 – 09:30	08:43 – 09:52[1)]	57	3

1) Aus dem Operatorprotokoll abgeleitet;

2.17.3 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

2.17.3.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität der Funktion“

Definition:

Verhältnis der Zeiträume mit ordnungsgemäßer Funktion zu Zeiträumen der nicht ordnungsgemäßen Funktion von Funktionen / Anwendungsfällen.

Behandlung in F_3.1.1:

Im Fall der Funktion F_3.1.1 wird eine Anfrage nach aktueller Verkehrsinformation periodisch oder durch Fahrerinteraktion aus der IVS an die ICS geschickt und die Antwort darauf aus der ICS in IVS empfangen. Daher kann diese Kenngröße durch die Quote der erfolgreichen Abfragen/Antwort-Paaren (Erfolgsquote) in den jeweiligen Versuchsabläufen präsentiert werden. Wenn auf eine Anfrage eine Antwort ohne Fehlermeldung empfangen wird, zählt dieses als erfolgreich. Hierfür werden die Inhalte der Antwort, z. B. ob mit gültiger Meldung, nicht bewertet.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	80 - 100%
Mittel:	60 - 80%
Schlecht:	< 60%

Ergebnis des Feldversuchs:

Für die Ermittlung dieser TP5 Kenngröße wurden aus Zeitgründen Daten einiger per Zufall ausgewählten IVS-Log-Dateien verwendet. Aus jedem Versuchsdurchlauf wurden 5 IVS-Datensätze, also insgesamt 25, ausgewählt. Diese ergeben eine durchschnittliche Erfolgsquote von 86,2%.

Daraus folgt eine Klassifizierung als „Gut“.

Anmerkungen:

Die Mehrheit (13 von 25) der Datensätze weisen eine Erfolgsquote über 99% aus. Weitere 10 Datensätze liegen zwischen 67,8% und 97,7%. Nur 2 Datensätze beinhalteten überhaupt kein erfolgreiches Anfrage-Antwort-Paar. Dies ist vermutlich auf Fehler in der Kommunikationskette zurückzuführen.

Eine weitere Analyse der Daten ergibt sich, dass zur 99%-Wahrscheinlichkeit die Abweichung zum Mittelwert, also hier 86,2%, innerhalb des Bereichs ±12,4% liegt. Daher liegt die Erfolgsquote zu 99% oberhalb von 73,8%, also mindestens bei „Mittel“.

2.17.3.2 Kenngröße „Latenzzeit“

Definition:

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines Übertragungsprozesses (z. B. das Übertragen einer CAM). Sie stellt also eine Verzögerungszeit dar.

Behandlung in F_3.1.1:

Im Fall der Funktion F_3.1.1 präsentieren die (TP4-)Kenngrößen

- K_3.1.1_Reaktionszeit_VE (Verkehrsevent)
- K_3.1.1_Reaktionszeit_VL (Verkehrslage)
- K_3.1.1_Reaktionszeit_Webcam (Verkehrswebcamera)

die Zeit zwischen der Absendung einer Anfrage nach Verkehrsereignis, Verkehrslage oder Verkehrswebkamerabild durchs Fahrzeug (IVS) und dem Empfang der entsprechenden Antwort aus dem Backendserver (ICS). Allerdings werden bei der Ermittlung der Kenngrößen nur die Paare von Anfrage/Antwort berücksichtigt, deren Antwort mindestens eine Verkehrsmeldung des entsprechenden Typs beinhaltet.

Bei der Funktion 3.1.1 wurde Verkehrsinformation über Internet/Mobilfunk übertragen. Diese Informationen verschaffen dem Fahrer einen Überblick über die Verkehrssituation(en) und dienen als Referenz für die Fahrstrategie des Fahrers oder als Input für die Navigation mit einen relativ langen Zeithorizont (i.d.R. > 10 Minuten).

Während eine VE- oder VL-Meldungen als reine Textinformation relative klein ist, hat ein Webkambild in der Regel größere Volume. Daher schlagen wir zwei unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe für VE/VL und Webcam vor.

Bewertungsmaßstab für VE und VL:

Gut: < 2 s.

Mittel: 2-6 s.

Schlecht: > 6 s.

Bewertungsmaßstab für Webcam:

Gut: < 5 s.

Mittel: 5-20 s.

Schlecht: > 20 s.

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Berechnung mit Daten der ersten 3 Durchläufen (insgesamt 240 Fahrzeuge an 21.08.2012, 21.09.2012 und 11.10.2012) ergibt die durchschnittlichen Werte wie folgt:

K_3.1.1_Reaktionszeit_VE = 0,52 s.

K_3.1.1_Reaktionszeit_VL = 0,07 s.

K_3.1.1_Reaktionszeit_Webcam = 3,43 s.

Daraus folgt eine Klassifizierung als „Gut“ für VE und VL sowie „Gut“ für Webcam.

Besondere Anmerkungen:

Bei der Ermittlung der Durchschnittswerte wurden nur die qualifizierten Datensätze verwendet. Nicht berücksichtigt wurden die nach der Definition der Kenngrößen nicht-einsetzbare Daten, z. B. leere Antworte.

Da die Log-Daten der letzten 2 Durchläufe (12.11.2012 und 06.12.2012) erst später verfügbar waren, wurden sie leider nicht in der obige Ergebnisse berücksichtigt. Stichproben aus diesen Datensätzen ergaben jedoch Ergebnisse, die zu vergleichbaren Klassifikationen wie oben führen würden.

In folgenden sind die Histogramme der Reaktionszeiten (**Jan-Nikolas Meier**) für die 240 Fahrzeuge aus den ersten 3 Versuchsdurchläufen:

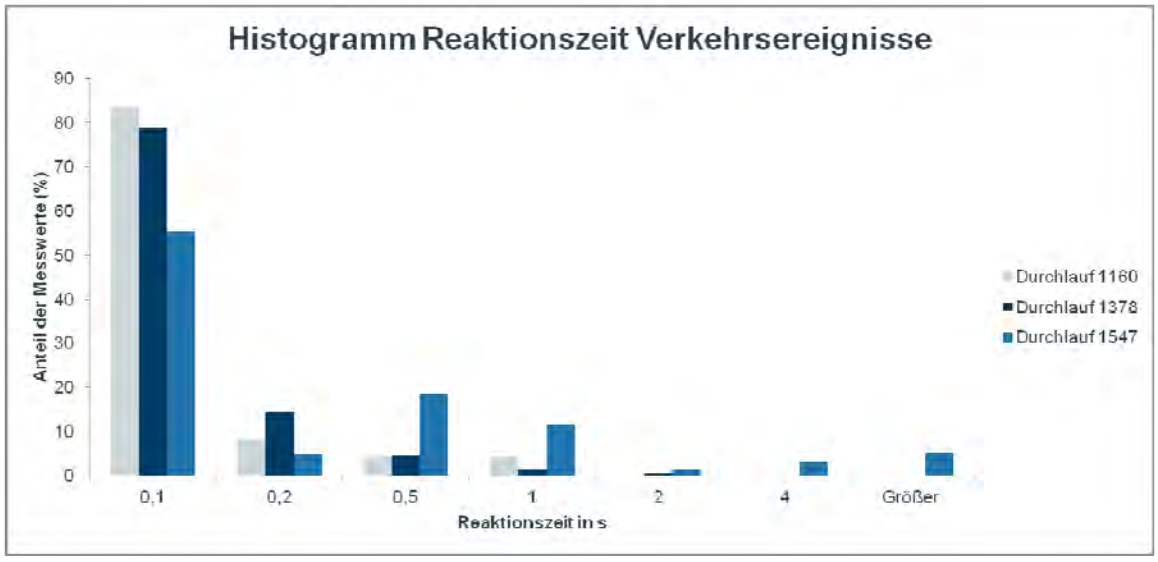


Abbildung 2.7: Histogramm Reaktionszeit Verkehrsereignisse

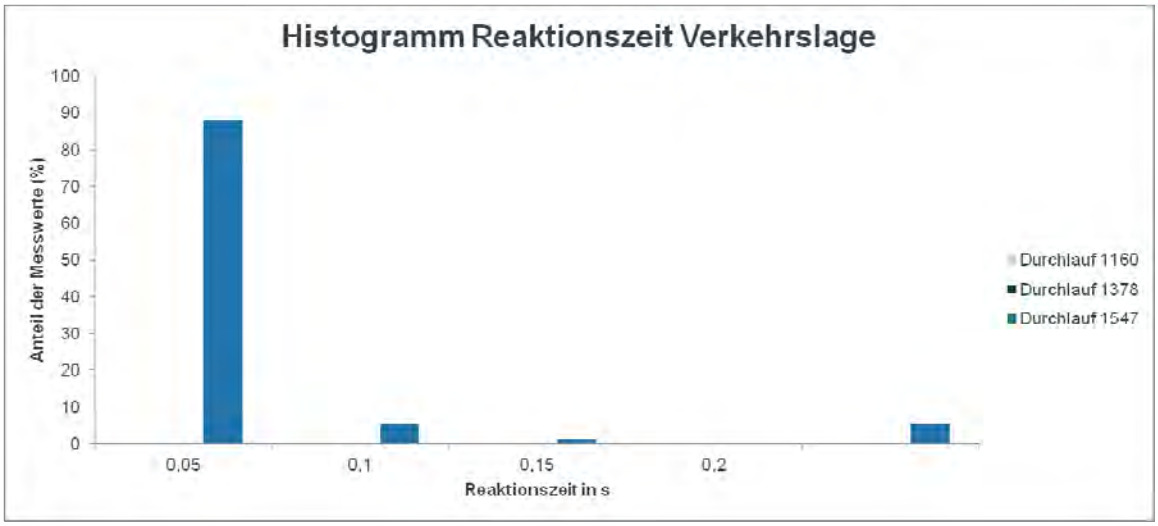


Abbildung 2.8: Histogramm Reaktionszeit Verkehrslage

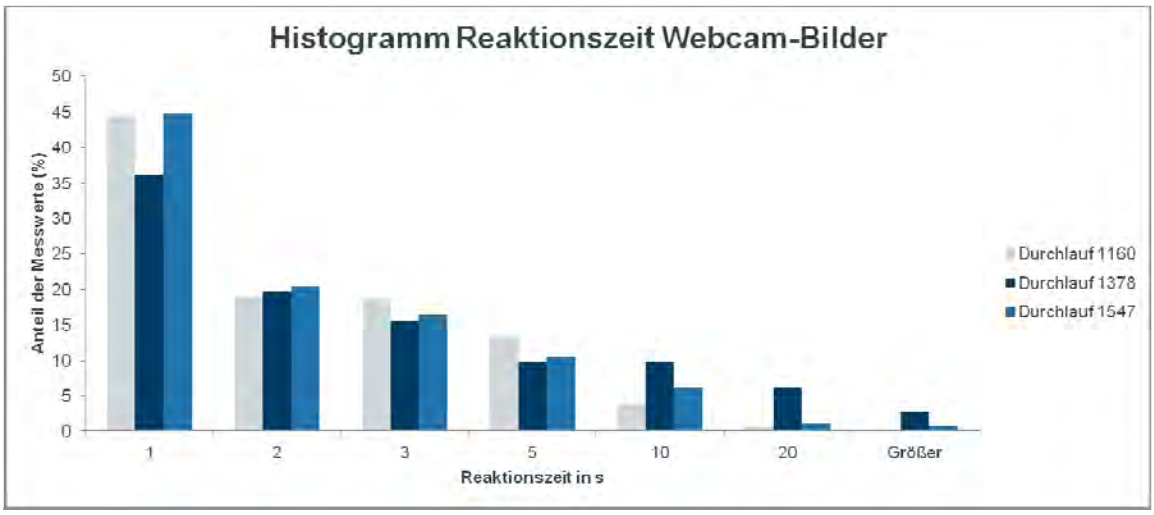


Abbildung 2.9: Histogramm Reaktionszeit Webcam-Bilder

2.17.3.3 Kenngröße „K_3.1.1_Verfuegbarkeit_VE“

Die Kenngröße präsentiert einen quantitativen Vergleich der Anzahl von sim^{TD}-VE und TMC-Meldungen im Versuchszeitraum.

Verkehrsereignisse (VE) werden in sim^{TD} über eine Internetverbindung dem Fahrer zur Verfügung gestellt. Die bisherige Standardtechnologie für die Verbreitung von Verkehrsmeldung ist aber RDS/TMC.

Ein qualitativer Vergleich der sim^{TD}-VE mit der TMC, z. B. hinsichtlich Zuverlässigkeit, Aktualität, usw., ist zwar wünschenswert, wurde aber im Projekt nicht durchgeführt, u. a. wegen der fehlenden Verifizierungsmöglichkeiten der einzelnen Meldungen.

Die Kenngröße *K_3.1.1_Verfuegbarkeit_VE* präsentiert einen quantitativen Vergleich der Anzahle von sim^{TD}-VE und TMC-Meldungen. Die Kenngröße *K_3.1.1_Verfuegbarkeit_VE* wird wie folgt berechnet:

$$K_3.1.1_Verfuegbarkeit_VE = \frac{N_{VE} - N_{TMC}}{N_{VE} + N_{TMC}}$$

Der Wert dieser Kenngröße liegt zwischen „-1“ und „+1“. Bei „0“ halten sim^{TD}-VE und TMC in Balance und ein Wert nahe „+1“ bzw. „-1“ bedeutet viel mehr bzw. viel weniger sim^{TD}-VE als TMC Meldungen.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	> $^{2}/_{3}$ (sim^{TD}-VE bietet min. 5-mal so viele VE wie TMC)
Mittel:	$^{1}/_{3}$ - $^{2}/_{3}$ (sim^{TD}-VE bietet min. 2-mal so viele VE wie TMC)
Schlecht:	< $^{1}/_{3}$ (sim^{TD}-VE bietet weniger als 2-mal so viele VE wie TMC)

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Anzahl der empfangenen Verkehrsevents durch jedes Versuchsfahrzeug NVE wird aus den entsprechenden IVS Log-Daten ermittelt; Die Anzahl der verfügbaren TMC-Meldungen während einer Testsitzung NTMC wird im ICS Log festgehalten; Aus den 5 Versuchstagen ergibt für diese Kenngröße einen Durchschnittswert von 0,82, also das sim^{TD}-System hat in den 5 Versuchstagen durchschnittlich 10-mal so viele VE verbreitet als TMC.

Daraus folgt eine Klassifizierung als „gut“.

Für die Ermittlung dieser Kenngröße werden die ICS-Log-Daten aller 5 Versuchstage eingesetzt.

2.17.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Manche Probleme, z. B. die langsam auf Nutzeraktion reagierende HMI, wird in einem Serienprodukt nicht erwartet.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil...*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die Kommunikation, hier nur die Mobilfunkkommunikation, ist essentiell für die Funktion F_3.1.1. Allerdings sind CAM-Frequenz und Reichweite nicht relevant für die Funktion. Temporäre Probleme mit Latenz und Verlustrate beeinflussen zwar direkt die Qualität der Funktion, setzt die Funktionalität aber nicht aus.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die Funktion F_3.1.1 hängt nicht von der IVS-/IRS-Ausstattungsrate ab. Jedes ausgerüstete Fahrzeug profitiert von der Funktion.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Der Funktion F_3.1.1 genügt die übliche GPS-Qualität für die Ortung. Eine spurgenaue Ortung ist nicht erforderlich.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Die Funktion F_3.1.1 nutzt kein Multi-Hop.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Funktion F_3.1.1 zeigt keine Warnung auf HMI.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Die Funktion F_3.1.1 stellt die gleichen Anforderungen an Security und Datenschutz wie übliche Internetfunktionen.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- DATEX II, zum Teil auch TPEG, wurden verwendet für die Datenübertragung zwischen Verkehrszentralen und ICS;

- Für die Übertragung von VE und VL ins Fahrzeug wären TPEG-TEC (Traffic Event Compact) und TPEG-TFP (Traffic Flow and Prognistic), evtl. auch DENM interessant.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Zusätzlicher Umfeld-Sensor ist nicht erforderlich für F_3.1.1.

2.18 Funktion F_3.1.2 Standortinformationsdienste

2.18.1 Beschreibung der Funktion

Die Funktion „Standortinformationsdienste“ stellt dem Nutzer, d. h. dem Fahrer und den Mitfahrern, Informationen mit hoher örtlicher Relevanz zur Verfügung. Informationen dieser Art ermöglichen eine bessere Nutzung lokal angebotener Veranstaltungen und Dienstleistungen.

Folgende Informationen werden angeboten:

- Informationen zur aktuellen Parksituation,
- Informationen zu lokalen Veranstaltungen, ergänzt durch Hinweise zu Parkmöglichkeiten und der aktuellen Parksituation,
- Informationen über das lokale und regionale Wetter inklusive Vorhersagedaten.

Die Informationen werden in einem vordefinierten, konfigurierbaren Zeitintervall periodisch in das Fahrzeug heruntergeladen. Wenn ein Nutzer über die Benutzungsschnittstelle Informationen anfordert, wird die aktuelle Information noch einmal heruntergeladen. Scheitert diese Aktualisierung, dann wird die letzte im Fahrzeug verfügbare Information präsentiert.

Parkrauminformation

Aktuelle Informationen über den Parkraum werden von einem Dienstanbieter bereitgestellt, zentralenseitig aufbereitet, zum Fahrzeug übertragen, dort gespeichert und angezeigt. Die Informationen beinhalten die Verfügbarkeit und die spezifischen Eigenschaften von Parkmöglichkeiten in Parkhäusern, Tiefgaragen und auf bewirtschafteten Parkplätzen. Durch die Anbindung an die Navigationsfunktion ermöglicht der Anwendungsfall eine komfortable Zielführung zu einem verfügbaren, geeigneten Parkplatz in der Nähe des Ziels.

Kommunalinformation

Die Kommunalinformationen beschreiben Veranstaltungsinformationen. Sie werden von der kommunalen Verwaltung bereitgestellt, zentralenseitig aufbereitet, zum Fahrzeug übertragen, dort gespeichert und angezeigt.

Wetterinformation

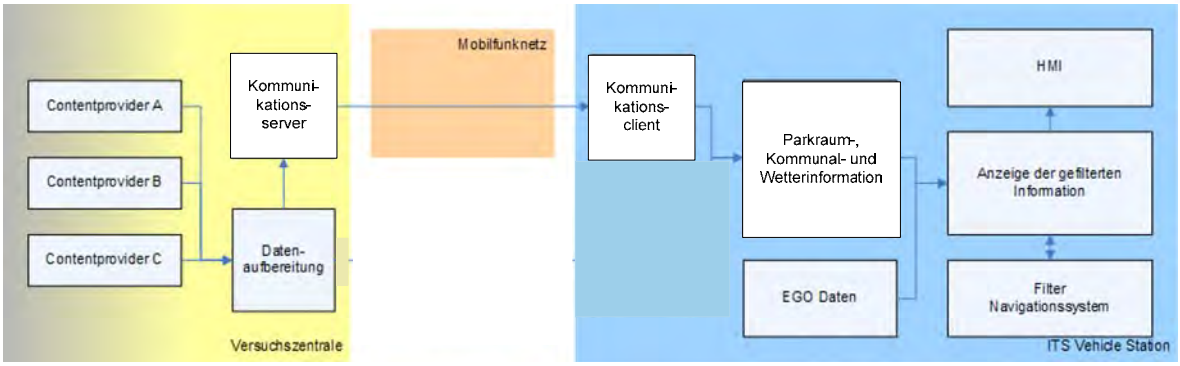
Die Funktion gibt Auskunft über das lokale und regionale Wetter und bietet eine deutschlandweite Regenradarkarte.

Das regionale Wetter umfasst die Gebiete der Bundesländer und den Zeitraum vom aktuellen Tag bis zum dritten Tag danach. Die Vorhersage gibt in Textform Auskunft über die zu erwartende Wetterlage, die Temperatur und die Windstärke.

Das lokale Wetter umfasst genaue Daten für den aktuellen Tag und die folgenden drei Tage, die in mehrere Abschnitte (z. B. früh, mittags, spät, nachts) unterteilt werden. Die genauen Daten setzen sich aus der Temperatur und dem Wetterzustand (z. B. "bewölkt") zusammen.

Die Regenradarkarte ist eine animierte Grafik des Regenverlaufs der letzten vier Stunden über Deutschland.

Die Struktur der Funktion ist im folgenden Bild dargestellt.



Logischer Funktionsablauf:

Die Funktion hat Verarbeitungsschritte auf den zwei Teilsystemen ICS und IVS, die unabhängig voneinander ablaufen.

Die verschiedenen logischen Teilabläufe werden deshalb nach Systemen gruppiert dargestellt und beschrieben.

ITS Central Station (ICS)

Die zentralenseitigen Abläufe der Funktionen F_3.1.1 und F_3.1.2 laufen grundsätzlich in gleicher Weise ab. Die folgende Beschreibung gilt sinngemäß auch für die Funktion F_3.1.1, wobei die Funktion F_3.1.2-Datenarten Parkraum-, Wetter- und Kommunalinformationen durch die Funktion 3.1.1-Datenarten Verkehrslage-, Verkehrsereignis- und Webcaminformationen zu ersetzen sind. Standortinformationen sind durch Verkehrsinformationen zu ersetzen.

In der ICS werden die gesammelten Standortinformationen mittels webbasierter Client-Server-Kommunikation zum Abruf bereitgestellt. Die Informationen werden in einem vordefinierten, konfigurierbaren Zeitintervall periodisch in das Fahrzeug geladen.

Die Sammlung und Konsolidierung der Daten von den verschiedenen Content Providern erfolgt auch in der ICS.

ITS Vehicle Station (IVS)

Auf der IVS geht die Initiative vom Fahrer aus. Dieser fordert über das HMI Standortinformationen an. Die Anfrage wird aus dem lokalen Datenspeicher bedient, der über einen Aufruf des ICS-Webservices gefüllt wird.

Für die als POIs dargestellten Standortinformationen kann sich der Fahrer Details abrufen, die ebenfalls aus dem lokalen Datenspeicher kommen.

2.18.2 Beschreibung der durchgeführten technischen Versuche

Die Versuche liefen parallel zu anderen Versuchen, in welchen die Fahrer anhielten und die Wetter, Park und Kommunalinformationen abgefragt haben. Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich, sicherzustellen, ob die auf dem sim^{TD}-HMI angezeigten Informationen korrekt sind. Deswegen war es nicht möglich, die Datenintegrität zu untersuchen. Außerdem wurden diese Informationen von der öffentlichen Hand zur Verfügung gestellt und waren nicht sim^{TD}-relevant.

2.18.3 Beschreibung der auszuwertenden Kenngrößen pro Versuchstyp

2.18.3.1 Kenngröße „K_312_Verfügbarkeit“

Die Funktion ist nur dann verfügbar, wenn ab dem Zeitpunkt, an welchem die Funktion gestartet wird, alle Schritte vom Fahrzeug zur Zentrale und v.v. ohne Probleme ablaufen. Das kann man anhand der Nutzung mehrerer Parametern herausfinden. Diese Parameter können einzeln oder in einer Gruppe einen Hinweis zur Verfügbarkeit der Funktion geben. Um die Verfügbarkeit der Funktion bestimmen zu können, wurden die folgenden Messgrößen ausgewählt:

m_F312_IVS_Kommunalinfo_Ereignis	Ereignis zur Kommunalinfo, z. B. "empfangen", "Update empfangen", "gespeichert", "an Navi gegeben", usw. 0 = REQUESTED 1 = RECEIVED 5 = POI_ID_NAVI_RECEIVED
m_F312_IVS_Parkraum_Ereignis	Ereignis zur Parkrauminfo, z. B. "empfangen", "Update empfangen", "gespeichert", "an Navi gegeben", usw. 0 = REQUESTED 1 = RECEIVED 2 = STORED 5 = POI_ID_NAVI_RECEIVED
m_F312_IVS_Wetter_Ereignis	Ereignis zur Wetterinformation, z. B. "empfangen", "Update empfangen", "gespeichert", "an Navi gegeben", usw. 0 = REQUESTED 1 = RECEIVED 2 = STORED 5 = POI_ID_NAVI_RECEIVED

Wie oben beschrieben, passiert der Abruf der Information parallel für alle Informationstypen auf gleiche Art und Weise. Die Aktualisierung geschieht ein Mal pro Stunde. Deswegen würden wir auch ein Mal pro Stunde erwarten, dass die Kette zwischen „requested“ und „received“ für alle Fahrzeuge abgeschlossen wird. Dadurch sind wir auch in der Lage, die Verfügbarkeit der Funktion zu untersuchen.

m_F312_IVS_Funktion_DBDump	Datenbankbestand wurde archiviert: 0 = DBDUMP_ERFOLGREICH, 1 = DBDUMP_NICHTERFOLGREICH

2.18.3.2 Kenngröße „K_312_Reaktionszeit des Systems“

Die Zeit, die ab dem Aufruf der Information bis zum Empfang der Information bei der Navigation:

- Nachricht wird angefordert
- Nachricht wird von der IVS an die ICS geschickt
- Antwort wird in der ICS generiert und zurückgesendet
- Die IVS empfängt und leitet die Information weiter zur Navigation

Um diese Reaktionszeit berechnen zu können wurden die gleichen Kenngrößen verwendet. Diesmal wurde aber die Kette ab dem Abruf (Request) bis hin zur Navigation „POI_ID_NAVI_RECEIVED“ betrachtet. Weil der Rest der Funktion nur HMI-abhängig ist und für die eigentliche Funktion nicht relevant ist, wurde der Teil nicht betrachtet.

2.18.4 Ergebnisse der Bewertung pro Kenngröße

2.18.4.1 Kenngröße „K_312_Verfügbarkeit“

Um die Verfügbarkeit zu berechnen, haben wir die Logdaten aller Fahrzeuge analysiert und notiert, ob mindestens ein Fahrzeug eine Nachricht innerhalb einer vorgegebenen Stunde erhalten hat. Dadurch waren wir in der Lage, die Zeiten zu ignorieren, in der das Fahrzeug ausgeschaltet war. Dies würde ansonsten zu fehlerhaften, negativen Schlüssen führen.

Es wurde beobachtet, dass die Verfügbarkeit der Funktion abhängig von der Tagesszeit war.

