
Indikatoren zur multikriteriellen Analyse kooperativer Transportsysteme (IMPAKT)

Finanziert im Rahmen der
Programmlinie I2V des
Forschungsförderungs-
programms IV2Splus

robert koelbl-communication mobility e.U.
Kleine Neugasse 7, A-1050 Wien
www.rk-cm.com

Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Rechbauerstraße 12/II, A- 8010 Graz
www.tugraz.at

Technische Universität München
Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Arcisstraße 21, D-80333 München
www.vt.bgu.tum.de

TraffiCon – Traffic Consultants GmbH
Strubergasse 26, A-5020 Salzburg
<http://www.trafficon.eu>

Wien, Jänner 2015

AutorInnen

rk-communication mobility e.U.

Kleine Neugasse 7, A-1050 Wien
www.rk-cm.com
Kölbl, Robert

Technische Universität Graz Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Rechbauerstraße 12/II, A- 8010 Graz
www.tugraz.at
Fellendorf, Martin
Neuhold, Robert

Technische Universität München Lehrstuhl für Verkehrstechnik

Arcisstraße 21, D-80333 München
www.vt.bgu.tum.de
Gerstenberger, Marcus
Geßenhardt, Judith

TraffiCon – Traffic Consultants GmbH

Strubergasse 26, A-5020 Salzburg
<http://www.trafficon.eu>
Krampe, Stefan
Pfister, Jörg (PWP-Systems GmbH)

Weitere Projektbeteiligte

Technische Universität Graz Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Kramer, Andreas
Kraschl-Hirschmann, Karin

Technische Universität München Lehrstuhl für Verkehrstechnik

Busch, Fritz
Schendzielorz, Tobias

Inhaltsverzeichnis

0	Executive Summary	25
0.1	Zusammenfassung	25
0.2	Summary	28
1	Inhaltliche Beschreibung	31
1.1	Projektziele	31
1.2	Projektidee	33
1.3	Projektablauf	34
2	Technische Evaluierung von Kooperativen Diensten – Evaluierungsmethodik	35
2.1	Einführung und Background	35
2.2	Methodenstruktur	41
2.3	Datenbasis und Informationen	42
2.4	Erhebung IST-Zustand	44
2.4.1	Reale Messfahrten	44
2.4.2	Infrastrukturseitige Daten	44
2.5	Verkehrsflusssimulation	45
2.6	Indikatoren zur Evaluierung	46
2.7	Use Cases im Testfeld Telematik Austria	48
3	Datenspezifikation und Analyse der Testfeld-Daten	50
3.1	Einführung	50
3.2	Daten aus dem Testfeld Telematik Austria	53
3.2.1	Anforderungen	53
3.2.2	Spezifikation	55
3.3	Fahrstreifen genaue Detektion des Fahrverhaltens unter Verwendung von GPS-Daten 57	
3.3.1	Anforderungen und Analyse	57
3.3.2	Fehlende fahrstreifengenaue Straßengraphen	59
3.3.3	Hochgenaue Erfassung einzelner Fahrstreifen	59
3.3.4	Modellierung einzelner Fahrstreifen in einem Datenmodell	61
3.3.5	Analyse der GPS Qualität	61
3.3.6	Ermittlung des Fahrverhaltens und des Fahrstreifenwechselverhaltens	71

3.3.7	Datenübergabe prozessierter GPS-Daten	76
3.4	Referenzpunkte	78
3.4.1	Erzeugung der Referenzpunkte	78
3.4.2	Übersicht der Referenzpunkte im Betrachtungsgebiet	80
3.5	Auswertung von Querschnitts- und Umfelddaten	81
3.5.1	Datenarten und Aufbereitung	81
3.5.2	Messquerschnitte	83
3.5.3	Analyse des Verkehrszustandes mit Querschnittsdaten	85
4	Wirkungsanalyse	91
4.1	Untersuchungsgebiet	92
4.2	Empirische Daten und Simulationsdaten	94
4.2.1	Empirische Daten von kooperativen Fahrzeugen	94
4.2.2	Grundlagen der Verkehrssimulation	97
4.2.3	Simulation UseCase “Green Light Optimal Speed Advisory”	99
4.2.4	Simulation UseCase „Road Works Warning“	108
4.3	Wirkungsanalyse der Fahr- und Verkehrseffizienz	118
4.3.1	Wirkungen der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis von Realdaten	119
4.3.2	Wirkungen der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis von Simulationsdaten	131
4.4	Analyse der Umweltauswirkungen	147
4.4.1	Umweltauswirkungen auf Basis von Realdaten	149
4.4.2	Umweltauswirkungen auf Basis von Simulationsdaten	156
4.5	Wirkungsanalyse der Sicherheit des Verkehrsflusses	165
4.5.1	Kenngößen zur Ermittlung der Fahr- und Verkehrssicherheit	165
4.5.2	Wirkungen der Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis von Realdaten	169
4.5.3	Wirkungen der Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis von Simulationsdaten	185
5	Netzwirkungen von kooperativen Systemen	208
5.1	Verkehrsmodell für die Netzwirkungsanalyse	208
5.2	Netzwerkung Verkehrsfluss (Effizienz)	211
5.3	Netzwerkung Umwelt	219
5.4	Ausblick: Potential an Kapazitätssteigerung durch künftige Fahrzeugtechnologien	223

6	Evaluierung der Usability – Benutzerakzeptanz	226
6.1	Versuchsdesign	227
6.1.1	Nutzerakzeptanz und Befragungsmethodik	227
6.1.2	Auswahl der Nutzergruppen	230
6.1.3	Versuchsplan für das Testfeld Telematik Austria	231
6.1.4	Matrix zur Nutzeranalyse	233
6.2	Testfeldversuchsauswertung	234
6.2.1	Daten und Datenstruktur	234
6.2.2	Analyse des Mobilitätsfragebogens	237
6.2.3	Analyse des Pop-up-Fragebogens	247
7	Zusammenfassung und Ausblick	252
8	Literatur	258
	Anhang	0
	Anhang A1 – Kenngrößen FESTA Handbook	1
	Anhang A2 – Kenngrößen IMPAKT	24
	Anhang A3 – Datenkatalog IMPAKT	32
	Anhang A4 – Testfeld Telematik – Auszug des Dokuments „AP 6000 Assessment Methodology Version 2.1“	37
	Anhang A5 – Zusammenhang zwischen Nutzerevaluierungsindikatoren, Forschungsfragen und Fragebogen	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zusammenspiel und Rollen der IMPAKT-Partner	33
Abbildung 2:	Grundsätzliches Vorgehen zur Wirkungsermittlung von Informationen aus Einzelfahrzeugpositionen basierend auf GPS-Daten	34
Abbildung 3:	Ablaufplan und notwendige Schritte zur Planung, Durchführung und Auswertung eines Field Operational Tests (Quelle: FESTA Handbook V4, 2011).....	38
Abbildung 4:	Basierend auf dem FESTA-Schema, Verteilung der Aufgaben zwischen den Projekten Testfeld Telematik Austria und IMPAKT (Quelle: FESTA Handbook V4, 2011).....	39
Abbildung 5:	Der IMPAKT-Methodenwürfel.....	41
Abbildung 6:	Zusammenhang zwischen Daten, Auswerteebene und Wirksamkeitsanalysen.....	42
Abbildung 7:	Betrachtungsgebiet und Messquerschnitte im Projekt IMPAKT (Quelle: GoogleEarth)	43
Abbildung 8:	Übersicht ausgestatteten Lichtsignalanlagen im städtischen Streckennetz (Quelle: Testfeld Telematik Austria)	43
Abbildung 9:	Modelliertes Verkehrsnetz am niederrangigen (links) bzw. höherrangigen Straßennetz (rechts).....	46
Abbildung 10:	Datenprozessierung zwischen Testfeld Telematik Austria und IMPAKT	51
Abbildung 11:	Ablauf der GPS-Datenauswertung	58
Abbildung 12:	Darstellung des Straßennetzes mit nur einem Netzgraphen in Wien.....	59
Abbildung 13:	Concept-Car, Navigations-Ausrüstung zur Vermessung der Fahrstreifen	60
Abbildung 14:	Fahrstreifenfeine Modellierung – Bsp. Wien, Südosttangente (A23) [Quelle: geoland.at, eigene Netzmodellierung].....	61
Abbildung 15:	Concept Car mit verschiedenen Smartphones und GPS-Loggern.....	62
Abbildung 16:	Testfeld Telematik Austria (links) und Beispiel von GPS-Fehlern in einer Kurvenfahrt.....	63
Abbildung 17:	Genauigkeitsanforderung in quer zur Fahrtrichtung (laterale Genauigkeit 2 m) und entlang der Fahrtrichtung (longitudinale Genauigkeit 30 m)	64
Abbildung 18:	Auswertung der Positionsfehler des Qstarz (1Hz) Empfängers	65
Abbildung 19:	Auswertung der Positionsfehler des Qstarz (5Hz) Empfängers	66
Abbildung 20:	Auswertung der Positionsfehler des Sony / Ericsson Smartphones.....	67
Abbildung 21:	Auswertung der Positionsfehler des Samsung Galaxy Smartphones	68
Abbildung 22:	Auswertung der Positionsfehler des HTC Desire Smartphones.....	69
Abbildung 23:	Auswertung der Positionsfehler des iPhone 4 Smartphones	70
Abbildung 24:	Abhängigkeit zwischen Positionsfehler und Geschwindigkeit des iPhone 4.....	71

Abbildung 25:	Ergebnis eines fahstreifengenauen Mapmatchings mit Fahrstreifenwechsel	72
Abbildung 26:	Standorte der Detektoren entlang der A4 (Richtung Wien-Innenstadt)	75
Abbildung 27:	Blockdiagramm für den hybriden Algorithmus zur Erkennen von Spurwechseln	76
Abbildung 28:	Lage des Referenzpunktes 803070113 auf der Autobahn A4 Fahrtrichtung Wien (Quelle: Google Earth)	78
Abbildung 29:	Referenzpunkte im Betrachtungsgebiet	80
Abbildung 30:	Beispielhafte Darstellung der Rohdaten im csv-Datenformat	81
Abbildung 31:	Überblick zu den entwickelten Modulen zur Auswertung der Querschnittsdaten	82
Abbildung 32:	Exemplarischer Auszug der geparsten TPEG-Meldungen im csv-Format	83
Abbildung 33:	Lage der vier Detektoren der Zählstelle 1177 am Handelskai (Quelle: Stadt Wien)	84
Abbildung 34:	Lage der Messquerschnitte am hochrangigen Straßennetz innerhalb des Untersuchungsgebietes	85
Abbildung 35:	Lage der Messquerschnitte MQ_A04_1_010.000, MQ_A04_2_004.800 und MQ_A23_2_012.300 innerhalb des Untersuchungsgebietes	86
Abbildung 36:	Auswertung des Messquerschnittes MQ_A04_1_010.000, Zeitraum 1.10.-30.11.2013	87
Abbildung 37:	Auswertung des Messquerschnittes MQ_A04_2_004.800, Zeitraum 1.10.-30.11.2013	88
Abbildung 38:	Auswertung des Messquerschnittes MQ_A23_2_012.300, Zeitraum 1.10.-30.11.2013	89
Abbildung 39:	Lage der Auswertebereiche (grün) innerhalb des Testgebietes (Quelle: OpenStreetMap)	92
Abbildung 40:	Verortung der Anzeigequerschnitte der A2 und A23 innerhalb des Testgebietes (Quelle: OpenStreetMap)	93
Abbildung 41:	Verortung der Anzeigequerschnitte der A4 innerhalb des Testgebietes (Quelle: OpenStreetMap)	93
Abbildung 42:	Methodik Datenfluss für die Wirksamkeitsanalysen	94
Abbildung 43:	Zeitpunkt (links) und Ort (rechts) der Anzeige der Meldungen im Fahrzeug innerhalb des Untersuchungsgebietes	97
Abbildung 44:	Handelskai in der Verkehrssimulation mit Markierung der VLSA-Knoten (Quelle: OpenStreetMap)	102
Abbildung 45:	Boxplot Pkw-Geschwindigkeiten der Zählstelle 1177 am Handelskai für die Stunden 13-14 Uhr und 17-18 Uhr	105
Abbildung 46:	GLOSA Verteilung der in der Verkehrssimulation verwendeten Wunschgeschwindigkeit für Pkw ohne C2X (Normalverkehr und Nachmittagsspitze) sowie der mit C2X ausgestatteten Pkw	106

Abbildung 47:	Visualisierung des Python Skripts für GLOSA.....	107
Abbildung 48:	Umsetzung UseCase GLOSA in der Simulation, links befindet sich das Fahrzeug innerhalb, rechts außerhalb des Grünbandes	107
Abbildung 49:	Lage der Baustelle für die Simulation der RWW (Quelle: OpenStreetMap).....	111
Abbildung 50:	Lage der 3 Querschnitte auf der A4 Richtung Wien im Bereich der simulierten Baustelle (Quelle: GoogleEarth)	112
Abbildung 51:	Boxplot der Geschwindigkeiten für 3 Messquerschnitte auf der A4 Richtung Wien in der Stunde 13-14 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013	114
Abbildung 52:	Boxplot der Geschwindigkeiten für 3 Messquerschnitte auf der A4 Richtung Wien in der Stunde 17-18 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013	115
Abbildung 53:	Bereichseinteilung der Fahrstreifenwechsel RWW	116
Abbildung 54:	RWW Verteilung der in der Verkehrssimulation verwendeten Wunschgeschwindigkeit für Pkw ohne C2X (Normalverkehr und Nachmittagsspitze) sowie der mit C2X ausgestatteten Pkw in den Szenarien v95 und v110	117
Abbildung 55:	Umsetzung UseCase RWW in der Verkehrssimulation, links Ort der Information der FahrerInnen, rechts Situation am Beginn der Baustelle.....	118
Abbildung 56:	Fusion von GPS-, Querschnitts- und Meldungsdaten dargestellt im Zeit-Weg-Diagramm, A4 Richtung Wien, Abschnitt Knoten Schwechat bis Knoten Prater, 10.10.2013	121
Abbildung 57:	Fusion von GPS-, Querschnitts- und Meldungsdaten dargestellt im Zeit-Weg-Diagramm, A23 Richtung Norden, Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater, 17.10.2013.....	122
Abbildung 58:	Vergrößertes Zeit-Weg-Diagramm von Track 162, 165 und 164 fusioniert mit Querschnitts- und Meldungsdaten.....	123
Abbildung 59:	Fusion von GPS-, Querschnitts- und Meldungsdaten dargestellt im Zeit-Weg-Diagramm, A23 Richtung Norden, Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater, 28.11.2013.....	124
Abbildung 60:	Zeit-Weg-Diagramm von Track 620, 624 und 625 fusioniert mit Querschnitts- und Meldungsdaten.....	125
Abbildung 61:	Lage der Auswerteabschnitte im Rahmen der Analyse der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis Realdaten.....	126
Abbildung 62:	Lage Abschnitt A der Realdatenauswertung (Quelle: Google Earth)	127
Abbildung 63:	Boxplots fahrdynamischer Kenngröße im Zustand 0 und 1 für den Auswerteabschnitt A.....	128
Abbildung 64:	Cruising Anteil im Zustand 0 und Zustand 1 für den Auswerteabschnitt A....	129

Abbildung 65:	Darstellung der Auswertestrecke Handelskai am niederrangigen Simulationsnetz (links) und der Auswertestrecke auf der Autobahn A4 am hochrangigen Simulationsnetz (rechts)	132
Abbildung 66:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr	133
Abbildung 67:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr	136
Abbildung 68:	Vergleich Mittelwert und Standardabweichung der Spurwechsel zwischen Simulation GLOSA 13-14 Uhr und GLOSA 17-18 Uhr	139
Abbildung 69:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr	141
Abbildung 70:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 17-18 Uhr	144
Abbildung 71:	Vergleich Mittelwert und Standardabweichung der Spurwechsel zwischen Simulation RWW 13-14 Uhr und RWW 17-18 Uhr	147
Abbildung 72:	Funktionsweise des Emissionsmodells PHEM [Hausberger 2003]	148
Abbildung 73:	Referenzabschnitt zwischen A23 Landstraße und A2 Shopping City Süd für den Emissionsvergleich anhand zweier Einzelfahrzeugtrajektorien (Quelle: Google Earth).....	149
Abbildung 74:	Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf zweier Einzelfahrzeugtrajektorien auf dem Autobahnabschnitt A23 Landstraße bis A2 Shopping City Süd.....	150
Abbildung 75:	Verlauf der FC, NOx und PM Emissionen zweier Einzelfahrzeugtrajektorien	151
Abbildung 76:	Lage der Abschnitte im Rahmen der Analyse der Umweltwirkungen auf Basis Realdaten	153
Abbildung 77:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr	157
Abbildung 78:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr	159
Abbildung 79:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr	161
Abbildung 80:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis Simulation RWW 17-18 Uhr	163
Abbildung 81:	Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 mit und ohne System	

	(dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	172
Abbildung 82:	Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	173
Abbildung 83:	Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 ohne System sowie bei Fahrten mit kooperativen System und Ausbleiben einer Meldung im Fahrzeug (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)	174
Abbildung 84:	Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 in Fahrtrichtung Ost ohne System sowie bei Fahrten mit kooperativen System und bei Ausbleiben einer Meldung im Fahrzeug (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	176
Abbildung 85:	Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd und der A4 in Fahrtrichtung Ost bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h mit kooperativen Systemen und Anzeige der Information im Fahrzeug sowie bei Ausbleiben einer Meldung (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	177
Abbildung 86:	Verteilung der minimalen Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	179
Abbildung 87:	Verteilung der minimalen Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	180
Abbildung 88:	Verteilung der minimalen Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd und der A4 in Fahrtrichtung Ost bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h mit kooperativen Systemen und Anzeige der Information im Fahrzeug sowie bei Ausbleiben einer Meldung (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil).....	181
Abbildung 89:	Geschwindigkeits-Weg-Verläufe beim Überqueren des AQ 610 - A04_2_004,800 bei Wechsel der vorgeschriebenen	

	Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h und erkennbarer Reaktion bei Erreichen des Sichtbereiches.....	183
Abbildung 90:	Geschwindigkeits-Weg-Verläufe beim Überqueren des AQ 610 - A04_2_004,800 bei Wechsel der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h erkennbarer Reaktion bei Anzeige der Information im Fahrzeug bzw. bei Erreichen des Anzeigequerschnittes	184
Abbildung 91:	Geschwindigkeits-Weg-Verläufe beim Überqueren des AQ 610 - A04_2_004,800 bei Wechsel der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h ohne erkennbare Reaktion	184
Abbildung 92:	GLOSA Boxplot Mittlere Nettozeitlücke, Tagesnormalverkehr (links), Nachmittagsspitze (rechts), Vergleich der Ausstattungsraten.....	188
Abbildung 93	GLOSA Boxplot Mittlere Nettozeitlücke, Nachmittagsspitze, 30 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X.....	189
Abbildung 94	GLOSA Histogramm Maximale Längsbeschleunigung, Tagesnormalverkehr, Vergleich der Ausstattungsraten	190
Abbildung 95	GLOSA Boxplot Maximale Längsbeschleunigung, Tagesnormalverkehr (links), Nachmittagsspitze (rechts), 80 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X.....	191
Abbildung 96	GLOSA Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Tagesnormalverkehr (links), Nachmittagsspitze (rechts), Vergleich der Ausstattungsraten.....	192
Abbildung 97	GLOSA Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Nachmittagsspitze, 30 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X	193
Abbildung 98	GLOSA Histogramm Anzahl kritischer Fahrsituationen, Nachmittagsspitze, Vergleich der Ausstattungsraten	194
Abbildung 99	GLOSA Histogramm Anzahl der kritischen Fahrsituationen, Nachmittagsspitze, 80 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X	195
Abbildung 100	RWW Histogramm Mittlere Nettozeitlücke, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten	196
Abbildung 101	RWW Histogramm Mittlere Nettozeitlücke, Warnung 300 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten	196
Abbildung 102	Boxplot Mittlere Nettozeitlücke, Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, 80 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X.....	197

Abbildung 103	RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten 0, 3, 15, 30 und 80 %	198
Abbildung 104	RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 300 m vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, 3 % (links), 30 % (rechts) Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X	199
Abbildung 105	RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 300 m (rechts), 500 m (links) vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, 15 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X	200
Abbildung 106	RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h (rechts), 110 km/h (links) Wunschgeschwindigkeit, 30 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2.....	200
Abbildung 107	RWW Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten	201
Abbildung 108	RWW Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, 15 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X	202
Abbildung 109	RWW Histogramm (links), Boxplot (rechts) Anzahl kritischer Nettozeitlücken, Warnung 500 m vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten	204
Abbildung 110	RWW Boxplot Mittlere Time-To-Collision, Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten.....	204
Abbildung 111	RWW Histogramm (links), Boxplot (rechts) Mittlere Time-To-Collision, Warnung 300 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, 15 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X	205
Abbildung 112:	Makroskopisches Verkehrsmodell für den Großraum Wien	208
Abbildung 113:	Veranschaulichung der Änderung der Widerstandsfunktion infolge kooperativer Systeme	209
Abbildung 114:	Auslastung im Verkehrsmodell ITS-VR im Gebiet Wien, Stunde 13-14 Uhr bzw. 17-18 Uhr	210
Abbildung 115:	Geschwindigkeiten im Verkehrsmodell ITS-VR im Gebiet Wien, Stunde 13-14 bzw. 17-18 Uhr	210
Abbildung 116:	Methodik der Kapazitätsanalyse.....	211

Abbildung 117:	Ergebnisse der Kapazitätsanalyse am niederrangigen Netz bei 0 % und 80 % C2X, dargestellt im k-v-Diagramm mit Regressionskurve und im q-v-Diagramm mit der Kapazität.....	214
Abbildung 118:	Ergebnisse der Kapazitätsanalyse am hochrangigen Netz bei 0 % und 80 % C2X, dargestellt im k-v-Diagramm mit Regressionskurve und im q-v-Diagramm mit der Kapazität.....	215
Abbildung 119:	Netzauswirkung Streckenauslastung dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr.....	216
Abbildung 120:	Netzauswirkung mittlere Geschwindigkeiten dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr.....	216
Abbildung 121:	Netzauswirkung CO ₂ -Emissionen dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr.....	221
Abbildung 122:	Netzauswirkung NO _x -Emissionen dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr.....	221
Abbildung 123:	Potential der Kapazitätssteigerung durch künftige Fahrzeugtechnologien....	224
Abbildung 124:	Ein Modell für die verschiedenen Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung (STSS: Short-Term-Sensory Store, Quelle: Wickens Ch., Hollands J. 2000, Engineering Psychology and Human Performance, 3rd Edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey.)	226
Abbildung 125:	Adaptiertes Akzeptanzmodell - UTAUT (Quelle: In Anlehnung an Venkatesh/Morris/Davis/Davis 2003)	228
Abbildung 126:	Statistischer Vergleich des Vorher- und Nachherfragebogens zur selben Frage „Wie viele Kilometer fahren Sie selbst als FahrerIn pro Jahr?“. a) mit allen Daten inkl. „Ausreiser“ und Regression ohne Ursprungsbedingung (d.h. Gerade muss nicht durch den Ursprung gehen). b) allen Daten inkl. „Ausreiser“ und Regression mit Ursprungsbedingung. c) allen Daten excl. „Ausreiser“ und Regression ohne Ursprungsbedingung und d) allen Daten excl. „Ausreiser“ und Regression mit Ursprungsbedingung.	237
Abbildung 127:	Information und Nutzen	248
Abbildung 128:	zeitliche Genauigkeit der Information	250
Abbildung 129:	Zukünftige Nutzung der Services	250
Abbildung 130:	Korrektheit der Informationen	251

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Indikatoren zur Bewertung der Fahr- und Verkehrseffizienz	47
Tabelle 2:	Indikatoren zur Bewertung von Umweltauswirkungen.....	47
Tabelle 3:	Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf Verkehrs- und Fahrsicherheit.....	48
Tabelle 4:	Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz	48
Tabelle 5:	Klassifikation kooperativer Dienste nach Art und spurgenaue Services (eigene Darstellung)	74
Tabelle 6:	Export-Format der aus dem Testfeld Telematik Austria prozessierten GPS-Fahrten	77
Tabelle 7:	Codierung der Referenzpunkte	78
Tabelle 8:	Arten von Referenzpunkte	79
Tabelle 9:	Aufteilung der Referenzpunkte nach Straßenabschnitt.....	80
Tabelle 10:	Verfügbare PVIS-Datenformate zur Beschreibung der Umfeldbedingungen	82
Tabelle 11:	Übersicht der Messquerschnitte am hochrangigen Straßennetz innerhalb des Untersuchungsgebietes	84
Tabelle 12:	Bezeichnung und Lage der Anzeigequerschnitte auf der A2 und A3 innerhalb des Untersuchungsgebietes	92
Tabelle 13:	Bezeichnung und Lage der Anzeigequerschnitte auf der A4 innerhalb des Untersuchungsgebietes	93
Tabelle 14:	Aufteilung der einzelnen Testfahrten auf die Streckenzüge im Untersuchungsgebiet.....	94
Tabelle 15:	Aufteilung der einzelnen Testfahrten auf die Anzeigequerschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes	95
Tabelle 16:	Überblick der empfangenen Meldungen im Testgebiet	96
Tabelle 17:	Auswerteszenarien für den UseCase GLOSA.....	101
Tabelle 18:	Statistik zu den stündlichen Verkehrsstärken der Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013	103
Tabelle 19:	Vergleich empirischer und simulierter Verkehrsdaten an der Zählstelle 1177 Handelskai.....	104
Tabelle 20:	Auswerteszenarien für den UseCase RWW.....	110
Tabelle 21:	Statistik zu den stündlichen Verkehrsstärken an 3 Messquerschnitten auf der A4 Richtung Wien in der Stunde 13-14 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013	112
Tabelle 22:	Vergleich empirischer und simulierter Verkehrsdaten an der Zählstelle AQ_A04_2_008.700.....	113

Tabelle 23:	Vergleich der gemessenen und simulierten Reisezeiten auf einem 4km langen Abschnitt auf der A4 zwischen Flughafen Wien und Knoten Schwechat.....	114
Tabelle 24:	Anteil der Fahrstreifenwechsel bei Warnung vor der Baustelle.....	118
Tabelle 25:	Fahrdynamische Kenngrößen von Track 126 im Abschnitt Knoten Schwechat bis Prater.....	120
Tabelle 26:	Fahrdynamische Kenngrößen von Track 162, 164 und 165 im Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater.....	121
Tabelle 27:	Fahrdynamische Kenngrößen von Track 620, 624 und 625 im Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater.....	124
Tabelle 28:	Wegstrecke und Spurwechsel im Zustand 0 und 1 für den Auswerteabschnitt A.....	129
Tabelle 29:	Vergleich der fahrdynamischen Kenngrößen (Mittelwerte) aus den Realdaten Zustand 0 mit Zustand 1 für die sieben Auswerteabschnitte A bis G	130
Tabelle 30:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr	134
Tabelle 31:	Auswertung der Netzkenngößen aus der Simulation GLOSA 13-14 Uhr.....	135
Tabelle 32:	Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation GLOSA 13-14 Uhr.....	135
Tabelle 33:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr	137
Tabelle 34:	Auswertung der Netzkenngößen aus der Simulation GLOSA 17-18 Uhr.....	138
Tabelle 35:	Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation GLOSA 17-18 Uhr.....	138
Tabelle 36:	Vergleich der fahrdynamischen Kenngrößen GLOSA 13-14 Uhr mit GLOSA 17-18 Uhr	139
Tabelle 37:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr	142
Tabelle 38:	Auswertung der Netzkenngößen aus der Simulation RWW 13-14 Uhr.....	143
Tabelle 39:	Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation RWW 13-14 Uhr.....	143
Tabelle 40:	Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 17-18 Uhr	145
Tabelle 41:	Auswertung der Netzkenngößen aus der Simulation RWW 17-18 Uhr.....	146
Tabelle 42:	Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation RWW 17-18 Uhr.....	146
Tabelle 43:	Vergleich der fahrdynamischen Kenngrößen zweier Einzelfahrzeugtrajektorien.....	150
Tabelle 44:	Vergleich der absoluten Emissionswerte zweier Einzelfahrzeugtrajektorien.....	150

Tabelle 45:	Umweltauswirkungen (Emissionen) auf Basis Realdaten für die sieben betrachteten Abschnitte.....	155
Tabelle 46:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr	158
Tabelle 47:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr	160
Tabelle 48:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr	162
Tabelle 49:	Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis Simulation RWW 17-18 Uhr	164
Tabelle 50:	Verteilung der Testfahrten an Anzeigequerschnitte auf die einzelnen Streckenabschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes.....	170
Tabelle 51:	Verteilung der Testfahrten mit relevanten Anzeigehalten an Anzeigequerschnitte auf die einzelnen Streckenabschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes.....	171
Tabelle 52:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Nord mit und ohne System.....	172
Tabelle 53:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit und ohne System.....	172
Tabelle 54:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit und ohne System.....	173
Tabelle 55:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung West mit und ohne System.....	173
Tabelle 56:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Nord ohne System und mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug	175
Tabelle 57:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd ohne System und mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug	175
Tabelle 58:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost ohne System und mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug	176
Tabelle 59:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit	

	kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.....	178
Tabelle 60:	Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.....	178
Tabelle 61:	minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Nord mit und ohne System.....	179
Tabelle 62:	minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit und ohne System.....	180
Tabelle 63:	minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit und ohne System.....	180
Tabelle 64:	minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung West mit und ohne System.....	181
Tabelle 65:	minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.....	182
Tabelle 66:	minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.....	182
Tabelle 67:	Verteilung der Anzeigeninhalte bei Fahrten mit kooperativen Systemen zur Analyse des Reaktionsverhaltens	183
Tabelle 68:	GLOSA, Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzintervalle des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für die Ausstattungsraten 0 %, 30 % und 80 % für den Tagesnormalverkehr.....	186
Tabelle 69	GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsraten für den Tagesnormalverkehr	188
Tabelle 70	GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze.....	189
Tabelle 71	GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze bei Fahrauswertung.....	189
Tabelle 72	GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten für den Tagesnormalverkehr.....	191

Tabelle 73	GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze	191
Tabelle 74	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten für den Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung.....	192
Tabelle 75	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze bei Fahrauswertung	192
Tabelle 76	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten für den Tagesnormalverkehr.....	193
Tabelle 77	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze	193
Tabelle 78	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze	194
Tabelle 79	GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Anzahl der kritischer Fahrsituationen für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze	195
Tabelle 80	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Anzahl kritischer Fahrsituationen für alle Ausstattungsraten für die Nachmittagsspitze bei Fahrauswertung.....	195
Tabelle 81	RWW Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Nettozeitlücke für alle Ausstattungsraten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr.....	197
Tabelle 82	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsraten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung.....	198
Tabelle 83	RWW Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Minimalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr.....	199
Tabelle 84	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Minimalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung.....	201
Tabelle 85	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten bei	

	Warnung 300 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Nachmittagsspitze	202
Tabelle 86	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Nachmittagsspitze	202
Tabelle 87	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung.....	203
Tabelle 88	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung.....	203
Tabelle 89	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Time- To-Collision für alle Ausstattungsraten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr	205
Tabelle 90	Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Time- To-Collision für alle Ausstattungsraten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung.....	205
Tabelle 91:	Netzstatistik des Verkehrsmodells der ITS-VR mit dem Betrachtungsgebiet Wien	208
Tabelle 92:	Abbiegezeiten an VLSA-Knoten bei 0% und 80 % C2X im Verkehrsmodell ITS-VR.....	209
Tabelle 93:	Anpassungsfaktoren für die geänderte Verkehrsnachfrage	212
Tabelle 94:	Netzwirkungen von C2X auf Knoten hinsichtlich Verkehrseffizienz (Reisezeit)	217
Tabelle 95:	Netzwirkungen von C2X auf Strecken hinsichtlich Verkehrseffizienz (Reisezeit)	217
Tabelle 96:	Streckentypfeine Netzwirkung von C2X hinsichtlich Verkehrseffizienz (Reisezeit)	218
Tabelle 97:	Emissionsfaktoren Warm auf Stadtstraßen (Hauptverkehrsstraße 50 km/h und Sammelstraße 50 km/h) für Österreich für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge nach HBEFA 3.1	219
Tabelle 98:	Netzwirkungen von C2X hinsichtlich Umwelt (Emissionen)	222
Tabelle 99:	Streckentypfeine Netzwirkung von C2X hinsichtlich Umwelt (Emissionen)...	223
Tabelle 100:	Simulierte Kapazitätssteigerung durch 80% C2X mit Fahrerassistenzsystemen.....	225
Tabelle 101:	Information, Akzeptanz, Verkehrsverhalten hierarchisch aufgeteilt.....	227

Tabelle 102:	Bevölkerungsverteilung nach Alter und Geschlecht (STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus 2010).....	230
Tabelle 103:	Verkehrsmittelwahl nach Alter und Geschlecht (Q: STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus Umweltbedingungen - Umweltverhalten 4. Quartal 2007. Erstellt am: 20.04.2009.).....	231
Tabelle 104:	IMPAKT-Testplan für das Testfeld Telematik Austria.....	233
Tabelle 105:	IMPAKT -Matrix der Nutzeranalyse.....	233
Tabelle 106:	Analyse der Fragebögen.....	235
Tabelle 107:	Analyse der Fahrten und Nachrichten (v – Geschwindigkeit, ave – Durchschnitt, std – Standardabweichung) entsprechend Gesamt (514), Null-Geschwindigkeit (0) und der Aufteilung von 0<10<90 und >90.	235
Tabelle 108:	Häufigkeit der Benutzung des Autobahndreiecks A4, A23, S1, A2.....	238
Tabelle 109:	Angaben zu Fahrzeugbesitz und Fahrzeugnutzung.....	239
Tabelle 110:	Angaben zu Fahrzeugbesitz und Fahrgemeinschaft.....	239
Tabelle 111:	Angaben zur Verkehrsmittelbenutzung für den täglichen Arbeitsweg.....	239
Tabelle 112:	Einschätzung der Wichtigkeit: Kosten oder Zeit für den tägliche Arbeitsweg.....	239
Tabelle 113:	Einschätzung des Umstieges auf ÖV durch Stau.....	240
Tabelle 114:	Angaben zum Fahrstil.....	240
Tabelle 115:	Angaben zum Umweltbewusstsein.....	241
Tabelle 116:	Angaben zum aktiven Fahrstil und Spurwechselverhalten (n.a. - nicht angegeben).....	241
Tabelle 117:	Angaben zum aktiven Fahrstil, Ärger und Aggression (n.a. - nicht angegeben).....	242
Tabelle 118:	Einschätzungen der Wichtigkeiten bei einem neuen Auto.....	243
Tabelle 119:	Angaben zur Navi-Nutzung und schon vorhandene Informationsdienste.....	244
Tabelle 120:	Angaben zu Verkehrsfunk und Akzeptanz.....	245
Tabelle 121:	Befolgungsvergleich unterschiedlicher Empfehlungen.....	245
Tabelle 122:	Einschätzung der TT-APP, Design und Verständlichkeit.....	246
Tabelle 123:	Einschätzung der TT-APP und Enjoyment.....	246
Tabelle 124:	Einschätzung der TT-APP und des Nutzens.....	247
Tabelle 125:	Einschätzung der TT-APP und der Erfahrung.....	247
Tabelle 126:	Angaben zu IVS im Auto als einzige Informationsquelle.....	247
Tabelle 127:	Einschätzung der Information und Nutzerreaktion.....	249

Abkürzungsverzeichnis

a_max	- maximale Beschleunigung
a_min	- minimale Beschleunigung
a_neg_AVG	- mittlere negative Beschleunigung
a_neg_sd	- Standardabweichung der mittleren negativen Beschleunigung
a_pos_AVG	- mittlere positive Beschleunigung
a_pos_sd	- Standardabweichung der mittleren positiven Beschleunigung
ACN	- Acceleration noise
Agglo	- Agglomeration
AQ	- Anzeigequerschnitt
ASFINAG	- Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
ATE	- AustriaTech
AVESTRA	- Analyse von autonomen Verkehrssystemen im städtischen Raum
C2X	- Car-to-Environment
EFZ	- Einzel-Fahrzeug
EGNOS	- European Geostationary Navigation Overlay Service
ELV	- elevation
D	- Gesamtwegstrecke
FC	- Fuel Consumption (Kraftstoffverbrauch)
FCD	- Floating Car Data
FESTA	- Field Operational Test Support Action
FLU	- Fluidtime Data Services GmbH
FOT	- Field operational Test
FR	- Fahrtrichtung
GGA	- Global Positioning System Fix Data
GLL	- Geographic Position - Latitude/Longitude
GLOSA	- Green Light Optimal Speed Advisory
GPS	- Global Positioning System

GSA	- GPS DOP and active satellites
GSV	- Satellites in view
HBEFA	- Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HDOP	- Horizontal Dilution Of Precision (Horizontalgenauigkeit)
HiTec	- HiTec Marketing
HLN	- Hazardous Location Notification
HVS	- Hauptverkehrsstraße
HW	- Hardware
IMPAKT	- Indikatoren zur multikriteriellen Analyse kooperativer Transportsysteme
INU	- inertielle Navigationseinheit
ITS	- Intelligent Transport Systems
ITS-VR	- Intelligent Transport Systems Vienna Region
kkm	Tausend Kilometer in Bezug zur jährlichen Fahrleistung
LNF	- leichte Nutzfahrzeuge
LSA	- Lichtsignalanlage
MQ	- Messquerschnitt
MS	- Mobility Systems OG
NA	- Not available
NMEA	- National Marine Electronics Association
OBU	- On-Board-Unit
OSM	- OpenStreetMap
p_TTC_krit	- Prozentualer Anteil kritischer Time-to-Collision (<4 s)
PHEM	- Passenger car and Heavy duty Emission Model
PM	- particulate matter (Feinstaubemmission)
PN	- Feinstaub Partikelanzahl
PRN	- Pseudo Random Noise
PWP	- pwp – systems GmbH
PVIS	- Plattform für Verkehrsinformationsservices (Datenmodell der ASFINAG)
QKFZ	- Kfz-Verkehrsstärke

QLKW	- Lkw-Verkehrsstärke
RMC	- Recommended Minimum Sentence C
RP	- Referenzpunkt
RSU	- Road Side Unit
RWW	- Road Works Warning
S2N	- signal to noise ratio
sim^{TD}	- Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland
SNF	- schwere Nutzfahrzeuge
SPAT	- Traffic light signal phase and timing
SV	- Schwerverkehr
SW	- Software
TC	- TraffiCon – Traffic Consultants GmbH
TJA	- Traffic jam ahead warning
TPEG	- Transport Protocol Experts Group
TTA	- Testfeld Telematik Austria
TFFF	- Time To First Fix
TUG	- Technische Universität Graz
TUM	- Technische Universität München
UTAUT	- Unified Theory of Acceptance and Use of Technology
UTC	- Coordinated Universal Time (koordinierte Weltzeit)
v_max	- maximale Geschwindigkeit
v_mean	- mittlere Geschwindigkeit (Simulationsdaten)
v_mean_sd	- Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeit (Simulationsdaten)
v_mean_without_idling	- mittlere Geschwindigkeit ohne Stillstandszeiten (Simulationsdaten)
v_mean_without_idling_sd	- Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeit ohne Stillstandszeiten (Simulationsdaten)
v1	- mittlere Geschwindigkeit (Realdaten)
v1_sd	- Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeit (Realdaten)
V2I	- Vehicle-to-Infrastructure

VBA	- Verkehrsbeeinflussungsanlage
VMS	- Variable Message Sign
VKFZ	- Kfz-Geschwindigkeit
VLKW	- Lkw-Geschwindigkeit
VLSA	- Verkehrslichtsignalanlage
VPKW	- Pkw-Geschwindigkeit
VTG	- Track made good and Ground speed
WEA	- Weather Warning
WMS	- Web Map Service
XFCD	- Extended Floating Car Data
ZDA	- Time & Date - UTC, day, month, year and local time zone

0 Executive Summary

0.1 Zusammenfassung

Die Informationstechnologie ermöglicht die Komplexität der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen in einer neuen Weise zu erfassen und damit auch zu beeinflussen. Dies gilt auch für den Verkehr und die Mobilität und daher hat das BMVIT das Strategieprogramm IV2Splus – „Intelligente Verkehrssysteme und Services plus“ gestartet. Die Studie „Indikatoren zur multikriteriellen Parameteranalyse kooperativer Transportsysteme“ (IMPAKT) wurde im Rahmen des Strategieprogramms IV2Splus – „Intelligente Verkehrssysteme und Services plus“ finanziert.

Im Projekt Testfeld Telematik Austria (TTA) in Wien erprobt ein Konsortium aus Forschung, Industrie und öffentlichen Unternehmen, wie solche kooperativen Dienste gestaltet und eingesetzt werden müssen. Die Begleitstudie IMPAKT soll die quantitative Wirksamkeit kooperativer Dienste nach den Aspekten Verkehrssicherheit, Effizienz im Sinne des Verkehrsflusses, Umweltauswirkung (Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen) und Nutzerakzeptanz untersuchen und verfolgt drei wissenschaftliche Hauptziele:

1. Die Methodenentwicklung zur Beurteilung der Wirksamkeit kooperativer Systeme mittels quantitativ nachweisbarer Indikatoren.
2. Die wissenschaftliche Begleitung des „Testfelds Telematik Austria“ zur Wirkungsanalyse der dort implementierten kooperativen Dienste.
3. Die Ermittlung der Nutzerakzeptanz und Wirkung kooperativer Dienste auf Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, Energieeffizienz und Emissionen.

In Abstimmung zwischen den beiden Projekten wurden die notwendigen Schritte zur Datenspezifikation und Datenanalyse definiert. Die gesamte Datenerhebung fand im TTA statt, das die Realisierung und Demonstration der kooperativen Dienste zum Gegenstand hatte. Die technische Aufbereitung und Zusammenführung der unterschiedlichen Datenquellen erfolgte innerhalb des Projektes IMPAKT.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der zuverlässigen Auswertung der TTA-Daten, um die entwickelte Methodik für weitere Field Operational Tests (FOT) anwenden und Rückschlüsse auf typische Bewegungskennwerte (Geschwindigkeit, Beschleunigungen, Drehraten) und Verhaltensmuster für die automatisierte Erkennung des Fahrverhaltens (Stau, Stop-And-Go, Fahrstreifenwechsel, ggf. weitere aus den Diensten des Testfeld Telematik Austria) geben zu können.

Eine wesentliche Grundlage für die Wirkungsermittlungen basierte auf dem im Projekt erstellten, fahrstreifengenaue Straßengraph. Das bislang am Markt verfügbare digitale Kartenmaterial kommerzieller Anbieter bildet ausschließlich eine Fahrbahnachse des Straßennetzes als geografisches Objekt ab und reichte für diese Aufgabe nicht aus. Der fahrstreifengenaue Straßengraph wurde durch hochgenaue Referenztrajektorien mit einem speziellen Concept Car ermittelt und mittels exakten Orthophotos auf mehrere Spuren erweitert.

In einem weiteren Schritt wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem eine fahrstreifenfeine Verortung der Fahrzeugtrajektorien ermöglicht wurde. Dieses Verfahren bildet die Basis für fahrstreifenfeine Floating-Car-Daten-Analysen.

Darüber hinaus wurden die hochgenauen GPS-Messungen auch genutzt, um verschiedene am Markt befindliche GPS-Empfänger und Smartphones hinsichtlich ihrer Genauigkeit bei der Positionsberechnung zu evaluieren. Dies bildete u.a. die Grundlage für die Auswahl von geeigneter Smartphones / Tablets zur Durchführung des FOT im TTA.

Zusätzlich zu diesen speziellen Herausforderungen wurden die GPS-Daten inklusive sämtlicher Anzeigen und Interaktionen im Fahrzeug aus den OnBoard-Units im TTA so aufbereitet, dass darauf aufbauend Analysen des Verkehrsflusses, Verkehrsverhaltens und der Verkehrssicherheit durchgeführt werden konnten. Dementsprechend wurden alle Fahrten einem fahrstreifenfeinen Mapmatching unter Verwendung verschiedener Fehlerfilter unterzogen.

Vor allem Information zum Spurverhalten (Spur halten, Spur wechseln, Pannestreifen nutzen) ist eine Fahrstreifengenauigkeit von Bedeutung. Auch für andere Services ist eine spurgenaue Auflösung hilfreich, um den/die FahrerInnen eine für ihn abgestimmte und eindeutige Meldung zu übermitteln, welche eine Fehlinterpretation ausschließt. Diese Informationen an die FahrerInnen müssen sehr genaue Empfehlungen und Instruktionen enthalten, um eine Reduktion der Informationsflut zu gewährleisten. Das in IMPAKT entwickelte Verfahren mit einer fahrstreifenfeinen Modellierung des Straßengraphen und einem fahrstreifenfeinen MapMatching-Verfahren kann zukünftig einen Beitrag für verbesserte kooperative Services leisten und werden zur Weiterentwicklung z.B. im „Cooperative ITS Corridor“ empfohlen.

Die verkehrlichen Wirkungen wurden zum einen anhand aufgezeichneter Fahrprofile von ausgestatteten Fahrzeugen (GPS-Tracks mit Geschwindigkeitsinformation) und zum anderen von mikroskopischen Verkehrssimulationen der einzelnen kooperativen Systeme analysiert. In diesem Rahmen wurden die Use Cases „Green Light Optimal Speed Advisory“ (GLOSA) und „Road Works Warning“ (RWW) ausgewertet. Im Fall von GLOSA wurden verschiedene Szenarien hinsichtlich des Verkehrszustandes (Normalverkehr: Stunde 13-14 Uhr, Spitzenverkehr: Stunde 17-18 Uhr) und der Ausstattungsrate mit dem System simuliert. Für die Fahr- und Verkehrssicherheit konnte ein leichter Harmonisierungseffekt bei hohen Ausstattungsraten festgestellt werden, welcher unter anderem durch ein weniger starkes Beschleunigungsverhalten gemessen werden konnte. Dies kann grundsätzlich auch als eine Verbesserung der Verkehrssicherheit angesehen werden. Hinsichtlich der Fahr- und Verkehrseffizienz konnte ein homogener Verkehrsfluss bei sehr hoher Ausstattungsrate nachgewiesen werden, der sich in Form einer Reduktion des Beschleunigungsrauschens, der Anzahl der Halte und der Spurwechsel zeigte. Die Wirkungen waren im Normalverkehr (Auswertestunde 13-14 Uhr) höher als in der Spitzenstunde (17-18 Uhr). Bei den Umweltwirkungen konnte eine geringe Abnahme der Emissionen (bis zu 5 %) in der Spitzenstunde 17-18 Uhr festgestellt werden.

Um die Potentiale dieser Use Cases aufzeigen zu können, wurden im Rahmen der mikroskopischen Verkehrssimulation die Auswerteszenarien mit einem zusätzlichen Informationsvorsprung neben der Ausstattungsrate und dem Verkehrszustand auch hinsichtlich der Übertragungreichweite und der Fahrverhaltensänderung analysiert. Bezüglich der Fahr- und Verkehrssicherheit lassen sich im Use Case RWW jedoch keine signifikanten Änderungen erkennen. Lediglich beim Geschwindigkeitsverhalten sind signifikante Änderungen zu verzeichnen (Abnahme der Geschwindigkeit bei Annäherung an den Baustellenbereich), was jedoch mit der vorgegebenen Verhaltensänderung zu begründen ist. Hinsichtlich der Fahr- und Verkehrseffizienz konnten anhand der gesammelten Datensätze aus TTA eine geringe Abnahme der Anzahl der Spurwechsel in der Spitzenstunde keine positiven Wirkungen festgestellt werden. Die meso- bzw. makroskopischen Emissionsberechnung führte hier zu keiner Abnahme der Emissionen und damit zu keine positiven Umweltwirkungen im Use Case RWW.

Für die netzweiten Wirkungen kooperativer Systeme wurde das makroskopische Verkehrsmodell der ITS-VR für den Großraum Wien herangezogen und so das Stadtgebiet von Wien hinsichtlich Verkehrs- und Umwelteffizienz analysiert. Das Fahrverhalten von kooperativen Fahrzeugen wurde für die betrachteten Use Cases GLOSA und RWW integriert. Hierfür wurde zuerst die Kapazitätssteigerung durch kooperative Systeme mittels mikroskopischer Verkehrssimulation ermittelt und anschließend die Streckenwiderstände (höhere Kapazität) und Knotenwiderstände (geringere Abbiegezeiten an signalgeregelten Knotenpunkten) im Verkehrsmodell angepasst. Die netzweite Auswertung ergab kaum Wirkungen im städtischen Straßennetz, jedoch positive Wirkungen der kooperativen Systeme auf Autobahnen, die in der Spitzenstunde stärker ausgeprägt sind als bei Normalverkehr (3 % Abnahme der Gesamtreisezeit und der Emissionen).

Auf Grund der zeitlichen Entwicklungsproblematik konnten in TTA nur Friendly User Tests durchgeführt werden, die einerseits das Ziel hatten, die Funktionsfähigkeit der dazu verwendeten Infrastruktur zu demonstrieren, aber auch die Zeitlichkeit und Informationsgehalt der tatsächlichen Service zu zeigen. Damit war nur eine begrenzte Analyse der Benutzerakzeptanz und der Gewöhnungseffekte der Informationstechnologien und –dienste (services) im FahrerInnen- und Mobilitätsverhalten und deren technisch-wirtschaftliche Nutzung möglich.

Methodisch wurde dafür die technologisch-wirtschaftliche Nutzerakzeptanz mit dem UTAUT-Modell (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology) gewählt, das eines der meist verwendeten Ansätze in der Verwendungsbeurteilung der Informationssysteme ist. Basierend auf dieser Methode wurde ein umfangreicher Fragen- und Datenkatalog erstellt, der auch die Fragestellungen beinhaltet, die für die TTA-Industriepartner und für die Weiterentwicklungen von Bedeutung sind. Es wurden drei Fragebögen entworfen. Der erste Fragebogen diente der Vorerhebung, die auch das Mobilitätsverhalten und die Erwartungen der Probanden beinhaltete. Der zweite Fragebogen war für die Nacherhebung gestaltet, der die Erfahrung und Bewertungen der Tests erhebt. Ein dritter Fragebogen, der sogenannte Pop-up-Fragebogen, erfasste die unmittelbare Reaktion nach jeder Testfahrt.

Die Analyse dieser Fragebögen hat gezeigt, dass derzeitige Navigationsgeräte und Services noch nicht den Vertrauensstatus haben, wie z.B. die Überkopfanzeiger. Die Gründe dafür könnten im Einfluss der derzeit am Markt befindlichen Geräte und Services liegen, die weder den gesetzlichen Anspruch der Anzeigen noch die erforderliche zeitliche und örtliche Genauigkeit der dynamischen Verkehrssituation wiedergeben. Auch ist ihr Einfluss auf das Mobilitätsverhalten, was das Umsteigeverhalten auf ÖV oder im Bezug zu Fahrgemeinschaften relativ begrenzt, da die zeitlichen Rahmenbedingungen und logistischen Verfügbarkeiten nicht gegeben sind. Selbst ein täglicher Stau kann ein Umsteigen nur bei erheblichen Zeitverlusten bewirken.

Andererseits waren die Rückmeldungen zum Design und zur Funktionalität der kooperativen Dienste im TTA durchgängig positiv. Die getesteten Services haben eine hohe Akzeptanz in Bezug zum Nutzen, der Zeitlichkeit der Information und der zukünftigen Verwendung der Services (alle um 60 %) gezeigt. Die Korrektheit der Informationen wurde von den Probanden mit ca. 80 % geschätzt, wobei dieser Wert die bewusste Wahrnehmung der Probanden widerspiegelt und die tatsächliche Korrektheit auch höher gewesen sein könnte.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, dass die verkehrlichen Wirkungen von kooperativen Systemen stark von den Randbedingungen (technische Funktionsweise der Services und Dienste) und den Gegebenheiten im Umfeld des jeweiligen Testfeldes beeinflusst werden. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass bei zukünftigen Betrachtungen ein höheres Gewicht auf die Bereitstellung einer ausreichenden Datenbasis zu legen ist. Im Speziellen ist eine angemess-

sene Anzahl an Realfahrten, sowohl mit als auch ohne System, für zukünftige Studien hinsichtlich der Wirkungsermittlung in diesem Bereich notwendig. Die derzeitige Entwicklung von ITS-Diensten, so wie sie im TTA umgesetzt wurden, liefert einen aktiven Beitrag zur Vertrauensbildung bei den Usern und fördert deren Nutzung. Dabei bedarf es nicht nur der technischen Weiterentwicklung, sondern auch der Erforschung der Wahrnehmung der Systeme, denn die bewusste, rationale Wahrnehmung stellt nur ein kleiner Teil im umfangreichen Zusammenspiel von Verkehrsinformation, Verkehrs- und Mobilitätsverhalten und Nutzerakzeptanz dar.

0.2 Summary

Information and communication technologies enable to capture and influence the complexity of the society and economy in a new manner. This is also valid for transport and mobility. Hence, the BMVIT has started the strategic program IV2S – Intelligent Traffic Systems and Services to develop such technologies and to promote the integration of the related expertise in research and development. The study “Indicators for a multi-criteria parameter analysis of cooperative transport systems” (IMPAKT) has been funded in the follow-up strategic program IV2Splus – Intelligent Traffic Systems and Services plus”.

In the project Testbed Telematic Austria (TTA) in Vienna, a consortium consisting of industries, research and public enterprises attempted to develop and implement such technologies and services. The accompanying study IMPAKT has been set up to evaluate the effectiveness of co-operative systems and services in quantifiable terms in respect to traffic safety, efficiency regarding traffic flow, environmental aspects (such as fuel consumption and emissions), and user acceptance. The three main goals were:

1. To develop a methodology for the appraisal of the effectiveness of cooperative systems based on quantifiable and verifiable indicators.
2. The scientific consulting of TTA for the analysis of effectiveness in regard to the implemented cooperative services.
3. The investigation of user acceptance and the impacts of cooperative service on traffic safety, traffic flow, energy efficiency and emissions.

In collaboration of both projects, the requirements have defined for the data specification and –analysis: The data acquisition resides within TTA, including the realization and the demonstration of the cooperative services; the technical post-processing and unification of the different data sources was the responsibility of IMPAKT.

In view of using the methods for further field operational tests (FOT), a further aim was to develop a reliable assessment of the TTA data. This should provide immediate feedbacks for the TTA services with typical motion indicators (such as speed, acceleration, rotation rate) and an automatic pattern recognition of driving behaviour for traffic jams, stop-and-go or lane changing behaviour. A key feature for such an appraisal was the roadmap graph with lane accuracy, developed within the project. Currently available digital maps of commercially available platforms such as the Graph Integration Platform (GIP) provide only the middle axis of the whole road as a geo-coded object, which is inadequate for such an application and assessment. The lane-accurate roadmap graph was determined by high-accurate reference trajectories, measured by a special concept car and supplemented with exact ortho photos for obtaining all lanes. In the next step, a method was developed to locate lane-specific vehicle trajectories. This method constitutes the basis for the lane-accurate analysis of floating car data. In a further step, the high-accurate GPS-measurements have been used to assess the accuracy of currently-available

GPS-sensors and smart phones. This was necessary for the selection of smart phones and tablets used during the FOT in TTA.

The next challenge was the extraction and integration of the GPS-Data with all the displayed messages and interactions of the On-Board Units, so it could be applied to the analyses of traffic flow, traffic behaviour and traffic safety. This meant that all test drives have been lane-specifically map-matched, considering various error-filtering applications.

The information on lane-changing behaviour requires to be lane-accurate (i.e. “remain in lane”, “lane changing” or “usage of emergency stopping lane”). This is also useful for other services in order to provide the driver with individually-specific and unequivocal information, and to eliminate misinterpretations. Such driver information should contain very accurate suggestions and instructions, also to reduce an information overload. This in IMPAKT developed method with modelling of the lane-accurate roadmap graph and map matching can make a contribution for improved cooperative services and should further be developed, for example, in “Cooperative ITS Corridor”.

The traffic assessment was analysed with test drive profiles of equipped vehicles (through GPS-tracking and speed information), and with microscopic traffic simulation modelling and the application of cooperative systems. Two use cases – “Green Light Optimal Speed Advisor” (GLOSA) and “Road Works Warning” (RWW) – have been analyzed in detail. For GLOSA, different scenarios have been defined regarding the traffic states, i.e. off-peak traffic between 13:00 and 14:00, and the peak traffic between 17:00 and 18:00, and fleet rates of system-equipped vehicles. A harmonization effect could be observed with higher equipment rates in respect to safe driving. This could be interpreted as an improvement of traffic safety. For driving and traffic efficiency, the harmonized traffic flow with very high equipment rates resulted in a reduction of acceleration noise, number of stops and lane changes. The effects were higher under the off-peak hour (between 13:00 and 14:00). Regarding environmental effects, there has been a slight reduction of emission (up to 5%) in the peak hour (17:00 and 18:00).

The analyzed scenarios of microscopic traffic simulations have been modified (apart from the equipment rate and the traffic states) additionally with a prior information provision, to gain an understanding for the potential of the use cases in respect to the transmission distance and behavioral changes. For the use case RWW, there have not been any significant changes regarding safe driving and traffic safety. Only the driving speeds have changed significantly with decreasing speeds for approaching of road works. This may also be explained through the pre-defined settings of the modeled driving behavior. Regarding driving and traffic efficiency, no significant changes could be observed from the TTA-data, only the lane changes have slightly decreased. Similarly, the emissions remain on the same levels and it can therefore be concluded that there are no positive impacts of the use case RWW in respect to the environment.

The macroscopic traffic model of the ITS-Vienna Region (ITS-VR) has been used to assess the overall traffic network effects of cooperative systems for the wider area of Vienna and to analyze the traffic and environmental efficiency for the city area of Vienna. The use cases GLOSA and RWW have been integrated for the analysis of driving behavior of cooperatively equipped vehicles. The parameter settings could be obtained with the analysis of capacity increase by the microscopic traffic simulation, which lead to an adaptation of the traffic deterrence functions in the macroscopic model (higher capacity) and the traffic junction resistances (with decreased turning times at signal controlled junctions). The overall analysis did not yield any significant effects for the city road network through cooperative systems, but with positive effects on the

motorway network, which are higher during the peak hours in comparison to the off-peak traffic (i.e. 3% decrease of overall travel time and emissions).

Due to difficulties in the system development of TTA, only Friendly User Tests could be undertaken. The aims of these tests were to test the functionality of the cooperative system infrastructure and the timing and correctness of the information and services. In regard to user acceptance, only a limited analysis could be conducted to obtain an understanding of driver and mobility behavior and its technical and economic usage regarding the effects of long-term usage of the information technologies and services.

From a methodological perspective, the UTAUT-methodology (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology) has been chosen which is one of the most frequently applied approaches for the evaluation of ICT. A comprehensive questionnaire method and data catalogue has been designed which included also the requirements of the TTA industry partners for further developments of the cooperative services. Three questionnaires have been developed in detail: The first questionnaire should capture the prior knowledge, attitudes and expectations of the test persons and their mobility behavior. The second questionnaire should assess the test drivers' experience after the tests. The third questionnaire was set up to capture the immediate reaction of the test drivers, i.e. the so-called pop-up questionnaire, a short questionnaire popping up on the screen of the tablet or smartphone after each trip.

The analysis of these questionnaires showed that current navigation systems and services do not have the level of trust as variable message signs. The main reason may be found in the influence of current commercially available gadgets and services, which do not have the legally binding status of the traffic signs or the supposed necessary local or timely accuracy of the information given in relation to the dynamic traffic conditions. The influence on mobility behavior is also limited in respect to switching modes to public transport or to car pooling. Neither the time constraints of public transport nor the logistic provision of these alternatives seems to be available. Only daily occurring traffic congestions with a substantial delay of time could be a reason for changing modes of transport.

Otherwise, the feedback for the design and the functionality of the TTA cooperative services were generally positive. The tested services had a high acceptance in respect to usefulness, the temporality of the given information and the future usage of the services (all around 60%). The test drivers estimated the correctness of the information with around 80%, which is the subjectively discerned value whereas the actually objective system accuracy may have even been higher.

To sum up, the traffic effects of cooperative systems depend heavily on the general conditions (technical functionality, the information generation, provision and timing) and the settings of the FOTs. For the evaluation of futures FOTs, the focus should be on establishing a broad and solid basis for sufficient data acquisition. For example, future studies should be able to have adequate samples of natural driving for an impact analysis, for example, with and without the information system. Current developments of ITS-services such as the TTA-services provide an active contribution to enhance the users' trust in the usage of such services. In this respect, an integrated approach is required, not only from a technical system development but also from a user perspective, because the rational perception of drivers is only one small puzzle within the complex interactions between traffic information, traffic and mobility behavior and user acceptance.

1 Inhaltliche Beschreibung

Die Informationstechnologie ermöglicht die Komplexität der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen in einer neuen Weise zu erfassen und damit auch zu beeinflussen. Dies gilt auch für den Verkehr und die Mobilität und daher hat das BMVIT das Strategieprogramm IV2Splus – „Intelligente Verkehrssysteme und Services plus“ gestartet. Die Studie „Indikatoren zur multikriteriellen Parameteranalyse kooperativer Transportsysteme“ (IMPAKT) wurde im Rahmen des Strategieprogramms IV2Splus – „Intelligente Verkehrssysteme und Services plus“ finanziert.

Die Europäische Kommission stellte dabei die Ko-Modalität, also nicht nur die Optimierung des jeweiligen Verkehrsmodus, sondern auch die Optimierung der multimodalen Nutzung in den Mittelpunkt. Diese sollte eine Verkehrsverlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr bewirken und damit die Umweltfreundlichkeit erhöhen. Diese Ziele spiegeln sich auch in IMPAKT wieder. Die Optimierung der Verkehrsträger wird dann in Hinblick auf die Quantifizierung als Effizienz beschrieben, Effizienz im Spannungsfeld zwischen Verkehr, Verkehrsfluss und User Akzeptanz, und das kombiniert mit der Umweltfreundlichkeit, d. h. welcher quantitative Beitrag zur Emissionsreduzierung durch den optimalen Einsatz der intelligenten Verkehrssysteme erreicht werden kann. Der Fokus liegt also i) in der Methodenentwicklung, ii) der Quantifizierung, iii) der Anwendung auf das Projekt Testfeld Telematik Austria (TTA) und iv) der umfassenden Beurteilung von C-ITS, so dass die maßgeblichen Indikatoren das Spannungsfeld von Verkehrstechnologien, Infrastruktur und Mobilität eindeutig beschreiben. Daher war eine enge Kooperation mit TTA erforderlich (siehe auch Abbildung 1). Zusätzlich wurde diese Studie noch von zwei Abteilungen des BMVIT , Abteilung I 4 – Mobilitäts- und Verkehrstechnologien und Abteilung Infra 4 – Gesamtverkehr, begleitet.

Im Folgenden werden die Projektziele und die Projektidee beschrieben. Aus den Projektzielen ergibt sich dann die stufenweise Implementierung der Testmethodik, beginnend mit den Infrastruktur- und GPS-Messungen, der Datenaufbereitung und -speicherung, gefolgt von die Analyse der Parameter und Kalibrierung der Verkehrssimulationen und abschließend mit den User-testing und Akzeptanzanalyse.

1.1 Projektziele

Das Projekt IMPAKT enthält drei Hauptziele

1. Methodenentwicklung zur Beurteilung der Wirksamkeit kooperativer Systeme mittels quantitativ nachweisbarer Indikatoren
2. Wissenschaftliche Begleitung des „Testfelds Telematik“ zur Wirkungsanalyse der dort implementierten kooperativen Dienste, die im Gegensatz zu den bisherigen fahrzeugorientierten Systemen aufgrund der komodalen Konzeption der Verkehrsauskunft auch verkehrsträgerübergreifend wirken sollen
3. Ermittlung der Nutzerakzeptanz und Wirkung kooperativer Dienste auf Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Energieeffizienz

Zur Erreichung dieser drei Hauptziele enthält der Forschungsansatz von IMPAKT weitere wesentliche Ziele und Innovationen:

- Zusammenfassung der bisher verwendeten Indikatoren zur Wirkungsanalyse aus Real-daten aus den bereits abgeschlossenen Projekten und deren jeweiligen Testfelder (siehe Kap. 2).
- Zusammenfassung der Wirkungen kooperativer Systeme der Projekte, welche aus den veröffentlichten Simulationsstudien als Ergebnisse zugänglich sind.
- Entwicklung eines Katalogs von real messbaren Kenngrößen und aus Simulationen bestimmbarer Indikatoren, die für eine Wirkungsanalyse kooperativer Dienste herangezogen werden können (siehe Kap. 2.6, Tabelle 1 - Tabelle 4).
- Abgleich des Katalogs von Kenngrößen und Indikatoren mit den Erkenntnissen des EU FESTA Handbuchs, das einen methodischen Standard für Nutzereinbindung in Feldtests darstellt, aber in Bezug auf infrastrukturelle kooperative Telematikdienste und die Klimawirkung zu überarbeiten ist (Siehe dazu Kap. 2.6 und Anhang A 1).
- Unterstützung der Industriepartner des Testfelds Telematik bei der Definition und Installation einer Datenbank, die alle im Testfeld gewonnenen Messdaten (u.a. Einzelfahrzeugdaten, Routenempfehlungen, Ereignismeldungen, Wetterdaten) standardisiert und gut dokumentiert enthalten soll (siehe Kap. 3).
- Neuartige Auswertemethoden und Filter zur Aktivitätenerkennung und zum Fahrverhalten auf Basis von Positionsdaten und Statusinformationen aus On-Board-Units (siehe Kap. 3.3).
- Verfahrensentwicklung und Umsetzung zur fahrstreifen feinen Floating-Car-Data Analyse und Erkennung von Fahrstreifenwechseln im Testfeld Telematik (siehe Kap. 3.3).
- Neuartige Verfahren zum Verschneiden von Einzeltrajektoren (GPS-Tracks) mit Routenauskünften der multimodalen AnachB-Auskunft sowie dem makroskopischen Wegehahlmodell.¹
- Zusammenführung von Konzepten einer mikroskopischen Verkehrssicherheitsanalyse einzelner Fahrmanöver mit einer traditionellen, mehrjährig orientierten Unfalldatenanalyse zur Beurteilung des Sicherheitsaspekts kooperativer Systeme.²
- Erweiterte Erkenntnisse bei der Bewertung kooperativer Systeme in der Mikrosimulation und deren Übertragung in eine netzweite Betrachtung mittels makroskopischer Simulationsmodelle (siehe Kap. 5)
- Verkehrsträgerübergreifende volkswirtschaftliche Bewertung der Wirkungen kooperativer Systeme in einem makroskopischen Netzmodell unter Einbeziehung von Zeitkosten und Klimawirkung (Kosten für CO₂ und weiterer Schadstoffe wie NO_x)

Auf Grund der Einschränkungen im TTA und betriebsbedingter Datenschutzbestimmungen konnten gewisse Teilziele (wie oben angeführt) nicht bzw. nur eingeschränkt evaluiert werden. Dass trotzdem die Hauptziele erfüllt und in einer konsistenten und umfassenden Methode dargestellt werden können, soll in den folgenden Kapiteln gezeigt werden.

¹ Das Routingservice wurde in TTA nicht umgesetzt und daher in IMPAKT nicht weiter ausgeführt.

² Die Unfalldaten wurden IMPAKT nicht zur Verfügung gestellt und daher konnte dieser Punkt nicht umgesetzt werden.

1.2 Projektidee

Kooperative Dienste zielen zum einen darauf ab, die vorhandene Verkehrsinfrastruktur effizienter zu nutzen und zum anderen den Verkehrsablauf sicherer zu machen. Die Effizienzsteigerung soll durch eine ausgeglichene genutzte Infrastruktur erreicht werden. Eine Erhöhung der Sicherheit kann durch die Erweiterung des Wahrnehmungshorizontes des Fahrers bzw. der Fahrerin mittels unterstützenden Informationen oder auch Warnungen vor kritischen Situationen erzielt werden. Die Entwicklung konzentriert sich derzeit auf kooperative Systeme, die den Daten- und Informationsaustausch sowohl zwischen den einzelnen Fahrzeugen untereinander, als auch mit den Komponenten der Straßeninfrastruktur (z. B. Lichtsignalanlagen, Verkehrszeichen, Streckenstationen) ermöglichen. Im Projekt Testfeld Telematik Austria (TTA) in Wien erprobt ein Konsortium aus Forschung, Industrie und öffentlichen Unternehmen, wie solche kooperativen Dienste gestaltet und eingesetzt werden müssen, damit sie optimal zu mehr Sicherheit, Effizienz und umweltverträglicher Mobilität im Verkehrsnetz beitragen.

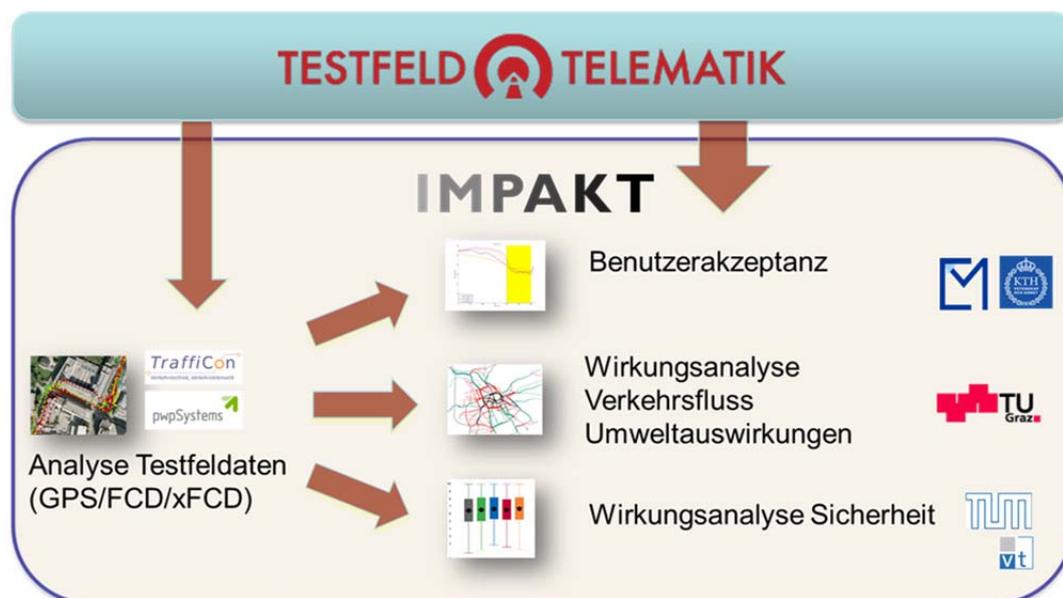


Abbildung 1: Zusammenspiel und Rollen der IMPAKT-Partner

Die Begleitstudie IMPAKT soll die Wirksamkeit kooperativer Dienste nach den Aspekten Verkehrssicherheit, Effizienz im Sinne des Verkehrsflusses, Umweltauswirkung (Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen) und Nutzerakzeptanz untersuchen. Dazu soll das Fahrverhalten (Beschleunigungen, Verzögerungen, Fahrstreifenwechsel) infolge von Verkehrsinformationen erfasst werden. Grundlage der Auswertungen sind GPS-Positionsdaten, die während der Einzelfahrten gespeichert und anschließend gemeinsam mit den Daten aus anderen Sensornetzen der ASFINAG und der Stadt Wien ausgewertet werden. Da durch kooperative Dienste im TTA fahrstreifenbezogene Informationen ins Fahrzeug übertragen werden, sollen in IMPAKT auch fahrstreifenbezogene Analysen mit Einzelfahrzeugerkennungen des Fahrverhaltens durchgeführt werden (siehe Abbildung 2).

Aus den Daten zum Fahrverhalten werden wesentliche Aussagen zur Verbesserung des Verkehrsflusses, zur Verkehrssicherheit und zu Umweltwirkungen abgeleitet. Weiterhin wird die Benutzerakzeptanz von kooperativen Systemen evaluiert. Das Zusammenspiel und die Rollen der einzelnen Projektpartner ist in Abbildung 1 dargestellt.

1.3 Projektablauf

Aus Abbildung 1 ergibt sich auch der Projektablauf für IMPAKT. RK-communication mobility (rk-cm) ist die organisatorische Schnittstelle zum Testfeld Telematik Austria (TTA) und zum Auftraggeber und war damit auch für das Projektmanagement verantwortlich. Die Schnittstellen zum TTA betreffen einerseits die Datenschnittstelle zur verkehrlichen Infrastruktur und Kommunikation, zur Fahrbewegungserfassung und jene für die Benutzerevaluierung. Letztere wurde auch inhaltlich von rk-cm behandelt (siehe Kap.6). TraffiCon/PWP-Systems hatten die Fahrzeugfassung und deren Bewegungsablauf mit Hilfe von GPS-Messungen und deren Zuordnung zu einem spurgenaugen Straßengraphen, sowie die Aufbereitung der Kommunikationsdaten als Arbeitsinhalte (siehe Kap. 3).



Abbildung 2: Grundsätzliches Vorgehen zur Wirkungsermittlung von Informationen aus Einzelfahrzeugpositionen basierend auf GPS-Daten

Diese von Trafficon/PWP aufbereiteten Daten dienen als Input für die Verkehrssimulation: Den mikroskopischen Teil der Wirkungsanalyse für die Fahr- und Verkehrseffizienz und damit auch auf die Auswirkungen von Emissionen und Verkehrssicherheit wurde vorwiegend von der TU München geleitet (siehe Kap. 4). Die meso-/makroskopischen Teile der verkehrlichen Analyse und deren Auswirkungen auf das Verkehrsnetz und der kooperativen Systeme waren Hauptaufgabe der TU Graz (siehe Kap. 5). Die Erstellung der technischen Evaluierungsmethodik und der Erstellung der Evaluierungsindikatoren bedurfte die Mitwirkung aller Beteiligten unter der Leitung der TU Graz (Kap. 2). Mit dieser Aufgabenteilung war der Projektablauf festgelegt und damit galt es die Projektziele, die im folgenden Abschnitt behandelt werden, mit den jeweiligen Methoden, Tools und Modellen umzusetzen.

2 Technische Evaluierung von Kooperativen Diensten – Evaluierungsmethodik

2.1 Einführung und Background

Die Wirkungsweise von kooperativen Verkehrsdiensten hinsichtlich Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, Klimawirkung und Nutzerakzeptanz kann auf Basis von unterschiedlichen Kenngrößen evaluiert werden. Das IMPAKT Projekt nutzt die Durchführungen des Projektes Testfeld Telematik Austria (TTA), um die Auswirkungen durch die identifizierten Kenngrößen festzustellen und zu prüfen.

In den drei großen europäischen Integrierten Projekten zu kooperativen Systemen (SAFESPOT, CVIS und COOPERS) wurden in verschiedenen Orten Europas einzelne Testfelder aufgebaut, an denen verschiedene Dienste einem ersten Praxistest unterzogen wurden. Darüber hinaus wurden in den deutschen Forschungsvorhaben AKTIV und sim^{TD} kooperative Technologien und Anwendungen entwickelt und in verschiedenen Testumgebungen untersucht. Dabei wurde ein umfangreicher Katalog an Kenngrößen angewandt, um die Wirkung der verschiedenen Anwendungen nachweisen zu können.

Im Projekt SAFESPOT wurden Assistenzsysteme zur Unfallvermeidung an städtischen Knotenpunkten wochenweise in Hellmond (NL), Amsterdam (NL) und Dortmund (D) überprüft, während die Funktionstüchtigkeit von Assistenzsystemen zur Fahrspureinhaltung in Kurven, Geisterfahrerüberprüfung und Glätteüberprüfung auf abgesperrten Testgeländen tageweise in Orbassano (I) und Satory (F) durchgeführt wurden.

CVIS widmete sich einer Verbesserung des Verkehrsflusses. In einem Testfeld in Dortmund wurden Verfahren für strategische Routenempfehlung mit Alternativrouten unter Vermeidung von Wohnstraßen getestet. Im Testfeld Hessen wurde ein neues Verkehrsmanagement-Konzept für die intelligente Informationsverteilung zwischen Fahrzeugen, Informationszentrale und straßenseitiger Infrastruktur, wie Streckenbeeinflussungsanlagen erarbeitet und umgesetzt.