Um die Abhängigkeit zu der Kommunikationsdienstgüte zu untersuchen, wurde eine Vergleichsanalyse mit den Kommunikationsversuchen durchgeführt. Auf dem folgenden Bild ist die Auswertung der Kommunikation auf dem Flottenstützpunkt nördlich des Frankfurter Flughafens dargestellt, wo die F312-Versuche durchgeführt wurden. In Abbildung 2.10 sehen wir die Mittelwerte der Kommunikationslatenzen.

Wie aus beiden Grafiken ersichtlich wird, ist das Verhalten der Verfügbarkeit der F312 sehr ähnlich zum Kommunikationsverhalten. Die höchsten mittleren Latenzzeiten sind zwischen 9 Uhr und 13 Uhr. In etwa 8% der Ping-Versuche haben wir während der Gesamtversuchszeit ein Timeout erlebt. Diese Timeouts sind meistens zwischen 9 Uhr und 13 Uhr passiert und erhöhten dadurch den Mittelwert der Latenz. Das Verhalten kann man bei steigendem Mittelwert der Latenz in der Abbildung 2.10 beobachten. Timeouts bedeuten in diesem Kontext eine nicht verfügbare Verbindung zum Mobilfunk. Deswegen gehen wir davon aus, dass die Verfügbarkeit der Funktion „Standortinformationsdienste“ hauptsächlich abhängig von der Kommunikationsqualität ist.

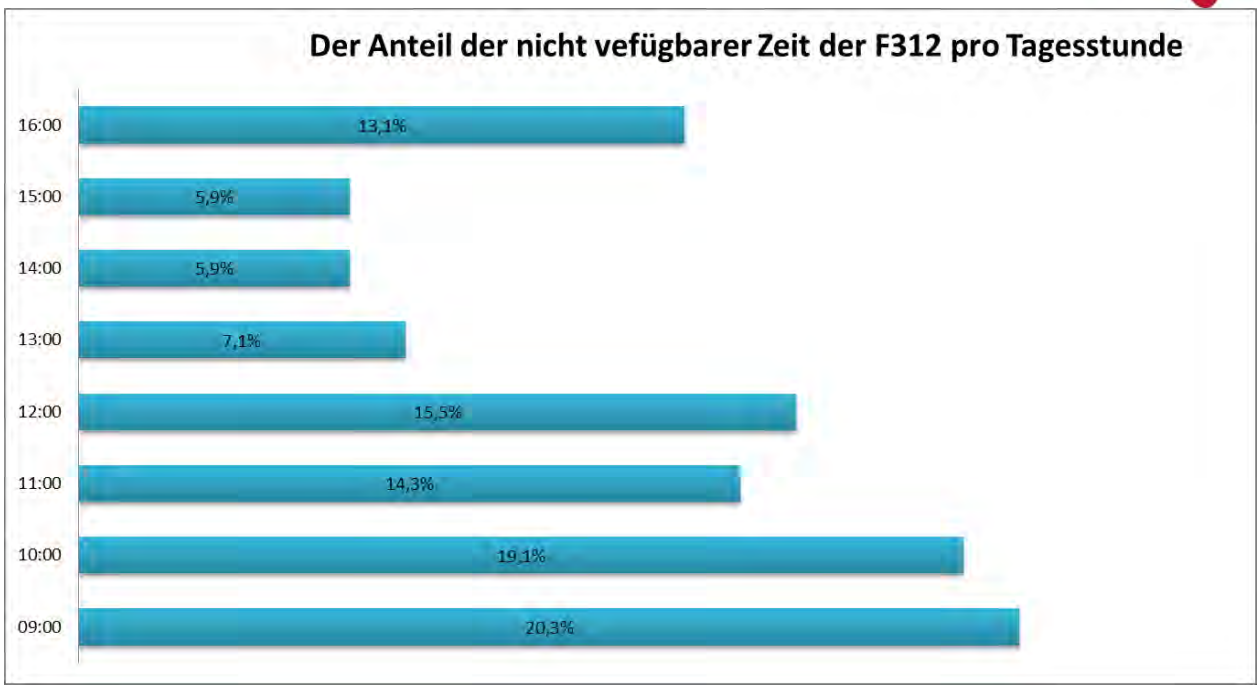


Abbildung 2.11: Verfügbarkeit der Funktion F_3.1.2

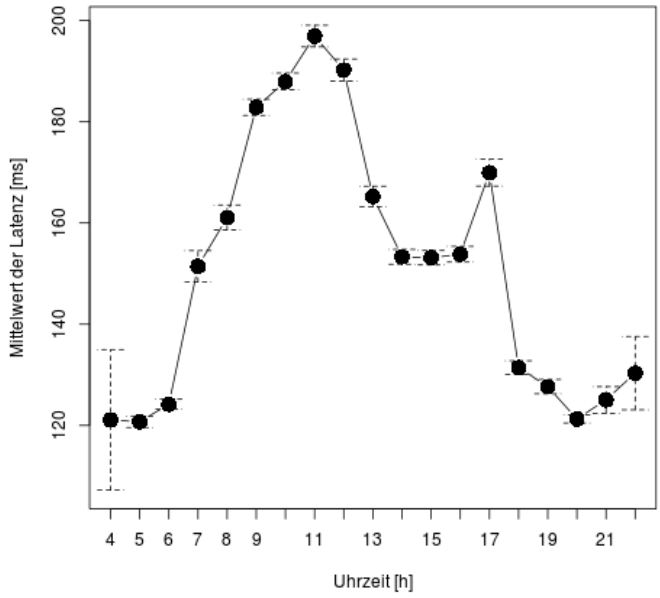


Abbildung 2.10: Auswertung der Kommunikation beim Flottenstützpunkt (Auswertung aller Logdaten für den gesamten Zeitraum) (2G/3G)

Kenngröße „K_312_Reaktionszeit des Systems“

In folgender Abbildung ist die Verteilung der Reaktionszeiten wie im Kapitel 2.18.3.2. beschrieben dargestellt. Die meisten Requests (43 %) werden innerhalb der ersten 150 ms erfolgreich an die Navigation weitergegeben. Nur etwa ein Prozent der Werte sind größer als 1.000 ms. In etwa 0,01 % der Fälle wurden Latenzzeiten höher als 10 Sekunden gemessen. Diese Ergebnisse spiegeln gleichzeitig die Ergebnisse der Kommunikationslatenz wie in der Abbildung 2.10 ersichtlich ist. Das bedeutet, dass die Reaktionszeit der Funktion abhängig von der Kommunikationsreaktionszeit war.

Zusätzlich ist zu beachten, dass eine hohe Auslastung des Funktionsrechners die Reaktionszeiten ebenfalls negativ beeinflussen kann.

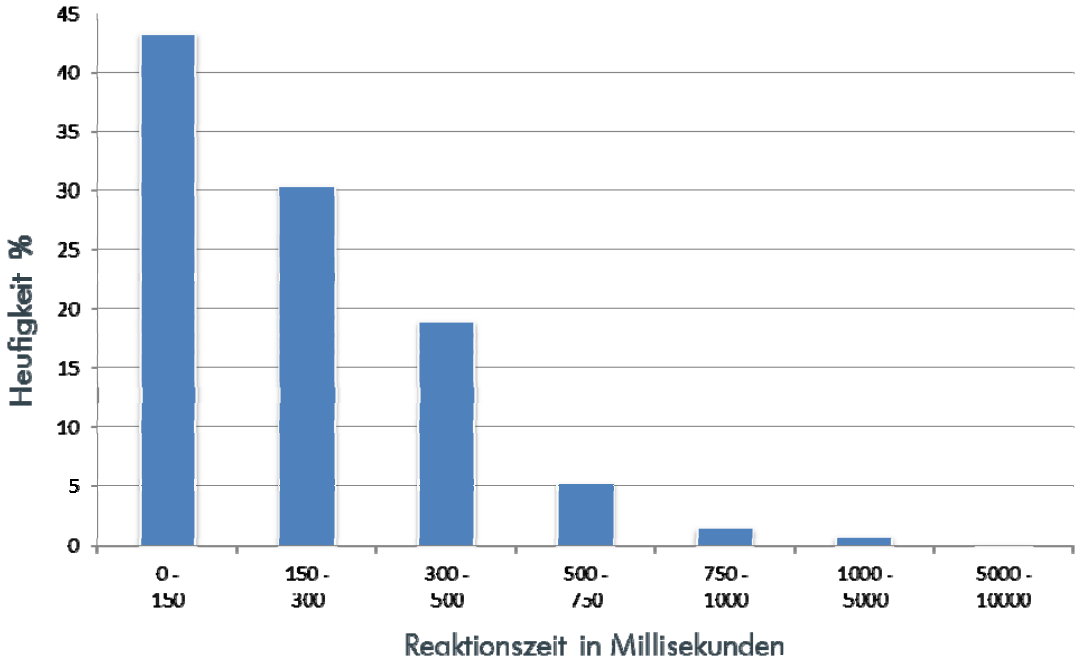


Abbildung 2.12: Reaktionszeit der Funktion F_3.1.2

2.18.5 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Die Funktion hat grundsätzlich in ihrem Konzept funktioniert. In der vom Fahrer erlebten Qualität ist die Funktion allerdings abhängig von der Güte der in die Funktion *eingespeisten* Daten. Aussagen darüber können ggf. anhand der ausgewerteten Fahrerfragebögen getroffen werden.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen?*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Es wurde festgestellt, dass die Zeitanteile, in denen die Funktion nicht verfügbar war, *stundenabhängig* teilweise doch relativ hoch sind. Nur ein Teil dieser Probleme kann auf einen nicht verfügbaren sim^{TD}-Server oder eine hohe Systemlast zurückgeführt werden. Der Anteil der Fehler, der durch nicht ausreichende Mobilfunkanbindung verursacht wurde, wird auch bei Seriensystemen auftreten.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja. Eine Implementierung mit einer anderen Kommunikationstechnologie erscheint nicht sinnvoll.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Die örtliche Mobilfunkabdeckung und die Auslastung des Mobilfunknetzes haben einen Einfluss auf die Funktionalität. Genauere Aussagen dazu finden sich in der Auswertung zur Mobilfunklatenzmessung im Rahmen der Kommunikationsversuche.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Es gibt keinen Einfluss.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Es gibt keinen Einfluss.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Es muss sichergestellt werden, dass zentralenseitig nicht erfasst wird, welche Veranstaltungen, Parkhäuser, etc. der Nutzer auswählt oder anfährt.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Es wurde auf keine Standards zurückgegriffen.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Eine Abhängigkeit zu den Sensoren gibt es nicht.

2.18.6 Fazit

Die Funktion „Standortinformationsdienste“ ist ein typischer Internetdienst mit starker Abhängigkeit von der Kommunikationsqualität. Die beobachteten Kenngrößen, Zuverlässigkeit und Reaktionszeit waren beide direkt beeinflusst von der Verfügbarkeit und Latenzzeiten von 2G/3G Netzwerken. Abgesehen von diesen externen Einflüssen hat die Funktion richtig funktioniert.

3 Funktionsübergreifende Bewertung

Die funktionsübergreifende Bewertung wird grundsätzlich nach den gleichen Kriterien wie die funktionsspezifische Bewertung durchgeführt. Die hier behandelten Themen beziehen sich aber nicht auf spezielle Funktionen, sondern beschreiben allgemeine technische Aspekte, welche im Rahmen von sim^{TD} untersucht worden sind. Es lassen sich daher nicht immer die gleichen Kenngrößen untersuchen wie bei konkreten Funktionen. Die hier betrachteten Aspekte sind für eine Vielzahl der im Feldversuch getesteten Funktionen von besonderer Bedeutung.

3.1.1 Funktion F_1.1.2 Fahrzeugseitige Datenerfassung

3.1.2 Ziele und Aufgaben der Funktion

Ziel der Funktion F_1.1.2 Fahrzeugseitige Datenerfassung ist es, lokal erfasste Fahrzeugdaten anderen ITS Stationen bereit zu stellen. Hierzu werden zweierlei Mechanismen verwendet:

- Cooperative Awareness Messages (CAMs)
- Probe Vehicle Data (PVDs)

Probe Vehicle Data Nachrichten enthalten Statusänderungen über einen längeren Zeitraum. Diese werden bei Verfügbarkeit des PVD Services sowohl über IRS als auch per Mobilfunk an die ICS geschickt und von den dort laufenden Funktionen verwendet.

Die in den CAM-Nachrichten enthaltenen Daten beschreiben den aktuellen Status eines Fahrzeugs zum Versandzeitpunkt. Da sich dieser kontinuierlich ändert, veralten die Daten sehr schnell.

Eine ähnlich große Rolle spielt hierbei auch die CAM-Frequenz, die im Wesentlichen von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt.

3.1.3 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

3.1.3.1 Kenngröße „Latenzzeit“

Die Latenzzeit beschreibt die Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem Beenden eines Übertragungsprozesses (z. B. das Übertragen einer CAM). Sie stellt also eine Verzögerungszeit dar.

Diese Kenngröße wertet die Zeit zwischen der Erzeugung und dem Empfang einer CAM aus.

<u>Bewertungsmaßstab:</u>

Gut: $\Delta t < 200$ ms

Mittel: 200 ms $< \Delta t <$ 350 ms

Schlecht: 350 ms $< \Delta t$,

Die Auswertung ergab folgende Verteilung der Latenzzeiten:

Bewertung:

Gut: 60,2 %

Mittel: 5,7 %

Schlecht: 32,1 %

Im Mittel ergibt sich deswegen folgende Klassifizierung:

Klassifizierung:

mittel

3.1.4 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Ja

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*
- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD} -spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Ja

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Nicht relevant

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Es besteht kein Einfluss.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion* verbessern?

- Es besteht kein Einfluss.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Die Funktion nutzt kein Multi-Hop.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Funktion erzeugt keine Präsentationsaufträge.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine über die üblichen hinausgehenden Anforderungen

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Es werden CAM-Nachrichten übermittelt. Das Nachrichtenformat basiert auf einem Draft von ETSI. Siehe Deliverable D21.4

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine.

3.2 Kommunikationsversuche

3.2.1 Beschreibung der Kommunikationsversuche

In den Kommunikationsversuchen für WLAN-Car2Car-Kommunikation wurden in verschiedenen Szenarien die Übertragungswahrscheinlichkeiten der Kommunikation bestimmt. Der Empfang von Nachrichten kann als statistischer Prozess beschrieben und daher mit einer Wahrscheinlichkeit belegt werden[13].

Diese Wahrscheinlichkeiten hängen von vielen Faktoren ab. Eine hohe Sendeleistung führt typischerweise dazu, dass die Empfangswahrscheinlichkeit steigt. Außerdem führt ein geringer Abstand zwischen Sender und Empfänger zu einer verbesserten Übertragung. Diese Kommunikationsparameter lassen sich recht gut mathematisch beschreiben. Der Einfluss der Umgebung lässt sich hingegen schwieriger greifen. Hier überlagern sich viele Effekte wie Abschattung durch andere Fahrzeuge oder auch die Reflexion an Häuserwänden.

Um auch diese Einflüsse bewerten zu können wurden in den Kommunikationsversuchen Fahrten in typischen Szenarien durchgeführt, bei denen ein besonders gutes oder besonders schlechtes Kommunikationsverhalten erwartet wurde. Das Ergebnis dieser Versuche sind örtliche Verteilungen der Übertragungswahrscheinlichkeit für bestimmte Sender- und Empfängerkombinationen.

3.2.2 Grenzen der Kommunikationsversuche und der Bewertung

Bei der Bewertung der Kommunikationsversuche ist es essentiell, die Rahmenbedingungen und Grenzen der Versuche zu kennen und zu berücksichtigen.

---

[13] Eine Übertragungswahrscheinlichkeit von 50% heißt beispielsweise, dass im Mittel jede zweite Nachricht erfolgreich empfangen wird.

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass das sim^{TD}-System nicht von vorn herein darauf ausgelegt war, Versuche in dieser Form durchzuführen. Es wurden Mechanismen der Konfiguration und Versuchssteuerung verwendet, die nicht dafür ausgelegt waren und daher hier in einem anderen Kontext benutzt wurden. Dies hat teilweise zu Fehlern und Problemen geführt, die in einer langwierigen Auswertung identifiziert und ausgefiltert werden mussten. Während dieser Filterung wurden Eigenheiten des sim^{TD}-Systems identifiziert, die eine Auswertung teilweise nicht möglich machen bzw. zu Fehlern in den ausgewerteten Daten führen können.

Es wurde eine statistische Auswertung durchgeführt, um den Einfluss von Fehlern gering zu halten. Daher können beispielsweise wenige falsch konfigurierte Fahrzeuge einen Messwert nur im Bereich von wenigen Prozent verfälschen, da ihre Werte in der Masse der Gesamtwerte untergehen. Außerdem ist die statistische Auswertung notwendig um kurzzeitig auftretende Effekte wie die Abschattung durch einen LKW auszufiltern. Da hier viele Effekte miteinander vermischt und Mittelwerte betrachtet werden ist es durchaus vorstellbar, dass Einzelmessungen durchgeführt werden, die deutlich bessere oder schlechtere Ergebnisse liefern.

Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, dass an den Stellen, für die hier Aussagen getroffen werden, eine ausreichende statistische Grundlage vorliegt. Außerdem wurden die Ergebnisse grundsätzlich plausibilisiert. Ein Beispiel dafür ist die hier beschriebene Plausibilitätsprüfung der Übertragungsreichweiten.

3.2.2.1 Plausibilität der erreichten Übertragungsreichweiten

Ein Anhaltspunkt für die Korrektheit der Ergebnisse ist der Vergleich der erreichten Übertragungsreichweiten mit theoretisch möglichen Werten. Es lässt sich der Pfadverlust für die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen im freien Raum abschätzen:

$$L_F = 20 \times log\left(\frac{4\pi \times d}{\lambda}\right)$$

Dabei gibt λ die Wellenlänge und d den Abstand zwischen Sender und Empfänger an. Für die nachfolgend betrachteten Abstände ergeben sich bei 5,9GHz die folgenden Verluste:

Abstand [m]	Pfadverlust [dB]
630	103,8
670	104,4
950	107,4

Mit den für das sim^{TD}-System geltenden Werten des Antennengewinns und des Kabelverlusts lassen sich nun Abschätzungen über den Kanalgewinn (link budget) machen:

$$P_R = P_S - 2 \times (L_{Kabel} + L_{Antenne}) - L_F$$

Die theoretische Empfangsleistung P_R ergibt sich aus der Sendeleistung P_S abzüglich der Verluste im Kabel und der Antenne[14] und des Pfadverlusts. Von der Firma Bosch wurden im Rahmen des Projekts Messungen der Antenne durchgeführt, die auf einer Groundplane

[14] Da die Verluste in Antenne und Kabel bei der Kommunikation zwischen zwei sim^{TD}-Fahrzeugen jeweils auf Sender- und Empfängerseite auftreten müssen sie in der Berechnung doppelt abgezogen werden.

einen Verlust von 1dBi ergaben. Für das verwendete Kabel wird im Datenblatt ein Verlust von 2,5dB angegeben.

In der folgenden Tabelle sind die daraus berechneten theoretischen Empfangsleistungen für die Sendeleistungen von 9, 14 und 20dBm dargestellt:

Abstand [m]	Sendeleistung [dBm]	Empfangsleistung [dBm]
630	9	-101,8
670	14	-97,4
950	20	-94,4

In den geloggten Messdaten wurden Empfangsleistungen protokolliert, die bis zu -103dBm reichen. In Abbildung 3.1 sind die Messwerte der Empfangsleistung für einen ausgewählten Datensatz bei 20dBm Sendeleistung dargestellt. Bei kurzen Abständen sind Empfangsleistungen bis zu -40dBm möglich; Bei großen Abständen bis zu 1000m liegt die Empfangsleistung bei -85 bis -95dBm.

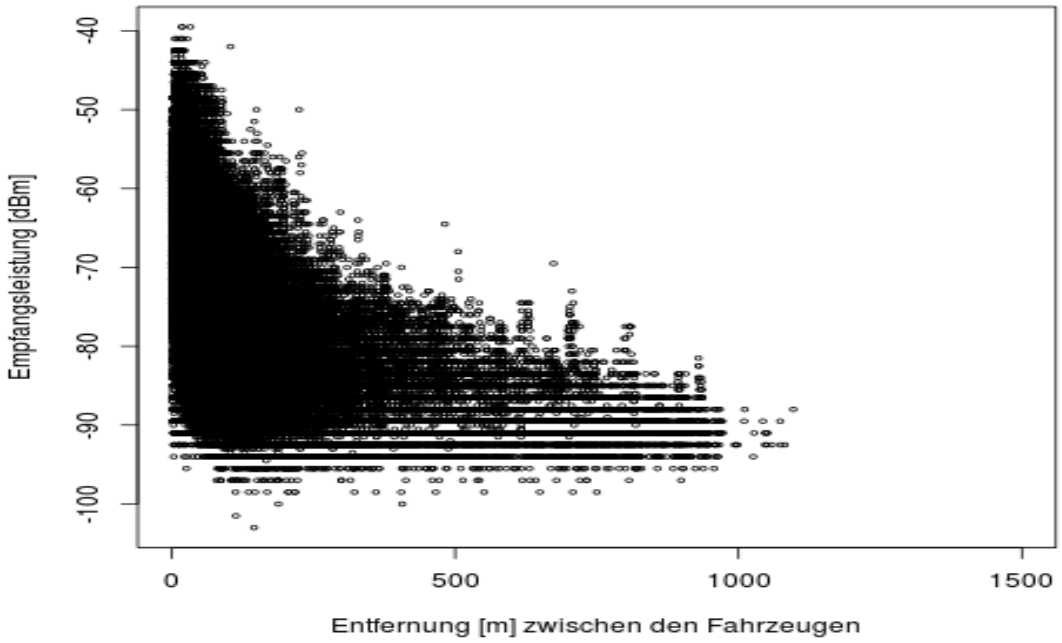


Abbildung 3.1: Gemessene Empfangsleistungen für einen ausgewählten Teildatensatz bei 20dBm

Diese Werte sind insofern plausibel, als dass sie mit den theoretischen Werten der Empfangsleistung übereinstimmen. Auffällig ist, dass die Werte teilweise bis unter -100dBm reichen. Cohda gibt für das MK3-Modul eine Sensitivität von -92dBm an[15]. Dieser Wert gilt allerdings für Nachrichten der Länge 1000Byte und gibt an, dass bei dieser Empfangsleistung die Paketfehlerrate bei maximal 10% liegt. Außerdem ist der Wert mit einer Toleranz von +0dB/-4dB angegeben. Er kann also tatsächlich auch etwas niedriger liegen.

[15] Dieser Wert bezieht sich auf eine Datenrate von 6Mbit/s, Ein-Antennenbetrieb und 25° Umgebungstemperatur. Er hat eine Toleranz von +0dB/-4dB.

Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Modul (bei höheren Paketfehlerraten) in der Lage ist, Nachrichten mit deutlich niedriger Empfangsleistung zu decodieren. Es ist daher durchaus vorstellbar, dass die Messwerte mit Empfangsleistungen unter -92dBm korrekt sind. Hier ist zwar keine zuverlässige Übertragung im Sinne der Definition der Empfängersensibilität möglich, aber einige wenige Nachrichten können unter günstigen Umständen dennoch decodiert werden.[16]

Für die Plausibilitätsprüfung werden nun die maximal erreichten Reichweiten bei bestimmten Sendeleistungen betrachtet[17]. Diese finden sich in der oben angefügten Tabelle. So wurden bei einer Sendeleistung von 9dBm vereinzelte erfolgreiche Übertragungen im Abstand von 630m beobachtet. Dieser Reichweiten sind plausibel, da die theoretisch berechneten Empfangsleistungen dafür über der Schwelle von -103dBm bleiben.

Es ist zu sehen, dass alle Empfangsleistungen knapp bis deutlich über -103dBm liegen. Für den Abstand von 630m ist die Differenz gering; für den Abstand von 950m deutlich größer. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Pfadverlust den absoluten Idealfall der Ausbreitung im freien Raum darstellt. Mit steigendem Abstand schwächen weitere - immer stärker werdende - Effekte[18] die Empfangsleistung ab. Bei größeren Abständen kommen diese Effekte stärker zum Tragen und die Ergebnisse weichen stärker vom theoretisch Erreichbaren ab.

Da bei unterschiedlichen Sendeleistungen unterschiedliche Reichweiten erreicht wurden, die mit den jeweiligen theoretisch berechneten Empfangsleistungen korrelieren, kann davon ausgegangen werden, dass die Konfiguration und Auswertung der verschiedenen Sendeleistungen korrekt funktioniert hat und die Reichweitenabschätzung plausibel ist.

3.2.2.2 Anwendbarkeit der Ergebnisse auf Seriensysteme

Es ist außerdem klar, dass sich die hier vorgestellten Ergebnisse nicht direkt auf Seriensysteme übertragen lassen. Das sim^{TD}-System ist ein Forschungssystem, das auch eine entsprechende Stabilität bietet und Fehler liefert. Es ist absehbar, dass sich Seriensysteme wesentlich von diesem System unterscheiden werden. Dies betrifft nicht nur die Stabilität und Fehleranfälligkeit sondern auch die Kommunikationsparameter. Mittlerweile stehen andere Sendeleistungen, Antennen und Sende/Empfangseinheiten zur Verfügung. Außerdem haben sich mittlerweile die Nachrichtenformate und deren Sendefrequenzen geändert.

Die hier vorgestellten Ergebnisse lassen sich also nicht direkt auf Seriensysteme übertragen sondern sollen vielmehr Anhaltspunkte geben, die eine Serienentwicklung unterstützen können. Hier werden Situationen identifiziert, die überraschende Eigenschaften haben und daher für eine Auslegung interessant sein können. In wieweit dies für Seriensysteme überhaupt zutrifft ist in gesonderten Betrachtungen zu untersuchen.

---

[16] Die hier versendeten Nachrichten sind kürzer was die Decodierung begünstigen dürfte und außerdem sind die hier betrachteten Reichweiten bei Fehlerraten von über 95% ermittelt worden.

[17] Hier kann von keiner Zuverlässigen Kommunikation ausgegangen werden. Einige wenige Nachrichten konnten unter sehr günstigen Bedingungen über diese Abstände versendet werden.

[18] Die Luft, Hindernisse, Mehrwegeausbreitung,

3.2.3 Beschreibung des Bewertungskonzepts

Um die in den Versuchen ermittelten Übertragungswahrscheinlichkeiten sinnvoll bewerten zu können wird in diesem Dokument betrachtet, was diese Ergebnisse in der Praxis für Funktionen bedeuten. Dies wird am Beispiel der Hinderniswarnung und des Querverkehrsassistenten durchgeführt. Es wurden mehrere Szenarien der Kommunikationsversuche ausgewählt, in denen eine Auslösung der Funktionen vorstellbar wäre. Beispielsweise wurde eine Kurve untersucht, hinter der ein Fahrzeug liegenbleiben und dadurch eine gefährliche Situation darstellen könnte. Hier wird nun analysiert, ob das Kommunikationsverhalten an dieser Stelle für eine rechtzeitige Warnung ausreichend ist.

Die beiden Funktionen wurden ausgewählt, da sie auf unterschiedlichen Nachrichtentypen basieren und daher ein anderes Verhalten in ihrer Kommunikation haben. Außerdem sind sie in ihrem Auslöseverhalten sehr simpel und ihr Verhalten lässt sich daher gut vorhersagen.

3.2.4 Modellierung Hinderniswarnung

Die Hinderniswarnung wird am Beispiel des Anwendungsfalls „Liegengebliebenes Fahrzeug“ modelliert. Sobald ein Fahrzeug zum Stehen kommt und den Warnblinker aktiviert beginnt das Fahrzeug mit dem zyklischen Senden von Gefahrenwarnungen[19].

Es wird nun davon ausgegangen, dass sich ein Empfängerfahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit auf das Sendefahrzeug zubewegt und der Ort und der Zeitpunkt bestimmt, ab dem die Warnung sicher empfangen wird.

Es ist vorgesehen, dass diese Warnungen zusätzlich von Fahrzeug zu Fahrzeug weitergereicht werden und sich dadurch deren Übertragungsreichweite erhöht. Dies funktioniert nur, solange sich weitere ausgestattete Fahrzeuge in Kommunikationsreichweite befinden, die die Verbreitung unterstützen können. Da dieses Verhalten schwierig modellierbar ist wird davon ausgegangen, dass sich nur ein Sender und ein Empfänger in Kommunikationsreichweite befinden. Dies entspricht sehr geringen Ausstattungsraten und stellt somit den „worst case“ für die Übertragung dieser Warnungen dar. Bei höheren Ausstattungsraten ist zu erwarten, dass sich die Kommunikation deutlich verbessert.

In Fällen wo die Warnungen nicht rechtzeitig übermittelt werden konnten wird überprüft, ob eine höhere Senderate der Warnung das Verhalten verbessern könnte. Der aktuelle Standard sieht vor, dass hier Nachrichten mit deutlich mehr als den in sim^{TD} implementierten 1Hz gesendet werden können.

3.2.5 Modellierung Querverkehrsassistent

An den ausgewählten Kreuzungen wird die Funktion Querverkehrsassistent simuliert. Es wird davon ausgegangen, dass sich zwei Fahrzeuge auf unterschiedlichen Kreuzungsarmen mit konstanter Geschwindigkeit aufeinander zu bewegen und eine Kollision auf der Kreuzungsmitte bevorsteht. Gegebenenfalls vorherrschende Vorfahrtsregeln werden hier nicht berücksichtigt. Es wird immer davon ausgegangen, dass die modellierte Situation einer für den Querverkehrsassistenten relevanten Situation entspricht.

Die Fahrzeuge senden dabei CAMs mit einer Frequenz von in sim^{TD} für fahrende Fahrzeuge typischen 5Hz. Eines der Fahrzeuge wird als Sender und das andere als Empfänger

[19] Es werden DENMs mit einer Frequenz von 1Hz gesendet.

definiert. Sobald der Empfänger mindestens eine CAM des Senders empfangen hat ist er in der Lage, aus den Informationen die Position zu extrapolieren und es kommt zu einer Anzeige[20].

Außerdem wird betrachtet, wie sich das Verhalten ändert, wenn statt der festen CAM-Generierungsraten die aktuell im Rahmen der Standardisierung vorgesehenen „Triggering Conditions“ verwendet werden.

3.2.6 Vorgehen bei der Bewertung

In der nachfolgenden Bewertung wird davon ausgegangen, dass der Empfang einer einzigen Nachricht zu einer korrekten Auslösung der Funktion ausreichend ist. Nach Rücksprache mit den Funktionsentwicklern wurde identifiziert, dass dies der Fall ist.

Es wird angenommen, dass eine 99%ige Empfangswahrscheinlichkeit von mindestens einer Nachricht sicher zu einer Auslösung der Funktion führt. Dieser Wahrscheinlichkeit kann ein Abstand zur Nachrichtenquelle zugeordnet werden.

Wenn sich ein Fahrzeug auf die Quelle zubewegt vergeht Zeit, während der potentiell Nachrichten empfangen werden können. Zunächst kann man die Wahrscheinlichkeit dafür berechnen, dass bis zu einem bestimmten Zeitpunkt **keine einzige** Nachricht empfangen wird (p_0).

Wenn man beispielsweise von einer über den Ort konstanten Empfangswahrscheinlichkeit von 50% und einer Sendefrequenz von 1Hz ausgeht, so ergibt sich für einen Zeitraum von 2 bzw. 4 Sekunden:

$$p_{0(2s)} = 0{,}5 \times 0{,}5 = 0{,}25 = 25\%$$

$$p_{0(4s)} = (0{,}5)^4 = 0{,}0625 = 6{,}25\%$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass zu diesem Zeitpunkt mindestens eine Nachricht empfangen wurde, ist die Gegenwahrscheinlichkeit:

$$p_{1(2s)} = 1 - p_{0(2s)} = 1 - 0{,}25 = 75\%$$

$$p_{1(4s)} = 1 - p_{0(4s)} = 1 - 0{,}0625 = 93{,}75\%$$

Die Empfangswahrscheinlichkeit steigt also mit der Zeit immer weiter an. Um nun die Ergebnisse der Kommunikationsversuche einfließen zu lassen wird angenommen, dass sich der Empfänger mit einer konstanten Geschwindigkeit auf den Nachrichtensender zubewegt. Dabei vergeht nicht nur Zeit sondern auch die Übertragungswahrscheinlichkeiten variieren mit den Segmenten, in denen sich der Empfänger gerade befindet[21].

Lässt man nun den Empfänger eine Zeit lang auf den Sender zufahren so ergibt sich irgendwann ein Zeitpunkt, an dem die Wahrscheinlichkeit für den Empfang mindestens einer Nachricht den Wert von 99% übersteigt. Diesem Zeitpunkt kann nun ein Abstand zum Hindernis zugeordnet werden und außerdem eine Zeit bis zur potentiellen Kollision. Anhand dieser Größen wird die Kommunikation in den einzelnen Szenarien bewertet.

---

[20] Diese Annahme kann getroffen werden, da das Szenario konstante Geschwindigkeiten und eine Kollision vorsieht.

[21] Typischerweise ist die Empfangswahrscheinlichkeit nahe dem Sender hoch und mit größerem Abstand gering.

3.2.6.1 Beschreibung des Bewertungsmaßstabs

Da konstante Geschwindigkeiten angenommen wurden lässt sich für jedes Szenario der Anhalteweg berechnen:

$$s_{Halt} = \frac{v^2}{2a} + t_R \times v$$

Der mit dieser Formel berechnete Anhalteweg besteht aus dem eigentlichen Bremsweg und dem Reaktions- und Vorbremsweg. Es werden eine Reaktions- und Vorbremszeit von einer Sekunde und eine Bremsverzögerung von $6\,{}^{m}/_{s^2}$ angenommen. Diese Reaktionszeit entspricht typischen Werten und die gewählte Bremsverzögerung gilt beispielsweise für nasse Asphaltdecken. Bei schnellen Reaktionen und guten Haftwerten lassen sich deutlich kürzere Anhaltewege erreichen. Dennoch wurden bewusst diese Werte gewählt, da sie das Verhalten eines durchschnittlichen Fahrers besser abbilden. Man kann die zugrundeliegende Verzögerung daher als komfortabel bezeichnen.

Unter der Annahme, dass die Verarbeitungszeiten des Car2X-Systems sehr klein sind[22], kann dieser Anhalteweg direkt mit dem 99%-Abstand verglichen werden. Sind beide identisch, so ergibt sich, dass der durchschnittliche Fahrer gerade rechtzeitig vor dem Hindernis bremsen kann. Ist der Anhalteweg größer, so kann er dies nicht mehr (oder nur mit einer Gefahrenbremsung) und die Kommunikation muss negativ bewertet werden.

Die folgende Metrik wird angewendet:

$$\lambda = \frac{s_{99\%}}{s_{Halt}}$$

Wert für λ	Bewertung
$\lambda < 1$	**Schlecht**
$1 \leq \lambda < 1{,}3$	**Mittel**
$1{,}3 \leq \lambda$	**Gut**

Dieser Bewertungsmaßstab kann insgesamt als konservativ angesehen werden. Er berücksichtigt, dass der Fahrer nicht mit der vollen möglichen Bremsverzögerung bremst bzw. dass schlechte Fahrbahnbedingungen wie Nässe herrschen. Außerdem kann selbst eine Warnung, die im schlechten Bereich stattfindet, zu einer starken Reduktion der Kollisionsgeschwindigkeit führen, die ebenfalls als Erfolg einer Car2Car-Warnung betrachtet werden kann.

[22] Es ist davon auszugehen, dass in der Serie Zeiten erreicht werden, die deutlich unter 100ms liegen und daher im Vergleich keine Rolle spielen.

3.2.7 Bewertung

3.2.7.1 Bewertung der Hinderniswarnung für das Szenario „Wald Gerade“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Freie Fahrt
Umgebung	Wald

Für das Szenario „Wald“ wird eine lange Gerade untersucht, die auf beiden Seiten von Bäumen begrenzt ist. Ansonsten verläuft die Fahrbahn geradlinig. Auch wenn es in der Realität nicht der Fall war, kann angenommen werden, dass das Verhalten ähnlich einer schmalen Landstraße ist. Es wird daher davon ausgegangen, dass auf dieser Strecke mit 100km/h gefahren wird.

In den folgenden Abbildungen ist der Sender (hier das Hindernis) rot markiert. Die Höhe und Farbe der Balken gibt die Fehlerrate an dem jeweiligen Ort an. Ein hoher roter Balken entspricht 100% Übertragungsfehlern.

Abbildung 3.2: Fehlerraten auf der Geraden im Wald

Ergebnis

Geschwindigkeit	100 km/h
Anhalteweg	92 m
Abstand für p > 99%	527 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	19 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist mehr als ausreichend. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 570% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs. Eine komfortable Verzögerung ist so möglich.

Schlussfolgerungen

In dem Szenario herrschen Idealbedingungen für die Kommunikation. Der geringe Verkehr und die direkte Sichtverbindung sorgen für sehr hohe Reichweiten. Auch ohne Multi-Hopping können Gefahren sehr früh erkannt werden und der Fahrer kann komfortabel reagieren.

3.2.7.2 Bewertung der Hinderniswarnung für das Szenario „Wald Kurve“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Freie Fahrt
Umgebung	Wald

In der Nähe des Waldes führte die Strecke zusätzlich entlang einer städtischen Straße. An einer Kreuzung ist eine Rechtsabbiegerspur zu befahren, bei der die Sicht „um die Kurve“ schlecht möglich ist. Es wird angenommen, dass sich hinter dieser Kurve ein liegengebliebenes Fahrzeug befindet, auf das die ankommenden Fahrzeuge auffahren.

Obwohl auf der Abbiegespur nur eine Geschwindigkeit von 30km/h zulässig ist wird davon ausgegangen, dass sich der Empfänger mit 50km/h nähert.

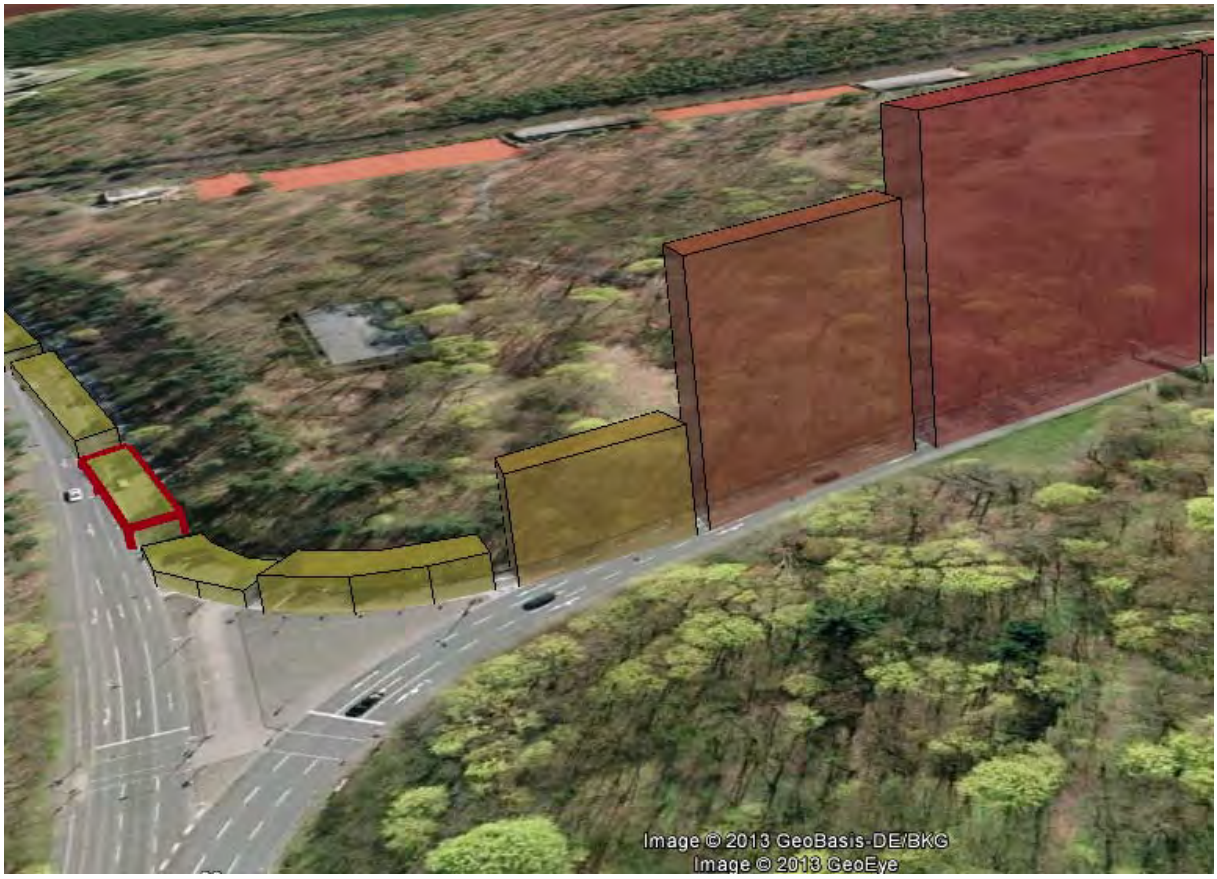


Abbildung 3.3: Fehlerraten an der Kurve nahe dem Wald

Abbildung 3.4: Kurve aus Sicht des sich nähernden Fahrzeugs

Ergebnis

Geschwindigkeit	50 km/h
Anhalteweg	30 m
Abstand für p > 99%	69 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	5 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist ausreichend. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 230% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs. Eine komfortable Verzögerung ist so möglich.

Schlussfolgerungen

An der hier untersuchten Kurve ist es möglich, den Fahrer trotz überhöhter Geschwindigkeit und die Kommunikation behindernden Faktoren wie Vegetation und Hügeln sicher vor der Gefahr zu warnen.

3.2.7.3 Bewertung der Hinderniswarnung für das Szenario „Autobahn“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	9 dBm
Verkehr	Freie Fahrt
Umgebung	Autobahn

In diesem Szenario wird die Autobahn A5 zwischen dem Frankfurter Kreuz und der Anschlussstelle Zeppelinheim betrachtet.

Abbildung 3.5: Fehlerraten auf der Autobahn

Es werden Daten ausgewertet, die mit einer stark reduzierten Sendeleistung von 9dBm aufgenommen wurden. Zum Zeitpunkt der Aufnahme war eine freie Fahrt möglich und sehr wenige andere Fahrzeuge haben die Kommunikation gestört.

Ergebnis

Geschwindigkeit	130 km/h
Anhalteweg	145 m
Abstand für p > 99%	216 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	6 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist ausreichend. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 150% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs.

Schlussfolgerungen

Trotz stark reduzierter Sendeleistung ist es möglich, auf der Autobahn Reichweiten zu erreichen, die zu rechtzeitigen Warnungen führen können. Es ist zu erwarten, dass diese Ergebnisse in der Praxis in diesem Szenario durch erhöhte Sendeleistung und Multi-Hopping noch wesentlich besser aussehen.

3.2.7.4 Bewertung der Hinderniswarnung für das Szenario „Autobahn Verzögerungsstreifen“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Dicht / stockend
Umgebung	Autobahn

In diesem Szenario wird die Autobahn in der Nähe des Frankfurter Kreuzes betrachtet. An dieser Stelle hat der Verzögerungsstreifen Eigenschaften, die die Kommunikation negativ beeinflussen. Der Streifen wird abgesenkt, um eine Überführung passieren zu lassen. Gleichzeitig beschreibt die Fahrbahn eine Kurve. Es wird angenommen, dass sich ein liegengebliebenes Fahrzeug hinter dieser Kurve befindet, das eine Warnung aussendet. Somit besteht keine direkte Sichtverbindung zum sich nähernden Fahrzeug.

Abbildung 3.6: Verzögerungsstreifen aus Sicht eines sich nähernden Fahrzeugs

Zusätzlich dazu wurden Daten ausgewertet, die bei sehr dichtem Verkehr aufgenommen wurden. Somit behindern andere fahrende PKW und LKW die Kommunikation. Es wird angenommen, dass sich der Empfänger mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h auf den Sender zubewegt. Dies entspricht der auf dieser Fahrbahn erlaubten Geschwindigkeit.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass das hier vorgestellte Szenario einem „worst case“ für die Kommunikation auf Autobahnen entspricht. In Abbildung 3.7 sind die Fehlerraten für einen Sender an dieser Stelle dargestellt.

Abbildung 3.7: Fehlerrate auf dem Verzögerungsstreifen

Ergebnis

Geschwindigkeit	80 km/h
Anhalteweg	63 m
Abstand für p > 99%	0 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	0 s
Bewertung	**Schlecht**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist hier nicht ausreichend. Erst zum Zeitpunkt der Kollision erreicht die Nachricht mit (nur) 95%iger Wahrscheinlichkeit das sich nähernde Fahrzeug.

Schlussfolgerungen

Die Kommunikation kann mit den verwendeten Parametern nicht sicher eine Warnung ermöglichen, die eine Kollision verhindern könnte. Bei einem für den Anhalteweg notwendigen Abstand zum Hindernis beträgt die Wahrscheinlichkeit für den Empfang mindestens einer Nachricht erst 92%.

Zu berücksichtigen ist bei den Ergebnissen, dass davon ausgegangen wird, dass die DENM der Hinderniswarnung mit einer Frequenz von 1Hz ausgesendet wird. Wenn man nun diese Frequenz erhöht, so erhöht man die Anzahl der Nachrichten, die der Empfänger theoretisch empfangen könnte, und verbessert dadurch die Übertragungswahrscheinlichkeit. Für eine Sendefrequenz von 2Hz ergeben sich die folgenden Werte:

Geschwindigkeit	80 km/h
Anhalteweg	63 m
Abstand für p > 99%	88 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	10 s
Bewertung	**Gut**

Eine erhöhte Sendefrequenz kann in diesem Beispiel also für eine drastische Verbesserung der Empfangswahrscheinlichkeit sorgen. Dies sollte für die zukünftige Parametrisierung der Funktionen berücksichtigt werden.

3.2.7.5 Bewertung der Hinderniswarnung für das Szenario „Tunnel“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Freie Fahrt
Umgebung	Tunnel

In der Frankfurter Innenstadt wird der Theatertunnel betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass sich ein Hindernis am Ausgang des ca. 400m langen und S-förmigen Tunnels befindet. Diese Situation ist dadurch gefährlich, dass das Sehvermögen des Fahrers in diesem Moment durch die Änderung der Helligkeit eingeschränkt ist. Eine rechtzeitige Warnung über Car2Car-Kommunikation kann diese Situation entschärfen.

In der Auswertung wurde gezeigt, dass der Tunnel einen überraschend positiven Einfluss auf die Kommunikation hat und die Nachrichten vermutlich durch Reflexion an den Wänden weitergeleitet werden.

Abbildung 3.8: Fehlerraten im Tunnel

Ergebnis

Geschwindigkeit	50 km/h
Anhalteweg	30 m
Abstand für p > 99%	292 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	21 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist sehr gut. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 970% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs. Eine komfortable Verzögerung ist möglich.

Schlussfolgerungen

Die Nachrichten werden durch den Tunnel geleitet und bereits kurz nach der Einfahrt ergibt sich eine 99%ige kumulierte Empfangswahrscheinlichkeit. Dadurch ist hier eine rechtzeitige Warnung des Fahrers möglich, die ihm eine komfortable Verzögerung möglich.

3.2.7.6 Bewertung des Querverkehrsassistenten für das Szenario „Wald“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Freie Fahrt
Umgebung	Wald

Es wird eine Kreuzung im Waldszenario untersucht, an der zwei Fahrbahnen rechtwinklig aufeinander treffen. Der Bereich zwischen diesen Fahrbahnen ist relativ dicht mit Bäumen bewachsen, die die Kommunikation behindern.

Eine solche Situation kann auf Landstraßen in Wäldern entstehen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die zwei Fahrzeuge mit entsprechenden Geschwindigkeiten bewegen. Der Sender fährt mit 100km/h die im Bild horizontal verlaufende Fahrbahn entlang. Der Empfänger bewegt sich mit 70km/h auf die Kreuzung zu. Hier kann angenommen werden, dass seine Fahrbahn nicht an der Kreuzung endet sondern dahinter weiterführt und er die Hinweisschilder für die Kreuzung übersehen hat. Entsprechend muss er vor der drohenden Kollision gewarnt werden, damit er rechtzeitig bremsen kann.

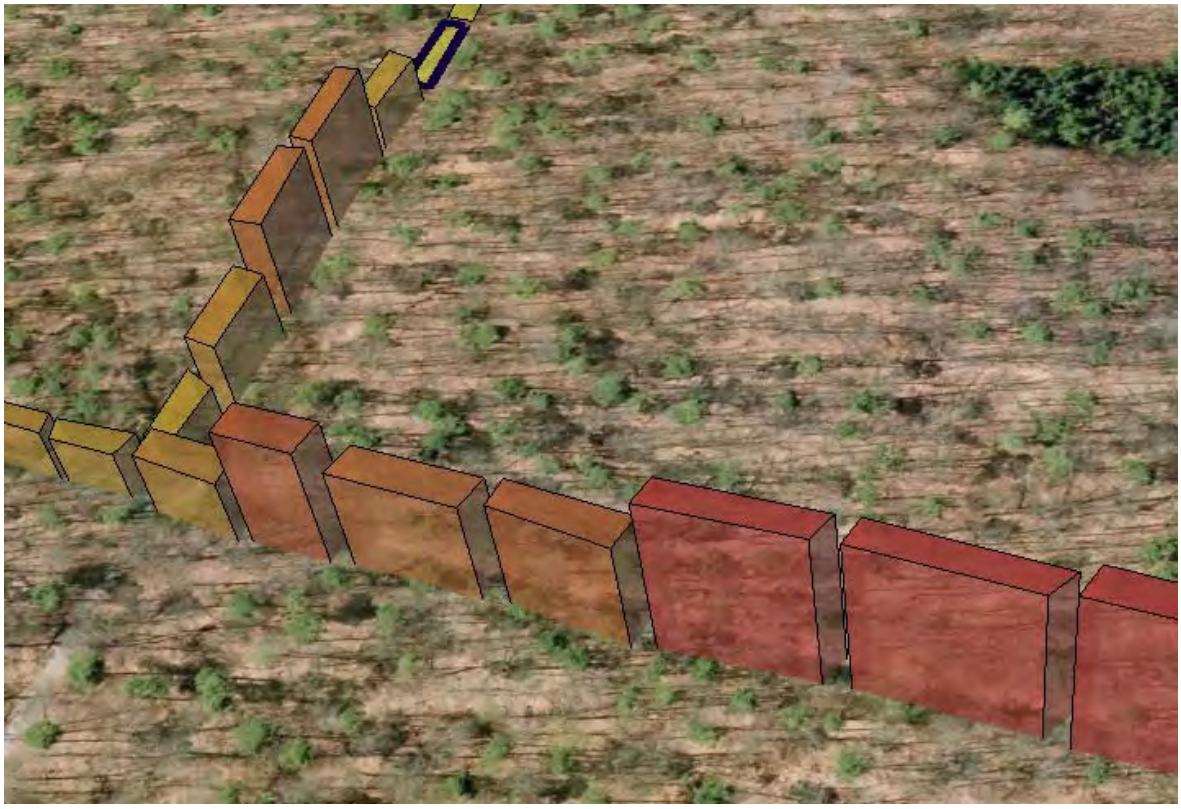


Abbildung 3.9: Fehlerraten an der Kreuzung im Wald

Ergebnis

Geschwindigkeit	100 km/h (Sender) - 70 km/h (Empf.)
Anhalteweg (Empfänger)	51 m
Abstand für p > 99% (Empfänger)	77 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	4 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist ausreichend. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 150% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs. Eine rechtzeitige Warnung ist möglich.

Schlussfolgerungen

Während die Übertragungsraten auf der Gerade sehr große Reichweiten ermöglichten zeigen sich für eine Kreuzung im Wald deutlich schlechtere Werte. Bei den hier betrachteten hohen Geschwindigkeiten führt das dazu, dass eine Warnung immer noch rechtzeitig erfolgen kann.

Wenn man annimmt, dass die CAMs nicht wie hier angenommen mit 5Hz sondern vielmehr mit 7Hz gesendet würden[23], so kommt es zu keiner wesentlichen Veränderung.