In COOPERS wurde die drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeug und Autobahninfrastruktur auf vier Teststrecken auf europäischen Autobahnen mit insgesamt 12 kooperativen Diensten getestet. Auf der Teststrecke der A12 zwischen Vomp u. Hall West wurde ein dreiwöchiger Test mit 50 FahrerInnen durchgeführt und exemplarisch eine deutlich vorausschauendere Fahrweise anhand von Geschwindigkeitsprofilen nachgewiesen.

Das Forschungsprojekt AKTIV verfolgte das Ziel neue Fahrerassistenzsysteme und Informationstechnologien zu entwickeln sowie Lösungen für ein effizientes Verkehrsmanagement aufzuzeigen. Im Bereich des Verkehrsmanagements wurden Methoden zur Netzoptimierung entwickelt und getestet, welche als zentrale Weiterentwicklung zu „virtuellen Verkehrsbeeinflussungsanlagen“, kooperativen Lichtsignalanlagen und adaptiver Navigation der Einzelfahrzeuge führt. Der Verkehrssicherheitsaspekt wurde durch die Entwicklung von automatischen Bremssystemen zur Kollisionsvermeidung, aktive Spurhaltungs- und Spurwechselunterstützung, vorausschauende Sensorik hinsichtlich FußgängerInnen und RadfahrerInnen und Sensorik zur Erfassung von Fahreraufmerksamkeit abgedeckt. Die entwickelten Dienste und Systeme basieren sowohl auf Fahrzeug-Kommunikation untereinander als auch der infrastrukturellen Kommunikation mit dem Fahrzeug.

In dem Projekt „Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland“ (sim^{TD}) wurde ein Versuchsgebiet im Ballungsraum Region Frankfurt/Rhein-Main aufgebaut und mehrere hundert Testfahrzeuge mit Kommunikationseinheiten („Car Communication Units“, CCU) ausgestattet. Das Projekt ermöglichte erstmalig eine Untersuchung aller zugehörigen Technologien und Anwendungen im alltagsnahen Betrieb. Dazu gehören insbesondere die Übermittlung frühzeitiger Gefahrenmeldungen und Verkehrsinformationen, die bessere Erfassung der Verkehrslage sowie ergänzende Dienste wie Infotainmentanwendungen. Im Rahmen des Projekts sim^{TD} fanden Versuche in drei Testumgebungen statt: Im realen Verkehr, in der Verkehrsflusssimulation und im Fahr Simulator.

Die Kernaussagen zu den Projektergebnissen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

1. In dem bislang größten Feldversuch zur Car-to-X Kommunikation wurde erstmals mit dem DRIVE Center eine kooperative Verkehrszentrale aufgebaut. Diese war mit den Verkehrszentralen des Landes Hessen und der Stadt Frankfurt am Main über eine standardisierte Schnittstelle vernetzt und kommunizierte über mehr als 100 ITS Roadside Stations (IRS) mittels Car-to-X Technologie mit 120 Fahrzeugen.
2. In 41.000 Stunden wurden von 500 Teilnehmern mit 120 Fahrzeugen, darunter mehrere Motorräder, 1.650.000 Kilometer gefahren – ein einzigartiger Feldversuch.
3. Die anwendungsbezogene Überprüfung der Car-to-X Technologie auf der Straße erfolgte durch kontrollierte Fahrversuche. Die Organisation zur Durchführung und Betreuung der Versuche ist vom Personaleinsatz her vergleichbar mit einem kleinen mittelständischen Unternehmen.
4. In Ergänzung zum Feldversuch wurde eine eigenständige Simulationsumgebung, bestehend aus Fahrsimulation und Verkehrssimulation, aufgebaut. Die Erkenntnisse aus den Simulationen wurden mit den Ergebnissen des Feldversuchs zu einer Gesamtbewertung der Zukunftstechnologie Car-to-X zusammengeführt.
5. In der Fahrsimulation konnte gezeigt werden, dass durch die simTD-Funktionen das Geschwindigkeits- und Abstandsverhalten der Fahrer positiv beeinflusst wird, so dass Fahr-sicherheit und Fahreffizienz erhöht werden.
6. In den Verkehrssimulationen konnte das Potential von simTD-Funktionen bei verschiedenen Ausstattungs-raten in einem virtuellen Abbild des Versuchsgebietes nachgewiesen werden.
7. Die Car-to-X Technologie konnte unter Alltagsbedingungen ihre Tauglichkeit zeigen, die zugrundeliegenden Konzepte wurden bestätigt.
8. Der hybride Systemansatz hat sich bestätigt, WLAN-basierte Kommunikation und Kommunikation über Mobilfunk wurden erfolgreich im Feld getestet.
9. 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.
10. 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.

11. Bei vollständiger Durchdringung mit Car-to-X Funktionen könnten jährlich bis zu 6,5 Milliarden Euro der volkswirtschaftlichen Kosten von Straßenverkehrsunfällen vermieden werden. Des Weiteren kann ein volkswirtschaftlicher Nutzen von 4,9 Milliarden Euro durch die Reduzierung von Stautunden und die Vermeidung von Umweltbelastungen erzielt werden.
12. Die Fahrerbefragung im Feldversuch dokumentiert den Wunsch der Fahrer, Car-to-X Funktionen nach Markteinführung zu nutzen. Dabei steht insbesondere ein wahrnehmbarer Mehrwert im Vergleich zu bestehenden Technologien bzw. Services im Vordergrund.
13. Bereits heute wäre ein Großteil der Probanden bereit, durch anonymisierte Bereitstellung von Fahrzeugdaten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und -effizienz beizutragen.
14. Die Ergebnisse aus simTD unterstützen bei der Markteinführung der Car-to-X Technologie. Als erste Anwendung im Rahmen einer öffentlich-privaten Kooperation ist die Baustellenwarnung in Verbindung mit einer Verkehrslage-erfassung im Umfeld von Baustellen im Eurokorridor Rotterdam – Frankfurt am Main – Wien vorgesehen, die bereits bei geringen Ausstattungsraten einen für den Fahrer erlebbaren Nutzen und einen Sicherheitsgewinn für das Baustellenpersonal erwarten lässt.
15. simTD hat die Standardisierung der Car-to-X Nachrichtenformate und der Schnittstellen zur Lichtsignalsteuerung vorangetrieben.
16. Die für den simTD-Prüfstand entwickelten Testszenarien wurden bei der Standardisierungsbehörde ETSI als Grundlage für die Entwicklung von Konformitäts- und Interoperabilitätsprüfungen eingebracht.

Im EU-Forschungsprojekt FESTA (field operational test support action) wurde ein Handbuch erstellt, welches dem Anwender Hilfestellung bei der Planung, Durchführung und Auswertung von sogenannten „Field Operational Tests“ (FOT) geben soll. Als FOT ist dabei eine Untersuchung zu verstehen, die zur Evaluierung von verkehrlichen Wirkungsermittlung von Fahrfunktionen in typischen Umgebungsbedingungen durch koordinierte Probandenversuche dient. Im Rahmen von FESTA wurden die entsprechenden notwendigen Anforderungen und Randbedingungen zusammengestellt, welche bei der Planung, Durchführung und Auswertung von FOTs berücksichtigt werden müssen. Abbildung 3 zeigt den Ablaufplan und die entsprechenden Schritte, die im FESTA Handbuch berücksichtigt werden.

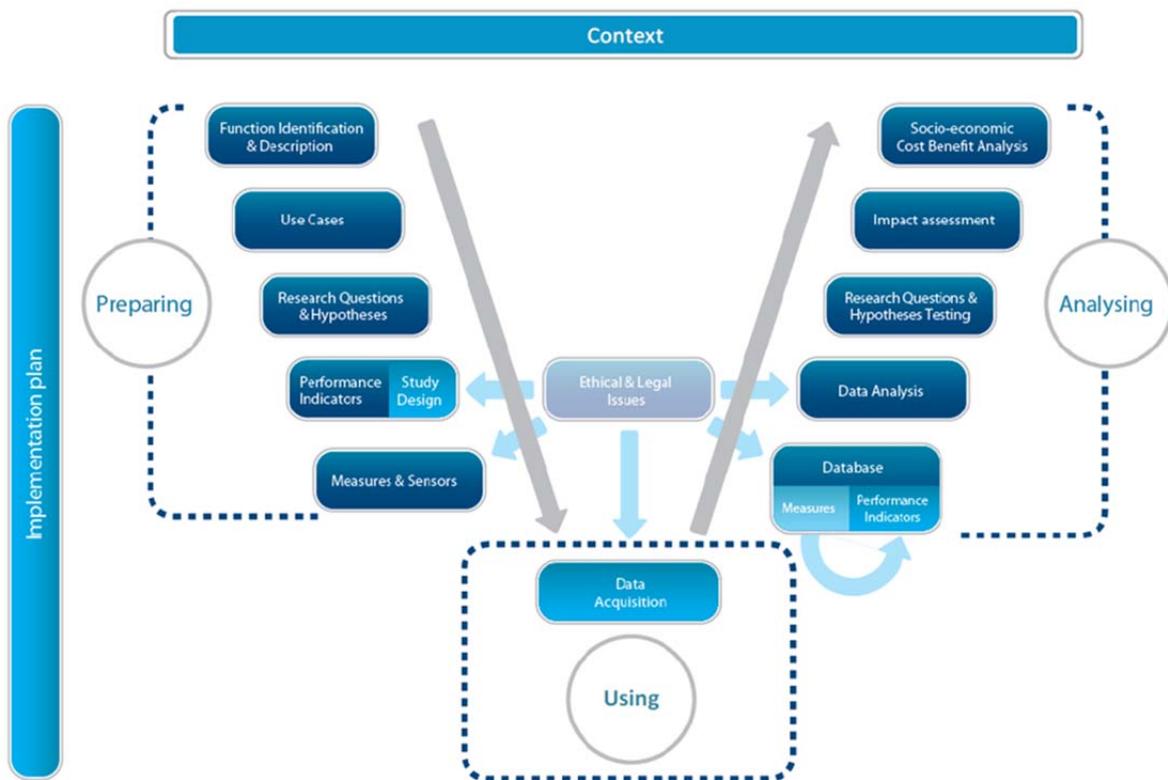


Abbildung 3: Ablaufplan und notwendige Schritte zur Planung, Durchführung und Auswertung eines Field Operational Tests (Quelle: FESTA Handbook V4, 2011)

Die Vorgehensweise und Inhalte der beiden Forschungsvorhaben TTA und IMPAKT lassen sich auch entsprechend im Ablaufplan des FESTA-Handbuches wiederfinden. In Abbildung 4 sind die entsprechenden Bereiche beider Projekte zu erkennen.

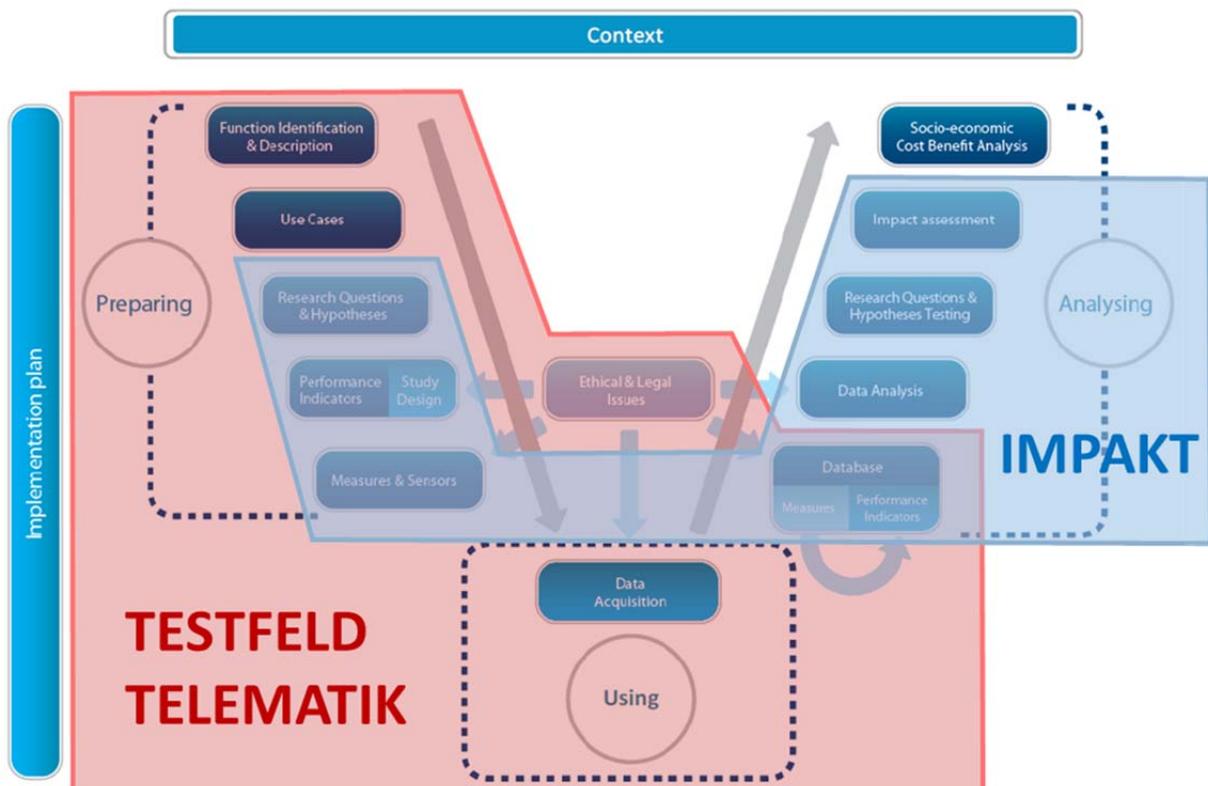


Abbildung 4: Basierend auf dem FESTA-Schema, Verteilung der Aufgaben zwischen den Projekten Testfeld Telematik Austria und IMPAKT (Quelle: FESTA Handbook V4, 2011)

Besonders für die Analyse der im Rahmen eines Feldversuches sind umfangreiche Informationen zu den Anforderungen an die Qualität der dokumentierten Messdaten sowie eine Liste an Kenngrößen (Performance Indikatoren) zusammengestellt worden, mit Hilfe derer eine Wirkungsermittlung von verkehrlichen Systemen im Hinblick auf

- Sicherheit,
- Effizienz,
- Umwelt und
- Akzeptanz

möglich wird.

Die FESTA-Kenngrößen zur Wirkungsbeurteilung wurden bei der Erstellung des Evaluierungsvorgehens im Rahmen des Projektes IMPAKT berücksichtigt und auf die Rahmenbedingungen des Testfeldes Telematik angepasst. Eine komplette Übersicht der FESTA-Performance Indikatoren und deren Beschreibung ist im Anhang A1 enthalten.

Bei der Erarbeitung des Vorgehens zur Evaluierung der kooperativen Systeme wurden ebenfalls Erkenntnisse aus dem Projekt sim^{TD} angewendet. Im Rahmen von sim^{TD} wurden bei der Validierung der verschiedenen untersuchten Systeme Kenngrößen zur Beschreibung der Sicherheits-, Effizienz- und Nutzerakzeptanzwirkung angewendet, mit denen die folgenden Ziele verfolgt wurden:

- Sicherheitskenngrößen
 - Validierungsziel „Änderung des Abstandsverhaltens“
 - Validierungsziel „Änderung des Beschleunigungsverhaltens“
 - Validierungsziel „Änderung der Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen“
 - Validierungsziel „Änderung des Reaktionsverhaltens“
 - Validierungsziel „Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens“
 - Validierungsziel „Harmonisierung des Verkehrsablaufs“
- Effizienzkenngößen
 - Validierungsziel „Änderung der Reisezeiten“
 - Validierungsziel „Änderung der Varianz der Reisezeiten“
 - Validierungsziel „Änderung der Verlustzeit(en)“
 - Validierungsziel „Änderung des Geschwindigkeitsprofils“
 - Validierungsziel „Änderung der Anzahl der Halte“
 - Validierungsziel „Änderung des Kraftstoffverbrauchs“
 - Validierungsziel „Änderung der Gesamtwegstrecke“
 - Validierungsziel „Kapazitätsveränderung“
 - Validierungsziel „Harmonisierung des Verkehrsablaufs“

- Nutzerakzeptanzkenngrößen
 - Validierungsziel „Hohe wahrgenommene Nützlichkeit“
 - Validierungsziel „Positive Einstellung gegenüber System“
 - Validierungsziel „Positive Systemnutzung“

Hieraus konnten im Projekt IMPAKT aufgrund der unterschiedlichen Testfeldbedingungen und der zur Verfügung stehenden Daten nur Teil der Kenngrößen ausgewertet werden. In Kapitel 2.6 werden die verwendeten Kenngrößen zur Beurteilung der einzelnen Wirkungen aufgelistet. Es wurde jedoch auch ein vollständiger Katalog von Kenngrößen zur Bewertung der Wirksamkeit von kooperativen Systemen im Projekt erarbeitet, diese ist dem Anhang A2 zu entnehmen.

Zur Wirkungsermittlung kooperativer Dienste auf das Fahrverhalten der/die einzelne/n VerkehrsteilnehmerIn werden einerseits GPS basierte Einzelfahrzeugdaten (Floating Car Data - FCD) in Kombination mit den bereitgestellten Informationen, die im Fahrzeug in Abhängigkeit der Verkehrssituation angezeigt werden, ausgewertet. Andererseits verändern die beeinflussten Fahrverläufe das Gesamtsystem „Verkehr“ und wirken sich auf Kenngrößen des Verkehrsflusses (Geschwindigkeit, Reisezeit, Abstandsverhalten, ...) auf der Infrastruktur (Strecken) aus und werden ebenfalls untersucht.

Das Fahrverhalten von Individuen wird aber nicht nur von den kooperativen Systemen, sondern einer Reihe weiterer Einflussfaktoren (beispielsweise Verkehrsaufkommen, oder Steuerungsstrategien des Verkehrs) beeinflusst. Diese Faktoren müssen zusätzlich mit den FCD verknüpft werden, um die Verhaltensänderung aufgrund kooperativer Dienste analysieren zu können.

In IMPAKT werden dabei nur solche Änderungen des Fahrverhaltens dem Einfluss kooperativer Systeme zugeordnet, die eindeutig nur durch eine Information im Fahrzeug ausgelöst werden können. Das trifft z. B dann nicht zu, wenn ein geändertes dynamisches Verkehrszeichen im Fahrzeug korrekt angezeigt und gleichzeitig für die FahrerInnen sichtbar auf einem Wechselverkehrszeichen wahrgenommen werden kann.

D. h. die Zuordnung von geändertem Fahrverhalten zu den Inhalten von kooperativen Diensten ist sehr vorsichtig vorgenommen worden. Der Einfluss der kooperativen Dienste auf die Fahrweise der Teilnehmer der Studie wird daher, diesem methodischen Ansatz folgend, pessimistisch beurteilt. Das bedeutet, die zum Teil sehr geringen Wirkungen werden tendenziell unterschätzt und reale Wirkungen können durchaus über den ermittelten Werten liegen.

Für die Analyse dieser Wirkungsbereiche werden unterschiedliche Daten benötigt (siehe Kapitel 3), um einerseits die Indikatoren zu bilden und andererseits diese in Kategorien zu unterteilen. Erst durch die Unterteilung in verschiedene Gruppen, wird ein Vergleich der Indikatoren sinnvoll und somit die Feststellung der Auswirkungen. Die generierten Indikatoren werden mit folgenden Attributen verknüpft und bilden somit die dynamischen Gruppierungen:

- Verkehrsstärke
- Tageszeit
- Verkehrssteuerung

Die Generierung der Indikatoren nach unterschiedlicher Gruppierung fordert ebenfalls eine räumliche Eingrenzung. Die Einteilung nach homogenen Abschnitten zwischen 2 Referenzpunkten und der Vergleich der Indikatoren innerhalb dieses Bereiches macht eine Analyse erst sinnvoll (siehe Kapitel 3.4).

Damit unterschiedliche Ausstattungsgrade von kooperativen Systemen und die Auswirkungen ebenfalls untersucht werden können, müssen mikroskopische Verkehrsflussmodelle aufgebaut werden. Die erhobenen Realdaten dienen dafür zur Kalibrierung der Modelle.

Zur Evaluierung und Quantifizierung der Auswirkungen kooperativer Systeme auf ein großräumiges Gebiet (z. B. Stadt Wien) werden makroskopische Verkehrsplanungsmodelle herangezogen. Dazu werden bestimmte Kenngrößen, die aus den Analysen der mikroskopischen Verkehrsflussmodelle resultieren, auf ein definiertes Gebiet, abhängig vom Ausstattungsgrad kooperativer Systeme hochgerechnet.

2.2 Methodenstruktur

Die Studie IMPAKT ist einerseits thematisch strukturiert und hier können, wie in den Arbeitspaketen die großen Bereiche Verkehrsfluss und Umweltauswirkungen (AP4), Verkehrssicherheit (AP5) und Nutzerverhalten oder Nutzerakzeptanz (AP3) genannt werden. Andererseits können diese thematischen Schwerpunkte systematisch gegliedert werden, nämlich nach ihrer Hierarchie mit mikro-, meso- und makroskopischen Hierarchiestufe.

Bei der Betrachtung des Verkehrsfluss kann auf der mikroskopischen Ebene das individuelle Verhalten mit dem GPS-Tracking und dem damit ableitbaren Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf dargestellt werden. Auf der mesoskopischen Ebene werden die individuellen Beobachtungen z. B. zu Gruppen zusammengefasst und es können Aussagen über den Verkehrsfluss eines Streckenabschnittes getroffen werden. Auf der makroskopischen Ebene wird ein großräumiges Gebiet mit einem Verkehrsnetz betrachtet und es können Aussagen z. B. zum Mobilitätsverhalten getroffen werden.

Aus systematischer Sicht ist festzustellen, dass bestimmte Eigenschaften nur auf den jeweiligen Hierarchiestufen auftreten, die auf den anderen Stufen nicht beobachtet werden können (z.B. Beschleunigungsverhalten kann nur auf mikro- und mesoskopischer Ebene und nicht auf der makroskopischen Ebene abgebildet werden). Zusätzlich legt die Hierarchie aber auch die Zusammensetzung fest, sodass sich ein konsistentes Bild über die verschiedenen Wechselwirkungen des Verkehrsflusses ergibt. Es lässt sich auch eine Abstufung für die anderen IMPAKT-Themen bzw. Wirkungsbereiche herleiten. Und so können sie schematisch zu einer Matrix, wie in Abbildung 5 dargestellt, zusammengesetzt werden.

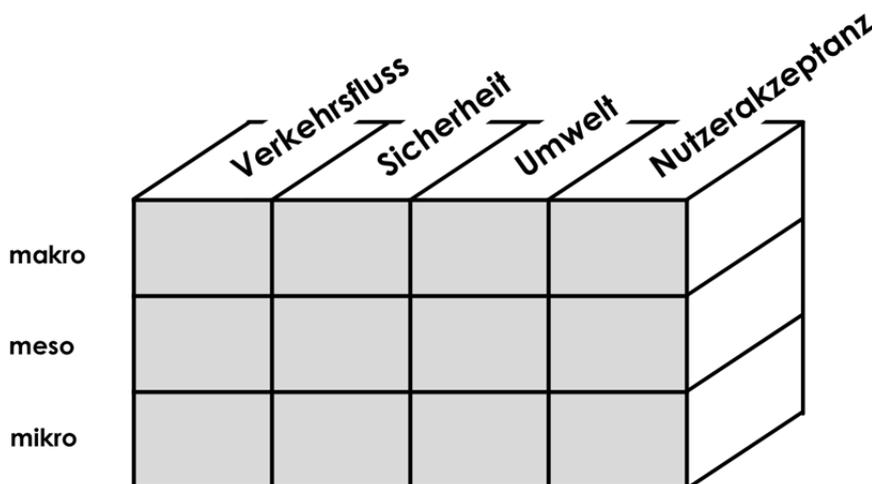


Abbildung 5: Der IMPAKT-Methodenwürfel

Einen allgemeinen Überblick bezüglich des Zusammenhangs zwischen Daten, Auswerteebene und Wirksamkeitsanalysen liefert Abbildung 6. Grundsätzlich besteht die Idee darin auf mikroskopischer Ebene mit den Ergebnissen der Realdaten das Verkehrsflussmodell zu kalibrieren, mit diesem dann auf mesoskopischer Ebene Simulationsauswertungen für verschieden Szenarien (z. B. unterschiedliche Ausstattungsgrade an kooperativen Fahrzeugen) durchzuführen, und abschließend bestimmte Kenngrößen mit einem makroskopischen Verkehrsmodell auf ein Gesamtnetz hochzurechnen.

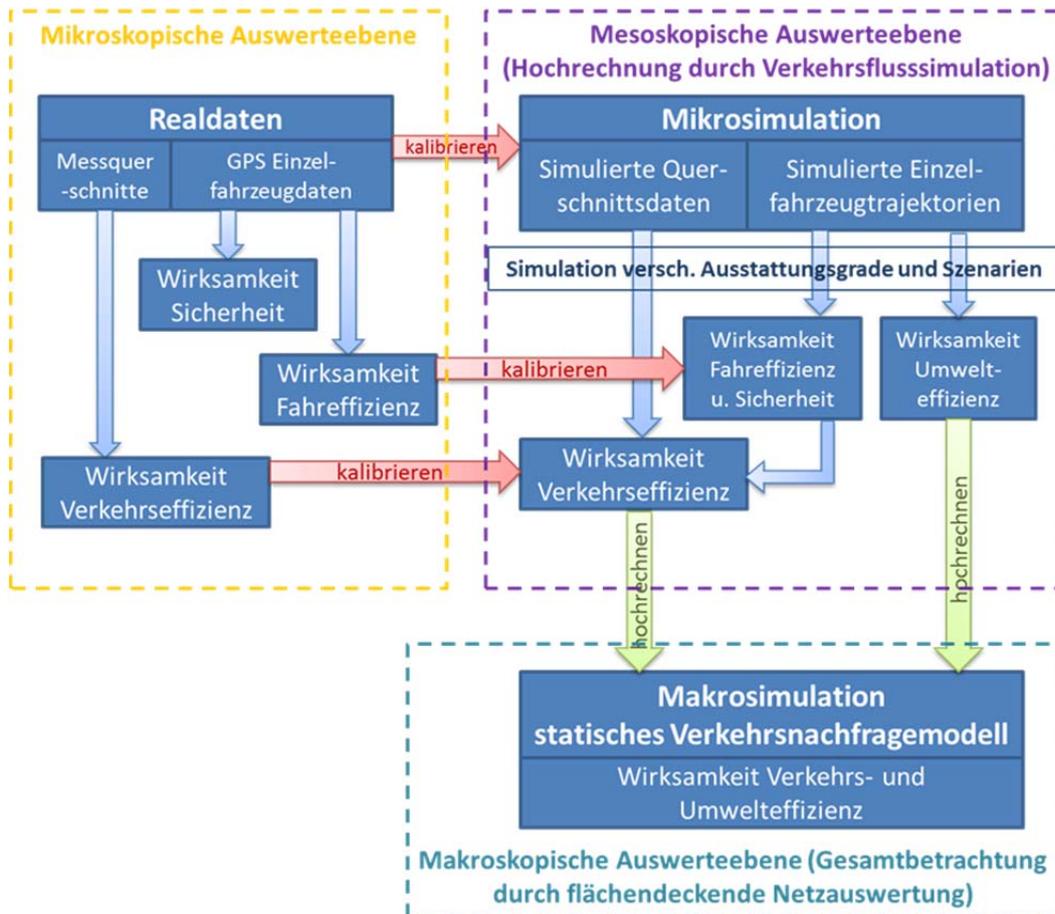


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Daten, Auswerteebene und Wirksamkeitsanalysen

2.3 Datenbasis und Informationen

Das Betrachtungsgebiet umfasst den Bereich des Projektes TTA im Ballungsraum Wien und setzt sich zusammen aus dem Autobahndreieck A2/A23-A4-S1 und einzelnen Strecken im niederrangigen städtischen Straßennetz von Wien im Bereich Messe-Prater. Am hochrangigen Straßennetz kann auf eine umfangreiche Datenbasis von lokalen Messquerschnitten zurückgegriffen werden. Das Gebiet des TTA mit den Messquerschnitten ist in Abbildung 7 dargestellt.

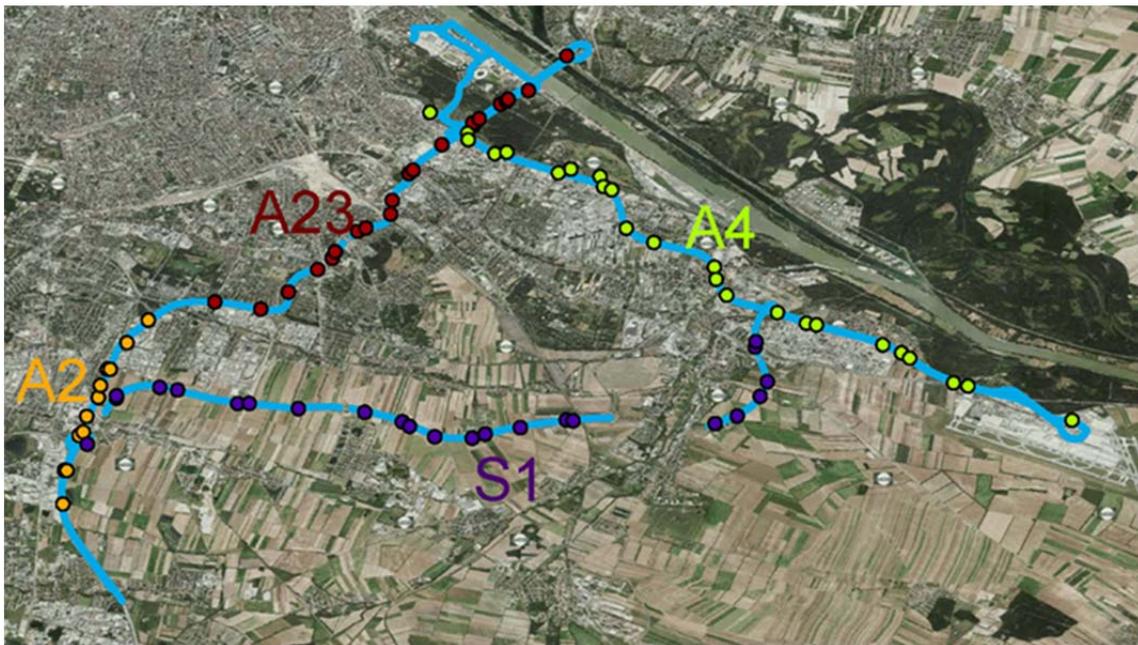


Abbildung 7: Betrachtungsgebiet und Messquerschnitte im Projekt IMPAKT (Quelle: GoogleEarth)

Dies bedeutet, dass für das übergeordnete Straßennetz (Autobahndreieck aus A4, A23 und S1) 1-minütliche, fahstreifen- und fahrzeugtypfeine Querschnittsdaten erhoben werden. Neben den Verkehrsmengen werden die Geschwindigkeiten und Nettozeitlücken als Summe bzw. Mittelwert ausgegeben. Die Querschnittsdaten werden im Projekt herangezogen um die Wirksamkeit auf die Verkehrseffizienz zu evaluieren.

Für das niederrangige Streckennetz sind die Zähldaten (Einzelfahrzeug- und 1-Minutendaten) von einem Messquerschnitt am Handelskai (auf Höhe Meiereistraße) sowie die aktiven Signalprogramme der lichtsignalgesteuerten Knotenpunkte innerhalb des Testfeldes vorhanden. Abbildung 8 zeigt die Lage der ausgestatteten Lichtsignalanlagen die mit den kooperativen Fahrzeugen der Testreihe kommunizieren.



Abbildung 8: Übersicht ausgestatteten Lichtsignalanlagen im städtischen Streckennetz (Quelle: Testfeld Telematik Austria)

Für die Untersuchung der Fahrereffizienz werden sekundliche GPS-Trajektorien (Zeit, Ort, Geschwindigkeit) benötigt. Dadurch ist es möglich Fahrverhaltensänderungen (z. B. Beschleuni-

gungen, Verzögerungen, Fahrstreifenwechsel) zu untersuchen. Bei ausgestatteten Fahrzeugen ist die Information über den Eingang und Anzeige des kooperativen Services von Wichtigkeit, welche über die Zeitinformation die Abhängigkeit zum Fahrverhalten darstellt.

Bei der Überfahrt von ausgestatteten Testfahrzeugen über wichtige Punkte (Referenzpunkte) am Straßennetz sollen Marker (IDs) in den aufgezeichneten GPS-Daten gesetzt werden, um die Analyseprozesse zu erleichtern. Die Kodierung und Lage der Referenzpunkte ist in Kapitel 3.4 beschrieben.

Die kooperativen Fahrzeuge werden während ihrer Fahrt mit verschiedenen Meldungen (z. B. Baustellenwarnung) versorgt. Diese Meldungen werden zentralseitig von der Verkehrsleitzentrale über das TPEG-Datenformat ausgesendet. Durch Zugang zu dem TPEG-Datenserver können Ort, Zeitpunkt und Inhalt der von den kooperativen Fahrzeugen empfangenen Meldungen gewonnen und mit den GPS-Daten verknüpft werden.

2.4 Erhebung IST-Zustand

Um die Wirkungsweise adäquat darstellen zu können, indem Vergleiche zum ursprünglichen Zustand gezogen werden, muss der Ist-Zustand mit realen Messfahrten (GPS-Fahrten) und infrastrukturseitigen Daten (Daten aus Messquerschnitten) erhoben und die notwendigen Kenngrößen ermittelt werden.

2.4.1 Reale Messfahrten

Im Zuge des Projektes wurden Messfahrten im Untersuchungsgebiet des TTA durchgeführt. Ein Fahrzeug war an zwei Tagen (23.05. und 24.05.2012) mit GPS-Trackern (QStarz) und einem präzisen GPS-Logger inkl. Videoaufzeichnung (Racelogic) zur Aufnahme von fahrdynamischen Kenngrößen im Testfeld unterwegs. Zeitgleich wurden alle verfügbaren Infrastrukturdaten seitens ASFINAG und Stadt Wien aufgezeichnet.

Mit diesen Aufzeichnungen könnten

- Vorab-Prüfung der Daten durchgeführt werden.
- der Referenz-Katalog für infrastrukturelle Punkte erstellt werden.
- der Workflow für die konkreten Bearbeitungen im späteren Projektverlauf überprüft werden (R-Scripte zur automatisierten Verarbeitung wurden entwickelt).
- die Kalibrierungsdaten für den Aufbau eines mikroskopischen Modells gesammelt werden.

Zusätzlich wurden im Juni 2012 mit Unterstützung vom TTA-Konsortium Testfahrten mit GPS-Loggern der TU Graz und der TU München durchgeführt. Dabei wurde den FahrerInnen eine Empfehlung der Zeitbereiche für die durchzuführenden Fahrten gegeben, um Fahrläufe zu unterschiedlichen Verkehrszuständen zu erhalten. Durch Auswertung der fahrdynamischen Kenngrößen aus den GPS-Daten kann auf mikroskopischer Ebene (Einzelfahrten) die Fahreffizienz bewertet werden.

2.4.2 Infrastrukturseitige Daten

Durch die hohe und feine Ausstattungsrate an Sensorik innerhalb des TTA-Gebietes kann hier auf eine umfangreiche Datenbasis zurückgegriffen werden, um den IST-Zustand zu bewerten. Auf dem hochrangigen Straßennetz (A+S-Netz) sind Verkehrsdaten von zahlreichen Querschnitten verfügbar. Diese liegen sowohl als Einzelfahrzeugdaten als auch in Form aggregierter

1-minuten Intervalle vor und beinhalten u. a. Geschwindigkeiten, Verkehrsstärken und Nettozeitlücken fahrzeuggruppenfein. Aus diesen verkehrlichen Kenngrößen werden mittels statistischer Auswerteskripte Analysen zur Erhebung des IST-Zustandes durchgeführt um die Wirkungen zu eruieren.

Als weitere Datenquelle dient die umfangreiche Datenbasis des ASFINAG PVIS-Servers. Beispielsweise kann daraus der Schaltzustand einer Verkehrsbeeinflussungsanlage je Zeitschritt identifiziert und mit den Querschnittsdaten verknüpft werden. Die Auswertungen zur Analyse des IST-Zustand werden in Kapitel 3.5 vorgestellt.

2.5 Verkehrsflusssimulation

Durch die geringe Ausstattungsrate der realen TestfahrerInnen verglichen mit dem realen Verkehrsaufkommen ist ein größeres Sample an Fahrten notwendig um entsprechend adäquate Untersuchungen durchzuführen und Rückschlüsse zu ziehen. Der Aufbau einer zusätzlichen Simulationsumgebung ist notwendig um auf mesoskopischer Ebene eine Basis für gezielte Auswertungen zu schaffen (z. B. Simulation verschiedener Ausstattungsgrade). In dieser Simulationsumgebung wird eine größere Anzahl an mikroskopischen Fahrten und zusätzliche Untersuchungsparameter (Rückstaulängen, Verlustzeiten, Wartezeiten, Anzahl der Halte, etc.) generiert, welche einen wesentlichen Mehrwert in der Auswertung darstellen.

Durch die empirischen GPS-Messungen, Signalplandaten und den aufgezeichneten Verkehrs- und Umfelddaten können mikroskopische Verkehrsflusssimulationsmodelle aufgebaut und kalibriert werden. Nur anhand von Simulationsmodellen können unterschiedliche Szenarien analysiert werden (unterschiedlicher Ausstattungsgrad der kooperativen Fahrzeugkomponenten, unterschiedliche Umfeldgegebenheiten), um so Fahrverhaltensänderungen aufgrund von kooperativen Diensten zu identifizieren und zu bewerten. Die Einflussbereiche der Verkehrssicherheit, der Effizienz des Verkehrsflusses und Emissionen können somit gezielt analysiert werden.

Für die Auswertungen auf mesoskopischer Ebene wurden hier zwei Simulationsmodelle aufgebaut, sowohl ein Modell für das niederrangige und das hochrangige Straßennetz. Zur Übersicht ist das modellierte Verkehrsnetz in der jeweiligen Simulationsumgebung in Abbildung 9 dargestellt.