3.2.7.7 Bewertung des Querverkehrsassistenten für das Szenario „Stadtkreuzung“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Typischer Stadtverkehr
Umgebung	Stadt

An der Stadtkreuzung wird der Kreuzungsarm mit dem schlechtesten Kommunikationsverhalten untersucht. Dieses negative Verhalten ergibt sich aus dem rechtwinkligen Gebäude, das weit in die Kreuzung hineinragt und so die Kommunikation behindert.

Abbildung 3.10: Fehlerraten an der Stadtkreuzung

[23] Aktuell ist vorgesehen, dass bei konstanter Geschwindigkeit und einer Fahrt ohne Winkelveränderung alle 4m eine CAM versendet wird. Bei 100km/h entspricht dies ungefähr 7Hz.

Es werden zwei Fahrzeuge betrachtet, die mit konstanter und identischer Geschwindigkeit auf die Kreuzung zufahren. Das empfangende Fahrzeug befindet sich dabei auf der vertikal verlaufenden Straße.

Ergebnis

Geschwindigkeit	50 km/h (Sender) - 50 km/h (Empf.)
Anhalteweg (Empfänger)	30 m
Abstand für p > 99% (Empfänger)	83 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	6 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist gut. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 270% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs. Eine Warnung ist rechtzeitig möglich.

Schlussfolgerungen

Trotz der dichten Bebauung und den auf den ersten Blick hohen Fehlerraten ist das Szenario Stadtkreuzung für den Querverkehrsassistenten gut geeignet. Bei typischen Geschwindigkeiten kann eine rechtzeitige Warnung des Fahrers sichergestellt werden.

Selbst wenn eine reduzierte CAM-Rate von 3,5Hz angenommen wird, so wie es die aktuellen Regeln für die CAM-Generierung vorsehen, ändert sich das Ergebnis nur unwesentlich.

3.2.7.8 Bewertung des Querverkehrsassistenten für das Szenario „Tunnelkreuzung“

Beschreibung

Parameter	**Wert**
Sendeleistung	20 dBm
Verkehr	Typischer Stadtverkehr
Umgebung	Stadt

In der Nähe des Theatertunnels befindet sich eine während des Versuchs befahrene Kreuzung, die sich durch sehr dichte und hohe Bebauung auszeichnet. Das empfangende Fahrzeug bewegt sich mit niedriger Geschwindigkeit aus eine schmalen Nebenstraße auf die Hauptstraße zu. Auf dieser Hauptstraße fährt ein zweites Fahrzeug mit normaler Geschwindigkeit auf die Kreuzung zu.

Abbildung 3.11: Fehlerraten an der Kreuzung nahe dem Tunnel

Bei dieser Auswertung ist zu berücksichtigen, dass ihre Aussagekraft eingeschränkt ist. Die Verkehrsregeln und der Straßenverlauf sehen vor, dass es hier zu keiner Kollision kommen kann. Außerdem haben sich die Fahrzeuge auf der Hauptstraße im Versuch von der Kreuzung weg und nicht auf die Kreuzung zu bewegt. Dadurch wurden die Daten generiert, während das Heck der Fahrzeuge der Kreuzung zugewandt war. Dies führt bedingt durch den Verbauort und die Abstrahlcharakteristik der Antenne zu einer besseren Sende- bzw. Empfangsleistung. Auf einer Straße, die die für die Funktion notwendige Form hätte, sähen diese Ergebnisse also vermutlich schlechter aus. Eine genauere Abschätzung ist leider nicht möglich.

Ergebnis

Geschwindigkeit	50 km/h (Sender) - 30 km/h (Empf.)
Anhalteweg (Empfänger)	14 m
Abstand für p > 99% (Empfänger)	41 m
Zeit zur Kollision für p > 99%	5 s
Bewertung	**Gut**
Erläuterung	Die berechnete Vorwarnzeit für die Funktion ist gut. Die Nachricht erreicht das Fahrzeug sicher bei ca. 290% des bei dieser Geschwindigkeit notwendigen Anhaltewegs. Eine Warnung ist rechtzeitig möglich.

Schlussfolgerungen

Bei sehr schmalen Straßen und hoher Bebauung kann der Querverkehrsassistent für langsame Geschwindigkeiten gut funktionieren. Es ist aber zu beachten, dass die Straßenführung und die Fahrtrichtung im Versuch nicht zu der Situation passen und die Ergebnisse daher möglicherweise in der Realität abweichen.

3.2.8 Fragenkatalog

- *Hat die sim^{TD}-Kommunikation funktioniert?*

- In den Kommunikationsversuchen konnte gezeigt werden, dass die Technologie funktioniert und mit dem sim^{TD}-System für die Funktionen ausreichende Reichweiten erreicht werden können. Es wurden 8 repräsentative Situationen untersucht, von denen 7 gute Ergebnisse geliefert haben. In der mit schlecht bewerteten Situation wurde aufgezeigt, wie sich ein besseres Ergebnis erzeugen ließe.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Während der Versuche kam es zu Komponentenausfällen und Ortungsproblemen. Diese Ausfälle haben dazu geführt, dass Daten verworfen werden mussten und somit weniger Daten für die statistische Auswertung zur Verfügung standen.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Es ist zu erwarten, dass die Verfügbarkeit eines Seriensystems deutlich höher ist als die des sim^{TD}-Systems. Außerdem wird die voraussichtliche Ausprägung eines Seriensystems die Übertragungswahrscheinlichkeiten positiv beeinflussen.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktionen?*

- Ja.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Es ist davon auszugehen, dass eine erhöhte Ausstattungsrate die Reichweiten für DENM-basierte Funktionen durch Multi-Hop-Stützstellen weiter verbessern wird.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Multi-Hopping wurde hier nicht betrachtet. Es ist davon auszugehen, dass dieser Mechanismus die Informationsreichweiten weiter verbessert.

3.2.9 Zusammenfassung

Die Kommunikationsversuche haben gezeigt, dass die Technologie in der Lage ist, die betrachteten Funktionen umzusetzen und deren Anforderungen gerecht zu werden.

Es wurden 8 für die ausgewählten Funktionen repräsentative Szenarien ausgewählt. In 7 dieser Szenarien konnten gute Ergebnisse erreicht werden. Die auf den ersten Blick hohen Fehlerraten führten bei genauer Betrachtung aus Sicht von Funktionen dennoch zu zuverlässigen Übertragungen.

Selbst in dem Szenario mit schlechtem Ergebnis konnte gezeigt werden, wie mit einfachen Parameteränderungen das Kommunikationsverhalten verbessert werden kann, um Problemen entgegenzuwirken. Diese Parameteränderungen sind teilweise schon in den Standards formuliert bzw. können von Funktionsentwicklern in der Zukunft berücksichtigt werden.

Im Vergleich zu den für die Serieneinführung vorgesehenen Kommunikationsparametern kann die hier durchgeführte Untersuchung als konservativ angesehen werden. Mittlerweile sind höhere Sendeleistungen, höhere Wiederholungsraten und Mechanismen wie das „Multi-Hopping“ vorgesehen, die die Übertragungswahrscheinlichkeiten noch weiter verbessern werden. Daher ist davon auszugehen, dass die Funktionen in Zukunft mit höheren Informationsreichweiten arbeiten können und so rechtzeitige Warnungen ermöglicht werden.

3.3 IRS

3.3.1 Ziele und Aufgaben des Reichweiten-Versuchs

Der Versuch erforscht die Reichweite der im Feldversuch eingesetzten IRS. Hierzu werden die Daten der Versuchsfahrzeuge herangezogen. Genauer wird dabei die Messgröße m_CCU_GEOADHOCNET_IRSCoverage mit der ID 850028 betrachtet. Die Messgröße wird fahrzeugseitig bei jeder von einer IRS empfangenen CAM erfasst und enthält, neben den Größen aus der CAM, zusätzlich unter anderen die Information über den aktuellen Standort des empfangenden Fahrzeugs. Anhand der bekannten Position der IRS kann so der Abstand zur sendenden IRS zu diesem Zeitpunkt ermittelt werden und so bei Betrachtung aller Datensätze des gesamten Versuchszeitraums eine Aussage über die Reichweite der eingesetzten IRS getroffen werden.

3.3.2 Bewertung der funktionsrelevanten Kenngrößen

Im folgenden Kapitel werden die für die Funktion relevanten und ausgewerteten Kenngrößen kurz beschrieben und auf Basis der Versuchsergebnisse bewertet.

3.3.2.1 Kenngröße „Korrekte Funktionalität des Reichweitenversuchs“

Wir definieren „korrekte Funktionalität“ als den Erhalt von Messpunkten.

Bewertungsmaßstab:

Gut:	95-100%
Mittel:	80-95%
Schlecht:	< 80%

Ergebnis des Feldversuchs:

Der Erhalt der Messgrößen hat zum überwiegenden Teil (99,986%) funktioniert, einige Daten waren allerdings korrupt (0,014%). Insgesamt ist es aber mit **gut** zu bewerten ist.

3.3.2.2 Kenngröße „Örtliche Relevanz der zu liefernden / gelieferten Informationen

Wir definieren örtliche Relevanz“ als korrekte Verortung der Ereignisse/Messgrößen.

Bewertungsmaßstab:

Gut: 95-100%

Mittel: 80-95%

Schlecht: < 80%

Ergebnis des Feldversuchs:

Hier müssen die Ergebnisse als **schlecht** bewertet werden, da insgesamt nur 52,98% der Messdaten verwendet werden konnten.

Gesamtanzahl der Messpunkte	Gefiltert	Prozent
117.935.618	62.476.730	52,98 %

Besondere Anmerkungen:

- Es war sowohl ein maschinelle, anhand anderer Loggrößen (GPS Zeitsynchronisation, Zuordnung zu IRS, Maximale Reichweite der IEEE 802.11p Kommunikation), als auch eine Filterung per Hand (optischer Vergleich) der Messgrößen notwendig.
- Abweichungen, die nicht zu einer Verfälschung des Ergebnisses führen wurden akzeptiert. Die betrifft solche Messdaten, die zwar nicht genau auf einer Straße liegen, also Abweichungen sind, aber nicht weit genug weg**,** um die Ergebnisse zu verfälschen. Dies wurde immer anhängig von den jeweiligen IRS-Gegebenheiten durchgeführt, so dass keine allgemeine Aussage hierzu möglich ist.

3.3.2.3 Kenngröße „Reichweite“

Die Reichweite wurde definiert als statistische Verteilung der gemessen Empfangsreichweite. Aus den Einzelergebnissen wurde dann jeweils der Median berechnet, da die Messdaten nicht gleichverteilt waren, sondern es eine Häufung nahe der IRS gab. (Zum Thema Verlustraten siehe auch Be- bzw. Auswertung der Kommunikationsversuche in Kapitel 3.2.).

Der Median ist die mittlere Reichweite, die obere Reichweite ist die maximale Reichweite (ohne ausreißerverdächtige Messpunkte).

Der Median gibt an in welcher Entfernung eine Kommunikation höchstwahrscheinlich möglich ist.

Die obere Reichweite gibt an bis zu welcher Entfernung eine Kommunikation noch möglich ist (nicht notwendigerweise kontinuierlich).

Es gibt noch die maximale Reichweite, die auch einzelne Punkte beinhaltet, die statistisch als Ausreißer gelten, wo aber anhand der Datenqualität keine definitive Entscheidung möglich ist.

2 Bewertungsmaßstäbe für zwei Gruppen von IRS:

- Stadt
- Landstraße / Autobahn

Die Einteilung innerhalb der Bewertungsmaßstäbe erfolgt aus theoretischen Entfernungsbetrachtungen und Referenztests (wie sie z. B. auch von Continental oder HTW

durchgeführt wurden). Letztlich hängt es aber immer von den jeweiligen Anforderungen der Funktion ab. Es gibt keine wissenschaftliche Grundlage für die Werte. Sie sind offen für Diskussion.

Median der Mediane über alle IRS der Kategorie

Bewertungsmaßstab Kategorie Stadt:

Gut: > 250 m

Mittel: 187,5 m bis 250 m

Schlecht: < 187,5 m

Ergebnis des Feldversuchs:

Stadt: 246 m → **Mittel**

Bewertungsmaßstab Kategorie Landstraße/Autobahn:

Gut: > 500 m

Mittel: 375 m bis 500 m

Schlecht: < 375 m

Ergebnis des Feldversuchs Landstraße:

310 m → **Schlecht**

Ergebnis des Feldversuchs Autobahn:

453 m → **Mittel**

Median der oberen Reichweite (ohne potentielle Ausreißer) über alle IRS der Kategorie

Bewertungsmaßstab Kategorie Stadt:

Gut: > 500 m

Mittel: 375 m bis 500 m

Schlecht: < 375 m

Ergebnis des Feldversuchs Stadt:

632 m → **Gut**

Bewertungsmaßstab Kategorie Landstraße /Autobahn:

Gut: > 1000 m

Mittel: 750m bis 100 m

Schlecht: < 750 m

Ergebnis des Feldversuchs Landstraße:

1307 m → **Gut**

Ergebnis des Feldversuchs Autobahn:

1452 m → **Gut**

Tabelle 3.1: Klassifizierung der Reichweiten nach Aufbaustandort

	Median der Mediane	**Median der oberen Reichweite ohne potentielle Ausreißer**	**Median der maximalen Reichweite.**
Gesamt	304m	1119m	2809m
Autobahn	453m	1452m	3625m
Land	310m	1307m	2918m
Stadt	246m	631m	2159m

Anmerkung: Es ist zu beachten, dass diese Zahlen nur Richtwerte darstellen können. Um gezielte Aussagen über die Reichweite einer einzelnen IRS treffen zu können, müssen weitere Parameter wie z. B. der genaue Montageort oder die Landschaftstopologie (Bebauung, Wald usw.) mit einbezogen werden.

Anmerkung 2: Allgemeinen Aussagen sind in diesen Zusammenhang sehr kritisch, da die Werte sich von Standort zu Standort unterscheiden. Die real zu erwartenden Werte hängen von vielen Faktoren ab (wie z. B. Richtcharakteristik der Antennen (sind in sim^{TD} nicht perfekte Rundstrahler), Sendeleistung der Kommunikationseinheit (in sim^{TD} nicht bis zum im ETSI Standard ES 202 663 definierten Limit ausgereizt.), Überlegungen zur spektral-effizienten Kanalauslastung bei sehr vielen Nutzern, Umweltüberlegungen zur Leistungsaufnahme und „Verschleiß“ der Transceiver, Aufbauort, Abstand und Anzahl der Antennen, Topologie des Geländes, Bebauung, Bewaldung, … und natürlich auch Anforderungen der Funktionen)

3.3.3 Fragenkatalog

- *Hat der sim^{TD}-Reichweitenversuch funktioniert?*

- Zum Teil, Ortungsproblem, daher viele nicht nutzbare Messdaten.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- sim^{TD}-spezifisch, sollte in der Serie kein Problem sein, da dort andere Algorithmen zur Ortung zum Einsatz kommen und die Position stärker in bestehende Systeme (z. B. digitale Karte) integriert werden.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Keine Antwort, da die Kommunikationstechnologie (ITS G5) Inhalt des Versuches war.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Keine Antwort.

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- Mehr Ausstattung, größere Datengrundlage, aber nur indirekter Einfluss auf die Ergebnisse.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Ortung wichtig, da sonst keine Aussage möglich ist. Spurgenaue Ortung ist nicht notwendig für den Versuch.

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- Kein Multi-Hop.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Keine HMI Funktion.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- Keine, da es nur um Reichweitenauswertung geht.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- Beruht nur auf CAM.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Keine weitere Sensorik notwendig.

3.4 IT-Sicherheit

Im sim^{TD}-Feldversuch konnten aus Performancegründen keine kryptografischen IT-Sicherheitsmaßnahmen eingesetzt und getestet werden. Die kryptografischen Operationen wie Signierung und Verifikation bzw. Verschlüsselung und Entschlüsselung sind sehr rechenaufwendig da sie asymmetrische Schlüssel verwenden. Es hat sich herausgestellt, dass die sim^{TD}-Hardware nicht in der Lage ist, die geforderte Anzahl eingehender Nachrichten kryptografisch zu verarbeiten. Aus diesem Grund wurden in Absprache mit den Beteiligten die entsprechenden IT-Sicherheitsfunktionen nicht im Feldtest eingesetzt.

3.4.1 Bewertung der IT-Sicherheit

3.4.1.1 Forschungsleitende Hypothesen für Technik

Basierend auf dem Bewertungskonzept von AP5.1 wurden folgende forschungsleitende Hypothesen für das Thema IT-Sicherheit betrachtet.

1. Die realisierte IT-Sicherheit / Informationssicherheit für die Funktionen / Anwendungsfälle ist ausreichend.
   a. Das System sendet keine Nachrichten von aufgehobenen IDs (Pseudonyme).
      - Wie in Kapitel 3.4 beschrieben, wurden die Funktionen der kryptografischen IT-Sicherheit aus Performancegründen nicht im sim^{TD}-Feldversuch eingesetzt. Ohne eine kryptografische Verifikation der Zertifikate erschien eine Revokation der selbigen ebenfalls als nicht sinnvoll.
   b. Das System erkennt Nachrichten von gefälschten ITS Stationen
      - Im Feldtest wurden Stationen mit fehlerhaften bzw. unplausiblen Nachrichteninhalten erkannt.
      - Die eingesetzte Plausibilitätsprüfung auf den sim^{TD}-Stationen ist in der Lage unplausibles Verhalten zu detektieren. Das kann gegebenenfalls dazu verwendet werden um den betroffenen Stationen bei der nächsten Anfrage keine neuen Pseudonyme auszustellen. Für die Erkennung von gefälschten ITS Stationen ist eine zentrale Auswertung und Zusammenfassung von Stationen mit unplausiblem Verhalten sinnvoll.
   c. Die Pseudonymwechsel finden wie definiert statt
      - Der regelmäßige Wechsel von Pseudonymen ist im Feldversuch von allen Stationen wie geplant durchgeführt worden. Die in sim^{TD} vorgesehenen Sperren der Pseudonymwechsel wurden ebenfalls wie vorgesehen eingehalten.
2. Das System erkennt, ob Angreifer, ohne gültige Zertifikate in die Kommunikation eingreifen.
   a. Das System erkennt zertifizierte Nachrichten, die einen falschen Zeitstempel haben.
      - Die Erkennung von ungültigen Zeitstempeln konnte mit Hilfe der Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden.
   b. Das System erkennt die Manipulation von Zertifikaten
      - Dieser Nachweis der Datenintegrität konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
   c. Das System erkennt die Manipulation von Zeitstempeln.
      - Dieser Nachweis der Datenintegrität konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
3. Die Authentifikation ist erfolgreich bei autorisierten Sendern (gültige(s) Zertifikat + Signatur).
   - Dieser Nachweis der Authentifikation und Datenintegrität konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.

4. Bei ungültigem/r Zertifikat/ Signatur schlägt die Authentifikation fehl.
    - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
5. Das System führt die Entschlüsselung von verschlüsselten Informationen durch.
    - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
6. Das System führt die Verschlüsselung von Informationen durch.
    - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
7. Das System führt die Authentisierung des Senders erfolgreich durch und erkennt, dass die Nachricht von einem berechtigten Sender ausgesandt wurde.
    - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.

3.4.1.2 Kernfragen

- Ist die realisierte IT-Sicherheit / Informationssicherheit für die Funktionen / Anwendungsfälle ausreichend bzw. bei welchen Systemen, Funktionen / Anwendungsfälle traten Probleme auf?
    - Die kryptografischen IT-Sicherheitsfunktionen wurden in sim^{TD} in Absprache mit den Beteiligten ausgeklammert, da diese eine erhebliche Rechenleitung benötigt hätten die für die eigentlichen sim^{TD}-Funktionen gebraucht wurde. Die realisierte IT-Sicherheit / Informationssicherheit für die Funktionen / Anwendungsfälle war demnach nicht ausreichend implementiert und dient damit nicht als Verifikation für eine Implementierung welche für die Markteinführung relevant ist.
    - Die eingesetzten IT-Sicherheitsmechanismen zum Datenschutz wurden im Feldtest wie geplant umgesetzt und waren ausreichend um die Privatsphäre im definitiveren Rahmen zu schützen.
    - Das eingesetzte Backend zur Erzeugung der Zertifikate (PKI) basierte in sim^{TD} auf einem generischen Ansatz und genügt nicht den aktuellen Standardisierungsbestrebungen. Eine Weiterentwicklung der PKI hat im C2C Konsortium stattgefunden und wird dort prototypenhaft implementiert.

3.5 Verfügbarkeit der simTD-Versuchszentrale

3.5.1 Ziele und Aufgaben der sim^{TD}-Versuchszentrale

Die sim^{TD}-Versuchszentrale stellt den zentralen Anteil der sim^{TD}-Infrastruktur dar.

Die ITS Central Station (ICS) ist ein Verbund dedizierter Rechner, die in zwei Kategorien unterteilt werden können:

- 5 SPARC-Rechner (Kern-ICS)
- Weitere Server, meist auf Grundlage von Intel-Prozessoren.

Die sim^{TD}-ICS ist eine integrale Funktionskomponente. In ihr laufen alle Anwendungen, die für die zentralenseitige Unterstützung des Projekts sim^{TD} wesentlich sind. Dazu zählen die Funktionskreise:

- Kommunikation,
- Daten- und Informationseingang,
- Daten- und Informationsausgang,
- Administration,
- Bedienarbeitsplatz Betrieb,
- Bedienarbeitsplatz Analyse,
- Datenarchivierung,
- Kartengrundlage,
- Wissensbasis,
- Verkehrsanalyse,
- Verkehrsprognose,
- Baustellenmanagement,
- Streckenbeeinflussung,
- Netzbeeinflussung,
- Knotenbeeinflussung,
- Störungsmanagement,
- Strategiemanagement,
- Systemüberwachung

Das Gesamtsystem der ICS für das Projekt sim^{TD} aus funktionaler Sicht ist in der folgenden Abbildung 3.12 dargestellt. Die Graphik verdeutlicht insbesondere den Datenaustausch zwischen den zentralenseitigen Funktionen bzw. Funktionsanteilen einerseits sowie den Fahrzeugseitigen Funktionen und den vorhandenen Systemen der VZH und der IGLZ andererseits.

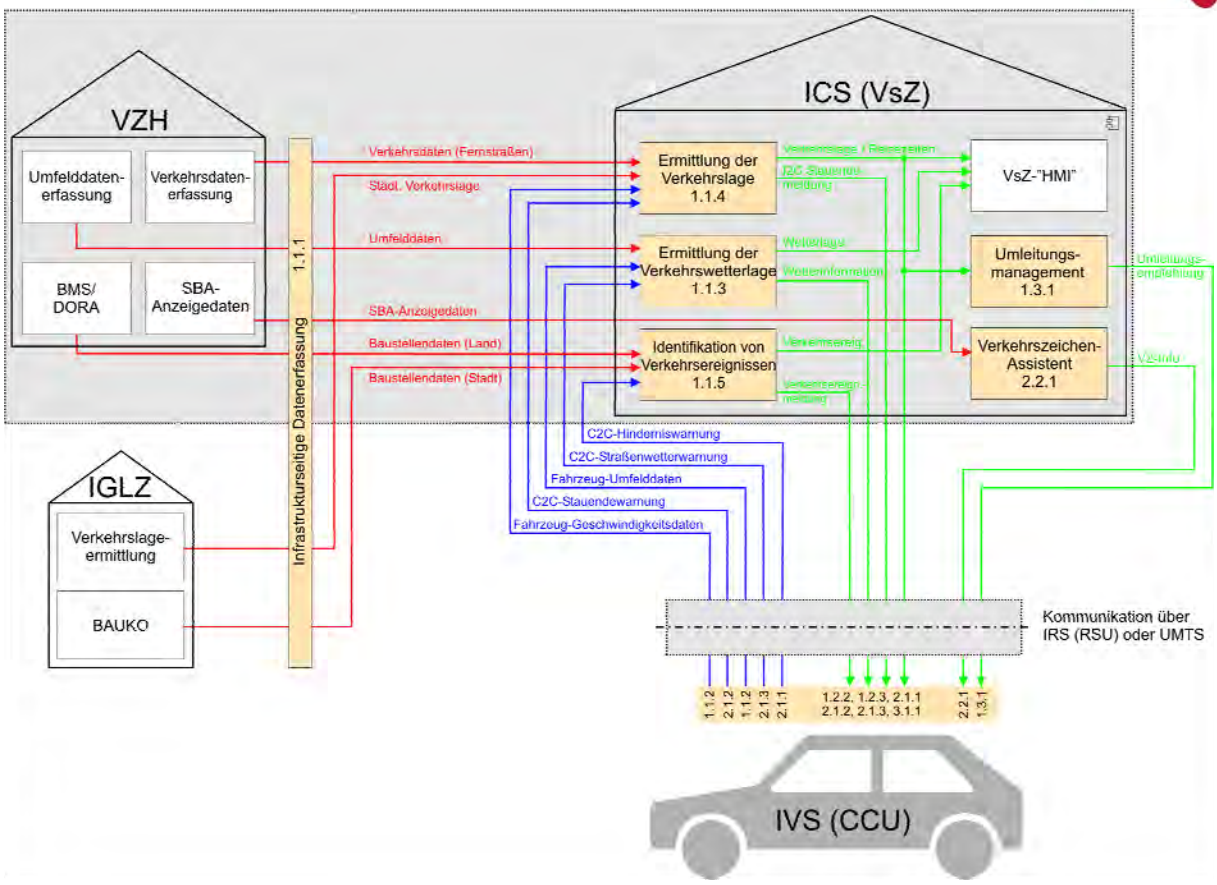


Abbildung 3.12: Funktionsorientierte ICS Gesamtübersicht seitens Hessen Mobil

In Abbildung 3.12 sind die Systeme bzw. funktionalen Komponenten im Verantwortungsbereich von Hessen Mobil grau hinterlegt. Die nachstehende Abbildung bietet eine technische Sicht auf die sim^{TD}-ICS.