Im Projekt IMPAKT wurden folgende 2 Simulationsfälle definiert, anhand derer die Wirksamkeit kooperativer Systeme auf mesoskopischer Ebene evaluiert werden sollen:

- Fall 1: Geplantes Ereignis am hochrangigen Straßennetz (Autobahn A4)
- Fall 2: Lichtsignalsteuerung am niederrangigen Straßennetz (Handelskai Wien) und Information mittels V2I-Kommunikation (Vehicle-to-Infrastructure)

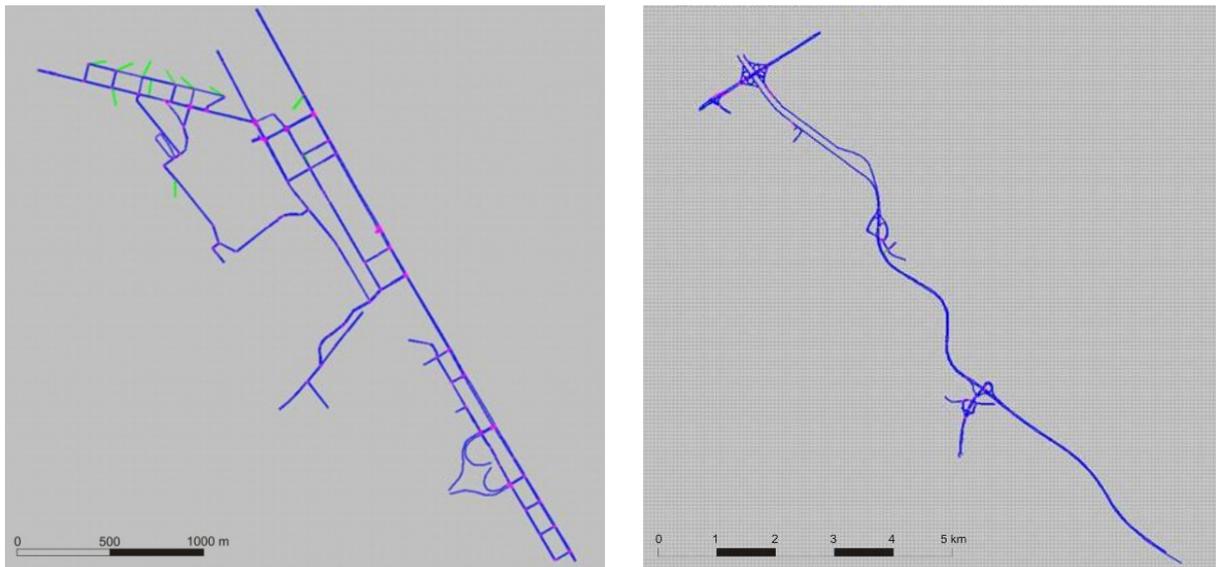


Abbildung 9: Modelliertes Verkehrsnetz am niederrangigen (links) bzw. höherrangigen Straßennetz (rechts)

Da nicht nur streckenfeine Wirkungen auf mesoskopischer Ebene sondern auch netzweite Wirkungen von kooperativen Systemen auf analysiert werden sollen, werden makroskopische Verkehrssimulationen durchgeführt. Als Basismodell wird hier das makroskopische Verkehrsmodell der österreichischen Ostregion von der ITS-ViennaRegion verwendet (siehe Kapitel 5).

2.6 Indikatoren zur Evaluierung

Zur Evaluierung der Wirksamkeit kooperativer Systeme werden Kenngrößen (Indikatoren) benötigt die aus den Real- und Simulationsdaten bestimmt werden können. Durch Differenzierung in Daten nicht ausgestatteter Fahrzeuge (0 % Ausstattungsgrad) und Daten von kooperativen Fahrzeugen mit anschließender Gegenüberstellung kann die Wirksamkeit kooperativer Systeme evaluiert werden. Im Hinblick auf die verschiedenen Untersuchungsaspekte wird zwischen folgenden Indikatoren unterschieden:

- Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf Fahrereffizienz
- Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf Verkehrseffizienz
- Indikatoren zur Bewertung von Umweltauswirkungen
- Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf Verkehrs- und Fahrsicherheit
- Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz

Im Rahmen des Projektes wurde eine umfassende Liste an Indikatoren für die verschiedenen Aspekte erarbeitet (siehe Anhang A2). Grundlage dieser Liste stellen neben den Kenngrößen des FESTA-Handbuches (vgl. Anlage A1) auch Bewertungskenngrößen aus dem Projekt sim^{TD} dar. Aufgrund verschiedener Randbedingungen konnte nur eine Auswahl der Indikatoren angewendet werden. Hauptsächlich wurde die Verwendung der einzelnen Indikatoren durch die Verfügbarkeit der notwendigen Daten zur Ermittlung eingeschränkt. In den folgenden Tabellen werden nun jene Indikatoren aufgelistet die im Projekt betrachtet wurden.

Zur Bewertung der Fahr- und Verkehrseffizienz werden einzelne Fahrten bzw. Fahrtenbündel für gleiche Abschnitte verglichen. Tabelle 1 listet die Indikatoren zur Bewertung der Fahr- und Verkehrseffizienz bezugnehmend auf die Auswerteebenen (Mikro, Meso, Makro) auf. Die einzelnen

Indikatoren werden mit speziellen Auswerteskripten generiert, die mit der Open Source Statistiksoftware R entwickelt wurden.

Tabelle 1: Indikatoren zur Bewertung der Fahr- und Verkehrseffizienz

Indikator zur Bewertung der Fahr- und Verkehrseffizienz	Auswerteebene			Einheit
	Mikro	Meso	Makro	
Änderung der Reisezeit (Reisezeitdifferenz)	X	X	X	[h], [min], [s]
Änderung der Verlustzeit	X	X	X	[h]
Differenz der Strecken- und Knotenkapazität		X		[Fz/h]
Differenz der Fahrstreifenverteilung		X		[Fz/h]
Änderung der Zeitlücken		X		[s]
Änderung der Anzahl Halte		X		[-]
Änderung Anzahl Spurwechsel		X		[-]
Änderung Anteil der Fahrmodi		X		[%]
Veränderung des Geschwindigkeitsverlaufs	X	X		[km/h]
Veränderung des Beschleunigungsverlaufs	X	X		[m/s ²]

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen werden Schadstoffemissionen als Indikatoren herangezogen (siehe Tabelle 2). Diese werden auf Meso- und Makro-Ebene ausgewertet. Für die Generierung der einzelnen Umwelt-Indikatoren werden auf Meso-Ebene die einzelnen Emissionswerte mit dem mikroskopischen Emissionsmodell PHEM [Hausberger, et al. 2012] berechnet und anschließend mit entwickelten Auswerteskripten der Statistiksoftware R weiterverarbeitet. Auf Makro-Ebene wird das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) [Infras GmbH, 2010] herangezogen, welches direkt im makroskopischen Verkehrsmodell implementiert ist.

Tabelle 2: Indikatoren zur Bewertung von Umweltauswirkungen

Indikator zur Bewertung der Umweltauswirkungen	Auswerteebene			Einheit
	Mikro	Meso	Makro	
Änderung des FC (Fuel consumption = Treibstoffverbrauch)		X	X	[g/km]
Änderung von NOx (Stickoxide)		X	X	[g/km]
Änderung von HC (Kohlenwasserstoffe)		X	X	[g/km]
Änderung von CO (Kohlenmonoxid)		X	X	[g/km]
Änderung von PM (Feinstaub)		X	X	[g/km]
Änderung von PN (Partikelanzahl)		X	X	[g/km]
Änderung von NO (Stickstoffmonoxid)		X	X	[g/km]

Für die Analyse der Sicherheitswirkungen der betrachteten kooperativen Systeme werden sowohl einzelne Fahrten (mikroskopische Ebene), als auch die Fahrten aller VerkehrsteilnehmerInnen innerhalb des jeweiligen Auswertebereiches (mesoskopische Ebene) untersucht. Dabei werden die in Tabelle 3 aufgeführten Indikatoren ermittelt und unter Verwendung eigens entwickelter Auswerteskripte untersucht. Als Grundlage für diese Indikatoren dienen die Erfahrungen aus den an der TU München durchgeführten Analysen im Rahmen des Forschungsprojektes sim^{TD} [sim^{TD} W. D. W41.2b, 2012].

Tabelle 3: Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf Verkehrs- und Fahrsicherheit

Indikator zur Bewertung der Fahr- und Verkehrssicherheit	Auswerteebene			Einheit
	Mikro	Meso	Makro	
Änderung der mittleren Nettozeitlücke	X	X		[s]
Änderung der minimalen Nettozeitlücke	X	X		[s]
Änderung der maximalen Längsbeschleunigung	X	X		[m/s ²]
Änderung der minimalen Längsbeschleunigung*	X	X		[m/s ²]
Änderung des mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeit	X	X		[km/h]
Änderung des Standardabweichung der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten	X	X		[km/h]
Änderung der mittleren Time-To-Collision (TTC)	X	X		[s]
Änderung der minimalen Time-To-Collision (TTC)	X	X		[s]
Änderung der Anzahl kritischer Fahrsituationen	X	X		[%]
Änderung der Zeitanteile kritischer Nettozeitlücken	X	X		[%]

Für die Nutzerakzeptanz und -analyse wird ein relativer Vergleich bzw. die relative Änderung des Vorher-/ Nachherfragebogens durchgeführt und diese werden mit den jeweiligen Fahrdaten verglichen. So wie die Einzelfahrten werden die Fragen auf der mikroskopischen Ebene gestellt und dann je nach gruppenspezifischen Merkmalen (mesoskopisch) oder pauschal für die Bevölkerung (makroskopisch) zusammengefasst (siehe Tabelle 4). Die Analyse erfolgt normalerweise mit statistischen Auswerteskripts.

Tabelle 4: Indikatoren zur Bewertung von Auswirkungen auf die Nutzerakzeptanz

Indikator zur Bewertung der Fahr- und Verkehrssicherheit	Auswerteebene			Einheit
	Mikro	Meso	Makro	
Relative Änderung des mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeit	X	X	X	[km/h]
Relative Änderung des Mobilitätsverhaltens bzgl. Reisezeit	X	X	X	[min]
Relative Änderung des Mobilitätsverhaltens bzgl. Kosten	X	X	X	[€]
Relative Änderung der Performance Expectancy and Experience	X	X	X	[#]
Relative Änderung der Erwartung/Erfahrung zu Satisfaction	X	X	X	[#]
Relative Änderung der Erwartung/Erfahrung zu Enjoyment	X	X	X	[#]
Relative Änderung der Erwartung/Erfahrung zur Nutzung	X	X	X	[#]
Relative Änderung der Erwartung/Erfahrung zu Informationsgenauigkeit	X	X	X	[#]
Relative Änderung der Erwartung/Erfahrung zur Verhaltensänderung	X	X	X	[#]

2.7 Use Cases im Testfeld Telematik Austria

Im Rahmen des Testfeld Telematik Austria (TTA) werden kontinuierlich Meldungen bezüglich des Verkehrsgeschehens im Straßennetz an kooperative Fahrzeuge bei Fahrten innerhalb des Testgebietes versendet und den VerkehrsteilnehmerInnen auf verschiedenen Endgeräten angezeigt. Dabei werden durch die Meldungen verschiedene vorab definierte Einsatzfälle (Use-Cases) adressiert. Es werden folgende UseCases unterschieden:

- **In-vehicle signage:**

Die FahrerInnen werden über statische und dynamische Anzeigen zum Verkehrsgeschehen informiert. Es handelt sich dabei um die Anzeige:

- der Inhalte aller Schilderbrücken auf Autobahnen (VMS – variable message signs),
- der Geschwindigkeitsinformationen im innerstädtischen Straßennetz sowie
- zusätzlicher Piktogramme und Freitextmeldungen.

- **Hazardous location notification:**

Die FahrerInnen werden vor plötzlich auftauchenden Gefahren (z. B. verlorene Ladung, Ölspur, ...) gewarnt.

- **Traffic jam ahead warning:**

Die FahrerInnen werden vor einem Stau gewarnt, der sich auf seiner Route unmittelbar vor ihnen befindet. Die Warnung erfolgt mittels visueller und akustischer Signale.

- **Road works warning:**

Die FahrerInnen werden vor Baustellen und Behinderungen in unmittelbarer Nähe des derzeitigen Standortes gewarnt. Diese Warnung beinhaltet neben der Anzeige vorgeschriebener Geschwindigkeiten auch Informationen über die Verkehrsführung im Baustellenbereich (gesperrte Fahrstreifen) sowie erwartete Verzögerungen.

- **Traffic information and recommended itinerary:**

Die FahrerInnen werden über Ausweich- und Alternativrouten bei vorhandenen Störungen im Verkehrsfluss informiert.

- **Weather warning:**

Die FahrerInnen werden über verkehrsbeeinträchtigende Wettersituationen informiert. Hierdurch wird eine frühzeitigere Reaktion der FahrerInnen auf zu erwartende Beeinträchtigungen des Fahrbahnzustandes (z. B. Glatteis) ermöglicht.

- **Park&Ride information:**

Die FahrerInnen werden über aktuelle bzw. zu erwartende Verzögerungen aufgrund der vorherrschenden Verkehrsbedingungen informiert. Darüber hinaus werden Umsteigemöglichkeiten zu den Öffentlichen Verkehrsmitteln dargestellt. Hierbei sind Informationen zur Auslastung der vorhandenen P+R-Plätze und den Abfahrtsintervallen des ÖV enthalten.

- **SPAT – Traffic light signal phase and timing:**

Den FahrerInnen werden die Dauer der aktuellen Grün- bzw. Rotphase der Lichtsignalanlage angezeigt.

- **GLOSA – Green light optimum speed advisory:**

Den FahrerInnen werden die optimale Geschwindigkeit angezeigt, um die nächsten Lichtsignalanlagen bei grüner Phase durchfahren zu können („Grüne Welle“)

Bei den Testfahrten im Rahmen des TTA wurden dabei Meldungen zu den UseCases „In-vehicle signage“ und „Road works warning“ am Häufigsten adressiert.

3 Datenspezifikation und Analyse der Testfeld-Daten

3.1 Einführung

Gemäß der dargestellten Aufgabenteilung aus Abbildung 1 (siehe Einleitung in Kapitel 1.2) erfolgt die technische Aufbereitung und Zusammenführung der unterschiedlichen Datenquellen aus dem TTA durch Trafficon und pwp-systems. Die ermittelten Fakten wurden zur weiteren Wirkungsanalyse an die Forschungspartner TU Graz und TU München übermittelt. Die gesamte Datenerhebung wiederum fand noch im TTA statt, das die Realisierung und Demonstration der kooperativen Dienste zum Gegenstand hatte. Somit kommt der hier beschriebenen Aufgabe eine Brückenfunktion zu, um die generierten Daten aus dem Telematik Testfeld zu übernehmen und für IMPAKT nutzbar zu machen. Die strikte Trennung von Realisierung und Bewertung in zwei getrennten Projekten unterstützt einerseits die Fokussierung auf die jeweiligen Aufgaben und sichert gleichzeitig eine objektive und unabhängige Ausführung der Evaluation durch ein neutrales Team.

Besonders wichtig dabei war die Definition von Schnittstellen und Datenformaten zwischen dem TTA und dem IMPAKT-Team. Damit beide Projekte die gewünschten Synergieeffekte entfalten ist eine gute Zusammenarbeit Voraussetzung, die insbesondere zwischen den Akteuren Trafficon und pwp-systems auf IMPAKT-Seite mit den Kollegen von Austriatech (ATE), HiTec Marketing (HiTec) und Fluidtime (FLU) aus dem Telematik Testfeld Austria aufgebaut wurde, aber auch generell im konstruktiven Dialog zwischen den individuellen Interessen der beiden Projekte geführt wurde.

In Abstimmung mit allen Projektbeteiligten im TTA und IMPAKT wurden folgende Schritte zur Datenspezifikation und anschließenden Datenanalysen umgesetzt:

- Erstellung eines Anforderungskataloges an die zu erhebenden Verkehrsdaten aus kooperativen Systemen
- Begleitung der Datenerhebung und Qualitätsuntersuchungen
- Aufbau einer fahrstreifengenauen Straßengraphen
- Entwicklung eines Verfahrens zur Erkennung von Fahstreifenwechsel
- Definition der Dateninhalte der Datenbank mit folgenden Objekten:
 - Einzelfahrzeugdaten (GPS Trajektorien, evtl. mit Kraftstoffverbrauch) und weitere Fahrzeugdaten (z. B. XFCD) für den Zeitraum, in dem Besonderheiten im Verkehrsablauf aufgetreten sind
 - Informationszustände im TTA an einzelnen Querschnitten der jeweiligen Use-Cases
 - Verkehrsmeldungen
 - Querschnittsmesswerte (fahrstreifenbezogene Fahrzeugmenge, Fahrzeugart, Geschwindigkeit)
 - Protokolliertes Verkehrsmodell für das Zeitintervall mit Besonderheiten
- Abstimmung des Datenzugriffs über entsprechende Schnittstellen für den Evaluationsprozess (Definition des relationalen Datenbankschemas in Abstimmung mit den Industriepartnern innerhalb des TTA)

- Qualitätsanalyse der Datenbestände (z. B. Erkennung von GPS-Fehlern) und Extraktion von verwertbaren Informationen als Grundlage für weitere Auswertungen;
- Aktivitätenerkennung (Stau, Fahrstreifenwechsel),
- Zuordnung der Daten auf Straßengraphen, Mapmatching
- Validierung der entwickelten Evaluierungsmethodik anhand der Daten des Testfeldes Telematik
- Bereitstellung der Evaluierungsergebnisse und Daten zur Wirkungsanalyse des Verkehrsflusses (AP3, AP4, AP5)

Die Datenprozessierung zwischen dem TTA und IMPAKT zeigt Abbildung 10.

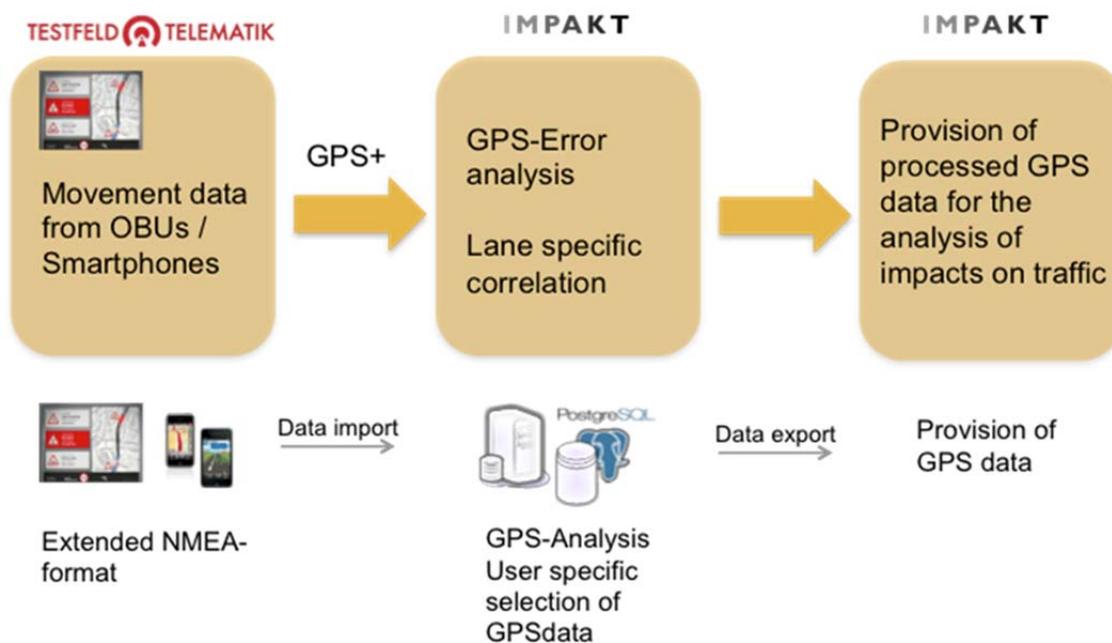


Abbildung 10: Datenprozessierung zwischen Testfeld Telematik Austria und IMPAKT

Das Hauptziel des TTA bestand darin hochwertige Verkehrsinformationen aus der Zentrale der ASFINAG zeitnah in die kooperativen Fahrzeuge zu bringen und dort FahrerInnen Warnungen vor Gefahrensituationen in unmissverständlicher und leicht erfassbarer Form darzustellen. Im Sinne eines verantwortungsvollen Risikomanagements hat TTA ein zweigleisiges Vorgehen gewählt, indem die anvisierten kooperativen Dienste sowohl in eigens für TTA entwickelte TomTom-Geräte implementiert werden sollten als auch in Form einer TTA-App die für herkömmliche Smartphones zum Download bereitgestellt wurde.

Das Hauptziel von IMPAKT lag auf der zuverlässigen Auswertung der TTA-Daten, um die im Projekt entwickelte Methodik für derartige FOTs anwenden zu können. Das notwendige Bindeglied zwischen diesen Hauptzielen beider Projekte ist eine transparente und umfassende Datenaufzeichnung während der Demonstrationsphase des TTA und anschließender Datenübergabe an IMPAKT. Insbesondere der zweite Aspekt setzt ein gutes Vertrauensverhältnis zwischen beiden Projekten voraus, da es sich bei den erfassten Rohdaten des TTA um sensible Informationen handelt, die bei nicht fachkundiger Verarbeitung zu fehlerhaften Aussagen und verzerrten Darstellungen bezüglich der Wirkungsweise kooperativer Dienste führen können. Vor diesem Hintergrund war ursprünglich vorgesehen die gesamte Aufgabe der Datenhaltung inner-

halb des TTA zu belassen und dem Projekt IMPAKT lediglich einen definierten Datenzugang zur Verfügung zu stellen. Im Zuge der Arbeiten hat sich eine äußerst fruchtbare Zusammenarbeit etabliert, so dass u. a. die folgenden Verschiebungen konstruktiv aufgefangen wurden:

- **Daten-Server**
während sich das TTA auf das projektinterne Assessment in Form von qualifizierten Fragebögen, Interviews und pop-up-Meldungen konzentrierte, war das Logging von GPS-Tracks, TPEQ-Messages, Einzelfahrzeugdaten etc. nicht vorgesehen und wurde von Seiten IMPAKT nachträglich übernommen. In diesem Zuge wurde für die gesamte Testphase ein dedizierter Server von Trafficon zur Verfügung gestellt und sämtlichen zugehörigen Serviceleistungen erbracht, um einen reibungslosen Datenaustausch aller TTA-Daten zu ermöglichen. Dieser Service wurde auch von den Partnern des TTA für eigene Aufgaben eingesetzt und entwickelte sich zu einer pragmatischen Plattform zwischen beiden Projekten.
- **Spezifikation der Formate zum Datenlogging durch PWP**
Die entwickelte Methodik in IMPAKT konzentriert sich auf die Ableitung technischer Fakten aus den gefahrenen GPS-Tracks und sämtlichen vorhandenen Zusatzinformationen. Somit wurden die veredelten GPS-Tracks ausschließlich in IMPAKT verarbeitet. Gleichwohl der Datenkatalog für die benötigten Informationen frühzeitig mit TTA abgestimmt wurde, hat es sich als pragmatischer erwiesen, dass sowohl das Konzept des Datenloggings inklusive der notwendigen Spezifikationen direkt von IMPAKT geleistet wurde. Diese Aufgabe wurde von pwp-systems in Abstimmung mit Fluidtime übernommen. Im Nachgang an die softwaremäßige Realisierung in TTA, wurden von IMPAKT wiederum die qualitätssichernden Testverfahren der SW durchgeführt.
- **Umsetzung der spezifizierten Formate in der TTA-App durch FLU**
Da in der Demonstrationsphase letztendlich die TTA-App zum Einsatz kam, waren insbesondere die Software-Tätigkeiten von Fluidtime relevant. In enger Abstimmung zwischen Fluidtime und TraffiCon / PWP wurden die Datenformate (export aus TTA-App) und Schnittstellen spezifiziert, damit auch die Weiterverarbeitung der erhobenen Fahrzeugdaten für IMPAKT weiter verarbeitet werden konnten.
- **Koordination des TTA-Assessment durch HiTec**
In seiner Rolle als Partner des TTA für eine fundierte Ausführung der Evaluation hat HiTec bereits früh die Abhängigkeiten beider Projekte aufgegriffen und gezielt Trafficon für AP2 eingebunden. In der Aufgabenteilung hat das TTA und IMPAKT den Ansatz gewählt, in dem den NutzerInnen im Zentrum der Betrachtungen steht und das somit zu Themen der Benutzbarkeit und Akzeptanz führt. In IMPAKT wurde der Fokus dann auf die Aspekte Sicherheit, Effizienz und Umweltverträglichkeit erweitert, was insbesondere die Auswertung der Mobilitätsdaten in Form von veredelten GPS-Tracks erfordert.

3.2 Daten aus dem Testfeld Telematik Austria

Entsprechend den einleitend beschriebenen Rahmenbedingungen zur Datenübernahme aus dem TTA hat sich eine positive Dynamik entwickelt, um von den formulierten Anforderungen im Datenkatalog zu den ausgeführten Spezifikationen des Datenloggings für die finalen TTA-App zu gelangen. Beide Schritte sind im Folgenden ausgeführt.

3.2.1 Anforderungen

Mit der Entwicklung der TTA-App wurde ein Baustein geschaffen, der eine große Skalierung der angestrebten FOTs erlaubt. Vor diesem Hintergrund war eine Zahl von 3.000 Teilnehmern einerseits ein ambitioniertes Ziel aber andererseits aus technischer Sicht durchaus realisierbar. Das hat auch Einfluss auf die gesamte Datenerhebung, denn es kann keine Spezialhardware eingesetzt werden, sondern nur verfügbare, massenmarktfähige Geräte wie z. B. Smartphones. Diese Rahmenbedingungen sind für eine wissenschaftliche Evaluation nicht ideal, daher wurden diese in IMPAKT in zweierlei Hinsicht konstruktiv aufgegriffen:

- Mit 50 vorgesehenen TomTom Geräten die im Wechsel an 100 NutzerInnen vergeben werden sollten, bestand die Möglichkeit in beschränktem Umfang Einfluss auf die auszuwählende Technologie und die Installation in private Fahrzeuge zu nehmen. Hierfür wurden entsprechende Anforderung von Seiten IMPAKT formuliert.
- Im Gegensatz dazu kommt die TTA-App als reines SW-Modul zum Einsatz, das auf den unterschiedlichsten Endgeräten laufen kann und somit ist kein Einfluss hinsichtlich HW oder Installation möglich. Daher müssen die Prozesse des Datenlogging flexibel gehalten sein, aber dennoch ein Maximum an Information aufgreifen können.

Der gewählte zweigleisige Ansatz (mit eigenen Geräten und als App) des TTA hatte einen weiteren Vorteil für IMPAKT, indem die erzielbare Qualität der beiden Vorgehensweisen gegeneinander verglichen werden können.

Die möglichst präzise Verortung und hohe Verfügbarkeit von Positionssignalen während der Fahrten im TTA ist eine wesentliche Anforderung bei der Auswahl geeigneter Smartphones / Tablets die mit der TTA-App ausgestattet werden. Vor diesem Hintergrund wurden in Abstimmung zwischen TarffiCon / PWP und ATE folgende Anforderungen an GPS-Module bzw. Smartphones / Tablets gestellt. :

- Verwendung von neuen am Markt verfügbaren Empfänger-Technologien.
- Die GPS-Antenne sollte auf dem Fahrzeugdach angebracht sein und die Einbauposition dieser Antenne sollte in der Datenbank hinterlegt sein, oder mittig in Bezug auf die Fahrzeuglängsachse platziert sein.
- Eine hohe Empfangsempfindlichkeit des GPS-Moduls, mit kurzer TTFF-Zeit (Time To First Fix) und schneller Signal-Reakquisition sollte gewählt werden.
- Das GPS-Modul sollte EGNOS-fähig sein (Empfang der EGNOS Signale direkt durch die GPS-Antenne)
- Die Berechnung von PVT (Position, Velocity und Time) mit 1 Hz Updaterate plus Fahrzeug-ID sollte als Minimalanforderung gewährleistet sein.

- Aufzeichnung von folgenden NMEA-Datensätzen (NMEA-0183-Format): RMC, GGA, GLL, GSA, GSV, VTG und ZDA.

Ob und in welcher Form diese Anforderungen vom Entwicklungsteam des Telematik Testfeldes erfüllt werden kann, lag außerhalb des Einflussbereichs von IMPAKT, aber im Dezember 2011 wurden diese Informationen frühzeitig in den Entwicklungsprozess eingespeist. Während diese Anforderungen nur für die zu beschaffende HW der TomTom Geräte relevant waren, wurden die Anforderungen an die SW des Datenloggings allgemeingültig formuliert.

Falls die Vorkehrung getroffen wurde, dass die Daten auf der Fahrzeug-OBU vorverarbeitet werden, können die Daten dann gleich u. a. aus den NMEA-Formaten extrahiert und für die Übertragung deutlich reduziert werden. Dieser Ansatz ist platzsparend in Bezug auf den benötigten Speicher, kostet aber Prozessorleistung. Daher war abzuwägen, welche Vorgehensweise angemessen ist. Zunächst wurde die Ressource Speicherplatz im TTA höher bewertet, worauf IMPAKT folgende Datenstruktur erarbeitete:

- Fahrzeug-ID (bzw. Smart-Phone-ID)
- Zeit/Datum (in Sekunden seit 01.01.2012)
- Empfänger-Typ (GPS-Modul, z. B. ist EGNOS-Fähigkeit gegeben)
- Valid – Flag
- Fix-Status (1 = normal; 2 = EGNOS; 6 = Dead Reckoning)
- Latitude
- Longitude
- Altitude
- Fahrtrichtung (aus GPS, nicht aus anderen Smart-Phone-Sensoren)
- Geschwindigkeit
- HDOP
- Satelliten-Anzahl (oder PRN-flag-word)
- Interner Check für validity flag (nur valide Daten sollen aufgezeichnet werden).
- Interner Check für stand (im Stand müssen keine Daten aufgezeichnet werden).
- Dennoch soll jede Sekunden mindestens ein Status gespeichert werden, aus dem hervorgeht, ob „invalid“, „Stand“, etc.
- PRN als 32-bit-word – je ein flag = 1 setzen für sichtbaren Satellit (PRN = [0..31]; (GSA)
- S2N als 32-bit-word – je ein flag = 1 setzen für Satellit mit „signal to noise ratio“ > 30 (GSV)
- ELV als 32-bit-word – je ein flag = 1 setzen für Satellit mit „elevation“ > 15 (GSV)

Das hier vorgeschlagene Format reduziert die Datenmenge um mehr als Faktor 10 im Vergleich zur Aufzeichnung der unverarbeiteten NMEA-Datensätze. Neben den GPS-Tracks sind jedoch noch weitere Datenquellen und Information aufzuzeichnen, die zum Teil auf das einzelne Fahrzeug bezogen sind und zum Teil durch stationäre Infrastruktursysteme erfasst werden.

- **Detektor-Daten der Straßeninfrastruktur**
Straßenseitig sind im Testgebiet Detektoren in die Fahrbahnen eingebaut (separat für jede Fahrspur). Die Detektoren müssen jedes einzelne Fahrzeug, mit dem Zeitpunkt der Überfahrt (in UTC), der Fahrzeugklasse (Lkw oder Pkw) und der Detektor-ID aufzeichnen.
- **Kommunikations-Daten**
Alle Informationen die von der Leitstelle an das Fahrzeug übertragen werden müssen mit exaktem Zeitstempel (in UTC) erfasst werden, für den Zeitpunkt der Versendung und für den Zeitpunkt des Empfangs.
- **Schaltzustände im Endgerät**
Sämtliche Schaltzustände in den Endgeräten (TTA-App oder TomTom-Gerät) sind aufzuzeichnen, insbesondere die Zeitpunkte für die Einblendung von Verkehrsinformationen, die Meldungs-ID (Schaltzustände als Katalog von der Leitzentrale) und der zugehörige Zeitstempel (bezogen auf den Zeitpunkt der Anzeige).

Die einzelnen Datenanforderungen umfassen kinematische und stationäre Daten und wurden im IMPAKT Datenkatalog (siehe Anhang A3) formuliert.

3.2.2 Spezifikation

Die strukturierte Art der formulierten Anforderungen an das TTA und die im IMPAKT Konsortium vorhandene Kompetenz hinsichtlich geeigneter Positionierungstechnologien führten dazu, dass Trafficon und pwp-systems direkt in die notwendigen Spezifikationsarbeiten integriert wurden. Im Rahmen des AP 6000 „Assessment Methodology“, das von HiTec geleitet wurde, hat IMPAKT das Entwicklungsteam in dieser Hinsicht unterstützt. Die geleisteten Beiträge bezogen sich insbesondere auf die kinematischen Datenformate, die durch die TTA-App und TomTom Geräte zu erfassen waren.

Entgegen den geltenden Annahmen während der Anforderungsphase, wurden die Prioritäten in Bezug auf die OBU-Ressourcen verändert und der Fokus wurde auf die Einsparung von Entwicklungsleistungen gelegt. Somit wurde nicht mehr der Ansatz des minimalen Speicherplatzverbrauchs verfolgt, sondern die Wiederverwendbarkeit vorhandener Formate in den Vordergrund gestellt. D. h., dass insbesondere die GPS-Tracks in dem NMEA-Format belassen werden, in dem sie vom GPS-Modul übertragen werden und die weiteren kinematischen Daten in Anlehnung an dieses Format zu spezifizieren sind. Auf dieser Grundlage wurden vom IMPAKT-Team im Rahmen des AP2 folgender Vorschlag erarbeitet:

Allgemeine Anforderungen an die Datenaufzeichnung für die Fahrzeuge im TTA:

- Aufzeichnung der Fahrzeug-ID, NutzerIn-ID und Geräte-ID (als einmaliger Eintrag pro aufgezeichnetem Fahrtverlauf).
- Im Datei-Namen sind Datum und Uhrzeit (UTC) zum Start der Aufzeichnung zu vermerken. („TT_FLU_ID_20120803_102734.nmea“ bzw. „TT_TOM_ID_20120803_102734.nmea“)
- Berechnung und Aufzeichnung von PVT (Position, Velocity und Time) mit 1 Hz Update-rate.

Aufzeichnung der NMEA-Datensätze aus dem GPS-Modul:

- Es sind die NMEA-Datensätze RMC, GGA, GSA und GSV (besteht aus bis zu 5 Zeilen oder Subframes) aufzuzeichnen.

- Die enthaltene chksum der NMEA-Strings sollte unbedingt mit aufgezeichnet werden, um auch während der weiteren Verarbeitung entsprechende Kontrollen anwenden zu können.
- Die Reihenfolge der vom GPS-Modul übergebenen NMEA-Strings ist unbedingt beizubehalten.
- Diese Angaben beziehen sich auf die Format-Version: NMEA-0183.

Alle Daten sollten in einem allgemeinen Textformat aufgezeichnet werden in Anlehnung an das NMEA-Format (→ Aufzeichnung zusätzlicher Information, die TT/IMPAKT spezifisch sind, in einem proprietären Format)

- Pro Datensatz eine Zeile (die mit newline carriage return abschließen).
- Die einzelnen Datenfelder werden durch „,“ (Komma) separiert.
- Die Darstellung von Dezimalzahlen mit Nachkommastellen erfolgt in Englischer Konvention mit „.“ (Punkt) als Dezimaltrennzeichen.
- Jeder Datensatz muss mit einem eindeutigen Prefix beginnen (z. B. „\$TTMSG“)
- Die ersten 3 Zeichen „\$TT“ zur Markierung als Telematik-Testfeld-Information.
- Die folgenden 3 Zeichen z. B. „MSG“ zur Spezifizierung des jeweiligen Subframes.
- Für die Datensätze „\$TTASG“ „\$TTMSG“ „\$TTPOP“ ist die abschließende chksum zu berechnen und anzufügen.

Im Folgenden sind die „\$TT“ Datenstrings bzgl. ihres Formates spezifiziert:

- “\$TTASG”
Beschreibung: Enthält die Messwerte der ASG-Box von Audio-Mobil
Update Rate: 10Hz
Parameter:
P1: Zeitstempel in UTC [s]
P2: Straßenzustand
P3: longitudinale Beschleunigung [m2/s; 3 Nachkommastellen]
P4: laterale Beschleunigung [m2/s; 3 Nachkommastellen]
P5: vertikale Drehrate [°/s; 3 Nachkommastellen]
Beispiel: \$TTASG,1234567.89,XXSZXX,12.345,12.345,23.456*XY
- “\$TTMSG”
Beschreibung: Enthält die Zeitpunkte für die Generierung, Übertragung und Anzeigen von kooperativen TT-Messages
Update Rate: Nur bei Ereignis (unregelmäßig)
Parameter:
P1: Zeitstempel in UTC [s]
P2: ID der Message
P3: Zeitpunkt zu dem die Message generiert wurde in UTC [s]
P4: Zeitpunkt zu dem die Message im Fahrzeug empfangen wurde in UTC [s]
P5: Zeitpunkt zu dem die Message im Fahrzeug angezeigt wurde in UTC [s]
Beispiel: \$TTMSG,1234567,XXIDXX,1234567,1234567,1234567*XY
- “\$TTPOP”
Beschreibung: Enthält die Eingabewerte der Testperson aus den POP-UP-Windows vor und nach der Fahrt

Update Rate: Nur bei Ereignis (unregelmäßig)

Parameter:

P1: Zeitstempel in UTC [s]

P2: ID des Fahrzeug

P3: ID der FahrerInnen

P4: ID des Gerätes

P5: POP-UP-ID (1 = pre-trip; 2= post-trip)

P6: FahrerIn (0 = keine Angabe; 1 = registrierte/r FahrerIn; 2 = andere/r FahrerIn)

P7: Haben die FahrerInnen die TT-Instruktionen befolgt (0 = keine Angabe; 1 = Ja; 2 = Nein)

Beispiel: \$TTPOP,1234567, XXIDXX, XXIDXX, XXIDXX,1,2,0*XY

Die Vergabe der entsprechenden IDs für Fahrzeug, FahrerInnen, Gerät, Message, etc. muss aus dem Telematik Testfeld heraus erfolgen, hier wurde an diesen Stellen jeweils der String: „XXIDXX“ als Platzhalter eingesetzt. Das gleiche gilt für die Beurteilung des Straßenzustandes, welcher im vorliegenden Dokument mit dem String: „XXSZXX“ als Platzhalter bezeichnet wurde.

Die Angabe der UTC-Zeit in Sekunden bezieht sich auf Tagesbeginn (00:00 Uhr UTC), da das Datum im Dateinamen und im RMC-Frame enthalten ist. Auf dieser Basis wurde das Datenlogging von den Entwicklungspartnern des Testfeldes Telematik umgesetzt und in Abstimmung mit IMPAKT weiter verfeinert. Die zusätzlichen Spezifikationsarbeiten von Seiten IMPAKT wurden kurz nach Erstellung des Anforderungskatalogs begonnen (Frühjahr 2012) und sind vollständig in ihrer finalen Form im Assessment Bericht dokumentiert (relevante Auszüge des Berichts sind in Anhang A4 enthalten). Die ersten Log-files aus Testfahrten wurden von IMPAKT analysiert und qualitätsgesichert, so dass für die Durchführung der Demonstrationsphase keine Probleme bezüglich der Datenübergabe aufgetreten sind.

3.3 Fahrstreifen genaue Detektion des Fahrverhaltens unter Verwendung von GPS-Daten

3.3.1 Anforderungen und Analyse

Durch kooperative Dienste sollen im TTA fahrstreifenbezogene Informationen ins Fahrzeug übertragen werden. Daher sind in IMPAKT auch fahrstreifenbezogene Analysen mit Einzelfahrzeugerkennungen des Fahrverhaltens geplant.

Die GPS-Daten aus Einzelfahrten sind eine maßgebliche Grundlage für die Wirkungsermittlung der technischen Systeme im TTA.

Folgende Informationen sollen aus den GPS-Trajektorien abgeleitet werden:

- Rückschlüsse auf typische Bewegungskennwerte (Geschwindigkeit, Beschleunigungen, Drehraten) und Verhaltensmuster für die automatisierte Erkennung des Fahrverhaltens auf Basis der im TTA erhobenen Daten.
- Fahrverhaltenserkennung (Stau, Stop-and-Go, Fahrstreifenwechsel, ggf. weitere Verhaltensmuster aus den Diensten von dem Telematik Testfeld).
- Datengrundlage für die empirische Berechnung des Fahrverhaltens bezogen auf Netzgraphen

Den genauen Ablauf der GPS-Datenanalyse zeigt Abbildung 11.

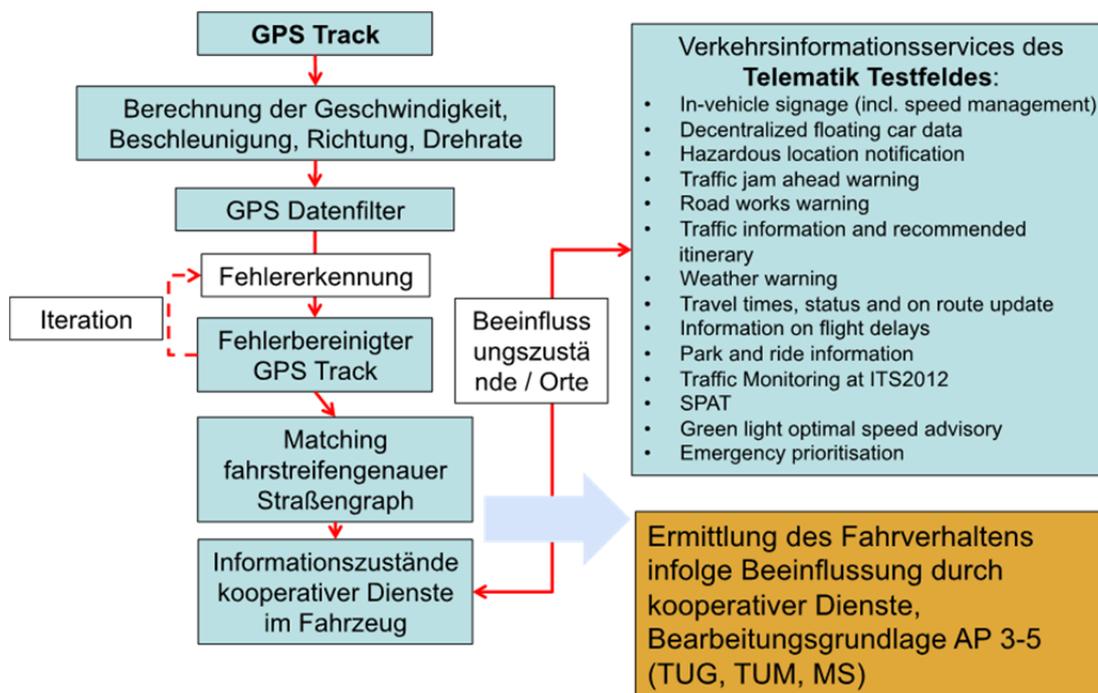


Abbildung 11: Ablauf der GPS-Datenauswertung

Um den dargestellten Prozess erfolgreich zu durchlaufen sind im Wesentlichen folgen Daten aus den Systemen des TTA zu erfassen:

- Einzelfahrzeugpositionen und genaue Uhrzeit (basierend auf GPS-Daten)
- Qualität der GPS-Signale an einzelnen Positionen (zur Validierung der Positionsgenauigkeit und somit der Verwertbarkeit der Daten)
- Informationszustände im Fahrzeug mit genauer Uhrzeit und Position.

Die einzelnen Datenanforderungen wurden im Datenkatalog (siehe Anhang A3) als Record R.01 spezifiziert und werden hier entsprechend der dort enthaltenen Datenfeld-ID referenziert. Im Folgenden sind die technischen Anforderungen an diese GPS-Tracks begründet:

- **1 Hz Aufzeichnungsrate:**
Aufgrund der Reaktionszeit des Menschen und der Trägheit von Fahrzeugen bezüglich ihrer Kinematik ist 1 sek ein vernünftiger Kompromiss und bildet gleichzeitig die minimale Anforderung, um aus der Analyse von einzelnen Fahrprofilen (GPS-Tracks) auf die Verhaltensweisen des Fahrers bzw. der Fahrerin zu schließen. Weiterhin wurde diese Eigenschaft bereits im Antragsverfahren des Projektes in Aussicht gestellt.
- **Parameter der GPS-Tracks (Zeit, Position, Geschwindigkeit, Richtung):**
Diese Parameter umfassen die grundlegenden Datenfelder, um einen GPS-Track einer Straße zuzuordnen und anhand des Geschwindigkeitsprofils auf die Verhaltensweise des Nutzers oder die Nutzer zu schließen. Die Zeitinformation ist essentiell, um die erkannten Verhaltensweisen den dort herrschenden Verkehrszuständen zuordnen zu können.
Betroffene Records: R.01.01, R.01.02, R.01.03
- **Gültigkeits-Informationen der GPS-Tracks:**
IMPAKT beabsichtigt die Fahrprofile anhand von GPS-Daten auszuwerten, da erscheint

es selbsterklärend, dass die gelieferten Daten gültig sein müssen und durch GPS unter ausreichenden Empfangsbedingungen berechnet wurden. Diese Gültigkeitsinformation stellt eine Grundanforderung für jegliche Datenerfassung dar. Der Fix-Status „6“ (keine gültigen GPS-Daten) tritt u. a. dann auf, wenn keine ausreichende Anzahl von Satelliten zur Positionsbestimmung gegeben ist und aus den Dopplerinformationen von einzelnen Satelliten auf die Bewegung geschlossen wird.

Betroffene Records: R.01.09, R.01.12, R.01.13

- **Qualitätsparameter Priorität:**

Durch Zusatzinformationen zur Positionsrechnung bietet jeder GPS-Empfänger die Möglichkeit, auf die herrschenden Empfangs-Bedingungen zu diesem Zeitpunkt zu schließen. Durch Auswertung dieser Zusatzinformationen lassen sich Qualitätsaussagen hinsichtlich der zu erwartenden Güte der jeweiligen Positionsrechnung ableiten. Diese Daten wurden gemäß ihrer Wichtigkeit in 2 Prioritätsstufen unterteilt:

- Qualitätsparameter Priorität 1: Betroffene Records R.01.04, R.01.10;
- Qualitätsparameter Priorität 2: Betroffene Records R.01.011, R.01.14, R.01.15, R.01.16, R.01.17, R.01.18, R.01.20, R.01.21

3.3.2 Fehlende fahstreifengenaue Straßengraphen

Eine wesentliche Grundlage für die in IMPAKT geplanten Wirkungsermittlungen ist ein fahstreifengenaues Straßengraph. Das bislang am Markt verfügbare digitale Kartenmaterial von Navteq und Teleatlas bildet ausschließlich eine Fahrbahnachse des Straßennetzes als geografisches Objekt ab (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12: Darstellung des Straßennetzes mit nur einem Netzgraphen in Wien

Deutlich ist zu erkennen, dass für jede Richtungsfahrbahn nur ein geografisches Objekt modelliert ist. Für die im Projekt IMPAKT angestrebte Wirkungsermittlung des Fahrverhaltens (z. B. Fahrstreifenwechselfverhalten auf Autobahnen) ist die fahstreifengenaue Modellierung des Straßennetzes erforderlich.

3.3.3 Hochgenaue Erfassung einzelner Fahrstreifen

In einem ersten Bearbeitungsschritt ist die exakte Lage der Fahrstreifenmittelachsen im betrachteten Untersuchungsgebiet zu ermitteln. Hierzu wurden mit dem Versuchsfahrzeug von pwp-systems Messfahrten durchgeführt, welche auf Basis der hochwertigen Ausrüstung eine zuver-

lässige Ermittlung der gefahrenen Trajektorie mit 100-prozentiger Verfügbarkeit liefert. In das Versuchsfahrzeug wurde ein Zweifrequenzempfänger zur exakten Verarbeitung von GPS Daten mit kinematischer Phasenauswertung im post-processing Verfahren integriert, zusammen in einer dreiachsigen, inertialen Navigations-Einheit und einem hochauflösenden, externen Radimpulsgeber.



Abbildung 13: Concept-Car, Navigations-Ausrüstung zur Vermessung der Fahrstreifen

Während der Radimpulsgeber (Corrsys) die Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit hoher Güte ermittelt (Auflösung von ca. 2 Millimeter pro Puls), werden durch eine inertielle Navigationseinheit (INU), wie sie in Abbildung 13 dargestellt ist, alle 6 Freiheitsgrade der kinematischen Bewegung gemäß ihrem physikalischen Prinzip erfasst. Dafür sind in dieser INU 6 unabhängige Sensoren enthalten, welche die zugrunde liegende Beschleunigung und Drehraten in allen 3 Bewegungsachsen messen. Durch dieses Verfahren ist die INU nahezu immun gegen jegliche Störeinflüsse, die von der Umgebung herrühren können. Diese Unempfindlichkeit gegenüber Störungen ermöglicht eine 100-prozentige Verfügbarkeit, da mithilfe dieser Sensordaten die Positionen auch an abgeschatteten Orten, wie Tunneln, sicher ermittelt werden.

Die Technologie der Satellitennavigation eröffnet Genauigkeitspotenziale bis in den Zentimeterbereich. Um dieses Leistungspotenzial zur Ermittlung der Referenz-Trajektorie zu nutzen, müssen spezielle GPS-Empfänger eingesetzt werden, wie sie für wissenschaftliche Anwendungen verwendet werden. Im Versuchsfahrzeug (siehe Abbildung 13) ist ein geeigneter GPS-Receiver abgebildet. Im Gegensatz dazu sind handelsübliche GPS-Empfänger wie sie in Fahrzeugen zur Navigation zum Einsatz kommen relativ ungenau. Positionsungenauigkeiten von mehr als 10 m sind dabei keine Seltenheit, weshalb solche Module nicht für die Ermittlung der Referenz-Trajektorie geeignet sind. Zusammen mit dem Radimpulsgeber und der INU stellt der hochwertige GPS-Empfänger ein essentielles Werkzeug dar, zur Analyse und Bewertung der Fahrstreifenfassung mittels kartografischer Verfahren.

Streckenbefahrungen mit Referenzeinheiten für alle Fahrstreifen sind aufwändig und kostenintensiv. Alternativ können Luftbilder als Grundlage für die digitale Modellierung genutzt werden. Dabei ist allerdings zu prüfen, ob die Orthophotos genau verortet sind und nur geringe Verzerrungen aufweisen (<1 m). Daher wird empfohlen eine Kombination aus Referenzfahrten und der Digitalisierung mit Luftbildern vorzusehen. Bei den Referenzfahrten mit einer hochgenauen Positionierungseinheit, bei der nur ein Fahrstreifen befahren wird, wird die Genauigkeit der Luftbilder analysiert.

3.3.4 Modellierung einzelner Fahrstreifen in einem Datenmodell

Könnte durch die Referenzmessung die Lage eines Fahrstreifens exakt verortet werden, können auf dieser Grundlage unter Verwendung von Orthophotos einzelne Fahrstreifen in einem Datenmodell abgebildet werden (vgl. Abbildung 14). Für die Abbildung der Daten wurden ein lokaler OpenStreetMap-Datenserver (OSM-API) eingesetzt. Unter Verwendung von OSM-Technologien werden der fahrstreifengenaue Straßengraph als auch die Einzelfahrzeugdaten während der Messfahrten im TTA mit folgenden Informationen hinterlegt:

- Einzelfahrzeugpositionen (GPS-Tracks / FC-Daten)
- Im Fahrzeug angezeigte Information aus kooperativen Diensten (Nachrichten-ID, Zeitstempel)



Abbildung 14: Fahrstreifenfeine Modellierung – Bsp. Wien, Südosttangente (A23) [Quelle: geoland.at, eigene Netzmodellierung]

Der fahrstreifenfeine Straßengraph wurde für das Gebiet des Testfeld Telematik erstellt und steht für weitere wissenschaftliche Arbeiten im OSM-Format zur Verfügung.

3.3.5 Analyse der GPS Qualität

Ein wesentliches Element von IMPAKT ist die Erfassung des Fahrverhaltens in der Gegenwart von kooperativen Verkehrsdiensten. Dabei steht die Frage nach der Wirkung von kooperativen Systemen im Vordergrund. In Bezug auf die Erhöhung der Sicherheit sind in diesem Zusammenhang insbesondere das Abstandsverhalten und das Spurwechselverhalten als aussagekräftige Indikatoren zu benennen. Während das Abstandsverhalten nur auf Basis von Einzelfahrzeugdaten an wenigen Messquerschnitten erhoben werden kann, soll das technische Assessment in Bezug auf das Spurwechselverhalten direkt aus den aufgezeichneten GPS-Tracks des TTA erfolgen. Vor diesem Hintergrund wurde zunächst mit dem Concept Car von pwp-systems die Qualität von verschiedenen GPS-Empfängern getestet.

Durch die hochgenaue und 100 prozentig verfügbare Referenz-Trajektorie konnten die Positionsfehler der untersuchten Empfänger exakt quantifiziert werden. In Abbildung 15 ist die Ausstattung des Messfahrzeugs im Innenraum dargestellt. Neben der hochwertigen Messausrüstung war auch ein Video-System an Bord, um die richtige Ermittlung des Fahrstreifens auch durch optische Methoden abzusichern.

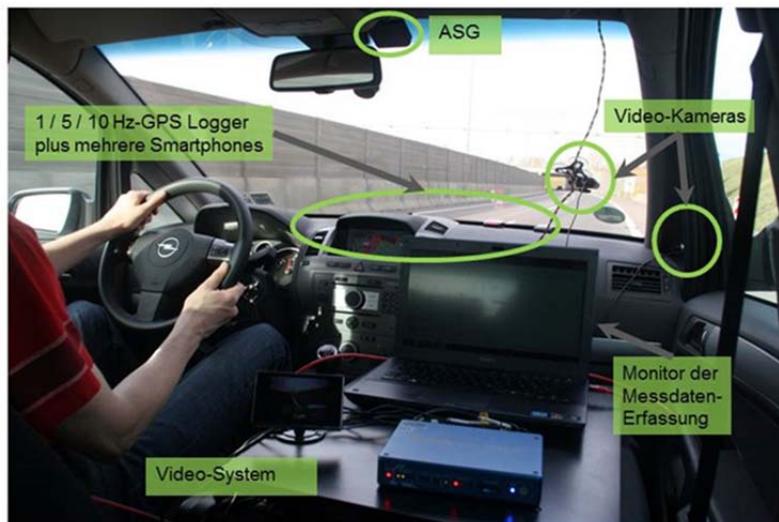


Abbildung 15: Concept Car mit verschiedenen Smartphones und GPS-Loggern

Die Referenzausrüstung selbst war im Heck des Fahrzeugs untergebracht und durch den Monitor konnte die saubere Erfassung aller Messdaten während der Versuchsfahrt ständig überwacht werden. Die zu untersuchenden GPS-Logger und Smartphones waren auf der Ablage gleich hinter der Windschutzscheibe positioniert. Da die Analyse eine dezimetergenaue Ermittlung der Positionsfehler aller Geräte anstrebt, wurde die ermittelte Referenz-Trajektorie vom Fahrzeug-Referenz-Punkt auf die Position der einzelnen Empfänger transformiert, bevor die individuellen Fehlermaße bestimmt wurden. Nach diesem Vorgehen wurden folgende Empfänger untersucht:

- Smartphone Sony / Ericsson
- Smartphone Samsung Galaxy
- Smartphone iPhone 4
- Smartphone HTC Desire
- sowie verschieden GPS-Logger der Marke Qstarz mit 1 Hz und 5 Hz).
Hier wurde der gleiche Empfängertyp verwendet um einen möglichen Einfluss der Update-Rate auf die Wirkungsanalyse zu erkennen.

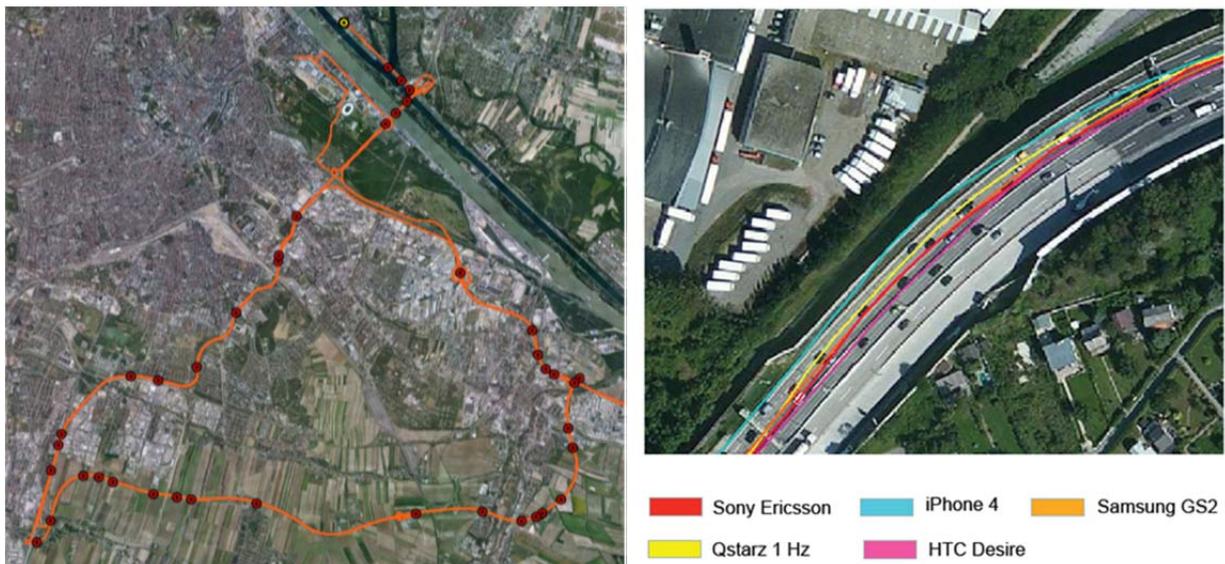


Abbildung 16: Testfeld Telematik Austria (links) und Beispiel von GPS-Fehlern in einer Kurvenfahrt

Typische Fehler-Quellen

Der hochgenauen Referenzmessung wurden die Messungen handelsüblicher Endgeräte gegenübergestellt und potenzielle Fehlerquellen ermittelt. Bei diesen Geräten ist davon auszugehen, dass die GPS-Genauigkeit deutlich geringer ist. Folgende Bereiche wurden für eine fahrstreifenfeine Analyse als kritisch bewertet:

- Tunnelausfahrten
- enge Kurven
- Abschattungen z. B. Troglagen

Darüber hinaus wurden die Smartphones in Bezug auf Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit untersucht. Auf Autobahnen war die Verfügbarkeit für alle Empfänger relative gut mit Ausnahme der Tunnel-Abschnitte, in denen aus physikalischen Gründen kein Empfang möglich ist.

Für systematische fahrstreifenfeine Analysen wurden Anforderungen an die Genauigkeit gestellt. Dabei wurden unterschieden in

- Positionsfehler über der Zeit
- Positionsfehler-Dichte (horizontaler Fehler)
- Laterale Positionsfehler-Dichte (quer zur Fahrtrichtung) - maximal +/- 2 m
- Longitudinale Positionsfehler-Dichte (entlang der Fahrtrichtung) - maximal +/- 30 m

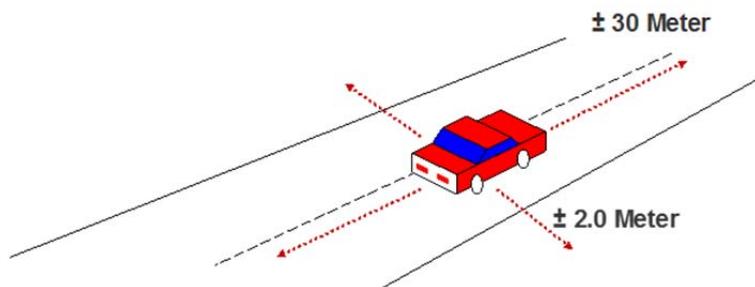


Abbildung 17: Genauigkeitsanforderung in quer zur Fahrtrichtung (laterale Genauigkeit 2 m) und entlang der Fahrtrichtung (longitudinale Genauigkeit 30 m)

In den folgenden Abbildungen sind Ergebnisse in Bezug auf die Positionsgenauigkeit der einzelnen Empfänger durch jeweils vier Diagramme dargestellt. Die gewählten Darstellungsformen für den Positionsfehler ergänzen sich gut und ermöglichen somit einen kompletten Eindruck bezüglich der Leistungsfähigkeit und Eignung für die vorliegende Aufgabenstellung.

Der Begriff der Fehler-Dichte leitet sich aus der Stochastik ab, wo die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion die Ableitung der Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion darstellt und somit das Auftreten eines Ereignisses beschreibt. Der große Vorteil einer Dichtefunktion besteht in dem hohen Detaillierungsgrad mit der die stochastischen Eigenschaften abgebildet werden können, der oft weit mehr aussagen kann als berechnete Kenngrößen (z. B. Mittelwert, Standardabweichung, etc.). Für die Fehlerdichte ist zu beachten, dass nur der Betrag des Fehlers ausgewertet wird und somit alle Werte > 0 sind. Mit 8 Fehlerklassen wird nahezu das gesamte Spektrum an Genauigkeits-Anforderungen im Landverkehr abgedeckt. Von spurgenaue Positionierung in der Halb-Meter-Klasse über herkömmliche Navigationssysteme in den mittleren Klassen (2, 5 oder 10 m) bis hin zu großen Fehlern von 50 oder 100 m wie sie für minutenscharfe Auskunftssysteme akzeptabel sind. Dabei bleibt eine gute Auflösung in den kleinen Klassen erhalten, während die großen Klassen sinnvolle Fehlerbereiche akkumulieren. Mit Blick auf die Dualität zur Wahrscheinlichkeitstheorie bleibt anzumerken, dass das Integral über die Dichtefunktion im Intervall $[-\infty \dots \infty]$ immer 1 ergibt, sowie die Summe der Anteile über alle Fehlerklassen 100 % ergeben muss. Die einzelnen Intervalle für die jeweilige Fehlerklasse definieren sich wie folgt:

- Halb-Meterklasse [0 m \leq Positionsfehler < 0,75 m]
- 1-Meterklasse [0,75 m \leq Positionsfehler < 1,5 m]
- 2-Meterklasse [1,5 m \leq Positionsfehler < 3,5 m]
- 5-Meterklasse [3,5 m \leq Positionsfehler < 7,5 m]
- 10-Meterklasse [7,5 m \leq Positionsfehler < 15 m]
- 20-Meterklasse [15 m \leq Positionsfehler < 35 m]
- 50-Meterklasse [35 m \leq Positionsfehler < 75 m]
- 100-Meterklasse [75 m \leq Positionsfehler]

Genauigkeit Qstarz GPS-Logger 1 Hz

In Abbildung 18 ist der GPS-Logger von Qstarz mit einer Update-Rate von 1 Hz ausgewertet und in der Darstellung oben links ist gut zu erkennen, dass immer wieder Fehler in der Größenordnung von 30 bis 80 m auftreten. Die meisten Positionsfehler sind jedoch < 20 m, allerdings kann die Darstellung über der Zeit nicht aufzeigen wie sich die Fehlerwerte verteilen. Dementsprechend bildet die Darstellung der Fehlerdichte oben rechts eine gute Ergänzung, in der klar zu erkennen ist, dass ca. 45 % der Fehlerwerte in der 5-Meterklasse liegen und mit über 20 % auch die 2- und 10-Meterklassen stark besetzt sind.

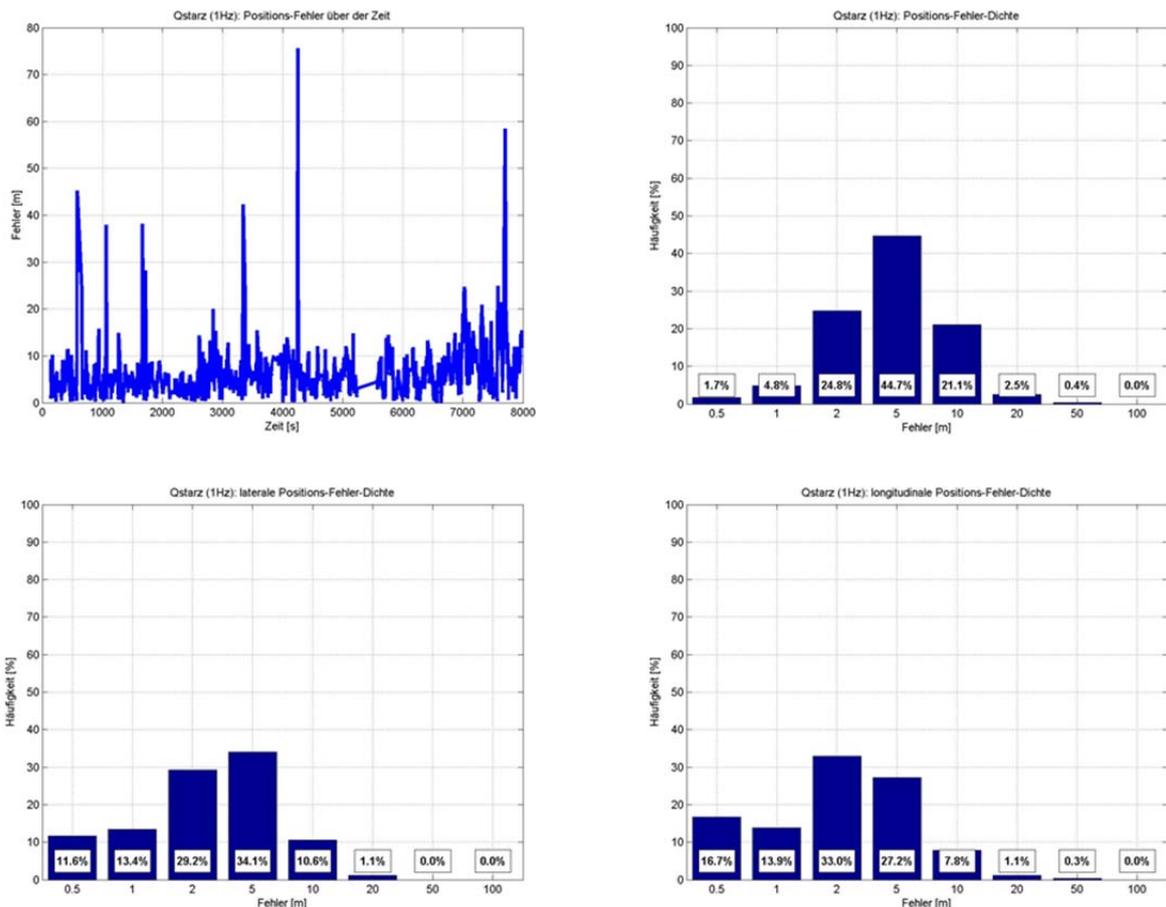


Abbildung 18: Auswertung der Positionsfehler des Qstarz (1Hz) Empfängers

Für die Ermittlung des Spurwechselverhaltens müssen die GPS-Tracks der richtigen Spur zugeordnet werden können, was bei einer Spurbreite von 3,6 m (Autobahn) bis zu einem Fehlermaß von 1,5 m gut möglich ist. Entscheidend für dieses Fehlermaß ist jedoch nur der Fehleranteil quer zur Fahrtrichtung (lateraler Positionsfehler), während der Fehleranteil entlang der Fahrtrichtung (longitudinaler Positionsfehler) hier keine Rolle spielt. Hätte man einen Ausstattungsgrad von 100 % der Fahrzeuge, dann könnte über alle GPS-Tracks auch das Abstandsverhalten ermittelt werden und für diesen Anwendungsfall wäre nur der longitudinale Fehleranteil von Bedeutung. Das sind jedoch nur theoretische Überlegungen, denn ein Ausstattungsgrad von 100 % wird sich in der Praxis nicht einstellen.

Betrachtet man die laterale Fehlerdichte unten links, so liegen ca. 25 % der Positionen im gewünschten Bereich. Es ist auch zu erkennen, dass laterale und longitudinale Fehlerdichte relativ ähnlich sind, was bei stochastischen Fehleranteilen auch zu erwarten ist. Des Weiteren sind die einzelnen Fehleranteile in lateraler und longitudinaler Richtung kleiner als die Dichte des hori-

zontalen Positionsfehlers, was ebenfalls plausibel ist, da diese Darstellung ob rechts die beiden Fehleranteile vektorielle addiert.

Genauigkeit Qstarz GPS-Logger 5 Hz

In Abbildung 19 sind nach dem gleichen Schema die Ergebnisse des GPS-Loggers von Qstarz mit einer Update-Rate von 5 Hz dargestellt. Im Vergleich zu Abbildung 18 fällt auf, dass die maximalen Fehler < 50 m bleiben, allerdings ist die Häufigkeit in der 20- und 50-Meterklasse mit 4,5 % etwas höher als beim 1 Hz Logger. In den kleineren Fehlerklassen hat der 5 Hz-Empfänger dagegen bessere Werte als der 1 Hz-Empfänger. Insgesamt ist das Leistungsverhalten beider Empfänger allerdings recht ähnlich, denn der Hauptfehlerbereich mit ca. 45 % in der 5-Meterklasse ist auch hier gegeben.

In Bezug auf die korrekte Spurerkennung liegen in dieser Auswertung ca. 26 % der lateralen Abweichung in er Halb- bzw. 1-Meterklasse, was ebenfalls der Leistung des 1 Hz-Empfängers entspricht.

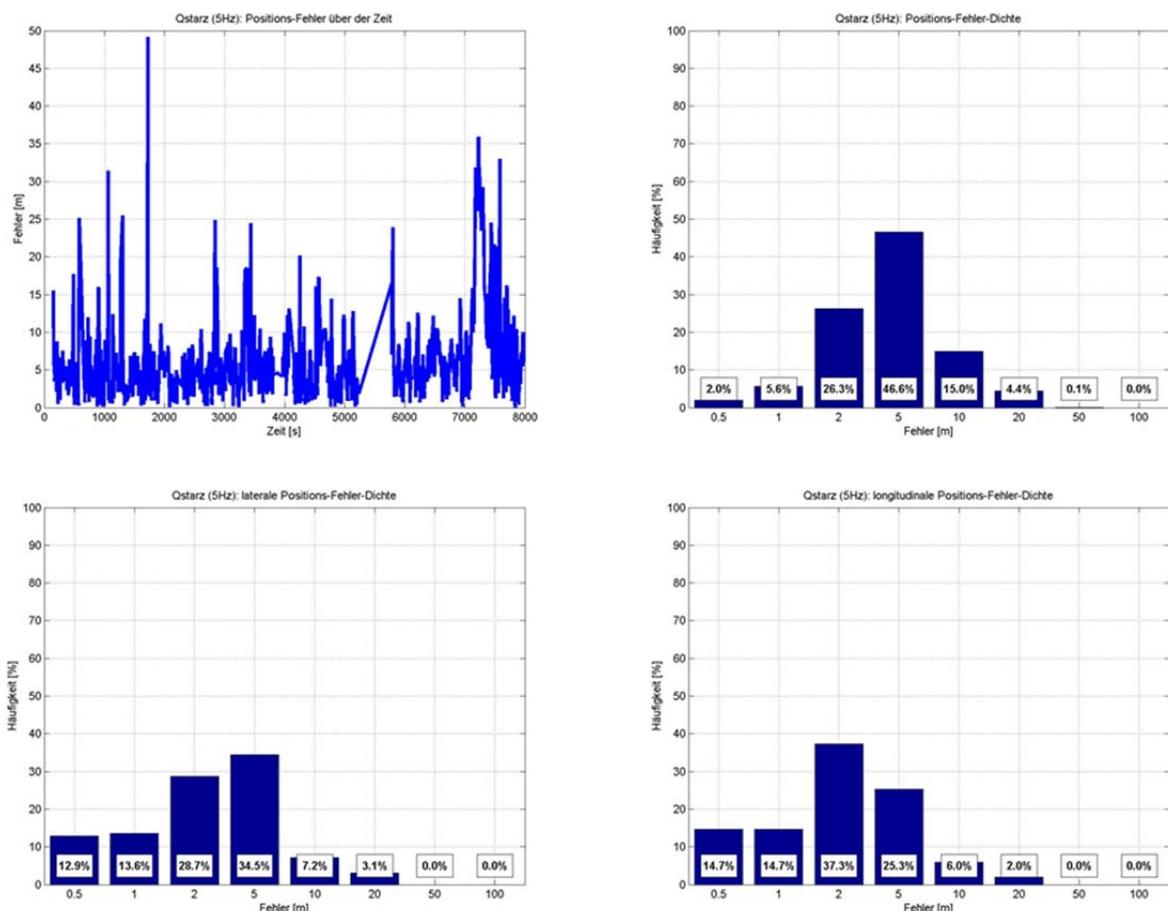


Abbildung 19: Auswertung der Positionsfehler des Qstarz (5Hz) Empfängers

Genauigkeit Sony / Ericsson Smartphone

Mit einem maximaler Positionsfehler von über 100 m zeigt das Smartphone von Sony / Ericsson größere Ausreißer als die GPS-Logger (siehe Abbildung 20). Andererseits zeigt die Fehlerdichte auch, dass ca. 18 % größer oder gleich der 10-Meterklasse sind. Hier hatten die beiden GPS-Logger mit 19 % bzw. 24 % sogar größere Anteile. Die Aufteilung in laterale und longitudinale Fehlerdichte zeigt recht ähnliche Werte, so dass auch hier von stochastischen Zusammenhängen ausgegangen werden kann. Die Summe der Häufigkeiten der beiden kleinen Fehlerklassen ergibt ca. 38 %, was wiederum deutlich besser Bedingungen für die Spurerkennen erwarten lässt.

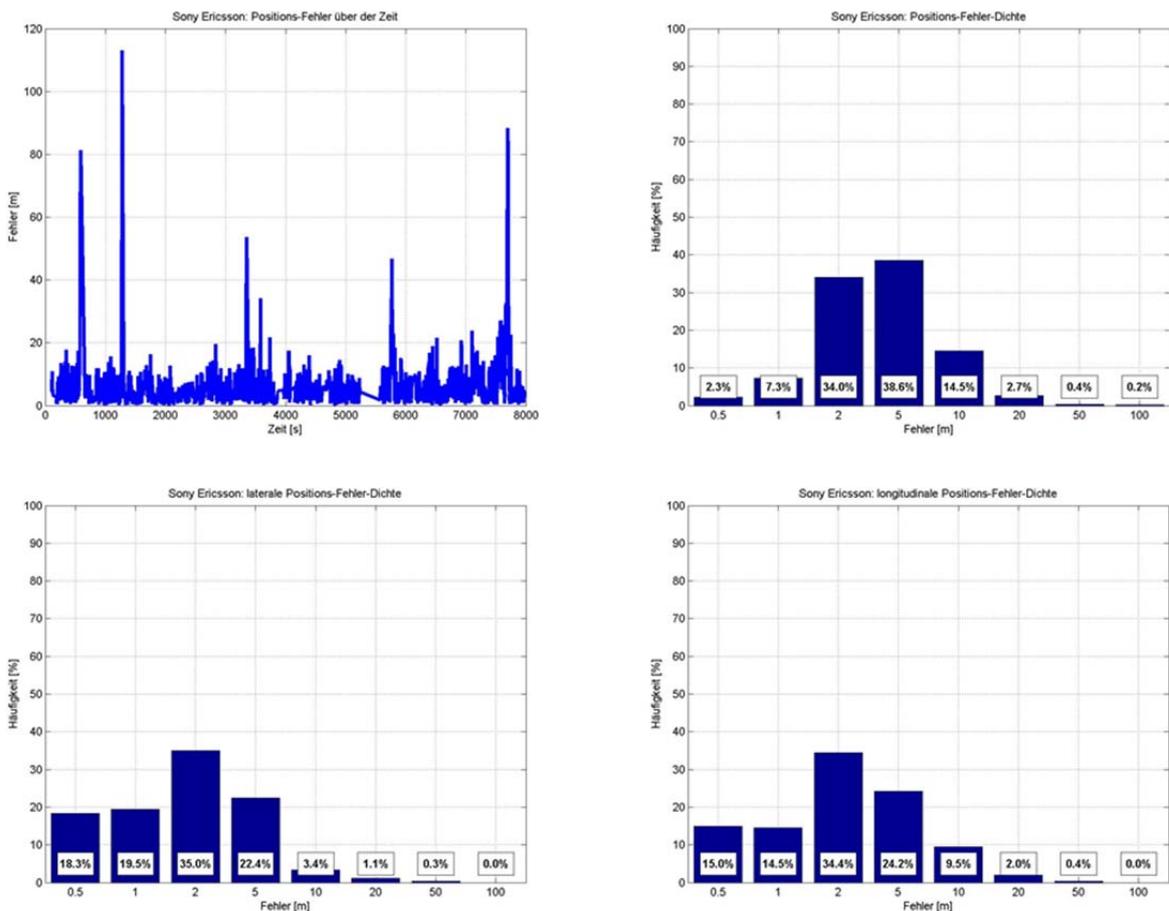


Abbildung 20: Auswertung der Positionsfehler des Sony / Ericsson Smartphones

Genauigkeit Samsung Galaxy S2 Smartphone

In Bezug auf die korrekte Spurerkennung zeigt das Samsung Galaxy S2 Smartphone mit einem Anteil von 37 % der lateralen Abweichung in der Halb- bzw. 1-Meterklasse, ein ähnliche gutes Resultat wie das Smartphone von Sony / Ericsson. Die Fehlerdichte auch, dass nur ca. 12 % größer oder gleich der 10-Meterklasse sind, was einem recht geringen Anteil entspricht. Auch der der Hauptfehlerbereich mit ca. 43 % in der 2-Meterklasse zeigt insgesamt etwas bessere Werte als die anderen Empfänger. Die gesamte Auswertung dieses Empfängers ist in Abbildung 21 dargestellt.