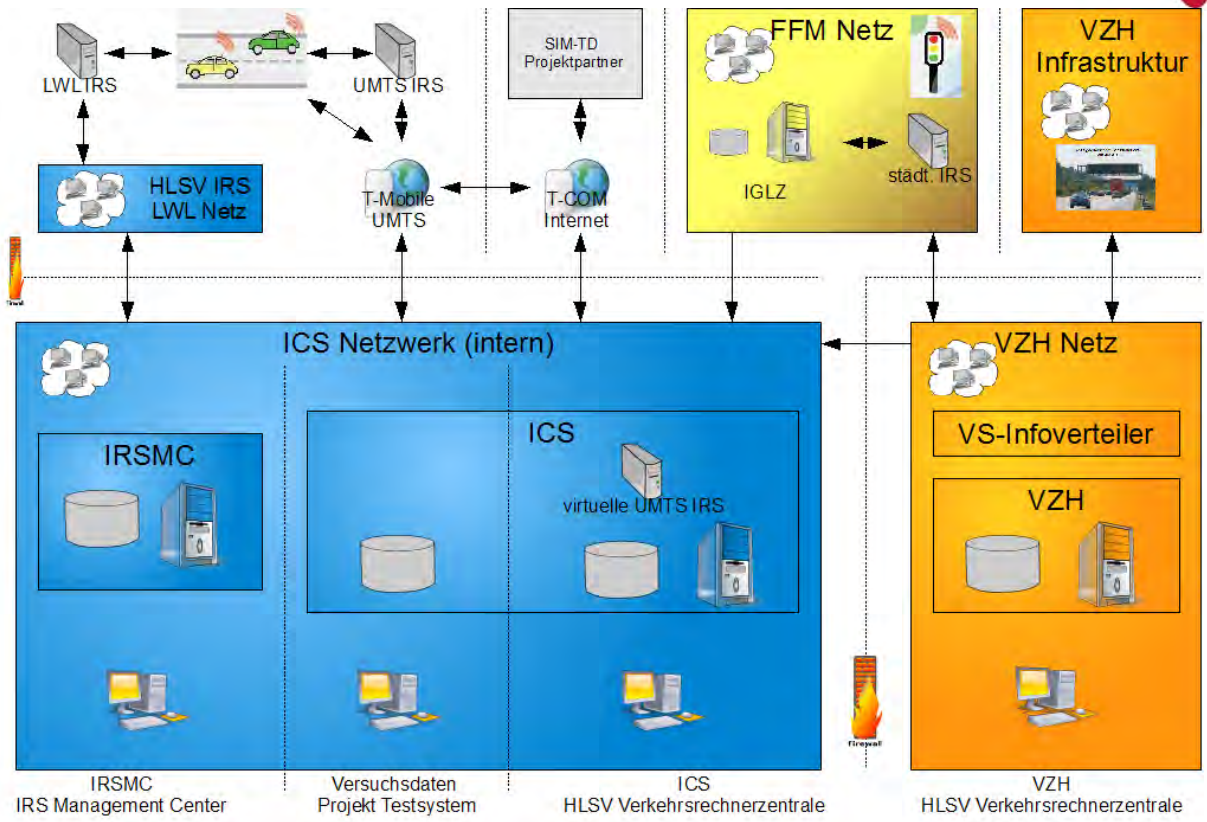


Abbildung 3.13: Die sim^{TD}-ICS aus technischer Sicht

Die sim^{TD}-ICS wurde von Hessen Mobil spezifiziert, implementiert und betrieben. Während des sim^{TD}-Feldversuchs stellte Hessen Mobil einen Bereitschaftsdienst zur Sicherstellung der Verfügbarkeit der ICS.

3.5.2 Die Kern-ICS

Die SPARC-Rechner wurden mit dem Betriebssystem Solaris 10 betrieben; sämtliche verfügbaren und relevanten Patches wurden eingespielt. Die 5 SPARC-Rechner untergliedern sich in

- 2 Applikationsserver
- 2 Datenbankserver
- 1 Datenbank-Historienserver

Auf den Applikationsrechnern der Kern-ICS laufen sämtliche Prozesse und web-orientierte Dienste, die für die Erbringung der zentralseitigen sim^{TD}-Funktionalität erforderlich sind (Bereitstellung und Aggregierung verkehrlicher Daten (Funktion F_1.1.1), Wechselverkehrszeichen, Baustelleninformationen, Umleitungsempfehlungen, usw.) die zentralenseitigen OSGi-Bundles von Projektpartnern, der Enterprise Server Bus (ESB), der eine Maklerfunktion für die web-orientierten Dienste wahrnimmt. Auf den Datenbankservern sind alle Datenbanken implementiert, die die Anwendungen auf den Applikationsservern benötigen. Der Datenbank-Historienserver nimmt die Archivierung nicht mehr aktueller Daten wahr und entlastet damit die Datenbankserver.

1. Die auf den fünf SPARC-Servern laufenden Anwendungen und Dienste stellen das Herzstück der sim^{TD}-Versuchszentrale dar. Es wurden in Absprache mit den Projektpartnern folgende Dienste bereitgestellt: Übertragung der am Vortag angefallenen Logdateien aller Fahrzeuge, aller IRS und der ICS an Fraunhofer FOKUS über die Internetanbindung der sim^{TD}-Versuchszentrale ab 21 Uhr. Die Über-

tragung erfolgte mit dem Unix-Dienstprogramm "*rsync*", das nur die Differenzmengen überträgt.
Die nächtliche Übertragung der am Versuchstag angefallenen Logdaten verlief an allen Tagen ohne Störungen. Die Logdaten standen am jeweils nächsten Tag Fraunhofer FOKUS und den mit der Sofortvalidierung beauftragten Projektpartnern in vollem Umfang zur Verfügung.

2. Zugang der sim^{TD}-Partner und ihrer Unterauftragnehmer in die sim^{TD}-Versuchszentrale über VPN auf die jeweils freigeschalteten Server.
Neustart der Rechner der Kern-ICS nachts ab 2 Uhr um sicherzustellen, dass alle zentralenseitigen Funktionen und Funktionsanteile sowie die jeweils benötigte Systemumgebung für den jeweils nächsten Versuchstag vollständig und funktionsfähig zur Verfügung stehen.
Das Herunterfahren und die anschließenden Neustarts der Rechner der Kern-ICS erfolgten in auf einander abgestimmten, automatisch ablaufenden Skripts ("*cron*-Jobs")

3.5.3 Die weiteren Server der ICS

Bei den oben genannten weiteren Servern handelt es sich um Server, die dedizierte Funktionen und Aufgaben wahrnehmen. Zu diesen Funktionen / Aufgaben gehören u.a.

- **GEO-Server**
  Er ist zuständig für die korrekte Zuordnung der verkehrlichen Ereignisse zu einer geografischen Position (GPS-Koordinaten)
- **VI-Server**
  Es handelt sich beim VI-Server (VI: Verkehrliche Informationen) um einen Server, der die sim^{TD}-Funktionen F_3.1.1 und F_3.1.2 umsetzt und den Fahrern auf Abruf Informationen bereitstellt, z. B. Informationen über Parkhäuser, kulturelle Angebote, usw.
- **sim^{TD}-Firewall**
  Die sim^{TD}-Firewall dient zur Absicherung des sim^{TD}-Netzes gegen unbefugte Dritte. Die Absicherung wird durch Freischaltung von IP-Adressen und / oder Ports erreicht. Die diesbezüglichen Regeln wurden in Zusammenarbeit von Hessen Mobil und der Deutschen Telekom definiert.
- **Home Mobile Agent**
  Dieser Server leistet den Endpunkt (aus Fahrzeugsicht) für die Kommunikation in die ICS. Er verbindet auf Grundlage von IPv6 (Ende-zu-Ende-Verbindung) die Fahrzeuge bidirektional mit der sim^{TD}-ICS. Er wurde wie die sim^{TD}-Firewall von der Deutschen Telekom beschafft und betrieben.
- **OpenVPN-Server**
  Er ermöglicht die Einwahl akkreditierter sim^{TD}-Partner und deren Unterauftragnehmer in das lokale sim^{TD}-Netz. Der Zugang ins sim^{TD}-Netz ist mit Benutzerauthentifizierung gesichert.
- **PKI-Server**
  Dieser Server realisiert eine PKI-Infrastruktur zum Zwecke der Authentifizierung der zwischen ICS und Fahrzeugen bzw. zwischen Fahrzeugen ausgetauschten Nachrichten. Außerdem wird über diesen Mechanismus die Pseudonymisierung der Fahrzeuge gewährleistet. Die Authentifizierung spürt von Unbefugten eingeschleuste Nachrichten auf.
- **Nagios-Server**
  Mit diesem Server wurde die Verfügbarkeit aller ICS- und IRS-Komponenten im 24x7 Betrieb untersucht. Zusätzlich wurde für die Rechner der Kern-ICS Informationen

über das Systemmanagement gesammelt, ausgewertet und an den Betreiber der ICS als auch an TP4 und deren Unterauftragnehmer in aggregierter Form gesendet.

Mit Ausnahme der von der Deutschen Telekom gestellten Gerätschaften wurden die oben genannten Server von Hessen Mobil gestellt und betreut. Der GEO-Server wird von der HTW betrieben und betreut, der PKI-Server ausschließlich von Fraunhofer SIT.

3.5.4 Auswertung

3.5.4.1 Verfügbarkeit der ICS

Die Verfügbarkeit der ICS lässt sich grundsätzlich über verschiedene Sichten beschreiben. In Frage kommt z. B. eine Auswertung der betriebssystemseitigen Logbücher der Rechner der ICS, insbesondere der Rechner der Kern-ICS. Ebenso können Aussagen über die Server der Kategorie "Weitere Server" zu einem Bild über die Verfügbarkeit beitragen. So wären beispielsweise bei einem Ausfall der GEO-Server zahlreiche Funktionen in den sim^{TD}-Verarbeitungsketten gestört und angesetzte Versuche im Versuchszeitraum könnten nicht stattfinden.

Die Verfügbarkeit der ICS lässt sich auf Ebene der Anwendungen messen. Die Applikationsserver der ICS protokollieren sämtliche eingehenden und sämtliche ausgehenden verkehrlichen Nachrichten. Diese Nachrichten sind anwendungsrelevant. Eingehende Nachrichten stammen von Fahrzeugen, den sim^{TD}-IRS und der IGLZ der Stadt Frankfurt; bei den Nachrichten aus den Fahrzeugen handelt es sich um Nachrichten, die von den einschlägigen sim^{TD}-Funktionen der Fahrzeuge ausgelöst wurden.

Von der ICS ausgehende Nachrichten sind entweder Antworten auf von den Fahrzeugen eingehende Nachrichten, oder es handelt sich um verkehrliche Nachrichten, die die ICS von sich, ohne Aufforderungen von außen, versendet. Beispiel für letztgenannte Kategorie sind z. B. Nachrichten der minütlich von der ICS ausgesendeten aggregierten Verkehrslage. Diese Verkehrslage setzt sich zusammen aus der fusionierten Verkehrslage (Fusion der aus der VZH stammenden Verkehrslage, die in der VZH auf der Grundlage der stationären Detektion im Autobahnnetz ermittelt wird, mit der aus den Daten der sim^{TD}-Versuchsfahrzeuge verfeinerten Verkehrslage) und der innerstädtischen Verkehrslage.

Die Vorgehensweise, die Verfügbarkeit der ICS auf Ebene der Anwendungen zu messen, entspricht der Auswertung und Bewertung der sim^{TD}-Funktionen: auch bei ihnen wird letztendlich die Bewertung auf Ebene der Anwendungen gemessen.

Die anwendungsorientierten Logdaten der ICS sind in verschiedene Kategorien untergliedert. Diese Kategorien sind alphabetisch aufsteigend in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 3.2: ICS Anwendungen

Gruppe	Bemerkungen
c2xmi	in die ICS eingehende Nachrichten
c2xmo	aus der ICS ausgehende Nachrichten
Dod	Datex II data output
Dom	Datex II message output
fg1	FG1-Eingabedaten
fg3	FG3-Eingabedaten
mcs	Output traffic signs
vim	Message input from VZH
xml-c2xmo	aus der ICS ausgehende Nachrichten; XML-Format

Auf den Eingang von Nachrichten hat die ICS keinen Einfluss. Damit eignet sich die Kategorie "*c2xmi*" nicht für eine Aussage der Verfügbarkeit der ICS, sondern allenfalls für Aussagen, wann Fahrzeuge Nachrichten (Anforderungen) an die Zentrale sandten. Damit ließen sich Aussagen über den tatsächlichen Beginn und das tatsächliche Ende des jeweiligen Versuchstages ableiten.

In der Kategorie "*c2xmo*" werden die von der ICS ausgehenden Nachrichten protokolliert. Ausgehende Nachrichten sind z. B. Antworten auf von Fahrzeugen eingehende Nachrichten (Anforderungen). Ferner werden von der ICS im Minutentakt verkehrliche Nachrichten versandt und protokolliert. Genau der zuletzt genannte Sachverhalt macht diese Kategorie zu einem hervorragenden Instrument für belastbare Aussagen über die Verfügbarkeit der ICS.

Die anderen in der Tabelle genannten Kategorien sind weniger für eine Aussage über die Verfügbarkeit der ICS geeignet, da es deutlich weniger Nachrichten jener Kategorien im Vergleich zur Kategorie "*c2xmo*" gibt..

Grundsätzlich lassen sich die Zeitstempel der anderen Logkategorien in die Auswertungen hinzuziehen, um auf dieser Grundlage zu einer Aussage über die Verfügbarkeit der ICS zu gelangen. Es ist jedoch zu beachten, dass die anderen Logkategorien deutlich weniger Nachrichten als "c2xmo" aufweisen. Bei ausschließlicher Nutzung anderer Daten fällt die Stichprobengröße kleiner aus und die ermittelten Zuverlässigkeitskenngrößen wären weniger aussagekräftig. Eine ergänzende Auswertung der Daten anderer Logkategorien und der c2xmo-Daten verbessert dagegen die Aussagefähigkeit. Aus diesem Grund werden beide Ansätze verfolgt.

3.5.4.2 Die Eckwerte der Auswertung der Verfügbarkeit der ICS

Die Eckwerte für die Auswertung der Verfügbarkeit der ICS sind:

- Die Auswertung erfolgt für den vollständigen Versuchszeitraum 2.7.-14.12.2012
- Der Zeitraum der Auswertung für den jeweiligen Versuchstag ist auf die Zeitspanne zwischen 7 und 18 Uhr festgelegt. Es ist hier anzumerken, dass der Versuchsbetrieb im Regelfall um ca. 9 Uhr begann und um ca. 16 Uhr endete.
  Für diejenigen Versuchstage, in denen der Versuchsbetrieb über die Zeitspanne 7 – 18 Uhr hinausragten, wurde der "Kalender", der dem Auswertungsskript zugeordnet

ist, entsprechend angepasst. Damit wurden sämtliche Versuchsereignisse durch den Auswertungszeitraum erfasst.

- Die Auswertung bezieht sich auf die Kategorie "*c2xmo*".

3.5.4.3 Auswertung der ICS-Logdateien der Kategorie "c2xmo"

Wie jede Datei haben auch die Logdateien einen Zeitstempel. Er ist millisekundengenau. Für die Auswertung des Zeitstempels wird das Unix-Dienstprogramm "*ls*" eingesetzt, das neben anderen Informationen über die Datei auch das Erstellungsdatum der Datei ausgibt, allerdings nur minutengenau. Der Verzicht auf sekunden- oder gar millisekundengenaue Aussage stellt keine Beschränkung in den Aussagen über die Verfügbarkeit der ICS dar.

3.5.4.4 Vorgehensweise der Auswertung

Für jeden Versuchstag werden die Zeitstempel der *c2xmo*-Logdateien ausgewertet. Das Skript für die Auswertung untersucht für jede Minute des jeweiligen Zeitraums aller Versuchstage im Versuchszeitraum, ob eine Nachricht versendet wurde oder nicht. Wurde keine Nachricht in der betreffenden Minute versandt, wird ein Tageszähler ("Fehlminuten") um 1 hochgezählt.

Für jeden Versuchstag wird die Anzahl der Fehlminuten ins Verhältnis zur Gesamtanzahl der Minuten des betreffenden Versuchstags gemäß beigeordnetem Kalender bezogen.

Dieses Zahlenverhältnis gibt die Nichtverfügbarkeit, seine Differenz zu 1 bzw. zu 100% die Verfügbarkeit der ICS am jeweiligen Versuchstag an.

3.5.4.5 Die tägliche Verfügbarkeit

Die nachstehende Tabelle gibt auf der Grundlage der Logkategorie "*c2xmo*" für jeden Tag die Verfügbarkeit der ICS an.

Tabelle 3.3: Tägliche Verfügbarkeit der sim^{TD}-ICS im Versuchszeitraum

Gruppe	WT	Tag TT.MM.JJJJ	verfügbar [min]	Gesamt [min]	ICS verfügbar
über gesamten Versuchszeitraum:			*77.094*	*83.338*	*92,51%*

Bei Hinzunahme der anderen Log-Kategorien verbessert sich die Verfügbarkeit der ICS um knapp zwei Prozentpunkte.

3.5.4.6 Erklärung der Ergebnisse der Verfügbarkeit der ICS

Der sim^{TD}-Feldversuch fand an insgesamt 119 Kalendertagen statt. Das standardmäßige Zeitfenster, das der täglichen Messung der Verfügbarkeit zugrunde liegt, war der Zeitraum von 7 bis 18 Uhr. Das entspricht 11 Stunden, d. h. 660 Minuten.

Der Mittelwert der täglichen Verfügbarkeit der ICS lag im Versuchszeitraum bei 648 Minuten. An 25 Kalendertagen war die ICS zu weniger als 85% (Schwellenwert zwischen "mittel" und

"gut") verfügbar; an 9 Kalendertagen war sie jeweils weniger als 75% (Schwellenwert zwischen "mittel" und "schlecht") verfügbar.[24]

Eine Ursache der gelegentlichen Nicht-Verfügbarkeit im täglichen Versuchszeitraum war die Notwendigkeit des Neustarts des ESB (Enterprise Service Bus). Der ESB wurde während des gesamten Versuchszeitraums insgesamt 23-mal neu gestartet. Die Neustarts des ESB erfolgten stets manuell.

Entgegen der ursprünglichen Projektplanung, die eine Unveränderlichkeit der sim^{TD}-Funktionen nach Abschluss der Systemintegration (TP3) vorgesehen hat, wurden noch während des Feldversuchs (TP4) Änderungen an einigen Funktionen durchgeführt. Davon waren auch Funktionen betroffen, die spezifische Anteile auf der ICS hatten.

Änderungen an den zentralseitigen Anteilen der hier genannten sim^{TD}-Funktionen wurden von den Funktionsentwicklern teilweise ohne Absprache mit den für den Betrieb der ICS Verantwortlichen in den ESB eingepflegt. Diese Vorgehensweise führte in den meisten Fällen dazu, dass der ESB während des betreffenden Versuchstages neu gestartet werden musste.

Der Neustart des ESB einschließlich aller mit ihm verbundenen Komponenten in einer geordneten Reihenfolge ist mit ca. 20 Minuten zu beziffern. Erfolgte der Neustart des ESB auf Grund von Änderungen an den zentralenseitigen Anteilen der genannten sim^{TD}-Funktionen, ist bei der Messung der Verfügbarkeit der ICS zu berücksichtigen, dass die von den Funktionsentwicklern durchgeführten Änderungen nicht immer den gewünschten Erfolg hatten und daher entsprechend mehrmals durchgeführt wurden.

Die Auswertung der betriebssystemseitigen Logbücher der Rechner der Kern-ICS belegen, dass die ICS-Rechner stets betriebsbereit waren, auch in den Ruhezeiten des ESB. Legte man diese Logbücher für die Messung der Verfügbarkeit der ICS zugrunde, ergibt sich ein deutlich höherer Wert für die Verfügbarkeit der ICS. Hessen Mobil vertritt die Auffassung, dass die Messung der Verfügbarkeit der ICS aus Sicht des Projekts sim^{TD} zu bestimmen ist, nicht auch Sicht des Betriebssystems.

3.5.4.7 Bewertung der Ergebnisse der Verfügbarkeit der sim^{TD}-ICS

Die Bewertung der Verfügbarkeit der ICS erfolgt auf der Grundlage der Auswertung der Verfügbarkeit. Die Kenngröße Vz für die Verfügbarkeit der sim^{TD}-ICS ist der Quotient aus der Anzahl derjenigen Minuten, in denen von der ICS jeweils mindestens eine Nachricht an die Fahrzeuge gesandt wurde (Log-Kategorie "*c2xmo*") und der Gesamtanzahl der Minuten der der Zeitfenster der Versuchstage des Versuchszeitraums.

Festlegung des Bewertungsmaßstabes

Im Rahmen eines kooperativen Forschungsprojekts ist folgender Bewertungsmaßstab für die Verfügbarkeit V_z einer Versuchszentrale üblich und angemessen:

85 % <= V_z	gut
75 % <= V_z < 85%	mittel
V_z < 75 %	schlecht

[24] Vgl. hierzu Abschnitt 3.5.4.7

Aussage über die Verfügbarkeit der ICS

Die gesamte Verfügbarkeit der ICS im sim^{TD}-Versuchszeitraum 2.7.-14.12.2012 wurde mit 92,51% ermittelt. Damit wird die Verfügbarkeit der ICS mit "**gut**" bewertet.

3.5.5 Fragenkatalog

In diesem Dokument wird nicht eine einzelne sim^{TD}-Funktion betrachtet, sondern die Verfügbarkeit der sim^{TD}-Versuchszentrale während des Zeitraums des Feldversuchs.

- *Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?*

- Die sim^{TD}-Versuchszentrale hat – von kleineren gelegentlichen Störungen abgesehen – funktioniert.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Die oben genannten gelegentlichen Störungen sind sim^{TD}-spezifisch. Sie werden in der Serie nicht zu erwarten sein.

- *Das in sim^{TD} beobachtete Problem wird so in der Serie (nicht) auftreten, weil ...?*

- In der Serie wird eine neuere Version des ESB zum Einsatz kommen.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die zur Anwendung gekommenen Kommunikationstechnologien erwiesen sich als adäquat für die sim^{TD}-Versuchszentrale. Ein direkter Bezug zur konkreten Verfügbarkeit der ICS ergibt sich nicht.
  In zukünftigen kooperativen Projekten wird verstärkt LTE zum Einsatz kommen, was sich günstig auf Dienste und Anwendungsszenarien auswirken wird.

- *Wie ist der Einfluss der Kommunikationsparameter (CAM-Frequenz, Reichweite, Latenz, Verlustrate) auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- nicht relevant für die Betrachtung zur Verfügbarkeit der ICS

- *Wie ist der Einfluss der IVS-/IRS-Ausstattungsrate auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen?*

- nicht relevant für die Betrachtung zur Verfügbarkeit der ICS

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- nicht relevant für die Betrachtung zur Verfügbarkeit der ICS

- *Falls die Funktion Multi-Hop nutzt: War der implementierte Multi-Hop-Mechanismus adäquat für Funktionalität der Funktion?*

- keine Aussage zur Verfügbarkeit der ICS möglich.

- *War die Implementierung des HMI (insbes. die Warnzeitpunkte) adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- keine Aussage zur Verfügbarkeit der ICS möglich.

- *Welche Anforderungen stellt die Funktion an Security und Datenschutz, und warum?*

- keine Aussage zur Verfügbarkeit der ICS möglich.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- keine Aussage zur Verfügbarkeit der ICS möglich.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- keine Aussage zur Verfügbarkeit der ICS möglich.

3.5.6 Erkenntnisse der Verfügbarkeit der sim^{TD}-Versuchszentrale für einen möglichen Regelbetrieb.

Die oben dargestellte Messung der Verfügbarkeit der ICS fußt auf dem Grundsatz, dass die ICS aus Sicht der sim^{TD}-Funktionen verfügbar ist, wenn sie je Minute im jeweiligen Messzeitraum eine Nachricht an die Fahrzeuge sendet.

Zur Gewährleistung dieses Betriebs bedarf es der Funktionsfähigkeit der Komponenten im Hintergrund (z. B. Datenbanken), aber auch einer geeigneten Architektur der sim^{TD}-Versuchszentrale. Die Verfügbarkeit der ICS nach der oben dargestellten Methode lässt auch Rückschlüsse auf die Verfügbarkeit nachstehender Komponenten zu. Über diese Komponenten wird eine grundsätzliche Aussage im Hinblick auf einen möglichen Regelbetrieb getroffen.

3.5.6.1 Architektur der sim^{TD}-Versuchszentrale

Die für den Betrieb der sim^{TD}-Versuchszentrale benötigten Dienste wurden als web-orientierte Dienste (*services*) gemäß einer SOA-Architektur (SOA: *service oriented architecture*) konzipiert und entwickelt und betrieben. Der Vorteil einer SOA-Architektur ist die Austauschbarkeit eines Dienstes gegen einen anderen (z. B. funktional erweiterten) Dienst, ohne dass andere Dienste von dieser Änderung betroffen werden. Für die Vermittlung der verfügbaren

Dienste einer SOA-Architektur bedarf es einer vermittelnden Instanz, eines Enterprise Service Bus, an den – bildlich gesprochen – alle Dienste angebunden sind. Für den ESB legte Hessen Mobil in den Ausschreibungsunterlagen fest, dass nur ein Produkt aus dem Open Source Bereich zum Einsatz kommt, um belastbare Erkenntnisse über den Einsatz derartiger Programmpakete in Verkehrszentralen zu gewinnen. Es wurde das Produkt "FUSE" eingesetzt, das im Open Source Bereich einen sehr guten Ruf hat, in Produktionsumgebungen mittelständischer Firmen eingesetzt wird und sich bisher in der Praxis grundsätzlich bewährt hat.

3.5.6.2 Enterprise Service Bus (ESB)

Der zum Einsatz gekommene ESB stellte nach einer relativ kurzen Phase der Feinoptimierung seine Praxistauglichkeit im täglichen Betrieb unter Beweis.

Hessen Mobil wird aus heutiger Sicht in zukünftigen Zentralen und Versuchszentralen auf eine SOA-Architektur und auf einen quell-offenen ESB setzen.