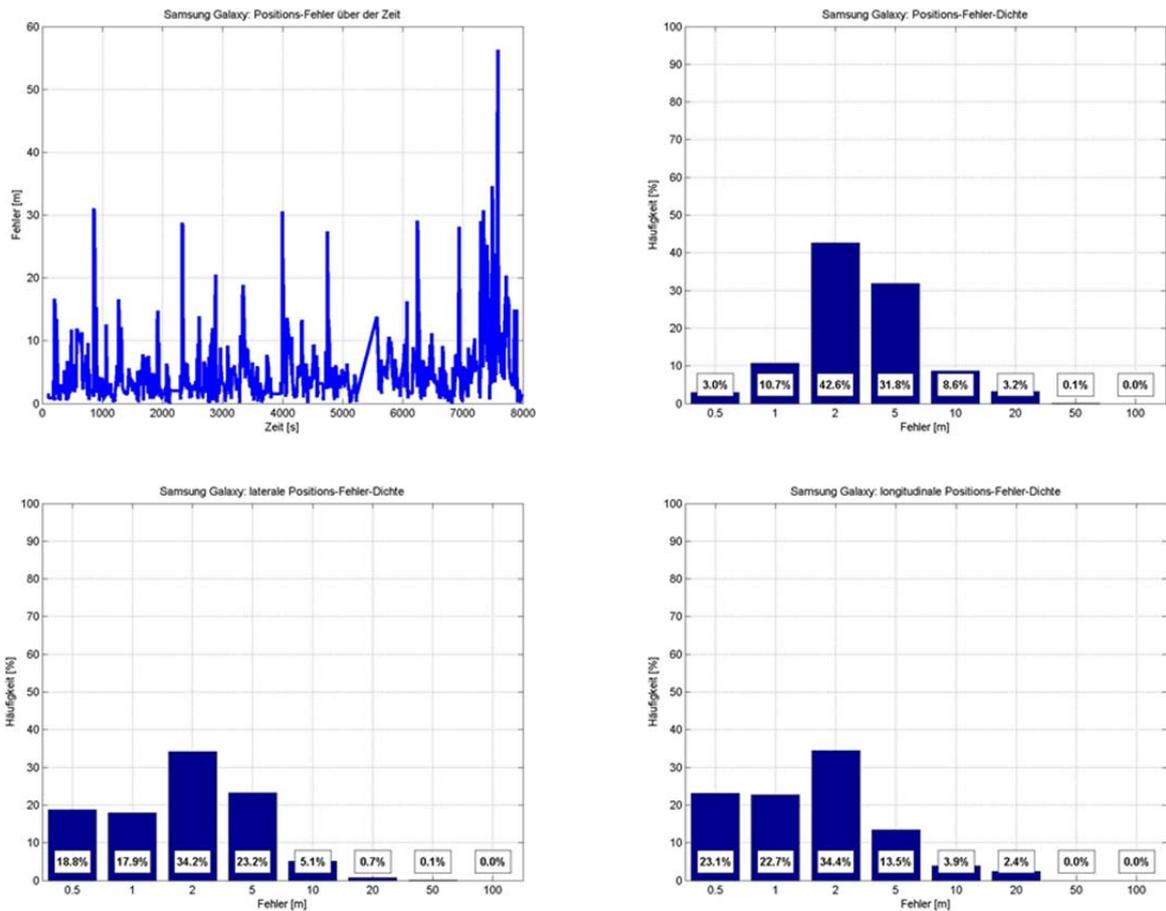


Abbildung 21: Auswertung der Positionsfehler des Samsung Galaxy Smartphones

Genauigkeit HTC Desire Smartphone

Das dritte untersuchte Smartphone HTC Desire fügt sich mit ca. 36 % der lateralen Fehleranteile in der Halb- oder 1-Meterklasse gut in die ermittelte Leistungsfähigkeit der zuvor untersuchte Smartphones ein. Mit einem maximaler Fehler < 35 m hat der hier eingesetzte Empfänger allerdings weniger starke Ausreißer. Die gesamte Auswertung ist in Abbildung 22 dargestellt. Obwohl dieses Smartphone keine ganz großen Positionsfehler zeigt, so ist doch deutlich zu erkennen, dass die horizontalen Positionsfehler oben rechts mit ihren Hauptfehlerbereich mit ca. 48 % in der 10-Meterklasse aufweisen. Dieser Wert steht in deutlichem Kontrast zu den vorausgegangen Smartphones. Vergleicht man die lateralen und longitudinalen Fehler miteinander, so sind die Unterschiede noch deutlicher zu erkennen. Während der laterale Fehleranteil ca. 74 % in der 2-Meterklasse oder kleiner aufweist, zeigt der longitudinale Fehleranteil ca. 77 % in der 5-Meterklasse oder größer. Hier ist ein systematischer Zusammenhang zu vermuten.

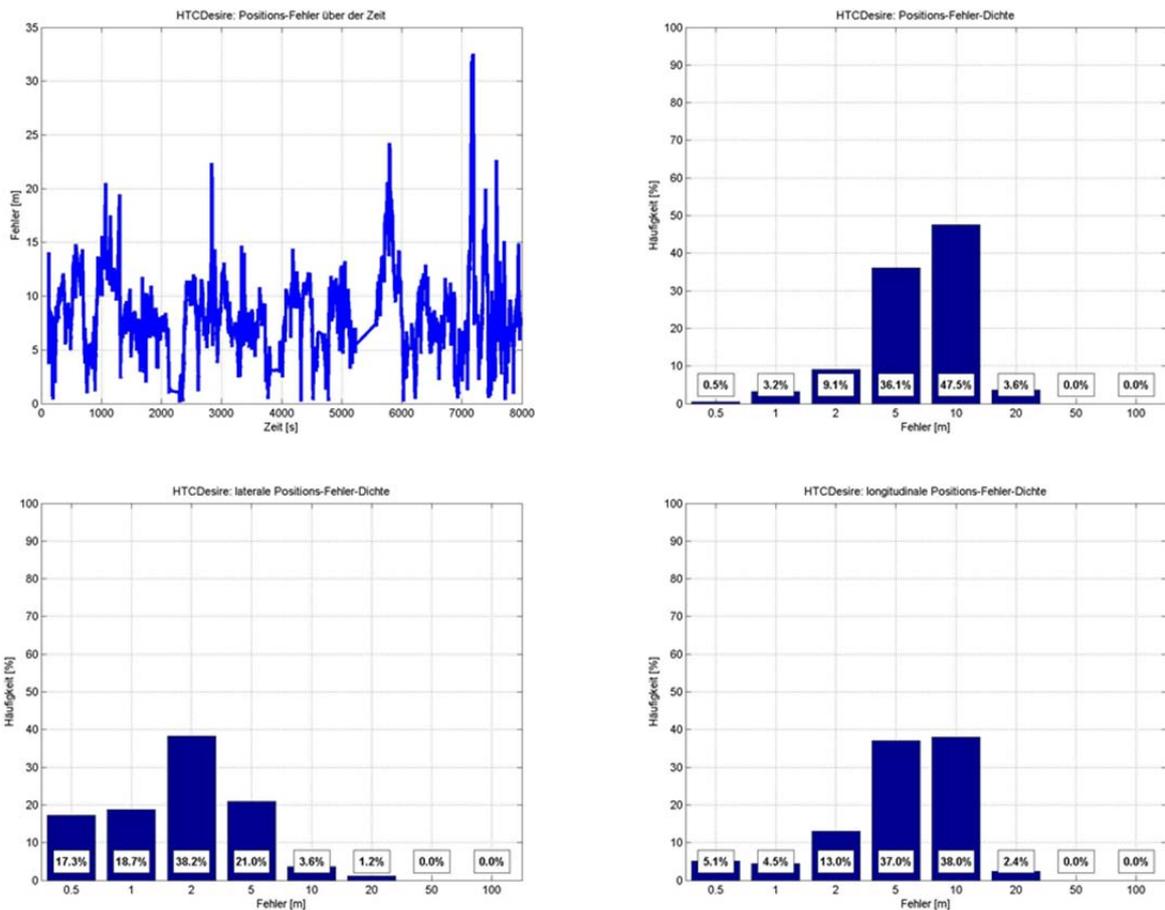


Abbildung 22: Auswertung der Positionsfehler des HTC Desire Smartphones

Genauigkeit iPhone4 Smartphone

In Abbildung 23 sind die Ergebnisse des iPhone 4 dargestellt und betrachtet man das Diagramm unten links, so ist mit ca. 38 % der lateralen Fehleranteile in der Halb- und 1-Meterklasse eine ähnliche Fehlerdichte zu erkennen wie bei den anderen Smartphones. Die restlichen drei Diagramme unterscheiden sich hingegen deutlich gegenüber den anderen Smartphones und gegenüber den GPS-Loggern. Insbesondere die Tatsache, dass der Hauptfehlerbereich mit 55 % Anteil in der 20-Meterklasse liegt, zeigt eine völlig andere Fehlerdichte in Bezug auf den horizontalen Positionsfehler. Dieser Eindruck, dass das iPhone 4 deutliche größere Fehler aufweist zeigt sich auch in der Darstellung des Positionsfehlers über der Zeit, der ganze Positionsabfolgen mit Fehlgrößen von ca. 50 m enthält. Der Vergleich zwischen lateraler und longitudinaler Fehlerdichte zeigt deutliche Unterschiede auf. Während der laterale Fehleranteil ca. 69 % in der 2-Meterklasse oder kleiner aufweist, zeigt der longitudinale Fehleranteil ca. 78 % in der 20-Meterklasse oder größer. Auch hier ist ein systematischer Zusammenhang zu vermuten.

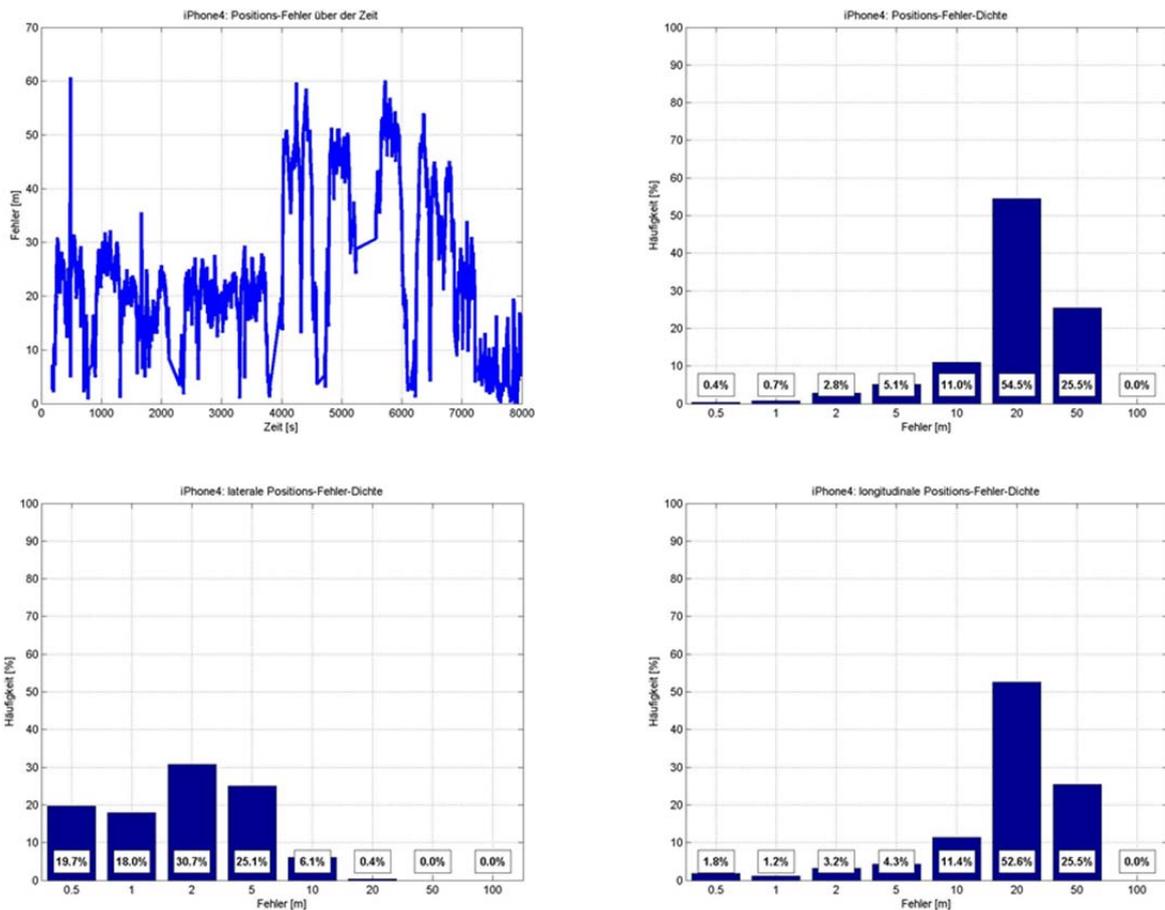


Abbildung 23: Auswertung der Positionsfehler des iPhone 4 Smartphones

In Abbildung 24 ist die Verteilung der horizontalen Positionsfehler über der Geschwindigkeit dargestellt. Für Geschwindigkeiten größer 15 m/s ist gut zu erkennen, wie sich zwei Punktwolken um eine imaginäre Gerade anhäufen. Der unteren Gerade könnte man den Steigungsfaktor 1 zuordnen und der oberen Gerade den Steigungsfaktor 2. In Bezug auf das Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Positionsfehler, würde dies auf einen Zeitfehler von 1 sek bzw. 2 sek hindeuten. Weitere Auswertungen haben genau dieses Phänomen bestätigt, dass den berechneten Koordinaten falsche Zeiten zugeordnet wurden.

Hinsichtlich der hier angestrebten Analyse des Spurwechselverhaltens hat dies keine Auswirkungen. Berücksichtigt man aber das Abstandsverhalten bei einem theoretischen Ausstattungsgrad von 100 %, so würden solche Fehler eine Auswertung unmöglich machen, da nicht zu ermitteln ist, welche Positionsdaten welchen Zeitfehler enthalten. Auch mit Blick auf andere kooperative Dienste, wie z. B. ein Kreuzungsassistent, kann dieses Fehlverhalten fatale Folgen haben.

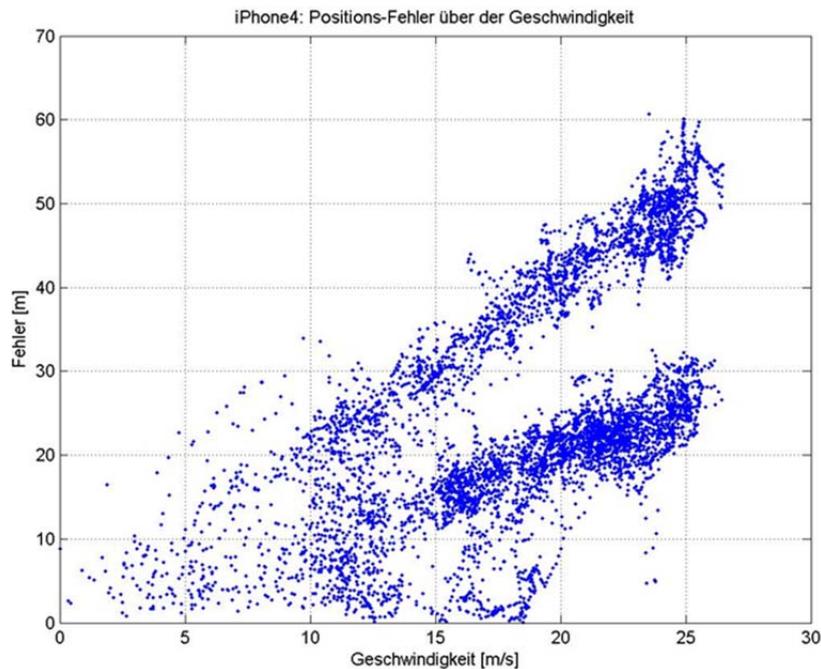


Abbildung 24: Abhängigkeit zwischen Positionsfehler und Geschwindigkeit des iPhone 4

Gemäß den definierten Fehlerklassen wurden für die vier untersuchten Smartphone-Geräte ein Anteil von 36 % bis 38 % für die Positionsfehler < 1,5 m ermittelt. Positionsfehler die etwas größer sind eignen sich jedoch ebenfalls, während Positionsfehler > 2 m nicht mehr tolerabel sind. Daher kann auf der ermittelten Fehlerdichte die Aussage getroffen werden, dass ein Anteil von ca. 40 % der Smartphone-Positionen für die korrekte Spurzuordnung geeignet wären.

Andererseits haben die im Projekt durchgeführte Analyse deutlich gemacht, dass diese Geräte nicht in der Lage sind eine fahrstreifenfeine Positionierung mit ausreichender Konfidenz zu gewährleisten. Darüber hinaus können in den Trajektorien jederzeit Störeffekte enthalten sein wie z. B. Signalausfall durch Abschattung, oder große Positionsfehler jenseits der 100 m im Falle von Mehrwegeausbreitung, etc.

Die begrenzte Qualität der ermittelten Positionen aus den einzelnen Empfängern ist der limitierende Faktor für die Auswertung des Spurwechselverhaltens. Eigentlich ist die Positionsgenauigkeit nicht ausreichend, aber es besteht auch keine Möglichkeit den Ausrüstungsgrad der FOT-Teilnehmer zu beeinflussen. In diesem Zusammenhang besteht die Aufgabenstellung darin, durch intelligente Verfahren eine Information aus großen Datenmengen mit stochastischen Methoden zu gewinnen, für die die einzelnen Messdaten nicht gut genug sind. Dieses Verfahren wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

3.3.6 Ermittlung des Fahrverhaltens und des Fahrstreifenwechselverhaltens

Durch die Aufzeichnung von Fahrten im TTA mit GPS-Empfängern kann das Fahrverhalten analysiert werden. Dazu werden die Fahrzeug-Daten durch einen neu entwickelten Mapmatching-Algorithmus den einzelnen Fahrstreifen zugeordnet. Der auf Wahrscheinlichkeitsberechnungen basierende Mapmatching-Algorithmus liefert bei einer hohen Positionsdichte bessere Ergebnisse. Daher wurden die Positionen der Fahrzeuge mit mindestens 5 Hz aufgezeichnet. Ein Bei-

spiel einer GPS-Erfassung mit 1 Hz und 10 Hz zeigt (Abbildung 25 - links) sowie das Ergebnis eines Mapmatchings bei einem Fahrstreifenwechsel (Abbildung 25 - rechts)

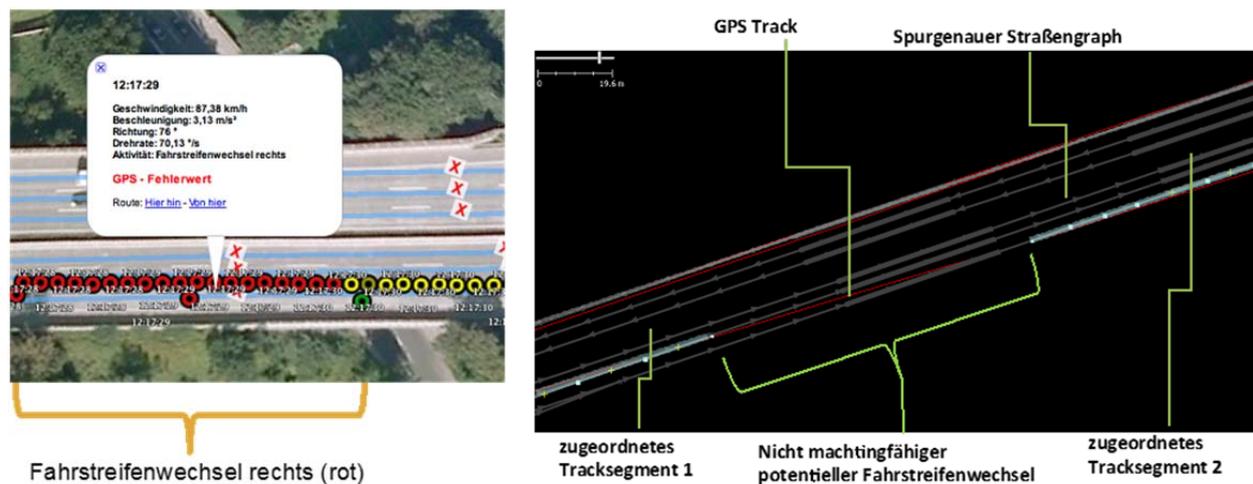


Abbildung 25: Ergebnis eines fahrstreifenengenauen Mapmatchings mit Fahrstreifenwechsel

Die Auswertung der Positionierungsgenauigkeit zwischen 1 Hz- und 5 Hz-Empfängern hat keinen wesentlichen Unterschied erkennen lassen. In Bezug auf den entwickelten Mapmatching-Algorithmus haben die hochfrequenten Daten jedoch einen Vorteil und führen zu besseren Ergebnissen. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass der entwickelte Algorithmus aus dem Zusammenhang der Positionsfolgen die Quote für die Zuordnung der korrekten Fahrspur deutlich verbessert. Somit ermöglicht die intelligente Verarbeitung der GPS-Tracks hinreichend zuverlässige Aussagen bzgl. des Spurwechselverhaltens durch kooperative Verkehrssysteme. Insbesondere die gezielte Warnung im Fahrzeug bei Hindernissen und Gefahren auf einzelnen Fahrstreifen ist durch das entwickelte Verfahren möglich. Die Entwicklung verbesserte Informationsdienste wird dadurch geschaffen.

Die geeignete Formulierung der Zielvorgabe führt letztendlich zur Erschließung der vorhandenen Synergieeffekte. Es ist zwar nicht möglich die exakte Anzahl der Spurwechsel eines einzelnen Fahrzeugs zu bestimmen, aber das entwickelte Verfahren in IMPAKT kann mit hoher Konfidenz den Trend des Spurwechselverhaltens bestimmen. Auf dieser Basis kann z. B. ermittelt werden um wieviel Prozent die Spurwechsel verringert werden können, bei einem Konfidenzintervall von 1 % Genauigkeit. Das ist ein beachtlicher Wert, wenn man sich die begrenzte Qualität der Eingangsdaten vor Augen hält. Der große Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass große FOTs ausgewertet werden können, ohne das dazu kostspielige Hardware zusätzlich in die Fahrzeuge gebracht werden muss.

Bevor die aufgezeichneten GPS-Tracks auf den fahrstreifenfeinen Graphen gematched werden können, müssen die enthaltenen großen Positionsfehler eliminiert werden (siehe auch das dargestellte Verfahren in Abbildung 11), wie z. B. Sprünge oder größere Drifts im Stand. Während Signalausfälle klar erkannt werden, ist die Detektion von fehlerhaften Positions-Fixes deutlich schwieriger. Für diese Fehlerkorrektur wurde ein Algorithmus entwickelt, der aus fünf Schritten besteht und drei verschiedene Filter zur Anwendung bringt:

- Zunächst werden alle Positions-Datensätze auf Plausibilität geprüft. (bei doppelten Zeitstempel, oder fehlenden Datenfeldern, wird der gesamte Datensatz der einzelnen Position verworfen).

- Es werden Standphasen ermittelt (insbesondere solche, die im Stand eine Positionsdrift aufweisen) und durch 2 Punkte ersetzt, welche die vorausgehende Trajektorie abschließt und die folgende beginnen lässt. Zwischen beiden Punkten entsteht eine Zeitlücke.
- Anschließend werden die gesäuberten Trajektorien an vorhandenen Zeitlücken getrennt.
- Kurze Trajektorienstücke werden von der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen.
- Im finalen Schritt werden mittels entsprechender Filterung die Distanzen, Geschwindigkeiten, Drehraten und Beschleunigungen aus den GPS Positionen gewonnen. Diese abgeleiteten Werte werden nun ihrerseits auf Plausibilität untersucht, um auch die verbliebenen Fehleranteile zu eliminieren.

Diese gesäuberten Trajektorien werden nun für das eigentliche fahrstreifenfeine Mapmatching verwendet. Somit werden im Sinne eines guten Qualitätsmanagements nur überprüfte Eingangsdaten für die Wirkungsanalyse herangezogen, während kritische Trajektorien-Abschnitte ausgeschlossen werden. Der letzte Schritt zur Aufbereitung der GPS-Tracks ist auch gleichzeitig der Vorgang mit der höchsten Komplexität.

Durch die Analyse der verschiedenen Parameter kann ein möglicher Kandidat für einen Spurwechsel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Punkten validiert werden, bzw. auch wieder zurückgenommen werden, wenn er sich nicht bestätigt. Die Kandidaten für einen möglichen Spurwechsel, werden mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeit belegt, die von der Qualität der Spuruordnung der beiden GPS-Positionen vor und nach dem Wechsel abgeleitet wird. Aus den ermittelten Fehlervarianzen wird Mithilfe von statistischen Verfahren das entsprechende Vertrauensmaß berechnet. Das eigentliche Mapmatching-Verfahren erfolgt automatisch. Ein Resultat für einen detektierten Spurwechsel ist beispielhaft in Abbildung 25 dargestellt.

Die Überprüfung der Qualität der so ermittelten Ergebnisse des in IMPAKT entwickelten Algorithmus zur Ermittlung des Spurwechselverhaltens, erfolgte auf zwei Wegen: Zum einen wurden die begleitete Testfahrten durchgeführt, bei denen jeder Spurwechsel manuell protokolliert wurde und später gegen die Ergebnisse des Algorithmus verglichen wurde. Zum zweiten wurde der Algorithmus anhand der hochwertigen Referenz-Trajektorie aus dem Concept-Car validiert, denn natürlich besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen der Qualität der Eingangsdaten und den erzielbaren Ergebnissen mit dem hier entwickelten Verfahren. Beide Wege zeigen, dass das automatische Verfahren die meisten Spurwechsel erfasst und die GPS-Positionen der richtigen Spur zuordnet. Auf dieser Basis konnten 70 % der Spurwechsel korrekt erfasst werden, was eine deutliche Verbesserung gegenüber der Eingangsqualität der entsprechenden GPS-Tracks darstellt.

Zahlreiche kooperative Dienste benötigen entweder eine fahrstreifenfeine Lokalisierung von Ereignissen oder liefern fahrstreifenfeine Informationen (vgl. Tabelle 5).

	Anwendungsbereich	Spurgenauer Service
Fahrerassistenz	Spurhalte-/Wechselassistent	x
	Kollisionswarnsystem	x
	eCall	
	Kreuzungsassistent	x
	Warnung vor Übertretungen (Geschwindigkeit, Spurwechselverbot)	x
	Night Vision	
	vorausschauende Fahrweise	
Informationssysteme	lokale Gefahrenwarnung (Unfälle, Stau, Unwetter)	x
	Baustellenwarnung und Leitung	x
	Anzeige Streckeninformation (Geschwindigkeit, Fahrspur, Kurve)	x
	erweiterte Lichtsignalinformation (Grünbandanpassung,...)	x
	(personalisierte) dynamische Routenempfehlung	x
	(personalisierte) multimodale Echtzeit-Verkehrsinformation	
(Verkehrs-) Steuerungssysteme	Adaptive Cruise Control	
	kooperatives Fahren (Einfädeln,...)	x
	Geschwindigkeitsanpassung (ISA - Intelligent Speed Adaptation)	
	Autonomes Fahren/Platooning	x
	Parkplatzzuteilung	x
	Betreiberübergreifendes Verkehrsmanagement	

Tabelle 5: Klassifikation kooperativer Dienste nach Art und spurgenauer Services (eigene Darstellung)

Vor allem Information zum Spurverhalten (Spur halten, Spur wechseln, Pannestreifen nutzen) ist eine Fahrstreifengenauigkeit von Bedeutung. Auch für andere Services ist eine spurgenaue Auflösung hilfreich, um den/die FahrerInnen eine für ihn abgestimmte und eindeutige Meldung zu übermitteln, welche eine Fehlinterpretation ausschließt. Diese Informationen an den/die FahrerInnen müssen sehr genaue Empfehlungen und Instruktionen enthalten, um eine Reduktion der Informationsflut sowie ein Ausschließen von Fehlinterpretationen zu gewährleisten³.

Das in IMPAKT entwickelte Verfahren mit einer fahrstreifenfeinen Modellierung des Straßengraphen und einem fahrstreifenfeinen MapMatching-Verfahren kann zukünftig einen Beitrag für verbesserte kooperative Services, z.B. im „Cooperative ITS Corridor“⁴, leisten.

Die erreichte Verbesserung für die Erkennung von Spurwechseln nur durch GPS-Tracks ist zwar sehr deutlich ausgefallen, reicht aber für eine fundierte Wirkungsanalyse kooperativer Systeme noch nicht aus. Daher wurde das Verfahren auf einen hybriden Ansatz erweitert in Bezug auf diesen speziellen Leistungsparameter. Zur Erprobung dieses erweiterten Ansatzes hat die ASFINAG entsprechende Messwerte ihrer Detektoren zur Verfügung gestellt. Diese Detektoren sind auf den Autobahnen für jede Spur installiert und können einzelne Fahrzeuge sicher erfassen. Für diesen Test wurden die Detektoren entlang der A4 vom Internationalen Flughafen Wien-Schwechat in Richtung Wien-Zentrum ausgewählt. Auf dieser Strecke sind 8 Querschnitte mit Detektoren für jede Spur ausgestattet. Im Zulauf auf die Innenstadt sind die Abstände zwischen den einzelnen Querschnitten relativ kurz, so dass 6 Querschnitte auf einer Strecke von 3 km installiert sind. Eine Kartendarstellung mit den Koordinaten entlang der Teststrecke ist in Abbildung 26 dargestellt.

³ BÖHM, M., SCHNEIDER, T. „Anforderungen an Positionierung und Referenzierung im Bereich kooperativer Systeme“, Tagung Angewandte Geoinformatik Salzburg, 2008 http://www.agit.at/php_files/myagit/papers/2008/6809.pdf

⁴ <https://c-its.ks-pm.de/>

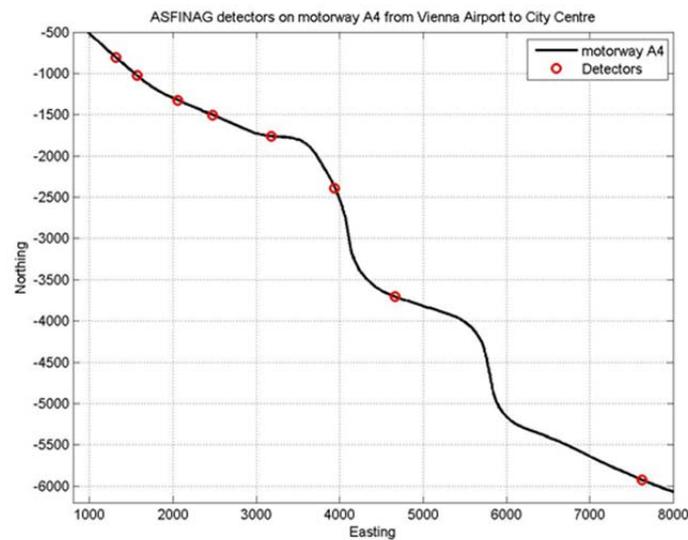


Abbildung 26: Standorte der Detektoren entlang der A4 (Richtung Wien-Innenstadt).

Diese infrastrukturbasierten Einzel-Fahrzeug-Daten (EFZ-Daten) laufen an entsprechenden Servern der ASFINAG auf und können nach vorheriger Konfiguration für festgelegte Zeiträume aufgezeichnet werden. Zusammen mit jedem einzelnen Fahrzeug erfasst das System auch die exakte Zeit der Detektorüberfahrt in UTC, den Fahrzeugtyp, sowie Geschwindigkeit und Fahrzeuglänge. Damit diese Daten für die Analyse des Spurwechselverhaltens von Teilnehmern aus dem TTA genutzt werden können, muss der einzelne Datensatz aus den EFZ-Daten identifiziert werden, der die Überfahrt eines solchen Teilnehmers repräsentiert. Auf der Grundlage dieser Datensynchronisation, können beide Informationsquellen zur Spurerkennung und somit auch für die Analyse des Spurwechselverhaltens genutzt werden. Die Informationen aus EFZ-Daten haben den großen Vorteil einer deutlich höheren Zuverlässigkeit. Durch die Synchronisation konnte die richtige Spur für die durchgeführten Testfahrten in über 95 % der Fälle bestimmt werden. Der limitierende Faktor dieser Spurdetektion liegt in der räumlichen Verteilung der Detektoren entlang der Strecke. Aus Kostengründen sind solche Infrastrukturelemente zu minimieren und im Vergleich zu den FC-Daten haben die EFZ-Daten nur eine Verfügbarkeit von ca. 4 % bezogen auf die mit FCD detektierten Wegsegmente im Untersuchungsgebiet.

Im nächsten Schritt der Datenverarbeitung in IMPAKT sind die guten Ergebnisse der EFZ-Daten mit den ermittelten Spuruordnungen aus FC-Daten zu fusionieren. Da EFZ-Daten eine höhere Zuverlässigkeit bieten, werden diese Daten als sogenannte Stützinformationen für die FC-Daten verwendet. Während die Verarbeitungsstufe der Datensynchronisation die EFZ-Daten nur einem GPS-Punkt zuordnen, wird im folgenden Schritt auch der Verlauf der GPS-Tracks berücksichtigt. Dadurch verbessert sich auch die gesamte Zuordnung aller Positionen des GPS-Tracks auf den spurgenaue Graphen. Unter Verwendung von Zeit- und Geschwindigkeits-Informationen aus den EFZ-Daten, erreicht die Trefferquote in Bezug auf die richtige Spuruordnung, Werte zwischen 80 % und 90 %. Ausgehend von dem Leistungsvermögen der einzelnen GPS-Module ist dies eine ganz enorme Steigerung, die ohne zusätzliche Hardwarekosten und nur durch die intelligente Verarbeitung vorhandener Informationen erreicht wurde.

In Abbildung 27 ist das Blockschaftbild für den IMPAKT-Algorithmus komplett dargestellt. Ausgehend von den Informationsquellen als blaue Blöcke werden die Informationen in einem mehrstufigen Verfahren aufbereitet und unter Nutzung des fahstreifenfeinen Straßengraphen fusioniert, um das Spurwechselverhalten zu erfassen. Während einzelne Fahrten hier Trefferquoten bis zu 90 % erreichen, führt eine statistische Auswertung über Stichproben von 1000 Samples,

auf dem untersuchten Netzabschnitt zu einem Konfidenzintervall das $< 1\%$ ist und somit eine signifikante Veränderung im Fahrverhalten sicher erfassen kann. Der Stichprobenumfang ist mit der aufgebauten Architektur des TTA mit angestrebten 3000 Teilnehmern auf der Basis privater Smartphones sicher zu erreichen. Somit sind die in IMPAKT entwickelten Verfahren für den Einsatz zukünftiger großflächiger Piloten bestens geeignet.

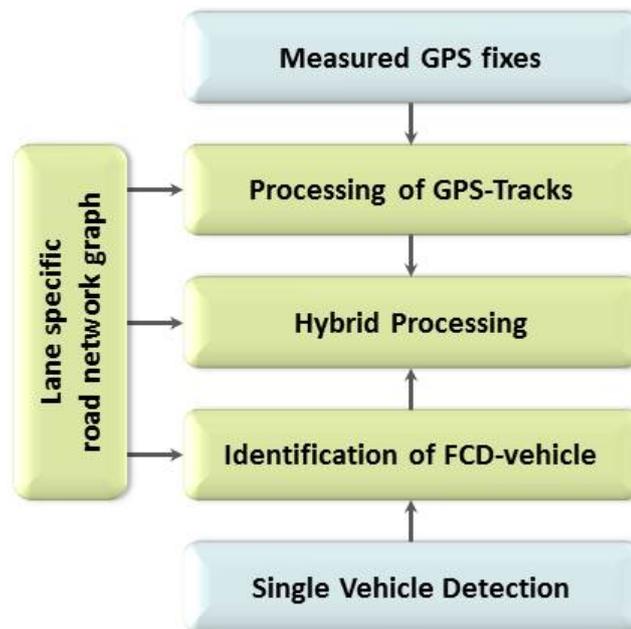


Abbildung 27: Blockdiagramm für den hybriden Algorithmus zur Erkennen von Spurwechseln.