3.5.6.3 Quelloffene Datenbanken

In der Phase der Spezifikation der sim^{TD}-Versuchszentrale wurde festgelegt, dass die zum Einsatz kommenden Datenbanken ausschließlich aus dem Bereich Open Source kommen müssen. In der Ausgestaltung der sim^{TD}-Versuchszentrale kamen ausschließlich PostgreSQL-Datenbanken zum Einsatz, deren Leistungsfähigkeit unumstritten ist.

Die eingesetzten PostgreSQL-Datenbanken arbeiteten völlig stabil und problemlos.

3.5.6.4 Internet-Anbindung der sim^{TD}-Versuchszentrale

Die sim^{TD}-Versuchszentrale verfügt aus Gründen der Betriebssicherheit über eine eigene, vom Netz der Verkehrszentrale Hessen vollständig getrennte Internetanbindung.

Während den vorbereitenden Arbeiten (TP1, TP2 und Anfänge von TP3) war die Internetanbindung mit einer Bandbreite von 32 MBit/s ausgestattet; für den Zeitraum des Feldversuchs wurde die Bandbreite auf 100 MBit/s hochgeschaltet, nach Beendigung des Feldversuchs wieder auf 34 MBit/s.

Die Erhöhung der Bandbreite war bedingt durch das während des Feldversuchs deutlich erhöhte Aufkommen an sim^{TD}-Logdaten. Sämtliche Logdaten des jeweiligen Versuchstages wurden nachts zu Fraunhofer FOKUS übertragen zwecks einer ersten Sofortvalidierung der durchgeführten Versuche. Dadurch sollte die Möglichkeit geschaffen werden, im Bedarfsfall ggfs. einen Versuch umgehend zu wiederholen.

Es hat sich gezeigt, dass die Bandbreite von 100 MBit/s im Zeitraum des Feldversuchs für die aus 120 Fahrzeugen stammende Datenmenge ausreichend war.

3.5.6.5 Tunnelung von IPv6 über IPv4

Zum Zeitpunkt der Festlegung der sim^{TD}-Architektur (erste Hälfte des Jahres 2009) war flächendeckend im Bundesgebiet IPv6 nicht erhältlich. Eine Beschränkung auf IPv4 in der Ende-zu-Ende-Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Zentrale wäre dem Forschungsvorhaben nicht gerecht geworden. Um trotz damals fehlender Unterstützung (im Sinne von Service Level Agreements) IPv6 in der Ende-zu-Ende-Kommunikationen zwischen Fahrzeugen und Zentrale zu ermöglichen, wurde in den jeweiligen Ende-Stellen der Kommunikationsbeziehungen IPv6 durch IPv4 getunnelt, d. h. die Ende-Stellen arbeiteten protokolltechnisch mit IPv6, zwischen ihnen erfolgte die Kommunikation transparent mit IPv4.

In einem zukünftigen Regelbetrieb werden native IPv6-Kommunikationsbeziehungen zum Einsatz kommen, ohne den Einsatz von IPv4-Tunnels, da in der Zwischenzeit IPv6 flächendeckend verfügbar ist.

3.5.6.6 Struktur der ICS

Wie oben dargelegt, besteht die sim^{TD}-ICS aus einer Reihe dedizierter Server mit jeweils klar definierten Aufgaben. Die Aufteilung der Kern-ICS in Applikationsserver, Datenbankserver und Datenbank-Historienserver hat sich in sim^{TD} bewährt. Es ist davon auszugehen, dass eine solche Aufteilung auch in zukünftigen Zentralen eines Regelbetriebs zum Einsatz kommt.

Die Auslagerung weiterer Serverfunktionalität in dedizierte Hardware wirkt sich vorteilhaft auf die gesamte Verfügbarkeit der Versuchszentrale aus. Der Ausfall eines Servers hat nicht eine Unterbrechung der übrigen Server zur Folge.

Die Virtualisierung der Server ist ein bewährtes Instrument in Rechenzentren. Dieses Vorgehen eignet sich auch für einen zukünftigen Regelbetrieb

3.6 Reife des WLAN-Standards

3.6.1 Status der ETSI Standardisierung

Die folgende Grafik zeigt den Status der ETSI Standardisierung gemäß M/453

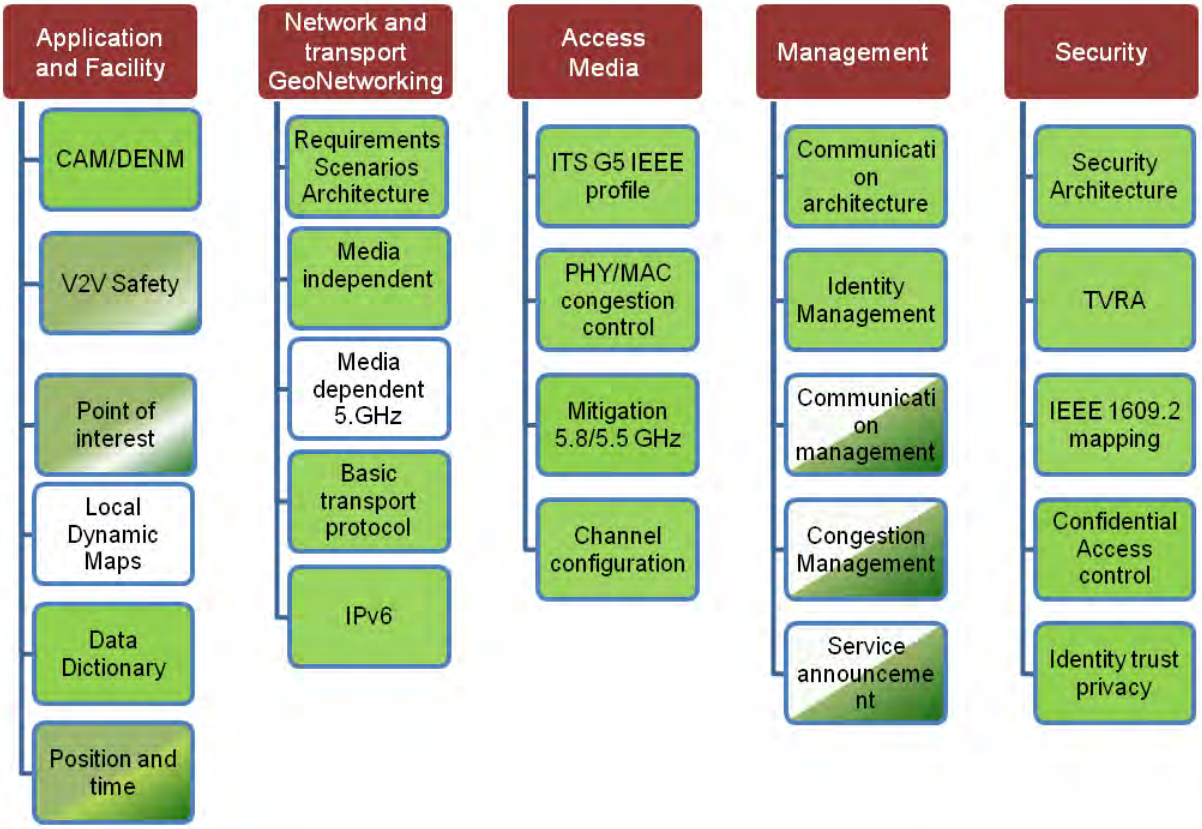


Abbildung 3.14: ETSI Standardisierung gemäß M/453, Status vom Juni 2012

Der zeitliche Ablauf der Standardisierung sieht wie folgt aus:

2007 Beginn der Forschung und Standardisierung

2012 Erste Freigabe von EN und ETSI TC IST Standards

2012 Qualitätsprüfung und Übereinstimmungstests

2012 ETSI CTI Interoperabilitätstests

2013 Validierung von großen Feldtests

2013 Fixierung von Standards für die Markteinführung

General	ETSI	WI	Approval - TS	EN
Communication Architecture	EN 302665			Published
Revision of Communication architecture	EN 302665	0010047		May 2014
Framework for Public Mobile Networks in cooperative ITS	TR 102 962		Published	

Abbildung 3.15: Status der Standardisierung (April 2012) – Generell

Standards - Testing	ETSI	WI	Approval - TS	EN
ITS testing framework	EG 202798		Published	N/A
ITS Conformance Testing				
- Basic Transport Protocol (ATS,TSS&TP, PICS)	TS 102870		Published	N/A
- GeoNetworking ITS G5 (ATS, TSS&TP, PICS)	TS 102871		Published	N/A
- IP packets Geonetworking (ATS, TSS&TP, PICS)	TS 102859		Published	N/A
- CAM (ATS, TSS&TP, PICS)	TS 102868		Published	N/A
- CAM (TSS&TP) /ATS	TS 102868-2/3	0010026/27	Jan 2013	N/A
- DNM (ATS, TSS&TP, PICS)	TS 102869		Published	N/A
DENM (TSS&TP/ ATS	TS 102869-2/3	0010028/29	Jan 2013	N/A
- Channel congestion 5.9 (ATS, TSS&TP, PICS)	TS 102917	40025-27	Dec 2012	N/A
- Coexistence methods DSRC/ITS G5 (ATS, TSS&TP, PICS)	TS 102916		Published	N/A
- CALM – Medium service access points	TS 102760		Published	N/A

Abbildung 3.16: Status der Standardisierung (April 2012) – Tests I

Standards - Testing	ETSI	WI	Approval - TS	EN
- CALM – Architecture	TS 102 984	20027	Nov 2013	N/A
- CALM – Management	TS 102797		Approved	N/A
- CALM – Non-IP networking	TS 102985		Approved	N/A
- CALM – M5	TS 102983	20026	Nov 2013	N/A
- CALM – Infra-red systems	TS 102982	20025	Nov 2013	N/A
- CALM – Ipv6 Networking	TS 102981	20024	Nov 2013	N/A
Interoperability testing				
• Validation of CAM	TR 103061-1	0010011	Oct 2012	N/A
• Validation of DENM	TR 103061-2	0010012	Oct 2012	N/A
• GeoNetworking Validation	TR 103061-3	0030020	Jul 2012	N/A
• Basic Transport Protocol validation	TR 103061-4	0030019	Jul 2012	N/A
• Ipv6 over GeoNetworking validation	TR 103061-5	0030018	Jul 2012	N/A

Abbildung 3.17: Status der Standardisierung (April 2012) – Tests II

Standards - Applications	ETSI	WI	Approval-TS	EN
Road Hazard Signalling (RHS)	TS 101539-1	0010017	June 2012	-
Basic Set of Applications - Revision	TR 102638	0010023	Feb 2013	N/A
• Longitudinal Collision Risk warn	TS 101539-3	0010016	Oct 2012	-
• INTERSECTION Collision Risk Warn	TS 101539-2	0010015	Oct 2012	-
Electrical Vehicle charging spot notification.	TS 101556-1	0010014	June 2012	-
Tyre Pressure Monitoring Systems	TS 101556-1	0010030	May 2013	-

Abbildung 3.18: Status der Standardisierung (April 2012) – Applikationen

Standards - Facilities	ETSI	WI	Approval-TS	EN
Facility layer architecture	TS 102894	0010004	Oct 2012	Apr 2013
Application and Facility layer common data dictionary	TS 102 894-2	0010022	Jun 2012	-
Cooperative awareness (CAM)	TS 102637		Published	
Revision of TS 102637-2 and conversion into EN	EN 302637-2		Jun 2012	Dec 2012
Decentralized Environ Not (DENM)	TS 102637		Published	
Revision of TS 102637-3 and conversion into EN	EN 302637-3		Jun 2012	Dec 2012
Local Dynamic Maps	EN 302895	0010005		Oct 2013
	TR 102863		Published	N/A
ITS station position and time	TS 102890-3	0010013	Dec 2012	

Abbildung 3.19: Status der Standardisierung (April 2012) – Facilities

Standards – Network and Transport	ETSI	WI	Approval-TS	EN
Network architecture	TS 102636		Published	
Network architecture - conversion to EN	EN 303636-3	0030034		May 2013
GeoNetworking Requirements and scenarios	TS 102636		Published	
GeoNetworking Requirements and scenarios - conversion to EN	EN 302 636-1/2/3	0030032/33/34		May 2013
Definition of GeoNet Areas	EN302931		Published	
SAP (FAC/NET)	TS 102723-11	0030008	No progress	N/A
GeoNetworking media independent	TS 102636-4-1		Published	
Geonetworking Media independent - conversion to EN	EN 302636-4-1	0030035		May 2013
GeoNetworking for ITS-G5A Media dependent (STF 447)	TS 102636-4-2	0030007	May 2013	Nov 2013
Transmission Ipv6 over GeoNetworking	TS 102636-6-1		Published	
Transmissio IPv6 over GeoNetworking – conversion to EN	EN 302636-6-1	0030037		May 2013
Basic Transport protocols for GeoNetworking	TS 102636-5-1		Published	
Basic Transport protocols for GeoNetworking	EN 302636-5-1	0030036		May 2013
Analysis of IPv6 networking for ITS	TR 101 555	0030031	Nov 2012	
Advanced IP mobility support	Depends on TR 101 555			

Abbildung 3.20: Status der Standardisierung (April 2012) – Network und Transport

Standards – Access and Media	ETSI	WI	Approval-TS	EN
SAP (N&T/Access)	TS 102723-10	0040018	Nov 2011	N/A
European profile on ITS 5G	ES 202663		Published	
Profile standard on ITS 5G – conversion to EN	EN 302663	0040028		DEC 2012
Multichannel management G5	Results of STF 420		June 2012	
PHY/MAC Congestion control	TS 102687		Published	
Mitigation DSRC 5.8/5.9 GHz	TS 102792	0040013	Jun 2012	
Mitigation methods/technique to avoid interference	TR 102 960	0040029	Jun 2012	N/A
STDMA	TR 102861 TR 102862		Published	N/A
ITS 5G channel configuration	TS 102724	0040016	Nov 2012	

Abbildung 3.21: Status der Standardisierung (April 2012) – Access und Media

Standards – Management	ETSI	WI	Approval-TS	EN
ITS station internal management	ISO			
Communicaiton Management	ISO			
Decentralized Congestion Control – cross layer	TS 103175	0020046	Jun 2013	
Identity Management				
• ITS Object Identifier Tree	TR 102707		Published	
• Classification of applications	TS 102860		Published	
• Addressing schemes	TS 102723-1	0020015	Oct 2012	
• Management information base	TS 102723-2		Approved	
SAP (Man – N&T)	TS 102723-4	0020018	Jun 2012	
SAP (Man – FAC)	TS 102723-5	0020019	Jun 2012	
SAP (Man – Access)	TS 102723-3	0020017	Jun 2012	
SAP (Man – SEC)	TS 102723-6	0020020	Oct 2012	
ETSI ITS Registration list	TS 102965	0020042	Nov 2012	
Facility communication management	TS 102890-1	0020043	Nov 2012	
Facility Service announcement	TS 102890-2	0020044	May 2012	

Abbildung 3.22: Status der Standardisierung (April 2012) – Management

Standards – Security	ETSI	WI	Approval-TS	EN
Security Architecture	TS 102731		Published	
Threat Vulnerability and Risk Analysis	TR 102893		Published	
SAP (SEC – FAC)	TS 102723-9	0050009	Jun 2012	
SAP (SEC – N&T)	TS 102723-8	0050008	Jun 2012	
SAP (SEC – ACCESS)	TS 102723-7	0050007	Oct 2012	
Security mapping for IEEE 1609.2	TS 102867	0050013	Approved	
ITS station security management	ES 202910	0050010	Nov 2012	
Confidentiality Services	TS 102943		Published	
Identity, trust and privacy	TS 102941		Published	
Access control, secure and privacy-preserving services	TS 102942		Published	
Security architecture and management	TS 102940		Published	
Plausibility validation – starting Nov 2011			Oct 2012	

Abbildung 3.23: Status der Standardisierung (April 2012) – Security

3.6.2 Mandate /453 der EC an die Europäischen Standardisierungsgremien

3.6.2.1 Quelltext

Der Text ist zu finden unter:
http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/standardisation_mandate_de.pdf

Es ist gerichtet an CEN, CENELEC und ETSI mit der Aufforderung, „einen einheitlichen Satz von Normen, Spezifikationen und Leitlinien zu erstellen, um die gemeinschaftsweite Durchführung und Entwicklung von kooperativen IVS-Systemen zu unterstützen.“

3.6.2.2 Antwort von CEN und ETSI

CEN und ETSI antworteten am 15 April 2010: (http://www.etsi.org/website/document/technologies/first_joint_cen_and_etsi_response_to_mandate_453.pdf) und legten darin die verabredete Arbeitsteilung (Annex C) und den folgenden gemeinsamen Zeitplan vor.

Milestones	Activity	Meetings and Coordination		
		CEN	ETSI	others
15 Jan 2010	CEN/ETSI acceptance of the Mandate (CENELEC non-acceptance of the Mandate)			
10-12 Feb 12010	ETSI ITS Workshop – stakeholder contacts			
15 March 2010	ITS-SG			
25 March 2010	Establishment of website (ETSI-CEN)			
26 March 2010	Showcase Amsterdam – presentation of Mandate plan			
	TC meetings in CEN, ISO and ETSI	26 Mar	12 April	23 April
15 April 2010	1st Mandate report – joint CEN/ETSI • Work programme • Work plan and coordination issues			
25-27 May 2010	CEN/ETSI Co-operative ITS workshop, Berlin			
7-9 June 2010	TRA in Brussels • Presentation - consultation with stakeholders			
	TC meetings in CEN, ISO and ETSI	24 Sept	8 Oct	5 Nov
25 Nov 2010	Stakeholder get-together (C2C – Forum- Paris)			
15 January 2011	Progress report to the Commission			
9-11 Feb 2011	ETSI ITS workshop – consultation with stakeholders			
	TC meetings in CEN, ISO and ETSI	25 March	April	April
April-June 2011	Stakeholder consultation (integrated with ITS events)			
Optional	CEN/ETSI Co-operative ITS workshop, Berlin			
15 Sept 2011	Comprehensive report • Standards finalized • Further activities			
16-20 Oct 2011	World Congress – Orlando • Special Session and Standardisation pavilion			
	CEN ETSI meetings	March	April	April
15 July 2012	Final Report • European and international coordination of standards • Further activities			
17-21 Sept 2012	World Congress in Vienna			

In einem weiteren Anhang E ist auch die Beziehung zu SAE/IEEE Standards referenziert.

3.6.2.3 Europäische Standards auf Basis SAE, IEEE

Viele der Europäischen Standards basieren auf Nordamerikanischen Standards wie SAE J2735, J1609.x, IEEE 802.11.p usw. Sie stellen als sogenanntes Europäisches Profil die Anpassung an die Europäischen Gegebenheiten in Bezug auf Frequenzzuweisung und Nutzung, aber auch Verkehrsverhalten, Applikationen dar. Insofern sind zu Vollständigkeit auch nordamerikanische Standards für die Technologie relevant.

3.6.2.4 EU-US Harmonisierung

Die oben genannte Abstammung der Standards ist auch die Grundlage der von der Europäischen Kommission und des Amerikanische Department of Transport initiierten Harmonisierungsaktivitäten, die 2009 in einer gemeinsamer Declaration of Intent ins Leben gerufen wurde. Generell ist die Absicht der beteiligten Industrie die Harmonisierung (nur) soweit voranzutreiben, dass eine gemeinsame Hardware für C2C bzw. V2V genutzt werden kann. Softwareseitige Anpassungen sollen die Eigenheiten der US-EU Lösungen bei der technische Einführung ermöglichen.

Hierzu siehe auch:

http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/doc/intl_coop/us/hap_092011.pdf

http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/international_research.htm

http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/itemdetail.cfm?item_id=10154

3.6.3 Standards ausgearbeitet durch ETSI Technical Committee ITS

Seitens ETSI bearbeitet das Technical Committee ITS unter der Leitung von Soeren Hess die Standardisierung in 5 Arbeitsgruppen und hat inzwischen den folgenden Stand erreicht:

http://docbox.etsi.org/Workshop/2013/201302_ITSWORKSHOP/Release1_rev1.pdf

Als abschließende Beobachtung ist hier die betreffende Schlussfolgerung des ITS Workshops vom 13.2.13 zu zitieren:

- Standards are 95 % ready
- Standards are not always consistent but implementations will take care of this and report back to standardization

3.6.4 Standards ausgearbeitet durch CEN

Seitens CEN ist die Standardisierungsarbeit verzögert angelaufen. Im Rahmen von COMeSafety wurde Mitte 2012 folgender Ausblick zum Bearbeitungsstand gemäß u.g. Quelle gegeben:

Standard		Available
TR 17465	Definition and terminology	Nov 2012
TS 17427	Roles and responsibilities in the context of co-operative ITS based on architecture(s) for co-operative systems	Nov 2012
Not started	Com data dictionary	2013
TS 17419	Classification and management of ITS applications in a global context	March 2013
TS 17423	ITS application requirements for selection of communication profiles	March 2013
TR 17424	State of the art of Local Dynamic Maps concepts	Oct 2012
EN/IS	Definition of a global concept for Local Dynamic Maps	Dec 2013
TS 17425	Data exchange specification for in-vehicle presentation of external road and traffic related data	Dec 2012
TS 17429	Profiles for processing and transfer of information between ITS stations for applications related to transport infrastructure management, control and guidance	March 2013
TS 17426	Contextual speeds	Dec 2012
10 standards	Cluster "Event driven hazard warning"	Published – end 2013
3 standards	Floating car data collection for infrastructure applications	Published – mid 2013
8 standards	Cluster "Traffic management and cooperative traveler assistance"	Published – March 2013
IS 21217	Communications access for land mobiles (CALM) — Architecture	Dec 2012

Erkennbar sind Verzögerungen, deren Auswirkungen die Infrastrukturseitigen Funktionen wie Ampelphasen und Verkehrszeichenassistent betreffen.

Quelle:

http://www.comesafety.org/fileadmin/user_upload/PDFs/Status_C-ITS_at_CEN_TC_278.pdf

3.6.5 Bewertung der Standardisierung

Die Erarbeitung der ETSI Standards und die bis 2013 geplanten Freigaben werden als ausreichend für die Markteinführung von C2X am sogenannten „Tag 1“ angesehen.

3.7 Positionierung und Zeitsynchronisation

3.7.1 Ziele und Aufgaben der Komponenten Positionierung und Zeitsynchronisation

Die Zeitsynchronisation im sim^{TD}-Feldtest basiert auf GPS. Für den GPS Empfang wird eine aktive Antenne verwendet, die in die sim^{TD}-Antenne integriert ist. Zusätzlich sind im sim^{TD}-Antennenmodul alle weiteren benötigten Kommunikationsantennen untergebracht. Die GPS Antenne ist über ein ECO316D Koaxialkabel an die CCU angeschlossen. In der CCU wird ein LEA4T GPS Modul der Firma µBlox zur Auswertung der Signale verwendet, welches seine Ergebnisse über eine UART Schnittstelle an den Hauptprozessor liefert, neben den Daten über RX/TX wird ein Zeitsignal (PPS) 1 mal pro Sekunde über das RTS Signal der UART aufgeschaltet. Das PPS Signal hat eine Abweichung von der 1Hz Frequenz von weniger als 50ns. Die CCU Software verwendet die Komponente/Daemon „gpsd“ [25] um sowohl das Protokoll / Daten des GPS Receivers als auch den Zeitpuls auszuwerten. Gpsd assoziiert den im Protokoll enthaltenen Zeitstempel mit einem Zeitpuls und dient mit diesen Informationen als Zeitserver für die Software Komponente/Daemon „ntpd“ [26] die auf dem gleichen System läuft. Der ntpd sorgt dafür dass die Systemuhr permanent mit der Referenzzeit des Zeitserver synchronisiert ist. Dafür manipuliert er die Uhrengeschwindigkeit, um „Zeitsprünge“ zu vermeiden. Um den Synchronisationsprozess nach einem Systemstart zu beschleunigen überprüft das „System Control“ Programm der CCU alle 5s ob die Systemzeit mehr als 50ms von der GPS Zeit abweicht, wenn dies der Fall ist wird die Systemuhr so gesetzt das die Differenz zum GPS halbiert wird. Bei diesem „harten“ setzen der Systemuhrzeit werden auch Zeitsprünge „in die Vergangenheit“ in Kauf genommen.

Um die präzise synchronisierte Uhrzeit zur AU zu exportieren wird das Network Time Protokoll (ntp) benutzt wofür der ntpd auf der CCU als Zeitserver dient.

Die ebenfalls vom LEA4T gelieferten Positionsdaten werden vom gpsd gesammelt und über einen virtuellen CAN Bus der VAPI Software an die Komponente „Bessere Ortung“ (BO) auf der CCU geliefert. Um die Hauptquelle von Positionsfehlern im GPS Signal zu kompensieren werden in sim^{TD} Differential GPS (DGPS) Daten sowohl über das EGNOS Satelliten System als auch über den ASCOS DGPS Dienst verwendet. Die EGNOS Daten empfängt der LEA4T direkt über die Satellitenantenne, während die ASCOS Daten über Mobilfunk in die CCU geliefert werden. Der gpsd liefert diese Daten über die UART Schnittstelle an den LEA4T wo sie dann direkt in die Positionsberechnung einfließen.

Die BO fusioniert die DGPS-Rohdaten mit den Fahrzeugdaten, die von der VAPI-Komponente (CAN Bus) bereitgestellt werden. Ein auf Kalman-Technik basierender Positionsfilter erreicht durch Nutzung verfügbarer Genauigkeitsinformationen, Fahrzeugbeschleunigungen etc. eine optimale Integration der absoluten GPS-Daten mit verfügbaren Daten zur relativen Fahrzeugbewegung. Kurzzeitige GPS-Ausfälle können damit durch Koppelnavigation vollständig überbrückt werden, und einzelne GPS-Messfehler beeinträchtigen nicht das stetige nahtlose Verfolgen der Fahrzeugbewegung. Durch die flächendeckende Verfügbarkeit des verwendeten Korrektursignals sind teilweise bzw. kurzzeitige Ausfälle der GPS-Daten dabei unkritisch. Bei Ausfall eines Korrektursignals stellt

---

[25] gpsd: http://www.catb.org/gpsd/, http://en.wikipedia.org/wiki/Gpsd

[26] ntp: RFC 5905, RFC 1305, http://www.ntp.org/, http://en.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol

das Modul BO automatisch die Positionsdaten mit der Genauigkeit bereit, welche ohne oder mit einem „älteren“ Korrektursignal noch möglich wäre.