3.3.7 Datenübergabe prozessierter GPS-Daten

Wie eingangs erwähnt bestand die Aufgabe darin, die GPS-Daten inklusive sämtlicher Anzeigen und Interaktionen im Fahrzeug aus den On-Board-Units im TTA so aufzubereiten, dass darauf aufbauend Verkehrsfluss, Verkehrsverhaltens und Verkehrssicherheitsanalysen durchgeführt werden können. Folgende Daten wurden für jede Fahrt nach dem Durchlaufen von Fehlerfiltern, fahrstreifenfeinem Mapmatching an die IMPAKT-Projektpartner TU Graz und TU München übergeben:

Tabelle 6: Export-Format der aus dem Testfeld Telematik Austria prozessierten GPS-Fahrten

Werte aus GPS/NMEA Track	
time	GPS Zeit
lon	GPS Longitude
lat	GPS Latitude
ele	GPS Elevation
sat	Anzahl der Satelliten
fix	GPS Fix
hdop	GPS hdop
vdop	GPS vdop
pdop	GPS pdop
speed	GPS speed
Daten aus \$TTASG NMEA Sätzen (vgl. Assessment Dok TT)	
TTRoadCondition	P2: condition of road surface
TTLongitudinalAcceleration	P3: longitudinal acceleration [m ² /s; resolution: 3 digits after decimal point]
TTLateralAcceleration	P4: lateral acceleration [m2/s; resolution: 3 digits after decimal point]
TTYawRate	P5: yaw rate [°/s; resolution: 3 digits after decimal point]
Daten aus \$TTMSG NMEA Sätzen vgl. Assessment Dok TT	
TTMessageID	P2: Message-ID
TTGenerationTime	P3: time stamp of message generation in UTC [s]
TTReceptionTime	P4: time stamp of message reception at the vehicle in UTC [s]
TTDisplayTime	P5: time stamp of message display in the vehicle in UTC [s]
Daten aus \$TTPOP NMEA Sätzen vgl. Assessment Dok TT	
TTVehicleID	P2: ID of the vehicle
TTDriverID	P3: ID of the driver
TTDeviceID	P4: ID of the device
TTPopUpID	P5: POP-UP-ID (1 = pre-trip; 2 = post-trip)
TTDriverType	P6: driver (0 = no input; 1 = registered driver; 2 = alternate driver)
TTUserType	P7: the user followed the instruction (0 = no input; 1 = yes; 2 = no)
	TTRoadCondition
Vom Filter berechnete Werte	
calc_distance	Distanz zu vorherigem GPS Punkt
calc_speed	berechnete Geschwindigkeit
calc_acceleration	berechnete Beschleunigung
calc_turn_Ratio	berechnete Drehrate
calc_bearing	berechnete Orientierung
calc_rule0 nicht berechenbar	Kennwerte nicht berechenbar
calc_rule1 Drehrate > 45	Drehrate > 45° & Punktabstand < Durchschnittlicher Punktabstand/2
calc_rule2 Drift Erkennung	0 < Punktabstand < Durchschnittlicher Punktabstand / 10 & Drehrate <> 0
calc_rule3 Spezialindikator	Drehrate / Geschwindigkeit > 7
calc_rule4 Beschleunigung	Beschleunigung > 25 m/s
calc_rule5 Beschleunigungs Frequenzen	Änderung der Beschleunigung > 5 m/s
calc_rule6 Drehrate Frequenzen	Änderung der Drehrate > 45°
calc_rating	Bewertung der Richtigkeit eines Punktes in %
Werte aus dem Netzgraphen	
OSM ID	ID im Netzgraph
Lane Change	YES – wenn Fahrstreifenwechsel detektiert wurde
MMid	Referenzpunkt ID
MMtype	Referenzpunkt Typ (Verkehrszeichen, VBA, ...)
MMowner	Besitzer des Referenzpunktes (ASFINAG, Stadt Wien,...)
dist gpx-matched	errechnete Entfernung zwischen zugeordnetem Punkt und GPS Punkt (nur bei Punkten mit MMid)
trackname	Dateiname des GPS Tracks + Segmentnummer

3.4 Referenzpunkte

Zur Erleichterung der nachfolgenden Analyseprozesse werden Marker (IDs) bei der Überfahrt von ausgestatteten Testfahrzeugen über wichtige Punkte am Straßennetz (Referenzpunkte) in den aufgezeichneten GPS-Daten gesetzt. Die ID wurde von TUG nach einem einheitlichen 9-stelligen Code festgelegt. Die neun Stellen der numerischen Codierung (ID) wurden entsprechend Tabelle 7 belegt. Die genaue Ausprägung der Stellen und ihre Bedeutung ist dem Dokument „Codierung_V06.xlsx“ zu entnehmen.

Tabelle 7: Codierung der Referenzpunkte

Stelle	Bedeutung
1-2	Art (MMtype)
3-4	Straße (Zugleich Identifikation niederrangiges Straßennetz: Belegung „00“)
5	Richtung
6	Owner RSU
7	Sichtbereich ja/nein
8-9	Eindeutige Zahl je Art und Straße für eindeutige Zuordnung

Beispielhaft soll die Codierung eines Referenzpunktes mit der ID {803070113} erklärt werden. Dieser Referenzpunkt ist eine Zählstelle (1-Minuten-Daten) {80}, befindet sich auf der A4 {30} in Fahrtrichtung Westen (Flughafen Schwechat A23) {7}, an dieser Stelle befindet sich keine Roadside Unit (RSU) {0}, diese Position ist kein Sichtbereich einer Infrastruktur {1}; Die fortlaufende Zahl dieses Punktes ist {13}.

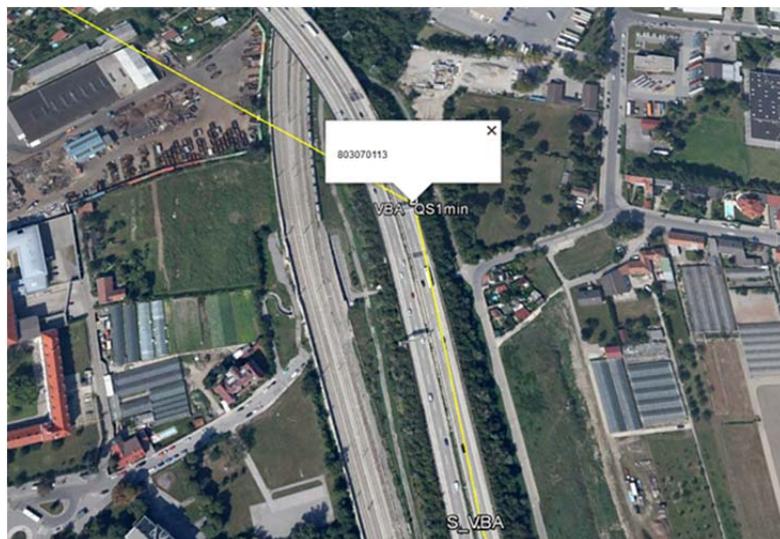


Abbildung 28: Lage des Referenzpunktes 803070113 auf der Autobahn A4 Fahrtrichtung Wien (Quelle: Google Earth)

3.4.1 Erzeugung der Referenzpunkte

Als Basis für die Bestimmung von Referenzpunkten dient der Geomage WMS Dienst von GEO-LAND. Dieses wurde als Layer in ArcGIS aufgenommen. Weitere Datenquellen wurden über vorhandene WGS84-Koordinaten, Kilometrierung oder Verortung am Luftbild in ArcMap digitalisiert.

Datenquellen sind:

- Testfeld-Telematik_Standorte_V2.0_10.04.2012.kmz
- GPS-Messfahrten der TUG
- ASFINAG Daten: Querschnittsdaten (1-Minuten-Daten, Einzelfahrzeugdaten), PVIS-Daten (Variable Message Sign, VMS)

In der Codierung sind die verschiedenen Referenzpunkte nach ihrer Art sortiert. Dabei wird beispielsweise zwischen Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Querschnittsensoren, Verkehrslichtsignalanlagen oder Sichtbereich zu Geschwindigkeitsbegrenzungen unterschieden. Tabelle 8 zeigt einen Auszug aus dem Codierungsdokument und führt alle Arten von Referenzpunkten auf.

Tabelle 8: Arten von Referenzpunkte

Netztyp	Datenursprung	Art (Mmtype)	Art_Beschreibung
hochrangiges Netz	V2.0*.kmz	VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
		SBA	Streckenbeeinflussungsanlage
		WWW	Wechselwegweiser
		WTA	Wechseltextanzeige
		FHT	Flughafentafel
	Luftbilder Geoland WMS-Server	HQA	Homogener Querschnitt Anfang
		HQE	Homogener Querschnitt Ende
	Befahrung	S_30	Sichtbereich statische Geschwindigkeitsbegrenzung 30
		S_40	Sichtbereich statische Geschwindigkeitsbegrenzung 40
		S_50	Sichtbereich statische Geschwindigkeitsbegrenzung 50
		S_60	Sichtbereich statische Geschwindigkeitsbegrenzung 60
		S_70	Sichtbereich statische Geschwindigkeitsbegrenzung 70
		S_80	Sichtbereich statische Geschwindigkeitsbegrenzung 80
		S_VBA	Sichtbereiche dyn. Anzeigen übergeordnetes Straßennetz
QS-Daten 1min	QS1min	Daten aus gelieferten Querschnittsdaten Mai 2012 (ASFINAG); Für die Codierung wurde bei gleichen Positionen bestehende Codierung von V2.0*.kmz übernommen; Zusätzliche Querschnitte wurden entsprechend codiert und an den letzten beiden Stellen beginnend mit 50 aufsteigend nummeriert.	
		Messquerschnitte, welche zum Zeitpunkt der Erstellung in PVIS (qtraffic) verfügbar waren, aber bei gelieferten Querschnittsdaten (Mai 2012, ASFINAG) nicht vorkamen	
QS-Daten Einzfhdzdaten	QSEinzfhdz	Daten aus gelieferten Querschnittsdaten Mai 2012 (ASFINAG); Für die Codierung wurde bei gleichen Positionen bestehende Codierung von V2.0*.kmz übernommen; Zusätzliche Querschnitte wurden entsprechend codiert und an den letzten beiden Stellen beginnend mit 50 aufsteigend nummeriert.	
PVIS_ VariableMessageSign	VAR	Daten aus VariableMessageSign; Für die Codierung wurde bei gleichen Positionen bestehende Codierung von V2.0*.kmz übernommen	
Niederrangiges Netz (definiert durch dritte und vierte Ziffer: "00")	Luftbilder Geoland WMS-Server	VLSA	Haltelinie bei Verkehrslichtsignalanlage
		VLSA0xxx	Haltelinie bei Verkehrslichtsignalanlage mit RSU (6. Ziffer "8" oder "9")
		Schutzweg	Schutzweg
		Parkplatz ITS Einfahrt	Parkplatz ITS Einfahrt
		Parkplatz ITS Ausfahrt	
		Einfahrt Testgebiet Stadt	
		Ausfahrt Testgebiet Stadt	
		RSU	Weitere Road Side Unit
	Befahrung	S_S	Sichtbereiche Stadt

3.4.2 Übersicht der Referenzpunkte im Betrachtungsgebiet

Im gesamten IMPAKT-Betrachtungsgebiet wurden insgesamt 591 Referenzpunkte gesetzt. Tabelle 9 listet die quantitative Aufteilung der Referenzpunkte auf die verschiedenen Straßenabschnitte auf.

Tabelle 9: Aufteilung der Referenzpunkte nach Straßenabschnitt

Straße/Bereich	Anzahl Referenzpunkte
A4 Richtung Wien	101
A4 Richtung Ungarn	72
S1 Richtung Osten	62
S1 Richtung Westen	50
A2+A23 Richtung Süden	122
A2+A23 Richtung Norden	112
Innerstädtisch	48
Knotenpunktbereiche/Rampen	24
Summe	591

Die Referenzpunkte werden in weiterer Folge bei der Auswertung der Realdaten herangezogen um die GPS-Datensätze der Testfahrten in bestimmten Abschnitten (zwischen 2 Referenzpunkten) auszuschneiden. Dadurch können die einzelnen Fahrten für gleiche Abschnitte anhand der GPS-Datensätze fahrdynamisch verglichen werden (z. B. Fahrten ohne kooperative Systeme mit Fahrten mit kooperativen Systemen). Abbildung 29 stellt einige Referenzpunkte im Betrachtungsgebiet dar.

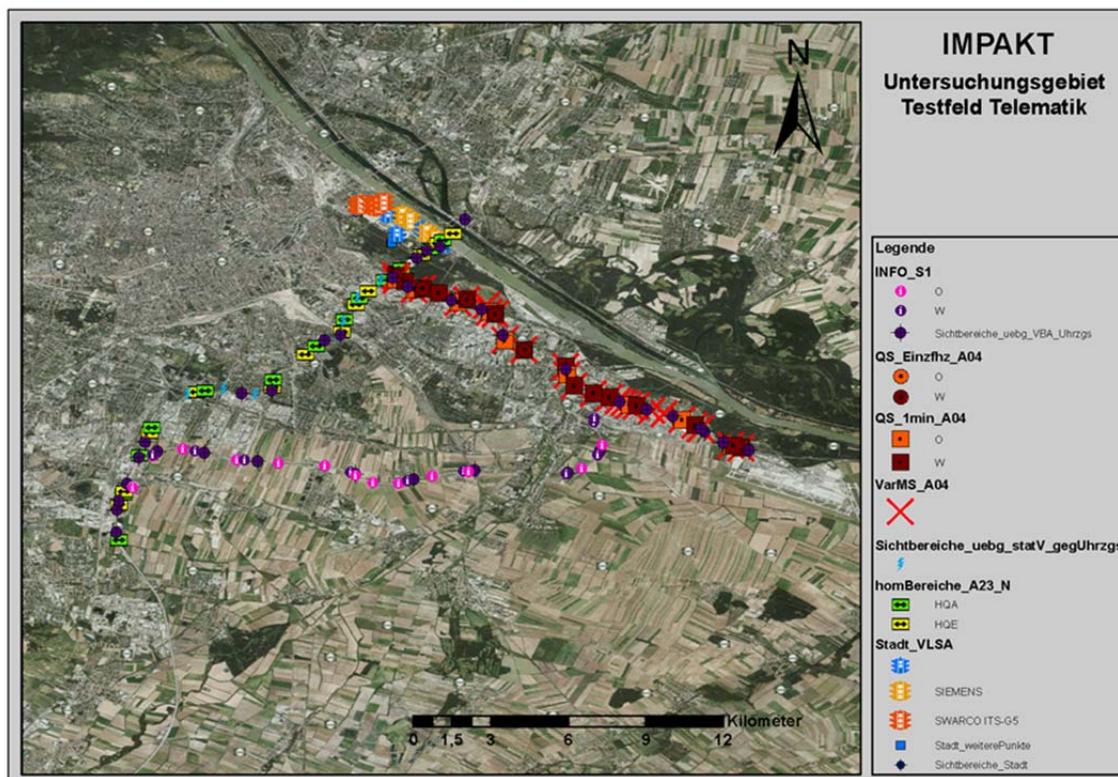


Abbildung 29: Referenzpunkte im Betrachtungsgebiet

3.5 Auswertung von Querschnitts- und Umfelddaten

Für die Bewertung der GPS-Datenanalyse ist die Kenntnis über die jeweiligen Gegebenheiten (Verkehrszustand und Umfeldbedingungen) an Ort und Zeit der Fahrten mit GPS-Sensoren notwendig. Zur Bestimmung des Verkehrszustandes und der Umfeldbedingungen werden verschiedene Datenarten herangezogen die im Folgenden im Kapitel 3.5.1 beschrieben sind, inklusive deren Aufbereitung und Weiterverarbeitung mit Auswerteskripten die mit der Statistiksoftware R entwickelt wurden.

3.5.1 Datenarten und Aufbereitung

Grundsätzlich wird hier zwischen Querschnitts- und Umfelddaten unterschieden auf die im Folgenden separat näher eingegangen wird.

Querschnittsdaten

Unter Querschnittsdaten versteht man lokale Verkehrsdaten die an einem bestimmten Straßenquerschnitt gemessen werden. Die Messgrößen sind dabei je nach Datenart sehr unterschiedlich, die wichtigsten sind dabei:

- Querschnittsnummer („eaid“)
- Querschnittsbezeichnung mit Kilometerangabe (z. B. MQ_A02_1_000,250)
- Fahrstreifennummer (beginnend mit 1 beim rechten Fahrstreifen)
- Fahrzeugklassenfeine Verkehrsstärke (Kfz, Lkw, Pkw)
- Fahrzeugklassenfeine mittlere Geschwindigkeit (Kfz, Lkw, Pkw)
- Mittlere Nettozeitlücke

In erster Linie werden hier fahrstreifenfeine Querschnittsdaten in aggregierter Form im 1-Minuten Intervall verwendet. Die Querschnittsdaten werden dazu verwendet um den Verkehrszustand lokal zu evaluieren, einerseits aktuell für einen kurzen Zeitraum (wenige Minuten) und andererseits über einen längeren Zeitraum für generelle verkehrstechnische Aussagen zum vorliegenden Querschnitt (z. B. Leistungsfähigkeit). Der Großteil der Querschnitte befindet sich am Autobahn- und Schnellstraßennetz und wurde von der ASFINAG zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht der verfügbaren Messquerschnitte ist im Folgenden in Kapitel 3.5.2 enthalten.

```
eaid;time_;qkfz;qlkw;vlkw;vpkw;vkfzmittel;tnetto;beleg;s;lanetxt
2030381;2013-10-01 00:00:00.000;1;0;255;56;74;254;0;0;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:01:00.000;3;0;255;81;78;254;0;4;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:02:00.000;1;0;255;96;83;166;0;0;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:03:00.000;2;0;255;81;82;254;0;1;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:04:00.000;1;0;255;67;77;254;0;0;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:05:00.000;4;0;255;82;80;130;1;8;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:06:00.000;0;0;255;255;80;255;0;0;MQ_A02_1_000,250_F1
2030381;2013-10-01 00:07:00.000;2;0;255;80;80;254;0;1;MQ_A02_1_000,250_F1
```

Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung der Rohdaten im csv-Datenformat

Die Rohdaten (beispielhaft in Abbildung 30 dargestellt) werden mittels speziellen Auswerteskripten modularartig weiterverarbeitet und ausgewertet. Sämtliche Module wurden dabei mit dem Open-source Statistikprogramm „R“ entwickelt. Im ersten Modul werden die Daten querschnittsfein gesplittet, auf ein einheitliches Format gebracht (hinsichtlich Zeitformat und Spaltenanordnung) und fehlerhafte Ausdrücke eliminiert bzw. entsprechend gekennzeichnet (NA-values). Bei den weiteren Modulen handelt es sich stets um spezielle Auswertemodule, deren Ergebnisse

exemplarisch in Kapitel 3.5.3 gezeigt werden. Einen Überblick über die entwickelten Module gibt Abbildung 31.

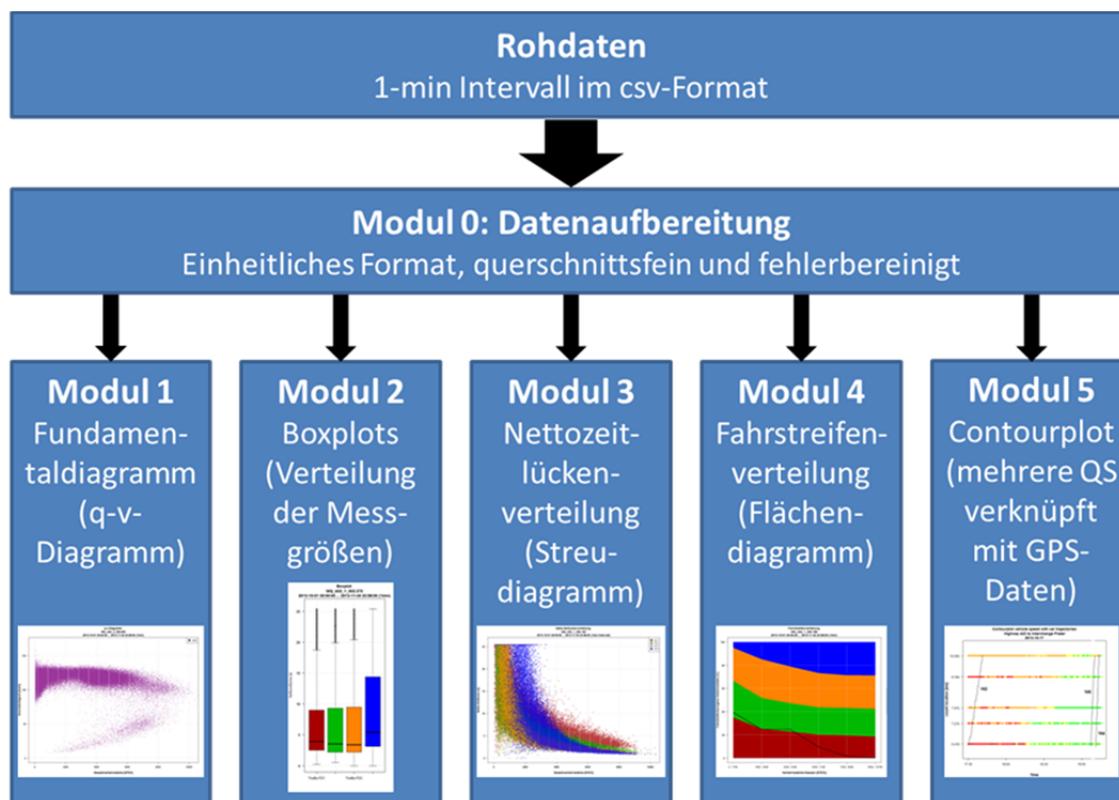


Abbildung 31: Überblick zu den entwickelten Modulen zur Auswertung der Querschnittsdaten

Umfelddaten

Unter Umfelddaten werden hier Daten verstanden die die Umfeldbedingungen von Streckenabschnitten zu beliebigen Zeitpunkten beschreiben. Dies kann beispielsweise die Anzeige einer Verkehrsbeeinflussungsanlage an einem Querschnitt (z. B. Geschwindigkeitsbeschränkung) oder die Meldung eines Unfalls innerhalb eines bestimmten Streckenabschnittes sein. Bei den Umfelddaten standen folgende Datenquellen zur Verfügung:

- PVIS-Datenserver der ASFINAG
- Zentralausgesendete Meldungen der ASFINAG (TPEG-Meldungen)

Im Rahmen des Projektes konnte zum Teil auf aktuelle Daten des umfangreichen PVIS-Datenservers der ASFINAG (Onlinedaten, minutenfeiner Update) zugegriffen werden. Tabelle 10 beschreibt die verfügbaren PVIS-Datenformate.

Tabelle 10: Verfügbare PVIS-Datenformate zur Beschreibung der Umfeldbedingungen

Datenkatalog	Beschreibung
Q-Traffic	Informationen über Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten
Roadworks	Informationen über Baustellen und Behinderungen
Trafficmessage	Informationen über weitere Störungen
Variable Message Sign	Anzeige an den VBAs
Weather Forecast Warnungen	Wetter-Extremereignisse
Weather Forecast	Wetterlage

(Stundenwerte) für den Zeitraum der Testfahrten mit kooperativen Systemen (1.10.-30.11.2013) von der Stadt Wien zur Verfügung gestellt.

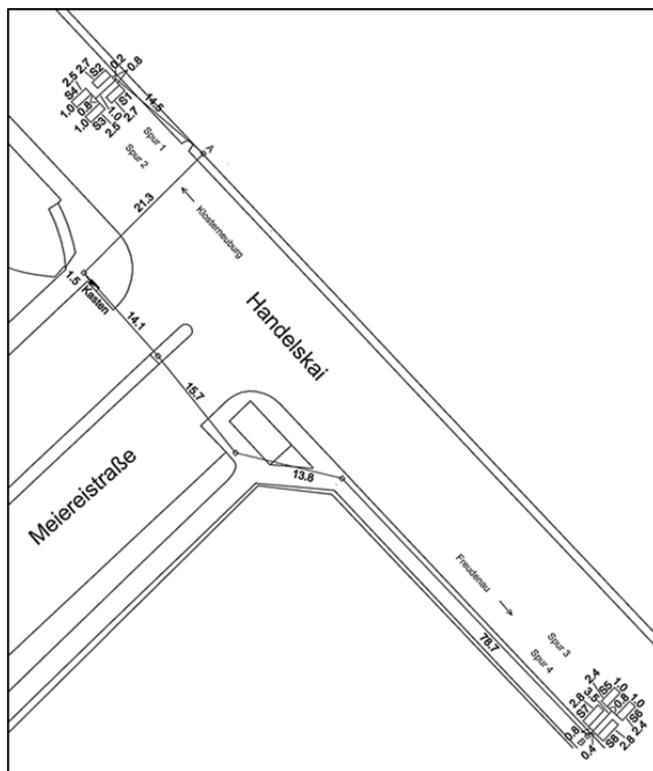


Abbildung 33: Lage der vier Detektoren der Zählstelle 1177 am Handelskai (Quelle: Stadt Wien)

Für den hochrangigen Bereich sind die Daten von sämtlichen Messquerschnitten der ASFINAG innerhalb des Untersuchungsgebietes sowohl für einen Zeitraum vor den Testfahrten ohne kooperative Systeme (9.1.- 27.6.2012) als auch während der Testfahrten mit ausgestatteten Fahrzeugen (1.10.-30.11.2013) verfügbar. Die Querschnittsdaten sind in einem Aggregationsintervall von 1-Minute vorhanden. Abbildung 34 bzw. Tabelle 11 geben einen Überblick über Anzahl und Lage der verfügbaren Messquerschnitte der ASFINAG.

Tabelle 11: Übersicht der Messquerschnitte am hochrangigen Straßennetz innerhalb des Untersuchungsgebietes

Autobahn / Schnellstraße	Fahrtrichtung	Anzahl Messquerschnitte
A4	FR1 Ungarn	10
	FR2 Wien	15
A2	FR1 Graz	8
	FR2 Wien	8
A23	FR1 Hirschstetten	7
	FR2 Vösendorf	6
S1	FR1 Schwechat	19
	FR2 Vösendorf	15

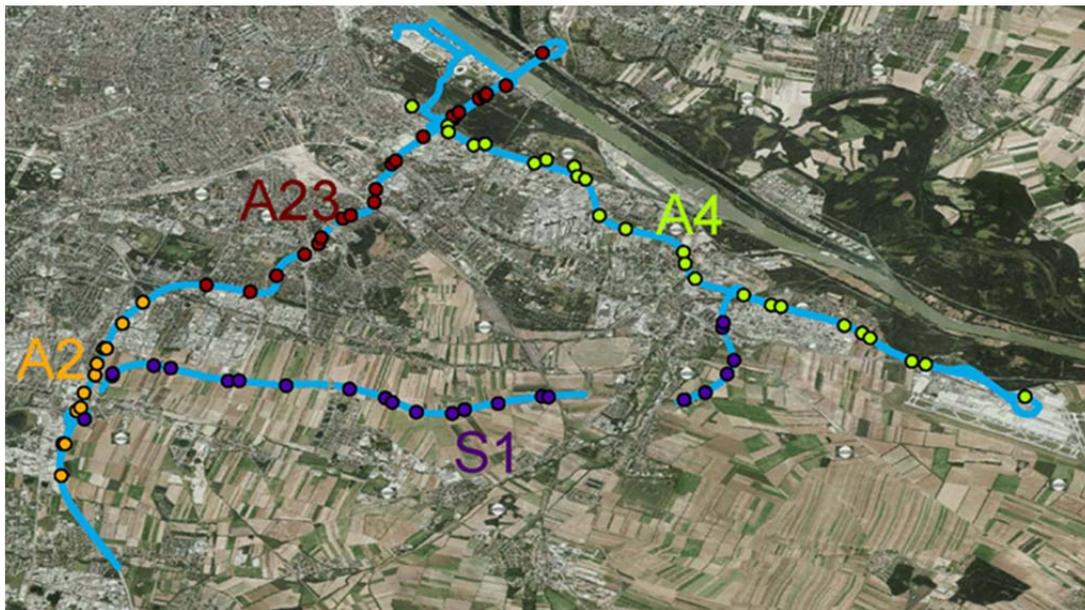


Abbildung 34: Lage der Messquerschnitte am hochrangigen Straßennetz innerhalb des Untersuchungsgebietes

3.5.3 Analyse des Verkehrszustandes mit Querschnittsdaten

Die Analyse des Verkehrszustandes erfolgt modular je Messquerschnitt mithilfe eigens entwickelter Auswerteskripte mit der Statistiksoftware „R“. Folgende Auswertungen der minutenfeinen Querschnittsdaten werden dabei erzielt:

- Fundamentaldiagramm (q-v-Diagramm), Beziehung zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit
- Boxplot der Geschwindigkeit je Fahrstreifen bzw. je Fahrzeugklasse (Pkw, Lkw)
- Boxplot der Nettozeitlücken je Fahrstreifen
- Flächendiagramm zur Fahrstreifenverteilung
- Streudiagramm Nettozeitlücken in Abhängigkeit Gesamtverkehrsstärke

Eine vollständige Auswertung sämtlicher Querschnitte ist dem Anhang C zu entnehmen. Exemplarisch wird hier die Analyse des Verkehrszustandes an folgenden Querschnitten demonstriert (siehe Abbildung 35):

- Autobahn A4 Fahrtrichtung Ungarn km 10,0 (MQ_A04_1_010.000)
- Autobahn A4 Fahrtrichtung Wien km 4,8 (MQ_A04_2_004.800)
- Autobahn A23 Fahrtrichtung Vösendorf km 12,3 (MQ_A23_2_012.300)

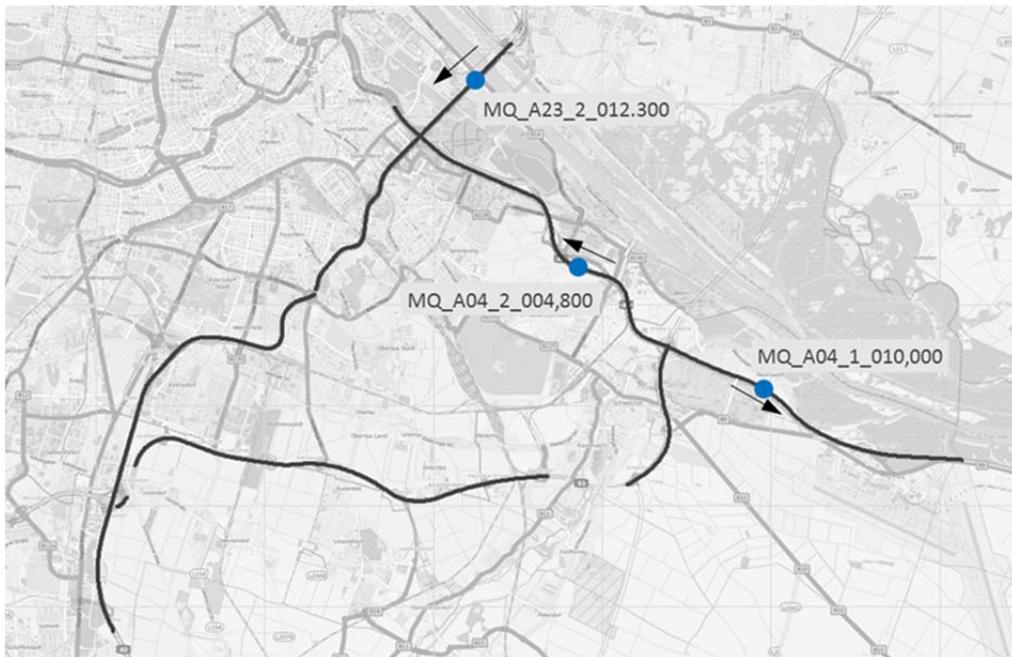


Abbildung 35: Lage der Messquerschnitte MQ_A04_1_010.000, MQ_A04_2_004.800 und MQ_A23_2_012.300 innerhalb des Untersuchungsgebietes

Autobahn A4 Fahrtrichtung Ungarn km 10,0 (MQ_A04_1_010.000)

Die Auswertung der Querschnittsdaten von MQ_A04_1_010.000 ist in Abbildung 36 dargestellt (die Nettozeitlücken wurden hier aufgrund fehlerhafter Nettozeitlückenmessungen auf der Autobahn A4 nicht ausgewertet).

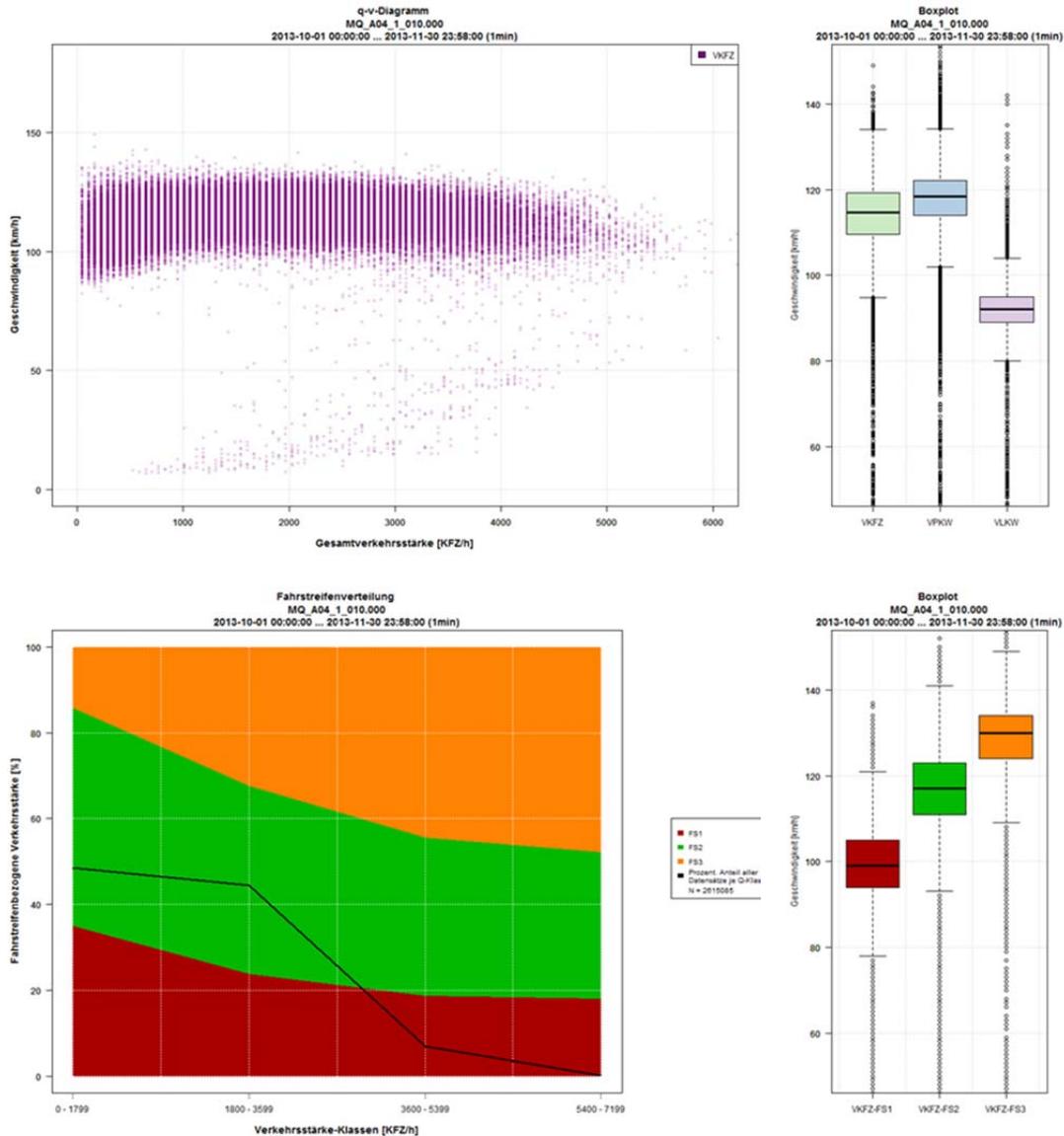


Abbildung 36: Auswertung des Messquerschnittes MQ_A04_1_010.000, Zeitraum 1.10.-30.11.2013

Das q-v-Diagramm zeigt, dass der Querschnitt nur selten überlastet ist (wenige Datenpunkte im instabilen Verkehrsbereich mit niedrigen Geschwindigkeiten). Die Boxplots der Geschwindigkeiten zeigen Kfz-Geschwindigkeiten von etwa 110 km/h im 1. Quartil und 120 km/h im 3. Quartil (d. h. 50 % der Datenpunkte zwischen 110 und 120 km/h), wobei diese am rechten Fahrstreifen 1 deutlich geringer sind (Median bei rund 100 km/h) und am linken Fahrstreifen 3 deutlich höher sind (Median bei etwa 130 km/h). Die Fahrstreifenverteilung offenbart eine geringe Nutzung des 3. Fahrstreifens bei niedrigen Verkehrsstärken, und eine sehr starke Nutzung des 3. Fahrstreifens (etwa 50 %) bei hohen Verkehrsstärken größer 3600 Kfz/h.

Autobahn A4 Fahrtrichtung Wien km 4,8 (MQ_A04_2_004.800)

Die Auswertung der Querschnittsdaten von MQ_A04_2_004.800 ist in Abbildung 37 dargestellt (die Nettozeitlücken wurden hier aufgrund fehlerhafter Nettozeitlückenmessungen auf der Autobahn A4 nicht ausgewertet).