Die Komponente BO liefert im Ergebnis die aktuelle Position (Länge / Breite) in Geokoordinaten zusammen mit dem Zeitstempel, zu dem diese Position gültig war, sowie mit einer Genauigkeitsschätzung in Form einer „Genauigkeitsellipse“ (beschreibt die maximale und die orthogonale minimale geschätzte Standardabweichung der Position sowie die Richtung der maximalen geschätzten Standardabweichung relativ zur Nordrichtung). Die Geokoordinaten können anschließend als die „gültige Position“ von allen anderen Komponenten und Funktionen verwendet werden, insbesondere auch für die Positionsstempelung von Nachrichten im sim^{TD}-Car2X-Framework selbst. Über die VAPI werden sowohl die Ausgangsdaten der „Besseren Ortung“ als auch die DGPS-Positionsdaten zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen zur „Besseren Ortung“ sind im Handbuch der Besseren Ortung zu finden.

Details der Architektur werden im sim^{TD}-Deliverable D21.2 “Konsolidierter Systemarchitekturentwurf” beschrieben.

Das funktionale sim^{TD}-System wurde für den Feldtest durch ein Datenaufzeichnungssystem erweitert, welches die Daten der Systemkomponenten für die spätere Auswertung sammelt und in Logfiles abspeichert. Jede Datenart wird durch eine sogenannte Log-ID kenntlich gemacht, so dass z. B. Kommunikationsdaten von Positionsdaten unterschieden werden können. Jede ITS Station schreibt jeweils unabhängig von den anderen Stationen Logfiles, die in der Analyse anschließend korreliert werden müssen. Hierbei spielen die Zeitstempel, mit denen jeder Eintrag versehen ist, eine wichtige Rolle. Zusätzlich werden die Logfiles durch stationsübergreifend identifizierbare Datenelemente ergänzt. Z. B. wird bei jedem ITS G5 Kommunikationsvorgang eine sogenannte Sequenznummer übertragen die sowohl in den Sende-Logfiles als auch in den Empfangs-Logfiles gespeichert wird. Mit dieser Sequenznummer lassen sich also erfolgreiche Sende/Empfangsvorgänge auf der Ebene des Netzwerk-Layers identifizieren.

Für die Analyse der Zeitsynchronisation ist die Log-ID 50010 besonders interessant da sie die Zeitdifferenz zwischen Systemzeit und GPS Zeit enthält. Die Zeitdifferenz ist in ms abgespeichert. Der Wert 9999 signalisiert dass kein GPS Signal zu Verfügung stand.

Um Systemstarteffekte zu studieren ist die Log-ID 50009 hilfreich, da sie die System Laufzeit (Uptime) in Sekunden nach dem System-Reset speichert.

3.7.2 Beschreibung der ausgewerteten Kenngrößen

Die Analyse der Synchronisations-Logdaten ist folgendermaßen möglich: Um einen Überblick über die Güte der Zeitsynchronisation zu bekommen werden alle ID 50010 Logdaten aller auszuwertenden Stationen die ungleich 9999 (ungültig, kein GPS-Signal) sind in ein Histogramm gefüllt. Diese ungefilterten Daten zeigen einen bekannten gpsd Effekt. Die Assoziation von GPS Zeitstempel und Zeitpuls funktioniert nicht immer korrekt, da der Zeitpulsinterrupt und die UART Daten durch unterschiedliche Softwarekomponenten verarbeitet werden, was zu Laufzeitdifferenz führt. Dies führt dann dazu das ein PPS Puls einem alten Zeitstempel zugeordnet wird und so fälschlicherweise eine Zeitdifferenz von –(1000ms + wahre Zeitdifferenz) angegeben wird. Normalerweise wird dieser Fehler beim nächsten PPS Puls korrigiert, er kann aber in Einzelfällen auch für mehrere PPS Pulse anhalten. Das CCU Control Programm ignoriert diese kurzfristigen Zeitsprünge und auch der ntpd reagiert nicht schnell genug auf diese Pseudo-Zeitsprünge, so dass die Systemuhr nicht verändert wird. Trotzdem wird die Differenz zwischen gpsd Output und Systemuhr in den Logfiles abgespeichert. 2% der gespeicherten Zeitdifferenzen zeigen diesen Fehlassoziierungseffekt. Um ein Histogramm zu erhalten, das die wahre Abweichung

zwischen GPS und Systemuhr zeigt kann man die entsprechenden Einträge entweder ignorieren oder korrigieren. In dieser Analyse wurden die Logdaten korrigiert indem 1000ms zum Logdatenwert addiert wurde bevor der entsprechende Wert in das Histogramm gefüllt wurde.

Um eine Bewertung der Genauigkeit der Position vornehmen zu können, wird die Messung mit einem Versuchsträger der BMW Forschung und Technik durchgeführt, der neben dem sim^{TD}-System zusätzlich mit einer hochgenaue Referenzlösung ausgestattet ist. Dieses System besteht aus einem Differential-GPS System mit Trägerphasenauswertung und einer nominellen Genauigkeit im Zentimeter-Bereich.

Abb. 3-24 zeigt einen Überblick über den Aufbau des Messsystems. Für die Ermittlung der aktuellen Position werden die Daten aus der Inertial-Sensorik und den GPS-Messungen des sim^{TD}-Systems in einem extended Kalman-Filter miteinander zu einer gefilterten Position fusioniert (Loosely-Coupled System). Um die unterschiedlichen Datenformate der Fahrdynamikdaten auf dem CAN-Bussen der Fahrzeugen verschiedener Hersteller zu berücksichtigen, werden diese in einem sim^{TD}-einheitlichen Format (Vehicle-API) zur Verfügung gestellt. Für die Filterung werden davon Längsgeschwindigkeit, Gierrate und Lenkwinkel verwendet.

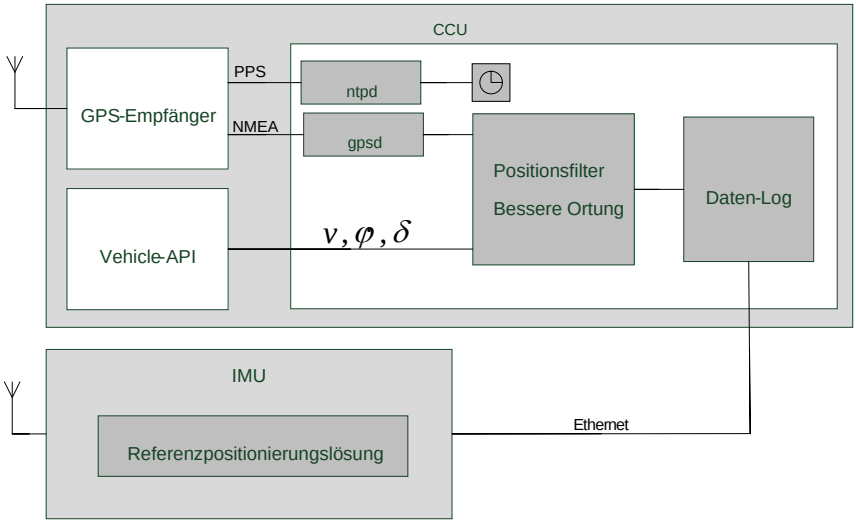


Abbildung 3.24: Aufbau des Messsystems

Die Genauigkeit der vom GPS-Receiver ermittelten Position kann Schwankungen unterworfen sein. Diese wird z. B. von der Anzahl der sichtbaren Satelliten, deren geometrischen Anordnung oder die Verfügbarkeit von DGPS Korrekturdaten beeinflusst. Die genannten Einflussfaktoren können von dem Receiver erkannt und in einem Schätzwert für die Genauigkeit der Position in beiden Raumrichtungen berücksichtigt werden. Dieser Schätzwert gilt als Grundlage für die Wichtung der Position im Kalman-Filter.

Es wurden mehrere Messfahrten vorgenommen, um robust gegen tageszeitbedingte Fehler zu sein. Die gefahrene Strecke verläuft durch vorstädtisches Gebiet mit guter Satellitensicht, abgesehen von einer kurzzeitigen Abschattung durch eine Brücke.

Die ausgewertete gesamte Messdauer ist 631 s lang, ein Ausschnitt daraus ist in Abbildung 3.25 dargestellt. Während der gesamten Messung standen DGPS-Korrekturdaten zur Verfügung.

Abbildung 3.25: Ausschnitt aus der Messung mit Verlauf der Referenzmessung, der Messpunkte des u-blox-Receivers sowie der gefilterten Position der BO

3.7.2.1 Kenngröße „Position“

Für die Auswertung wird zu jedem Zeitpunkt t_j eines neuen GPS-Messupdates des sim^{TD}-Systems der gemittelte quadratische Fehler (engl. Root-Mean-Square-Error, RMS) zwischen Messung und Referenzlösung berechnet:

$$\Delta x_j = x_{Ref}(t_j) - x_{mess}(t_j)$$

$$\Delta y_j = y_{Ref}(t_j) - y_{mess}(t_j)$$

$$\text{2D RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(\Delta x_j^2 + \Delta y_j^2)}$$

Da die beiden Positionierungssysteme azyklisch zueinander GPS-Updates erzeugen, wird für $x_{Ref}(t_j)$ bzw. $y_{Ref}(t_j)$ zwischen zwei Messpunkten interpoliert. Der hierbei entstehende Fehler kann vernachlässigt werden, da die IMU Positionsupdates mit 100 Hz ein Vielfaches der GPS-Updatefrequenz des sim^{TD}-Systems betragen.

3.7.2.2 Kenngröße „Geschwindigkeit und Kurswinkel“

GPS-Receiver ermitteln neben der Position auch die aktuelle Geschwindigkeit. Dies erfolgt mit hoher Genauigkeit durch Auswerten der Doppler-Phasen-Verschiebung der GPS-Signale. In der Literatur wird eine Wert von $\sigma_{v,GPS}$ < 0,1 m/s als zu erzielende Genauigkeit bei der Geschwindigkeit angegeben Bei einem System mit nur einer GPS-Antenne, kann die aktuelle Bewegungsrichtung nur bei Geschwindigkeiten ungleich Null bestimmt werden. Die Genauigkeit des Kurswinkels wird in Abhängigkeit der aktuellen Geschwindigkeit abgeschätzt:

$$\sigma_{KW} = \tan^{-1}\left(\frac{\sigma_{v,GPS}}{v}\right)$$

Sowohl Position als auch Geschwindigkeit und Kurswinkel werden in der verwendeten Konfiguration mit einer Updaterate von 1Hz ermittelt.

3.7.2.3 Kenngröße „Latenz der GPS Daten“

Da die Messungen des sim^{TD}- bzw. Referenzsystems auf zwei unterschiedlichen Rechnern vorgenommen wurde, ist es für die Auswertung entscheidend, dass die Uhren der beiden Systeme keinen zeitlichen Versatz aufweisen. Um dies sicherzustellen, wird ausgenutzt, dass GPS-Receiver hochgenaue Zeitmessung mit einem Fehler weniger als 50 ns vornehmen können [1].

Die Synchronisation der Uhr des Betriebssystems der CCU mit dem GPS-Receiver erfolgt über den PPS-Mechanismus. Zur Verifikation der korrekten Konfiguration des Mechanismus in dem vorliegenden System versendet das Referenzsystem über Ethernet eine Nachricht mit der aktuellen Zeit t_{IMU}, welche auf der CCU mit der jeweils aktuellen Systemzeit t_{CCU} verglichen wird. Trotz der Übertragungszeit der Ethernet-Verbindung beträgt die Differenz aus t_{CCU} und t_{IMU} in der betrachteten Messung weniger als 6 ms. Dies ist für die Zwecke der vorliegenden Auswertung eine hinreichende zeitliche Genauigkeit der CCU-Systemzeit.

Bei Kenntnis der genauen Systemzeit der CCU kann das Alter der Position online aus der Differenz von Zeitstempel t_{GPS} der gelieferten Position und der Systemzeit t_{CCU} ermittelt werden. Die Latenz setzt sich durch Rechenzeiten im Receiver nach dem Ermitteln des GPS-Fixes, der Zeit für die Übertragung der NMEA-Daten über die RS232 Verbindung sowie

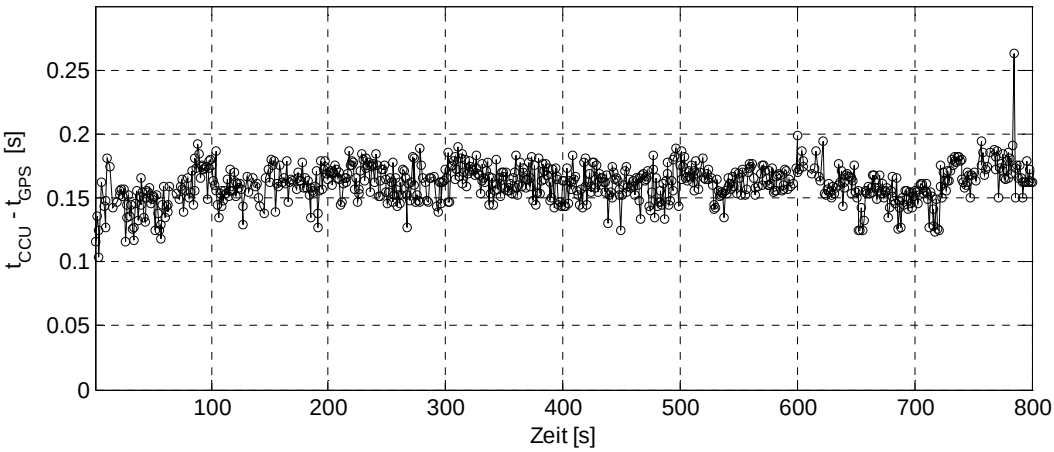


Abbildung 3.26: Alter der GPS-Positionen zum Zeitpunkt der Verarbeitung in der BO.

der Verarbeitung in Vorverarbeitungskomponenten, wie z. B. dem gpsd, zusammen. Den größten Anteil dieser Latenz verursacht die RS232 Übertragung. Für die vorliegende Konfiguration (115200 Bit/s Übertragungsrate auf RS232 Schnittstelle) kann eine Verzögerungszeit von 120-150 ms angenommen werden.

In Abbildung 3.26 ist exemplarisch der zeitliche Verlauf für das vorliegende System dargestellt. Das so ermittelte Alter der Position wird in dem Filter verwendet, um die Fahrzeug- und Positionsdaten zeitsynchron miteinander zu fusionieren.

3.7.2.4 Kenngröße „Zeitsynchronisation“

Die korrekte Synchronisation aller ITS Stationen ist eine Grundvorrausetzung für alle kooperativen Funktionen da sonst keine korrekte Bewertung und Zuordnung der übertragenen Daten möglich ist. Dies gilt besonders für die sicherheitsrelevanten Warnfunktionen, da hier Latenzzeiten im Bereich von 100-200ms benötigt werden, damit der Fahrer rechtzeitig reagieren kann. Entsprechend muss die Zeitsynchronisation einen Faktor 10 besser sein als die geforderte Latenzzeit, damit kein zusätzlicher Fehler in der Funktionsausführung durch Uhrenfehler verursacht wird. Als Bewertungsgröße der Zeitsynchronisation wird der Anteil der Zeitabschnitte, in denen die Zeitsynchronisation weniger als 10 ms von der GPS Zeit abweicht, herangezogen.

3.7.3 Bewertung der ausgewerteten Kenngrößen

3.7.3.1 Kenngröße 1: „Position“

Bewertungsmaßstab:

Gut: $\Delta_{Pos} < 1{,}5m$ (= spurgenau)

Mittel: $1{,}5m < \Delta_{Pos} < 5m$

Schlecht: $5m < \Delta_{Pos}$

Ergebnis des Feldversuchs:

Im Versuch wurden folgende Ergebnisse für die Positionsabweichung gemessen, ermittelt einmal über alle Daten und einmal nur über die Daten die während der Bewegung des Systems (v > 15km/h) aufgezeichnet wurden.

Tabelle 3.4: Genauigkeit des Positionierungssystems über die Gesamtdauer der Messung

RMS	Einheit	Gesamt	V > 15 km/h
Position GPS	m	3,06	2,96
Position Filter	m	2,96	2,86

Diese Werte bedeuten dass die angestrebte Spurgenauigkeit nicht erreicht wurde und deswegen ist die Bewertung **Mittel**.

3.7.3.2 Kenngröße 2: „Geschwindigkeit und Kurswinkel“

Als Bewertungsmaßstab wird die Auflösung typischer Sensoren für automobile Anwendungen gewählt.

Bewertungsmaßstab:

Gut: $\Delta_{Kurswinkel} < 1{,}5°$

Mittel: $1{,}5° > \Delta_{Kurswinkel} > 3°$

Schlecht: $\Delta_{Kurswinkel} > 3°$

Ergebnis des Feldversuchs:

Im Versuch wurden folgende Ergebnisse für die Kurswinkel gemessen. Jeweils einmal für alle aufgezeichneten Daten und einmal nur für die in Bewegung aufgezeichneten Daten.

Tabelle 3.5: Genauigkeit des Positionierungssystems über die Gesamtdauer der Messung

RMS	Einheit	Gesamt	V > 15 km/h
Kurswinkel GPS	[°]	21,14	1,41
Kurswinkel Filter	[°]	1,35	1,27

Damit ergibt sich für die Bewertung des Systems das die Daten der BO jeweils gut zu beurteilen sind während die Daten für GPS Kurswinkel im Stand sehr schlecht ausfallen. Da bei sim^{TD} keine GPS Kurswinkel verwendet wurden bleibt die Bewertung insgesamt bei **Gut**.

3.7.3.3 Kenngröße 3: „Latenz der GPS Daten“

Für die Latenz der Positionsinformation sind zwei Parameter wichtig: einerseits darf die Positionsinformation nicht zu alt sein, um noch sinnvoll mit den Fahrzeugdaten verrechnet zu werden, andererseits muss die Latenzzeit stabil sein, damit sie korrigierbar ist. Als Vergleich für die Latenz kann man die typische Eigenzeit eines PKW‘s für Fahrmanöver von ca. 1/3s verwenden. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen:

Bewertungsmaßstab:

Gut: Latenz<120ms & Schwankung<±25ms

Mittel: Latenz<175ms & Schwankung<±35ms

Schlecht: Latenz>175 od. Schwank.>±35ms

Ergebnis des Feldversuchs:

Das Ergebnis des Versuches ist oben in Abb. 3-26 zu sehen. Man kann eine Latenz von 170ms ablesen mit einer Schwankungsbreite von ±30ms mit einem einzigen Wert der aus dieser Schwankung herausfällt. Die Bewertung fällt entsprechend **Mittel** aus.

3.7.3.4 Kenngröße 4: „Zeitsynchronisation“

Die Bewertungsschwellen müssen so gewählt, dass die Paketfehlerrate durch die fehlende Synchronisation, die laut C2C-CCProfile Dokument dazu führen soll, das nicht gesendet werden darf, nicht signifikant geändert wird. Hierdurch sollen die in Kapitel 3.2 gezeigten Ergebnisse nicht abgesichert werden, da in sim^{TD} bei fehlender Synchronisation weiterhin gesendet wurde.

Ist der Anteil der korrekten Synchronisation besser als 97%, gilt das Ergebnis als gut, ist er höher als 99% so ist das Ergebnis sehr gut. Ein Anteil von weniger als 90% muss als schlecht bewertet werden.

Bewertungsmaßstab:

Gut: Anteil $_{\Delta t \leq 10ms}$ > 97%

Mittel: 90%< Anteil $_{\Delta t \leq 10ms}$ < 97%

Schlecht: Anteil $_{\Delta t \leq 10ms}$ < 90%

Ergebnis des Feldversuchs:

Die Feldversuchsresultate können gerade eben nicht mehr als gut eingestuft werden, da sie mit 96,8% die Schwelle für eine gute Bewertung knapp unterschreiten wenn man die Startphase des Systems in die Bewertung einbezieht (siehe Abb. 3-27). Nimmt man die ersten 300s aus der Bewertung heraus ist die Bewertung gut, da die Schwelle von 97% korrekt synchronisierten Systemen überschritten wird. (siehe Abb. 3-28)

Tabelle 3.6: Ermittelter Anteil $\Delta t \leq 10ms$

	Einheit	Gesamt	uptime > 300s
Anteil (Abweichung Sys_{Clock}-$GPS_{Clock} \leq 10ms$)	[%]	96,8	97,8

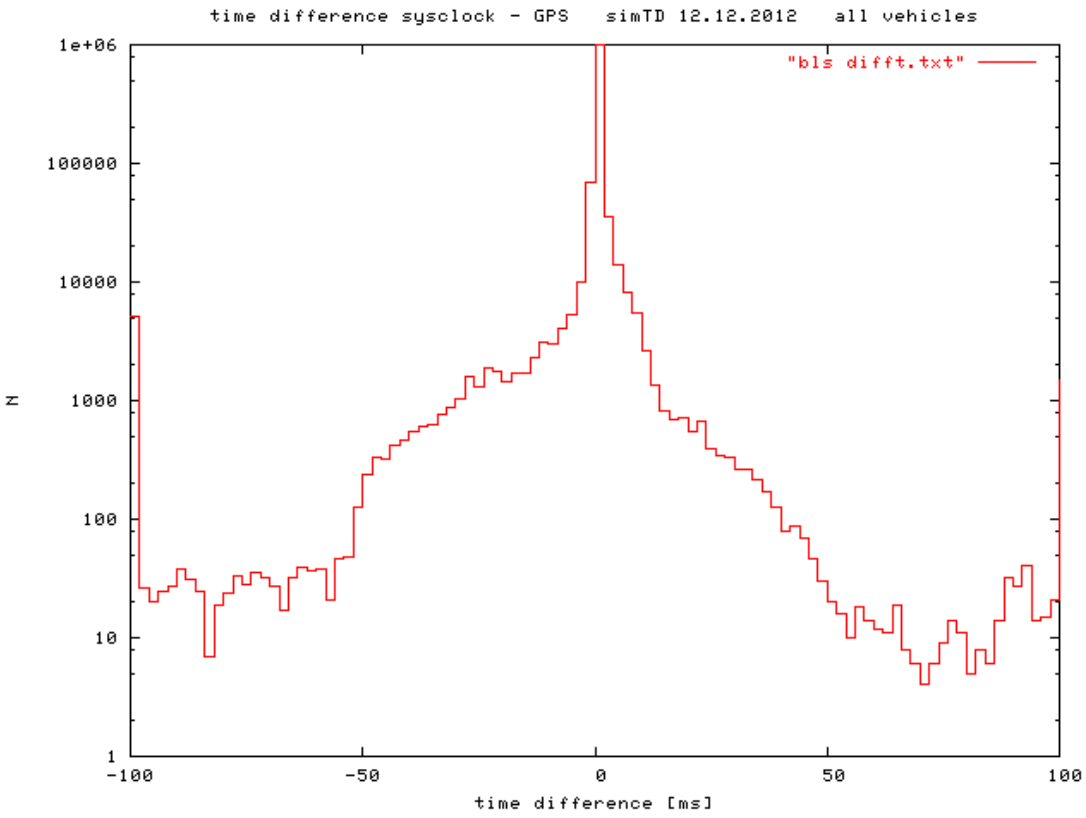


Abbildung 3.27: Zeitdifferenz GPS - Systemuhr, inklusive Startphase

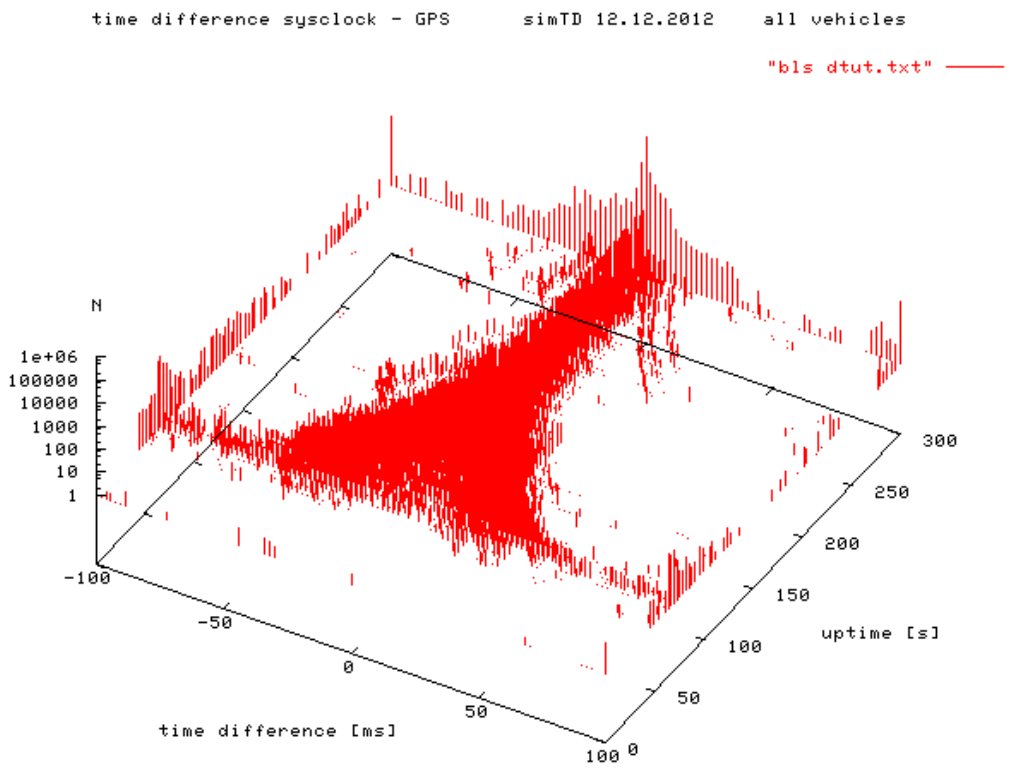


Abbildung 3.28: Zeitsynchronisation in Abhängigkeit der Systemlaufzeit,

Einen weiteren Hinweis auf die erfolgreiche Synchronisation der ITS Stationen liefert auch die ITS-G5 Latenzzeit auf Netzwerkebene die in Abb. 3-29 dargestellt ist. Die Latenz wird aus den Zeitstempeln der sendenden und empfangenen Stationen für gleiche Nachrichten errechnet. Da man eine durchschnittliche Latenz von 12ms erkennt, müssen die Uhren der beteiligten Stationen durchschnittlich besser synchronisiert gewesen sein. Der große Anteil von Nachrichten mit mehr als 50ms Latenz ist durch die Nachrichten verursacht die über mehrere ITS Stationen weitergeleitet wurden (Multi-Hopping), da deren Latenz immer relativ zum ursprünglichen Sender berechnet wird, und so die Latenzzeit mehrerer „Hops“ aufaddiert wird. Die negativen Zeiten im Histogramm lassen sich dadurch erklären, das immer die Zeit $t_{Empfänger}$-t_{Sender} berechnet wurde, aber beide Systeme relativ zur GPS Zeit schwanken und so für einen Sender mit vorlaufender Systemuhr eine scheinbar negative Latenz berechnet wurde. Diese negativen Latenzen sind genauso wie positive Latenzen zu bewerten.

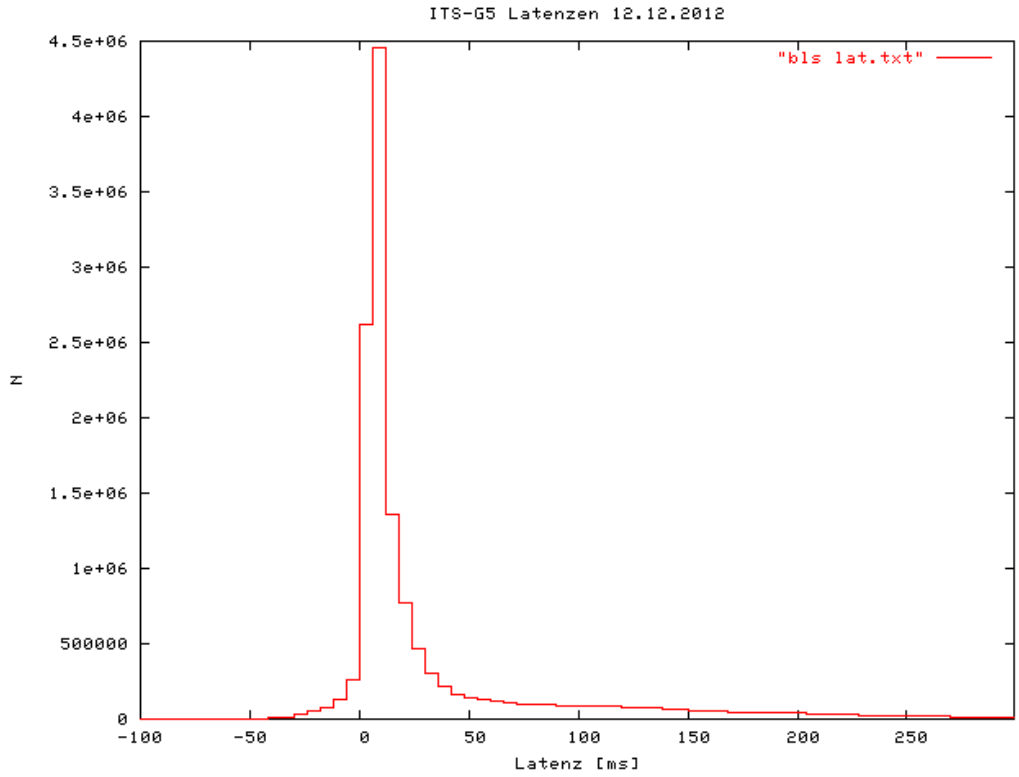


Abbildung 3.29: ITS-G5 Latenzzeit auf Netzwerkebene

Da die Zeitsynchronisation eine fundamentale Voraussetzung für alle anderen Funktionen des sim^{TD}-Systems ist, ist eine Einschränkung des Bewertungsschemas aber nicht sinnvoll, weshalb es bei der abschließenden Bewertung **Mittel** für die Leistung des sim^{TD}-Systems bzgl. der Zeitsynchronisation bleibt, obwohl die aus dem Kommunikationsverhalten abzuleitende Synchronisationsleistung eine bessere Bewertung zugelassen hätte.

3.7.4 Fragenkatalog

- Hat die sim^{TD}-Funktion funktioniert?

- Meistens – allerdings hat es auch spektakuläre Ausfälle gegeben, bei denen der GPS Reciever oder die gpsd Komponente abgestürzt sind ohne dass dies auffiel. Die BO hat deswegen teilweise stundenlang die Position aus den Fahrzeugsensoren extrapoliert, wodurch diese Fahrzeuge deutlich falsch positioniert wurden.

- *Wenn "Nein", woran hat es gelegen und was kann man besser machen? (Komponentenausfall, Kommunikationsprobleme, Ortungsprobleme, …)*

- Eine Weiterentwicklung der GPS Komponenten würde sowohl die Ursache identifizieren als auch die Probleme beheben. Ein erster Schritt zu Behandlung dieser Probleme wäre ein Stoppen der BO gewesen, um den Versuchsoperatoren und Fahrern schneller zu einem System Neustart zu veranlassen.

- *War das in sim^{TD} beobachtete Problem sim^{TD}-spezifisch oder wird es in der Serie ebenfalls zu erwarten sein?*

- Das beobachtete Problem ist spezifisch für die sim^{TD}-Implementierung, Navigationssysteme mit ähnlicher Funktion laufen in Serie problemlos. Des Weiteren würde das in sim^{TD} beobachtete Problem so in der Serie nicht auftreten, weil es in dem vor Serienanlauf stattfinden Dauerlaufversuchen aufgefallen und vor Serienstart auf jeden Fall identifiziert und gelöst werden wäre. In sim^{TD} konnte aus Zeitgründen kein Dauerlaufversuch vor dem Feldtest durchgeführt werden.

- *Erwies sich die verwendete Kommunikationstechnologie als adäquat für die Funktionalität der Funktion?*

- Die Nutzung von DGPS Korrekturdaten über UMTS verursacht im Regelbetrieb hohe Kosten und ist in dieser Form wahrscheinlich nicht in Serie zu übernehmen. Hierbei sind weniger die UMTS Kosten sondern die Bereitstellung der DGPS Daten der größere Kostenblock.

- *Wie ist der Einfluss der Ortungsgenauigkeit auf die Funktionalität der Funktion zu beurteilen? Würde eine spurgenaue Ortung die Funktionalität der Funktion verbessern?*

- Wichtiger als die Spurgenauigkeit wäre die Robustheit der Ortung gewesen, die gravierenden Probleme der Ortung bestanden in den nicht geklärten (wahrscheinlichen) Abstürzen des GPS Receivers bzw. der gpsd Komponente.

- *Welche Standards wurden bei der Implementierung der Funktion verwendet (z. B. CAM)? Welche Erweiterungen bzw. anderen Standards wären für die Funktionalität der Funktion förderlich?*

- ntp wurde verwendet. Standardisierte Anforderungen an die PoTi Komponente (Positioning & Timing) ist dringend notwendig um in allen kooperierenden Fahrzeugen eine Mindestleistungsfähigkeit zu garantieren. Besonders die Definition der Fehlerellipse ist wichtig. Eine statische Befüllung der Fehlerellipsen-Datenfelder, unabhängig von der tatsächlichen, aktuellen Sensorinformation, ist auf jeden Fall zu vermeiden.

- *Durch welche zusätzlichen Umfeldsensoren kann die Funktionalität der Funktion verbessert werden?*

- Umfeldsensoren können Landmarken erkennen und zu diesen den relativen Abstand messen. Zusammen mit einer Landmarken Datenbank kann so das Fahrzeug absolut positioniert werden, unabhängig von GPS und Fahrzeugsensoren. Mit der zusätzlichen Positionierung wird eine weitere Verbesserung in der Umgebung der Landmarke erreicht.

4 Kernfragen zur Bewertung Technik

Die folgenden Kernfragen sollten ursprünglich durch den technischen Versuch beantwortet werden.

1. *Wie **zuverlässig** und sicher arbeitet das Gesamtsystem und die einzelnen Komponenten für die jeweiligen Funktionen/Anwendungsfälle?*
    a. *Welche Komponenten zeigen besondere Auffälligkeiten und warum?*
    b. *Welche Funktionen/Anwendungsfälle zeigen besondere Auffälligkeiten und warum?*
    c. *Ist die Genauigkeit der Ortung ausreichend für die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle?*
2. *Ist die ausgewählte **Übertragungstechnik** für die jeweilige Funktion/Anwendungsfall **geeignet**?*
3. *Wo sind die **Grenzen** und das **Leistungsspektrum** der jeweiligen **Kommunikationstechnologie** (ITS-G5A, Mobilfunk)?*
    a. *Wie hoch ist die Auslastung der jeweiligen Übertragungstechnik in Abhängigkeit der Ausstattungsrate, der Anzahl der Nutzer und Häufigkeit der Nutzung?*
    b. *Latenzzeit, Abdeckung, verfügbare Bandbreite*
    c. *Welche Anzahl (absolut & prozentual) der gesendeten Nachrichten je Übertragungstechnik erreichen die Fahrzeuge und führen zu einer Meldung? Aus welchem Grund geschieht dies in einer gewissen Anzahl von Fällen nicht?*
    d. *Ab welchen Ausstattungsraten und Anzahl der Nutzer stößt die jeweilige Übertragungstechnik an die Kapazitätsgrenzen und warum?*
4. *Wie sehen die **kritischen technischen Größen** für die Gewährleistung der einzelnen Funktionen / Anwendungsfälle aus (Latenzzeit, Abdeckung, verfügbare Bandbreite)?*
5. *Wie ist die **Reaktionszeit des Systems** in **Abhängigkeit der Ausstattungsrate** und der Funktionen / Anwendungsfälle und Funktionsbündel?*
6. *Wie beeinflusst die jeweils genutzte **Kommunikationstechnologie** die **Wirkung** der jeweiligen **Anwendungsfälle / Funktionen** und warum?*
7. *Ist die realisierte **IT-Sicherheit / Informationssicherheit** für die Funktionen / Anwendungsfälle **ausreichend** bzw. bei welchen Systemen, Funktionen / Anwendungsfälle traten Probleme auf?*

Auf Grund der folgenden Punkte werden die Kernfragen in der obigen Form hier nicht explizit beantwortet:

- Es gab diverse Neuplanungen und organisatorische Änderungen.
- Die Funktionen haben sich bei der Umsetzung zum Teil nicht an die ursprüngliche TP1 Spezifikation gehalten.
- Bestimmte Versuche wurden aus organisatorischen Gründen gestrichen.

- Die Integrationsworkshops dienten im Wesentlichen der Sicherstellung der Basisfunktionalität von ICS, IRS und IVS.
- Die Loggingdaten sind nicht vollständig, so dass nicht alle Auswertungen durchgeführt werden können.
- Die ITS-G5 IT-Sicherheit ist auf Grund der Systemauslastung nicht umgesetzt / aktiviert worden.

5 Forschungsleitende Hypothesen für Technik

Aus dem Bewertungskonzept von AP5.1 wurden folgende forschungsleitende Hypothesen übernommen. Diese werden hier auf Basis der technischen Versuche bewertet.

1. *Die realisierte IT-Sicherheit / Informationssicherheit für die Funktionen / Anwendungsfälle ist ausreichend.*
    a. *Das System sendet keine Nachrichten von aufgehobenen IDs (Pseudonyme).*
        - Wie in Kapitel 3.4 beschrieben, wurden die Funktionen der kryptografische IT-Sicherheit aus Performancegründen nicht im sim^{TD}-Feldversuch eingesetzt. Ohne eine kryptografische Verifikation der Zertifikate erschien eine Revokation der selbigen ebenfalls als nicht sinnvoll.
    b. *Das System erkennt Nachrichten von gefälschten ITS Stationen*
        - Im Feldtest wurden Stationen mit fehlerhaften bzw. unplausiblen Nachrichteninhalten erkannt.
        - Die eingesetzte Plausibilitätsprüfung auf den sim^{TD}-Stationen ist in der Lage unplausibles Verhalten zu detektieren. Das kann gegebenenfalls dazu verwendet werden um den betroffenen Stationen bei der nächsten Anfrage keine neuen Pseudonyme auszustellen. Für die Erkennung von gefälschten ITS Stationen ist eine zentrale Auswertung und Zusammenfassung von Stationen mit unplausiblem Verhalten sinnvoll.
    c. *Die Pseudonyme wechseln finden wie definiert statt*
        - Der regelmäßige Wechsel von Pseudonymen ist im Feldversuch von allen Stationen wie geplant durchgeführt worden. Die in sim^{TD} vorgesehenen Sperren der Pseudonymwechsel wurden ebenfalls wie vorgesehen eingehalten.
2. *Das System erkennt, ob Angreifer, ohne gültige Zertifikate in die Kommunikation eingreifen.*
    a. *Das System erkennt zertifizierte Nachrichten, die einen falschen Zeitstempel haben.*
        - Die Erkennung von ungültigen Zeitstempeln konnte mit Hilfe der Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden.
    b. *Das System erkennt die Manipulation von Zertifikaten*
        - Dieser Nachweis der Datenintegrität konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
    c. *Das System erkennt die Manipulation von Zeitstempeln.*
        - Dieser Nachweis der Datenintegrität konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
3. *Die Authentifikation ist erfolgreich bei autorisierten Sendern (gültige(s) Zertifikat + Signatur).*
    - Dieser Nachweis der Authentifikation und Datenintegrität konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
4. *Bei ungültigem/r Zertifikat/ Signatur schlägt die Authentifikation fehl.*
    - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
5. *Das System führt die Entschlüsselung von verschlüsselten Informationen durch.*
    - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
6. *Das System führt die Verschlüsselung von Informationen durch.*

- Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.

7. *Das System führt die Authentisierung des Senders erfolgreich durch und erkennt, dass die Nachricht von einem berechtigten Sender ausgesandt wurde.*
   - Dieser Nachweis konnte nicht erbracht werden, da die kryptografischen Methoden der IT-Sicherheit im Feldtest nicht eingesetzt wurden. Details sind in Kapitel 3.4 zu finden.
8. *Das Gesamtsystem arbeitet zuverlässig, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten.*
   - Unter den Randbedingungen des sim^{TD}-Versuchs hat das prototypische Gesamtsystem für die einzelnen Funktionen eine zufriedenstellende Umgebung zur Verfügung gestellt. Die Erfahrungen aus dem sim^{TD}-Gesamtsystem haben wichtige Erkenntnisse für die Weiterentwicklung zur Serienreife geliefert.
   - Die Überprüfung gegen die Spezifikationen hat nicht stattgefunden.
9. *Die einzelnen Systemkomponenten arbeiten zuverlässig, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten.*
   - Die Überprüfung gegen die Spezifikationen hat nicht stattgefunden.
   - Die eingesetzte ICS- Hardware hat die spezifizierten Anforderungen übertroffen.
   - Es gab keine wetter- bzw. klimabedingten Ausfälle der IRS-Komponenten.
   - Die auf den Fahrzeugen eingesetzte Prototypen-Antenne konnte erstmals die ITS G5-Technologie zusammen mit Mobilfunk und GPS in einer Dachantenne abbilden. Weiterentwicklungspotenzial besteht in Anpassungen an die fahrzeugspezifischen Dachformen, Dachmaterialien, etc.
   - Die eingesetzte IVS-Hardware war für die parallele Verarbeitung aller Funktionen unterdimensioniert.
10. *Die einzelnen Funktionen/Anwendungsfälle arbeiten zuverlässig, gemäß ihrer Spezifikation.*
    - Die Überprüfung gegen die Spezifikationen hat nicht stattgefunden.
    - Die Mehrzahl der Funktionen hat funktioniert. Ausnahmen waren die Funktionen Straßenvorausschau, Erweiterte Navigation (schlechte Funktionalität) und Ampelphasenassistent (nicht auswertbar).
11. *Die für die jeweilige Funktion / Anwendungsfall erforderliche Übertragungstechnik arbeitet zuverlässig, so dass die Funktion / der Anwendungsfall gemäß ihrer Spezifikation arbeitet.*
    - Die jeweilige Kommunikationstechnologie war geeignet.
12. *Die IVS arbeitet zuverlässig, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten.*
    - Die eingesetzte IVS-Hardware war für die parallele Verarbeitung aller Funktionen unterdimensioniert.
13. *Die IRSen arbeiten zuverlässig, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten.*
    - Die Zuverlässigkeit der IRS wurde nicht separat untersucht.
14. *Die einzelnen Funktionen/Anwendungsfälle arbeiten zuverlässig, gemäß ihrer Spezifikation.*
    - Alle Funktionen wurden erprobt und konnten auf Grundlage der Loggingdaten ausgewertet werden. Einschränkungen gibt es unter anderem beim Kreuzungsquerverkehrsassistenten oder der Einsatzfahrzeugwarnung

für die nur in geringem Maße auswertbare Daten vorlagen und dem Ampelphasenassistenten der nicht ausgewertet werden konnte.

15. *Die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Systems ist ausreichend, damit die Funktionen / Anwendungsfälle in dem definierten Rahmen funktionieren.*
    - Die eingesetzte IVS-Hardware war für die parallele Verarbeitung aller Funktionen unterdimensioniert.
16. *Die Reaktionszeit ist ausreichend für alle in sim^{TD} getesteten Ausrüstungsraten in Verbindung mit den jeweils eingeschalteten Funktionen / Anwendungsfälle damit diese gemäß ihrer Spezifikationen funktionieren.*
    - Unterschiedliche Ausrüstungsraten wurden im Feldtest nicht erprobt.
17. *Die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Systems war ausreichend, bis zu der maximalen Anzahl der Nutzer, so dass die Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiteten.*
    - Wurde nicht untersucht.
18. *Die Verfügbarkeit der einzelnen Umgebungsinformationen sind ausreichend, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten.*
    - Siehe These 21
19. *Die Ortungsgenauigkeit ist ausreichend, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten*
    - Ja.
20. *Die Positionsgenauigkeit ist ausreichend, so dass die jeweiligen Funktionen / Anwendungsfälle gemäß ihrer Spezifikation arbeiten*
    - Siehe These 21
21. *Die Verknüpfung der sim^{TD}-Ortungsinformationen des Ego-Fahrzeugs mit den Daten der zusätzlichen Umfeldsensoren verbessert die ermittelte Ortungsgenauigkeit.*
    - Ja, bezogen auf das sim^{TD}-System.
22. *Die Zuverlässigkeit bei der Übertragung der gesendeten Nachrichten beträgt hinsichtlich der Datenmenge, der Korrektheit und der Latenz beträgt mehr als 99,9%.*
    - Nein.
23. *Die Latenzzeit, die Abdeckung und die Bandbreite der jeweiligen Übertragungstechniken waren für alle Funktionen / Anwendungsfälle ausreichend.*
    - Ja.
24. *Die maximal erlaubte Latenzzeit, die notwendige Abdeckung und die notwendige Bandbreite der jeweiligen Übertragungstechniken war für die Funktion / den Anwendungsfall ausreichend.*
    - Ja.
25. *DENM Messages verbreiten sich hinreichend schnell, gemäß den Anforderungen der Funktionen.*
    - Ja, speziell bei Multi-Hop.
26. *DENM Messages verbreiten sich mit dem beabsichtigten Lokationsbezug, gemäß den Anforderungen der Funktionen.*
    - Wurde nicht untersucht. (Es wurde mit definierten Maximalanzahl von Hopcounts gearbeitet statt mit Lokationsbezug.)
27. *CCP (consecutive CAM Period): Die CAM Nachrichten werden in ausreichend zeitlichen maximal Abständen empfangen.*
    - Ja, wobei einige Funktionen eine höhere Frequenz wünschen.

6 Fazit

Technologie besteht Reifeprüfung!

Die Car-to-X-Technologie konnte unter Alltagsbedingungen ihre Tauglichkeit zeigen, die zugrundeliegenden Konzepte wurden bestätigt.

- Die folgenden Funktionen sind im öffentlichen Straßenraum getestet worden:
  - Fahrzeugseitige Datenerfassung
  - Erfassung der Straßenwetterlage
  - Erfassung der Verkehrslage
  - Straßenvorausschau
  - Baustellenwarnung
  - Erweiterte Navigation
  - Umleitungsempfehlung
  - Netzsteuerung LSA
  - Lokale verkehrsabhängige Steuerung
  - Hinderniswarnung
  - Stauendewarnung
  - Straßenwetterwarnung
  - Verkehrszeichenassistent
  - Ampelphasenassistent
  - Internetbasierte Informationsdienste
  - Standortinformationsdienste
- Folgende Funktionen sind aus Gründen der Sicherheit alltagsnah außerhalb des öffentlichen Straßenraums getestet worden:
  - Kreuzungsquerverkehrsassistent
  - Elektronisches Bremslicht
  - Einsatzfahrzeugwarnung (ohne Blaulicht auch im öffentlichen Straßenraum)
- In 41.000 Stunden wurden von 500 Teilnehmern mit 120 Fahrzeugen (IVS), darunter mehrere Motorräder, 1.650.000 Kilometer gefahren. Gleichzeitig waren über 100 IRS im Einsatz.
- Folgende Konzepte und Standards wurden bestätigt:
  - Trennung zwischen AU und CCU
  - Multi-Hop
  - CAM, DENM, SPaT, TOPO
  - Probe Vehicle Data (PVD) sowie Datex II
  - Car2X (Car2Car und Car2Infrastructure)
  - Hybrider Kommunikationsansatz
  - SoA (Service orientierte Architektur)
  - Pseudonymisierung (Privacy)

Der hybride Systemansatz hat sich bestätigt, WLAN-basierte Kommunikation und Kommunikation über Mobilfunk wurden erfolgreich im Feld getestet.

- Folgende Funktionen nutzen den hybriden Systemansatz:
  - Verkehrszeichenassistent
  - Baustelleninformationssystem
  - Umleitungsempfehlung
  - Straßenwetterwarnung

- Erweiterte Navigation
- Erfassung der Verkehrslage

- Folgende Funktionen nutzen ausschließlich ITS-G5 (WLAN):
  - Straßenvorausschau
  - Hinderniswarnung
  - Stauendewarnung
  - Einsatzfahrzeugwarnung
  - Ampelphasenassistent
  - Elektronisches Bremslicht
  - Kreuzungsquerverkehrsassistent
- Folgende Funktionen nutzen ausschließlich Mobilfunk:
  - Erfassung der Straßenwetterlage
  - Internetbasierte Informationsdienste
  - Standortinformationsdienste
- Zusätzlich zu den funktionsseitigen Anwendungen des hybriden Kommunikationsansatzes wurde das Verhalten der Kommunikationstechnologien u.a. in gesonderten Kommunikationsversuchen untersucht.

Ein wesentlicher Vorteil der Car-to-X-Technologie, die Kommunikation bei verdeckten Szenarien, z. B. der Blick um die Ecke einer Kreuzung oder durch ein Lastfahrzeug hindurch, hat sich im Feldversuch bestätigt.

- Um die Ecke schauen:
  - Im Fall des Querverkehrsassistenten konnte gezeigt werden, dass die Informations-Stufe in 99,5% aller Fälle spezifikationsgemäß rechtzeitig ausgegeben wurde. Lediglich in 0,5% aller Fälle wurde die Information über querenden Verkehr verspätet ausgegeben, weil der querende Verkehr erst später erfasst wurde.
- Durch ein Lastfahrzeug hindurch bzw. um die Kurve schauen u.a. folgende Funktionen:
  - Hinderniswarnung
  - Stauendewarnung
  - Einsatzfahrzeugwarnung
  - Elektronisches Bremslicht
  - Baustelleninformationssystem

Die Anwendung der Car-to-X-Kommunikation zur Übermittlung von Informationen aus den Fahrzeugen in die Verkehrszentralen und umgekehrt führte zu einer verbesserten Kenntnis der Verkehrslage und zu einer schnelleren Erkennung verkehrsrelevanter Ereignisse.

- Die Anwendung der Car-to-X-Kommunikation zur Übermittlung von Informationen aus den Fahrzeugen in die Verkehrszentralen und umgekehrt führte zu einer verbesserten Kenntnis der Verkehrslage und zu einer schnelleren Erkennung verkehrsrelevanter Ereignisse. Schon bei einer Ausstattungsrate von 0,5 % können Staus in ausreichender Qualität abgebildet werden. Ab einer fahrzeugseitigen Ausstattungsrate von 2% generiert die Ermittlung einer fusionierten Verkehrslage einen stabilen Mehrwert gegenüber einer konventionellen Verkehrslagenermittlung über stationären Detektoren bei Detektorabständen von > 1 km. Ab einer Ausstattungsrate von 4% kann keine spürbare Verbesserung der Verkehrslageinformation mehr erreicht werden.
- Die Übertragung der Informationen per PVD über Mobilfunk und IRS hat sich als zweckmäßig zur Umsetzung der Ermittlung der Verkehrslage erwiesen. Die Ermittlung der Verkehrslage über CAM und reiner IRS-Kommunikation ist nur eingeschränkt möglich, da der Erfassungshorizont für die Verkehrslageerfassung sehr kleinräumig ist und damit nur eine beschränkte Aussagefähigkeit besitzt. DENM können zur Plausibilisierung und zum Ereignismanagement herangezogen werden.

sim^{TD} unterstützt Markteinführung kooperativer Systeme!

sim^{TD} hat die Standardisierung der Car-to-Car- Nachrichtenformate und der Schnittstellen zur Lichtsignalsteuerung vorangetrieben.

- CAM/DENM: Im Rahmen der ETSI ITS WG1 Arbeiten zur Finalisierung der CAM und DENM Nachrichtenformate sowie der dahinterliegenden Basic Services lieferte sim^{TD} wichtige Erkenntnisse und Rahmenbedingungen aus den Integrationsworkshops und den Vorversuchen.
- SPaT TOPO: Die Erkenntnisse aus dem Kreuzungs-/Querverkehrsassistenten und dem Ampelphasenassistenten zur Nutzung der SPaT und TOPO Nachrichten fließen in die aktuellen Standardisierungsarbeiten der ISO/CEN ein (Stand 2013).
- Datex II
- Die Übertragung der Informationen per PVD über Mobilfunk und IRS hat sich als zweckmäßig zur Umsetzung der Ermittlung der Verkehrslage erwiesen. Diese Erfahrungen können in die Standardisierungstätigkeiten der CEN einfließen.