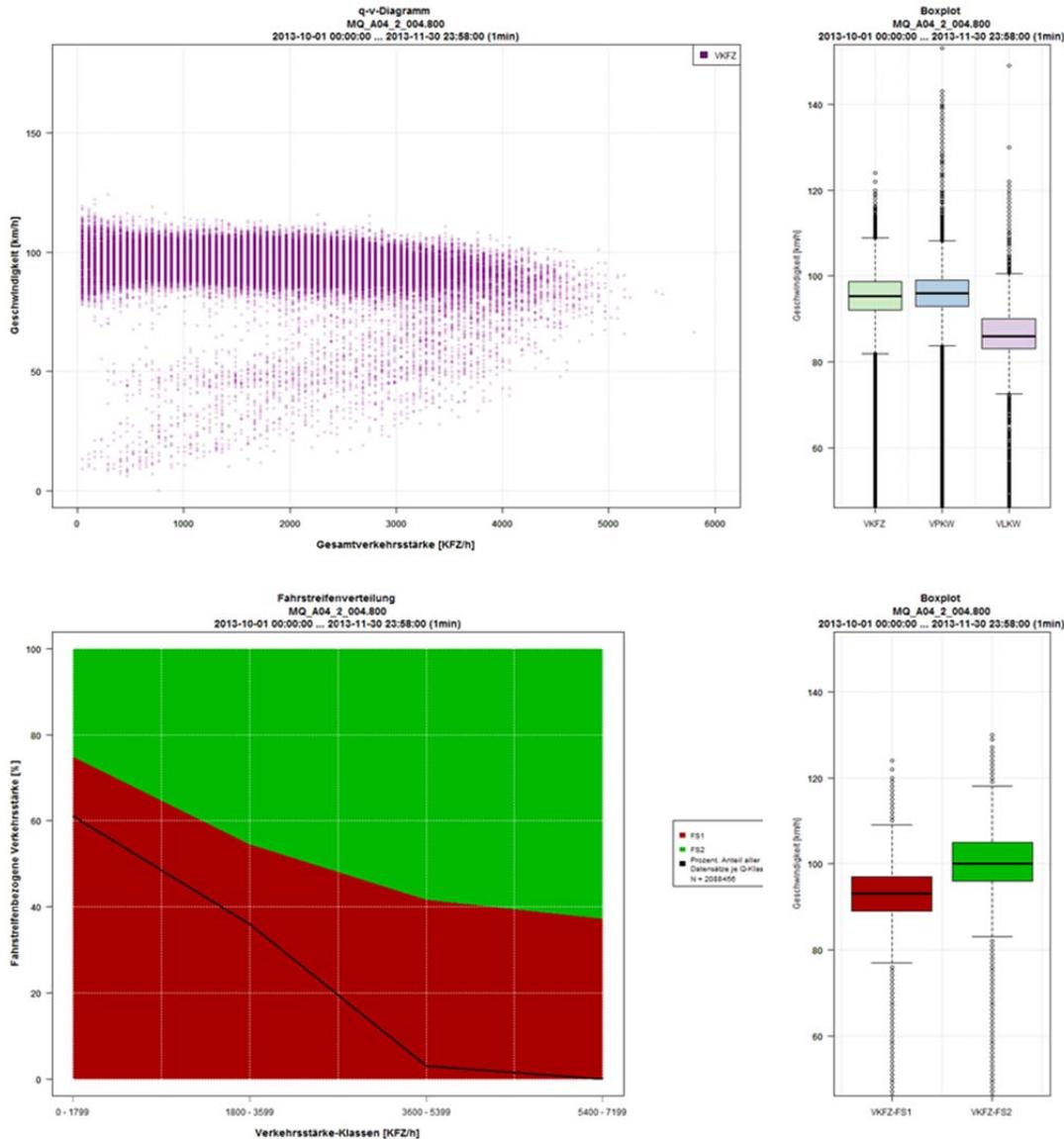


Abbildung 37: Auswertung des Messquerschnittes MQ_A04_2_004.800, Zeitraum 1.10.-30.11.2013

Das Geschwindigkeitsniveau ist hier aufgrund der Geschwindigkeitsbeschränkung (an diesem Querschnitt reduziert sich die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 auf 80 km/h im Grundzustand der VBA) deutlich geringer, und die Häufigkeit der Datenpunkt im instabilen Bereich größer als am Querschnitt zuvor. Bei höheren Verkehrsstärken wird der linke Fahrstreifen stärker genutzt als der rechte (Verhältnis etwa 60 zu 40 %).

Autobahn A23 Fahrtrichtung Vösendorf km 12,3 (MQ_A23_2_012.300)

Die Auswertung von MQ_A23_2_012.300 in Abbildung 38 beinhaltet nun auch die Verteilung der Nettozeitlücken.

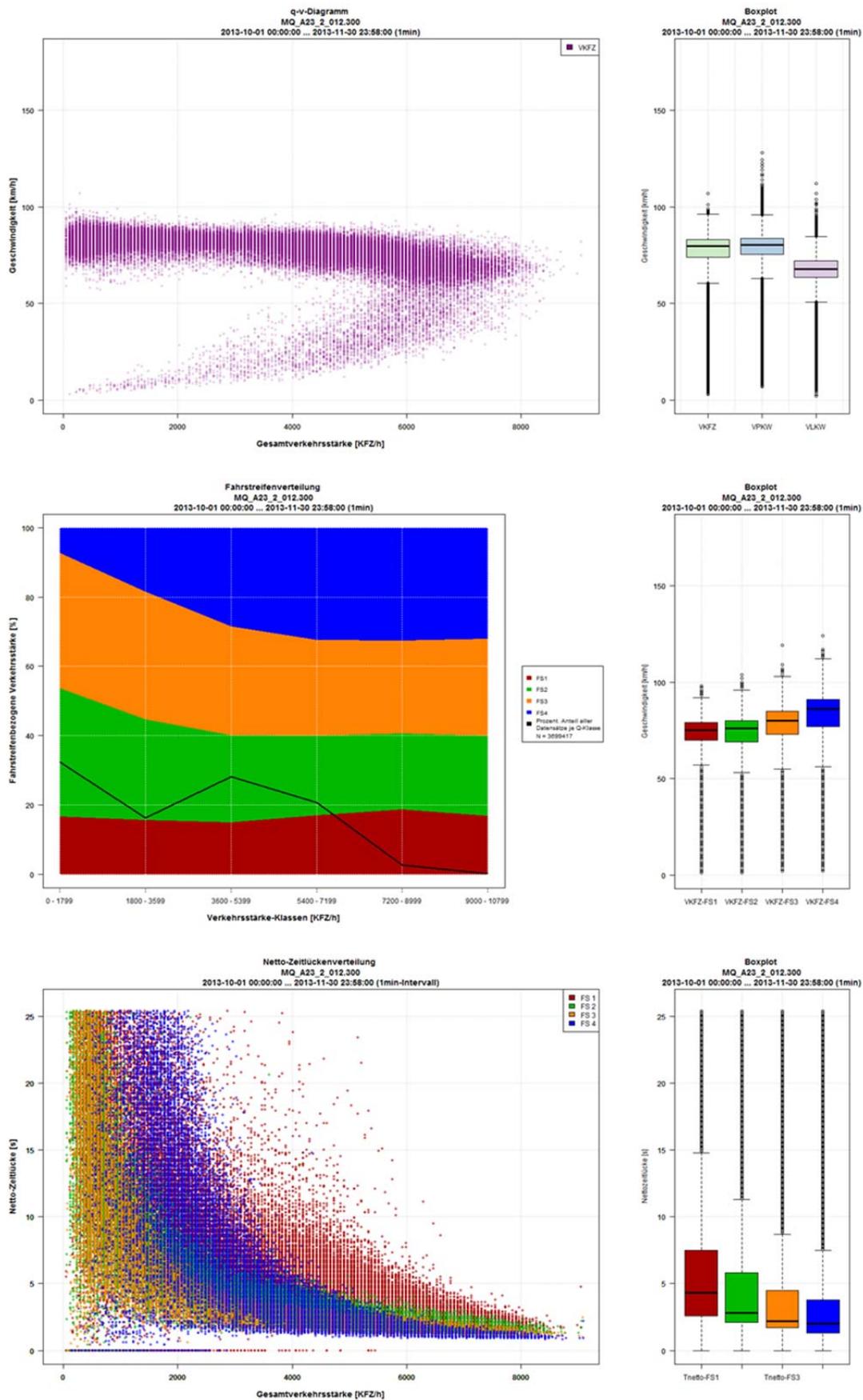


Abbildung 38: Auswertung des Messquerschnittes MQ_A23_2_012.300, Zeitraum 1.10.-30.11.2013

Es treten hier sehr hohe Verkehrsstärken mit Minutenwerten bis zu 9000 Kfz/h an diesem 4-streifigen Querschnitt auf (Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h im Grundzustand der VBA). Häufig fällt der Verkehrsfluss dabei in den instabilen Bereich (Überlastung mit niedrigen Geschwindigkeiten). Die Spannbreite der Geschwindigkeiten zwischen 1. (75 km/h) und 3. Quartil (81 km/h) ist hier sehr gering. Die Geschwindigkeiten am 1. und 2. Fahrstreifen sind ähnlich groß (Median rund 75 km/h) und sind um etwa 5 km/h am 3. Fahrstreifen bzw. um etwa 10 km/h am 4. Fahrstreifen höher.

Die Fahrstreifenverteilung ist ab einer Verkehrsstärke von 3600 Kfz/h nahezu konstant (1. und 2. Fahrstreifen jeweils rund 20 %, 3. und 4. Fahrstreifen jeweils rund 30 % Nutzung. Der 4. Fahrstreifen wird bei niedrigen Verkehrsstärken kleiner 1800 Kfz/h kaum genutzt (<10 %).

Die Verteilung der Nettozeitlücken zeigt eine stetige Abnahme der Zeitlücken vom 1. bis zum 4. Fahrstreifen. Am 4. Fahrstreifen liegt der Median der Nettozeitlücke bei etwa 2 sek. Im Streudiagramm sind sogar Zeitlücken bis 1 sek bei stabilem Verkehrsfluss erkennbar. Die größte Streuung ist am 1. Fahrstreifen beobachtbar, diese nimmt jedoch konstant mit steigender Verkehrsstärke ab.

Insgesamt veranschaulicht die Auswertung von MQ_A23_2_012.300 bei stabilem Verkehrsfluss und höheren Verkehrsstärken (größer 3600 Kfz/h) einen sehr homogenen Verkehrsfluss mit ähnlich großen Geschwindigkeiten, gleichmäßiger Fahrstreifenaufteilung und niedrigen Nettozeitlücken.

Die Grafiken zeigen, dass mit den durchgeführten Analysen eine Beurteilung des Verkehrszustandes an einem beliebigen Messquerschnitt für einen gewünschten Zeitraum vorgenommen werden kann.

4 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse werden die Auswirkungen von kooperativen Systemen in Fahrzeugen für die folgenden Gesichtspunkte dargestellt und quantifiziert:

- Wirksamkeit Fahr- und Verkehrseffizienz (Kapitel 4.3)
- Umweltwirkungen (Kapitel 4.4)
- Wirksamkeit Verkehrssicherheit (Kapitel 4.5)

Die verkehrliche Wirksamkeit und vor allem die Auswirkungen auf den Schadstoffausstoß und dem Treibstoffverbrauch der kooperativen Verkehrsbeeinflussung werden durch Gegenüberstellungen des Verkehrsaufkommens der erhaltenen Informationen und der realen GPS-Messfahrten bestimmt.

Mit Hilfe der erhobenen Querschnittsmessungen und der Umfelddaten können beobachtete Veränderungen von Einzelfahrzeugen (GPS) charakteristischen Verkehrszuständen zugeordnet werden. Umgekehrt werden die Erkenntnisse aus der Veränderung des Fahrverhaltens genutzt, um die Effekte eines höheren Ausstattungsgrades für verschiedene Umfeld- und Verkehrsbedingungen von kooperativen Systemen zu simulieren.

Durch Querschnittsmessungen kann individuelles Fahrverhalten mit einem bestimmten Verkehrszustand verknüpft werden. Dabei können die Reaktionen unter ähnlichen Verkehrszuständen miteinander verglichen werden. Dafür werden klassische Kenngrößen der Verkehrsflussanalyse herangezogen. Eingangsdaten sind dabei am übergeordneten Straßennetz Querschnittsmessungen der ASFINAG.

Die Umfeldbedingungen werden einzelnen GPS-Tracks bzw. den Querschnittsdaten zugeordnet um Fahrverhaltensänderungen nach ähnlichen Umfeldbedingungen filtern und analysieren zu können. Hierzu zählen Daten die Informationen über besondere Ereignisse (Verkehrsmeldungen wie beispielsweise Baustellenwarnung) liefern und Nachrichten welche via Überkopfanzeigen den Verkehr beeinflussen (Verkehrsbeeinflussungsanlagen - VBA).

Die Untersuchungen werden aufgrund unterschiedlicher Rahmenbedingungen durchgeführt:

- Ort (z. B. zwischen zwei VBAs)
- Uhrzeit (z. B. repräsentative Werktage ohne Feiertage von 07:00 bis 08:00)
- Zulässige Höchstgeschwindigkeit (kann durch VBA beeinflusst werden)
- Verkehrszustand (z. B. starke Verkehrsbelastung)

Die Auswertungen erfolgen in mikroskopischer (z. B. einzelne Fahrten) und mesoskopischer (z. B. Betrachtung eines Streckenabschnittes) Ebene. Dabei wird bei jedem Gesichtspunkt zwischen Analysen mit Realdaten und Analysen mit Simulationsdaten unterschieden. Zuerst wird in Kapitel 4.1 das Untersuchungsgebiet vorgestellt, anschließend werden die empirische Datenbasis und die Simulationsumgebung in Kapitel 4.2 beschrieben bevor dann in den folgenden Kapiteln 4.3 bis 4.5 auf die einzelnen Gesichtspunkte gezielt eingegangen wird. Die makroskopische Ebene (netzweite Wirkungen) wird später in Kapitel 5 betrachtet.

4.1 Untersuchungsgebiet

Für die Analyse der Wirkung der kooperativen Systeme im TTA wird nur ein Teil der Strecken herangezogen. Hierbei wurden insbesondere Bereiche mit Tunnelabschnitten, kurvenreichen Abschnitte, sowie Bereichen mit einer hohen Dichte an Überbauten wie Brücken und Lärmschutzwände aufgrund der geringeren Genauigkeit der Detektion der Fahrzeuge mittels GPS ausgeschlossen (vgl. Kapitel 3.3.5). Von diesem Ausschluss sind neben der kompletten S1 auch der Abschnitt der A23 zwischen Anschlussstelle Gürtel/Landstraße und Hanson-Kurve betroffen. Abbildung 39 zeigt die Streckenabschnitte, welche bei der Analyse der kooperativen Systeme berücksichtigt wurden (grüne Markierung).

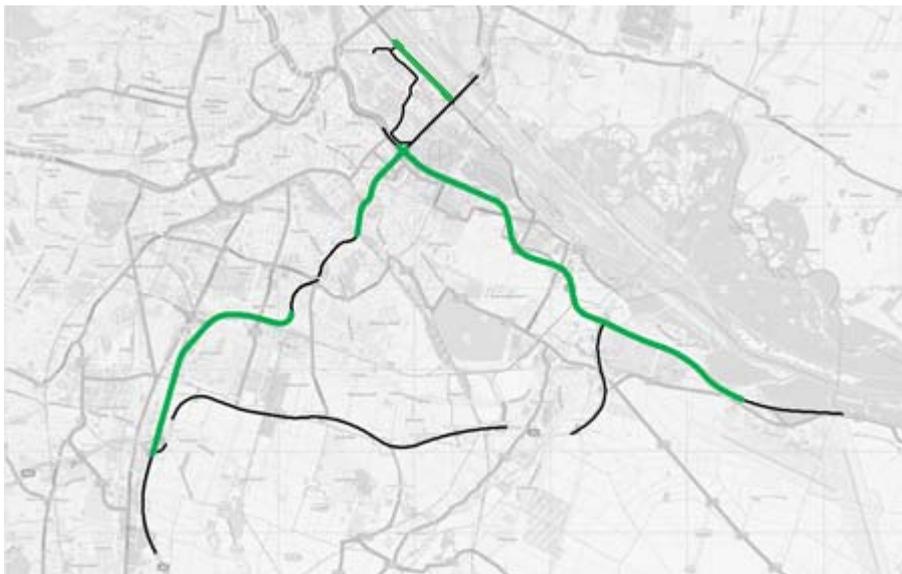


Abbildung 39: Lage der Auswertebereiche (grün) innerhalb des Testgebietes (Quelle: OpenStreetMap)

Innerhalb dieses Untersuchungsgebietes befinden sich insgesamt 38 Mess- (MQ) bzw. Anzeigequerschnitte (AQ), für die Analysen der einzelnen Fahrten in Abhängigkeit der jeweiligen Anzeigehalte durchgeführt wurden. Die Bezeichnung und Lage der einzelnen Anzeigequerschnitte ist in den folgenden beiden Tabellen (Tabelle 12 und Tabelle 13) und Abbildungen (Abbildung 40 und Abbildung 41) ersichtlich. Die Auflistung erfolgt jeweils getrennt nach den Bereichen Autobahn A2 und A23 sowie der Autobahn A4.

Tabelle 12: Bezeichnung und Lage der Anzeigequerschnitte auf der A2 und A23 innerhalb des Untersuchungsgebietes

	Bezeichnung und Lage des AQ		Bezeichnung und Lage des AQ
A2 FR Nord	AQ 104 - A02_2_004,125	A2 FR Süd	AQ 305 - A23_2_010,056
	AQ 105 - A02_2_003,160		AQ 306 - A23_2_009,076
	AQ 106 - A02_2_002,360		AQ 307 - A23_2_009,805
A23 FR Nord	AQ 201 - A23_1_003,123	A23 FR Süd	AQ 311 - A 23_2_003,123
	AQ 202 - A23_1_004,034		AQ 401 - A02_1_002,370
	AQ 207 - A23_1_007,900		AQ 402 - A02_1_002,842
	AQ 208 - A23_1_009,184		AQ 403 - A02_1_003,170
	AQ 209 - A23_1_010,056		

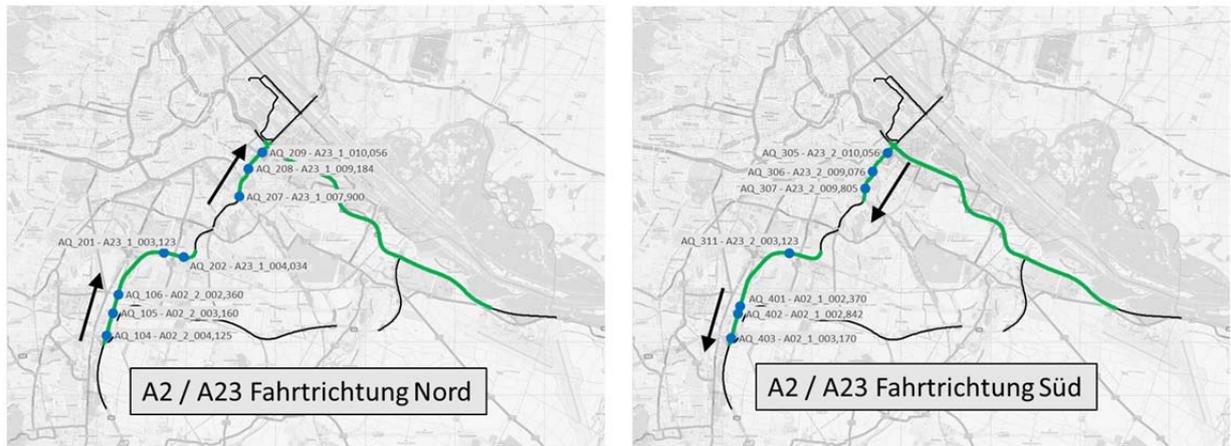


Abbildung 40: Verortung der Anzeigequerschnitte der A2 und A23 innerhalb des Testgebietes (Quelle: OpenStreetMap)

Tabelle 13: Bezeichnung und Lage der Anzeigequerschnitte auf der A4 innerhalb des Untersuchungsgebietes

Bezeichnung und Lage des AQ		Bezeichnung und Lage des AQ	
A4 FR Ost	AQ 501 - A04_1_000,230	A4 FR West	AQ 601 - A04_2_011,900
	AQ 502 - A04_1_000,875		AQ 602 - A04_2_010,604
	AQ 503 - A04_1_002,065		AQ 603 - A04_2_010,400
	AQ 504 - A04_1_002,975		AQ 604 - A04_2_009,149
	AQ 505 - A04_1_004,296		AQ 605 - A04_2_008,700
	AQ 506 - A04_1_006,465		AQ 606 - A04_2_007,930
	AQ 507 - A04_1_008,530		AQ 607 - A04_2_007,490
	AQ 508 - A04_1_010,000		AQ 608 - A04_2_006,900
	AQ 509 - A04_1_011,597		AQ 609 - A04_2_006,120
	AQ 610 - A04_2_004,800		
	AQ 611 - A04_2_003,200		
	AQ 612 - A04_2_002,750		
	AQ 613 - A04_2_002,205		
	AQ 614 - A04_2_001,000		

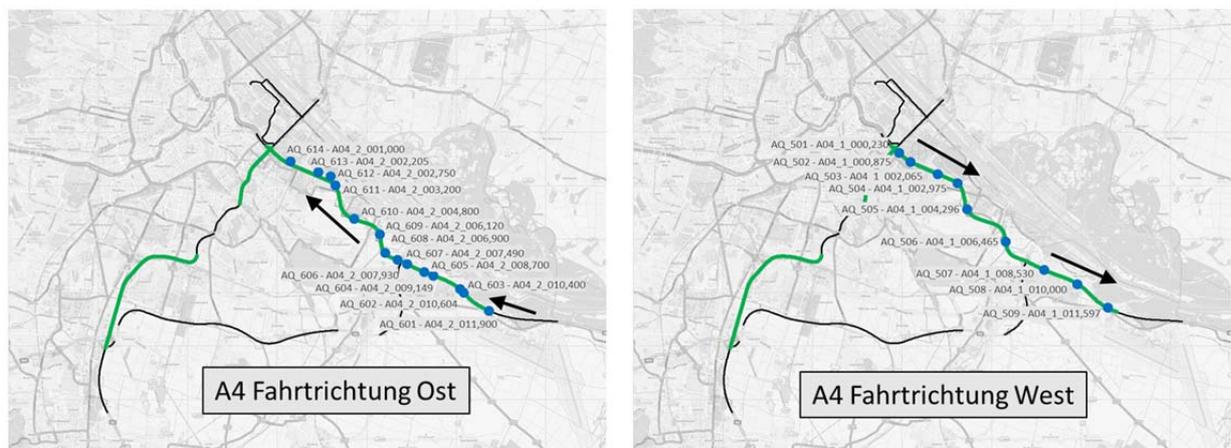


Abbildung 41: Verortung der Anzeigequerschnitte der A4 innerhalb des Testgebietes (Quelle: OpenStreet-Map)

4.2 Empirische Daten und Simulationsdaten

In diesem Abschnitt wird die Datenbasis und Datenverwendung für die folgenden Wirksamkeitsanalysen zusammengefasst. In erster Linie wird hier zwischen empirischen Daten (Realdaten) und Simulationsdaten unterschieden. Dabei werden verschiedene Datentypen (GPS-Daten, Querschnittsdaten) für gewisse Zwecke eingesetzt. Abbildung 42 verschafft einen Überblick über den Datenfluss bei den Wirksamkeitsanalysen.

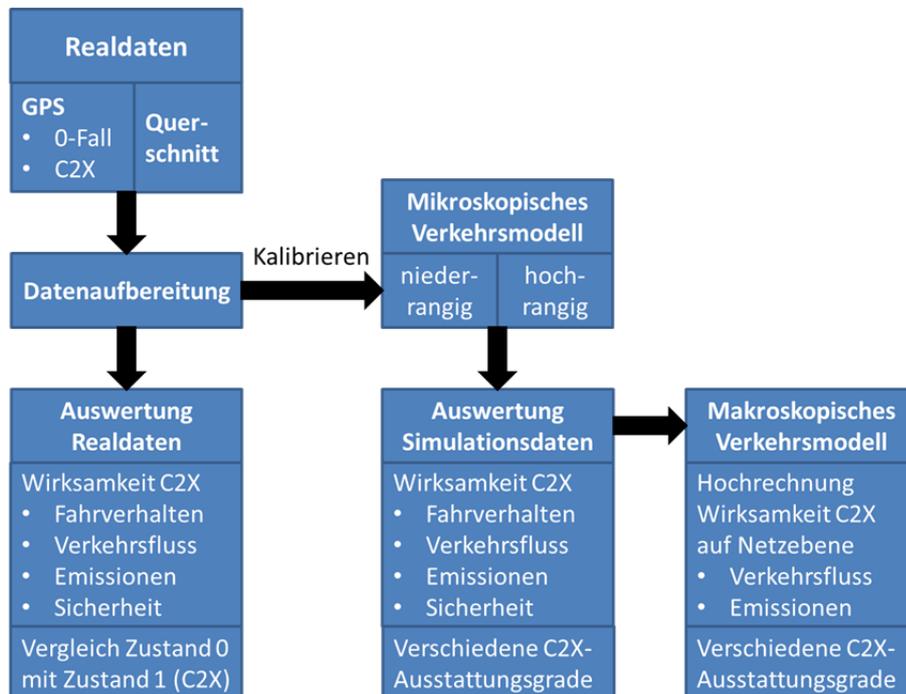


Abbildung 42: Methodik Datenfluss für die Wirksamkeitsanalysen

Die empirischen Querschnittsdaten sowie deren Auswertung wurden bereits in Kapitel 3.5 vorgestellt. An dieser Stelle werden nun GPS-Daten bei aktiven kooperativen Services (C2X) beleuchtet die durch die Testfahrten im Oktober und November 2013 generiert wurden.

Die Verkehrsstärke im Netz der Verkehrssimulation in den jeweiligen Zeitscheiben entspricht den tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort. Die entsprechenden Daten entstammen dem Verkehrsmodell Großraum Wien von ITS-Vienna Region und wurden durch das Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz eingepflegt.

4.2.1 Empirische Daten von kooperativen Fahrzeugen

Insgesamt lagen für die Auswertung 481 Testfahrten mit kooperativen Systemen im Untersuchungsgebiet zwischen 08.10.2013 und 30.11.2013 vor. Dabei legten 113 verschiedene FahrerInnen eine Strecke von insgesamt 5493 km zurück. Die verschiedenen Streckenzüge im Untersuchungsgebiet wurden dabei unterschiedlich häufig befahren (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Aufteilung der einzelnen Testfahrten auf die Streckenzüge im Untersuchungsgebiet

A23	A2	A4	S1	City
294	145	161	140	53

Die Auswertung GPS-Daten erfolgte zunächst für einzelne Anzeigequerschnitte (AQ) und entsprechende Fahrtrichtungen (FR) innerhalb des Untersuchungsgebietes. Der Auswertebereich eines jeden Anzeigequerschnittes bezieht sich auf eine Strecke von 800 m (jeweils 400 m vor und nach dem Anzeigequerschnitt). In die Untersuchung wurden nur Fahrten einbezogen, die ausreichend Positionsmeldungen vor und nach dem Anzeigequerschnitt aufweisen. Nach Aufbereitung der Daten konnten insgesamt 1070 Fahrten an den einzelnen Anzeigequerschnitten in die Analyse einbezogen werden. Die Verteilung auf die einzelnen Streckenabschnitte ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Aufteilung der einzelnen Testfahrten auf die Anzeigequerschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes

A2 FR Nord	A23 FR Nord	A23 FR Süd	A2 FR Süd	A4 FR Ost	A4 FR West	
AQ 104: 11	AQ 201: 31	AQ 305: 70	AQ 401: 37	AQ 501: 5	AQ 601: 21	AQ 608: 38
AQ 105: 8	AQ 202: 29	AQ 306: 74	AQ 402: 6	AQ 502: 32	AQ 602: 21	AQ 609: 52
AQ 106: 14	AQ 207: 31	AQ 307: 79	AQ 403: 15	AQ 503: 35	AQ 603: 22	AQ 610: 52
	AQ 208: 3	AQ 311: 37		AQ 504: 33	AQ 604: 23	AQ 611: 52
	AQ 209: 53			AQ 505: 34	AQ 605: 18	AQ 612: 54
				AQ 506: 21	AQ 606: 18	AQ 613: 54
					AQ 607: 18	AQ 614: 1
Σ : 33	Σ : 147	Σ : 228	Σ : 58	Σ : 160	Σ : 444	

Während der Testfahrten empfangen die FahrerInnen beim Passieren einer Road Side Unit (RSU) verschiedene Testfeldmeldungen die im Fahrzeug auf der On-Board-Unit (OBU) bzw. dem Smartphone angezeigt wurden. Während der Testperiode vom 08.10.2013 bis 30.11.2013 wurden insgesamt 8268 Meldungen in den Fahrzeugen im gesamten Testgebiet angezeigt. Die Aufbereitung der Daten zeigte, dass davon insgesamt 1020 Meldungen mehrmals an die Fahrzeuge versandt wurden. Von den verbleibenden 7248 Meldungen beziehen sich lediglich 2048 Meldungen (28 %) auf Streckenabschnitte innerhalb des IMPAKT-Auswertebereiches (vgl. Abbildung 39). Weiterhin konnte für 1201 der 7248 Meldungen (17 %) keine eindeutigen Inhalte zugeordnet werden. Gründe hierfür waren zum einen fehlende Informationen aus den TPEG-Dateien und zum anderen Einträge mit dem Meldungsinhalt „unknown“.

Anschließend wurden die Meldungen inhaltlich anhand folgender Kriterien gruppiert:

- Vorgeschriebene Geschwindigkeit
- Stauwarnung
- Baustellenwarnung
- Gefahrenwarnung.

Vorgeschriebene Überholverbote sowie Hinweise auf „Park & Ride“-Anlagen wurden von den Auswertungen ausgeschlossen und nicht explizit berücksichtigt. Tabelle 16 gibt einen Überblick über Anzahl, Inhalt und Verteilung der Meldungen auf die einzelnen Strecken innerhalb des Testfeldes. Die jeweils erste Zahl in den einzelnen Spalten bezieht sich auf alle Meldungen innerhalb des Testfeldes Telematik. Zahlen in Klammern beschreiben dabei die Anzahl der Meldungen innerhalb des IMPAKT-Untersuchungsgebietes. Fett gedruckte Zahlenwerte weisen auf Meldungsinhalte hin, die im Untersuchungsgebiet innerhalb der Testperiode mehr als zehnmals versendet wurden und im Weiteren näher analysiert werden. Es ist erkennbar, dass Baustellen- und Gefahrenwarnungen ohne gleichzeitige Beschränkung der Geschwindigkeit innerhalb der

Testperiode relativ selten auftraten. Im Allgemeinen sind Baustellen und zugehörige Warnungen hauptsächlich in Bereichen außerhalb des Untersuchungsgebietes zu verzeichnen gewesen.

Tabelle 16: Überblick der empfangenen Meldungen im Testgebiet

Meldungsinhalt	A2	A23	A4	S1	andere	gesamt
ohne Geschwindigkeitsbeschränkung 	110 (55)	412 (1)	225 (164)	149 (-)	18 (-)	914 (220)
Stauwarnung 	20 (5)	174 (69)	1 (-)	16 (-)	0 (-)	211 (74)
Baustellenwarnung 	25 (1)	0 (-)	0 (-)	1 (-)	0 (-)	26 (1)
Gefahrenwarnung 	4 (3)	0 (-)	0 (-)	2 (-)	0 (-)	6 (3)
60 km/h 	7 (-)	125 (54)	28 (28)	48 (-)	0 (-)	208 (82)
60 km/h Stau  	18 (3)	68 (15)	1 (-)	11 (-)	0 (-)	98 (18)
60 km/h Baustelle  	9 (-)	70 (2)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	79 (2)
60 km/h Gefahr  	1 (-)	2 (1)	5 (5)	0 (-)	0 (-)	8 (6)
80 km/h 	472 (123)	1345 (522)	363 (351)	406 (-)	0 (-)	2586 (996)
80 km/h Stau  	11 (1)	9 (1)	0 (-)	1 (-)	0 (-)	21 (2)
80 km/h Baustelle  	2 (2)	6 (2)	0 (-)	213 (-)	0 (-)	221 (4)
80 km/h Gefahr  	5 (1)	35 (11)	10 (10)	3 (-)	0 (-)	53 (22)
100 km/h 	33 (4)	21 (-)	326 (288)	1216 (-)	0 (-)	1596 (292)
120 km/h 	3 (-)	6 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	9 (0)
sonstige	0 (-)	0 (-)	8 (8)	3 (-)	0 (-)	11 (8)
unbekannt	114 (60)	381 (117)	161 (141)	541 (-)	4 (-)	1201 (318)
Summe relevanter Meldungen	720 (198)	2273 (678)	959 (846)	2066 (-)	18 (-)	6036 (1722)
Summe aller Meldungen	834 (456)	2654 (795)	1128 (1841)	2610 (-)	22 (-)	7248 (2048)

Neben der räumlichen Zuordnung der Testfeldmeldungen zu den zugehörigen Anzeigequerschnitten wurden weiterhin die Zeitpunkte der Anzeige im Fahrzeug sowie die Korrektheit der angezeigten Meldungsinhalte untersucht. Die Kontrolle der Korrektheit der Anzeige erfolgte durch den Abgleich der Inhalte der angezeigten Meldung im Fahrzeug mit den Inhalten der Überkopfanzeigen der Schilderbrücken zum Zeitpunkt der Überquerung des Anzeigequerschnittes. Dieser Abgleich ergab, dass nur in 73 % der Fälle die Inhalte der Anzeigen im Fahrzeug und an der Schilderbrücke übereinstimmten. Ein Großteil der nicht übereinstimmenden Anzeigen (21 % der Fälle) ist darauf zurück zu führen, dass für den Zeitpunkt der Überquerung des Anzeigequerschnittes aufgrund fehlender Informationen kein Bezug zum Inhalt der Anzeige der Schilderbrücke hergestellt werden konnte.

Die Analyse der 1070 Testfahrten an den Anzeigequerschnitten innerhalb des Untersuchungsgebietes zeigte, dass in 97 Fällen (9 %) keine Nachricht über die Inhalte der Schilderbrücke im Fahrzeug angezeigt wurde. In 85 % der Fahrten wurde die Meldung rechtzeitig vor Erreichen des Anzeigequerschnittes angezeigt. Bei 2 % der Fahrten erfolgte die Anzeige exakt bei Erreichen des Anzeigequerschnittes und in 4 % der Fälle erschien die Meldung zu spät. Die Anzeige der entsprechenden Informationen im Fahrzeug erfolgte aufgrund von rechtlichen Rahmenbe-

dingungen erst, wenn der/die FahrerInnen sich innerhalb des Sichtbereiches des jeweiligen Anzeigequerschnittes befindet.

Eine Übersicht der Verteilung von Ort und Zeitpunkt der Anzeige der Meldungen im Fahrzeug ist in Abbildung 43 dargestellt. Im Diagramm werden die Ergebnisse der Analysen getrennt nach den jeweils befahrenen Strecken dargestellt. Dabei wird zwischen den Fahrten auf der A4 (mit teilweise 3-streifigen Richtungsfahrbahnen, geringer Kurvigkeit und überwiegend Geschwindigkeitsbeschränkungen von 80 und 100 km/h) und Fahrten auf der A2 bzw. A23 (mit hauptsächlich 2-streifigen Richtungsfahrbahnen, hohem Anteil an Kurvenstrecken und zumeist Geschwindigkeitsbeschränkungen von 60 und 80 km/h) unterschieden.

Insgesamt ist erkennbar, dass der überwiegende Anteil der Meldungen den FahrerInnen im Bereich von 2 bis 4 s vor Erreichen des Anzeigequerschnittes angezeigt wird. 70 bis 80 % der Meldungen erhalten die FahrerInnen im Bereich bis 100 m vor dem Querschnitt.

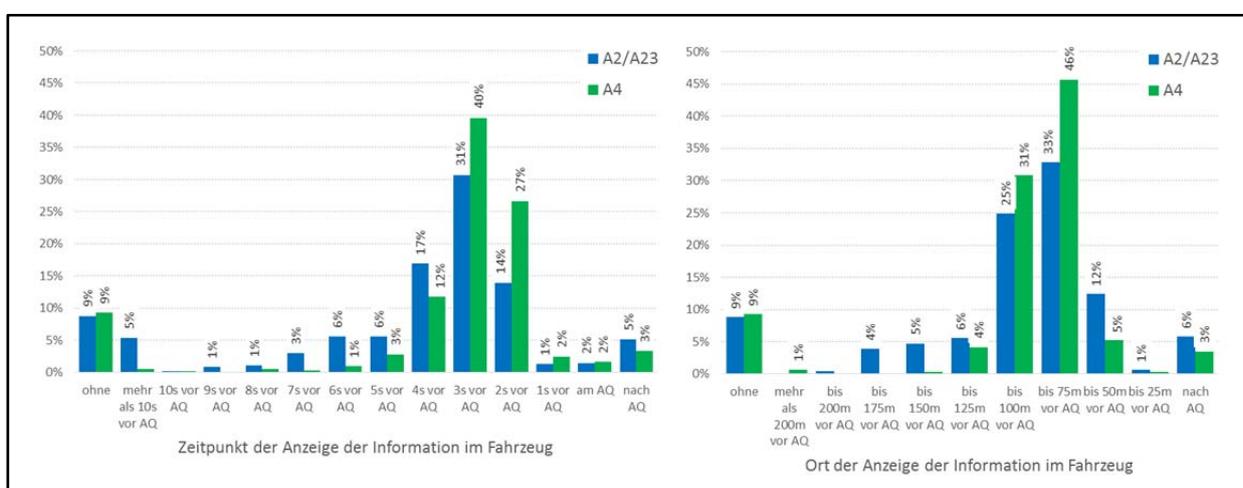


Abbildung 43: Zeitpunkt (links) und Ort (rechts) der Anzeige der Meldungen im Fahrzeug innerhalb des Untersuchungsgebietes

Die Verteilung der Meldungen zeigt, dass die Informationen bei Fahrten auf der A2 und A23 den FahrerInnen tendenziell früher angezeigt werden als auf der A4. Die Bandbreite der Meldungen auf der A2 und A23 ist größer und im Vergleich zu Fahrten auf der A4 wird ein größerer Anteil der Informationen auf der A2 und A23 erst nach Erreichen der Schilderbrücke angezeigt.

4.2.2 Grundlagen der Verkehrssimulation

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über die Grundlagen der Verkehrssimulation. Nach einer Einführung in die generelle Methodik der Verkehrssimulation wird auf die Software zur Mikroverkehrssimulation VISSIM der PTV Group eingegangen. Weiterhin wird die C2X Schnittstelle in VISSIM beschrieben, die zur Integration der kooperativen Dienste genutzt wird. Abschließend folgt eine Übersicht über die Voraussetzungen, die Systeme erfüllen müssen, um eine Wirkung von C2X erzeugen zu können.

Methodik der Verkehrssimulation

Charakteristisch für den Straßenverkehr ist eine nicht-deterministische Verteilung von Fahrzeugen, FahrradfahrerInnen und FußgängerInnen auf Straßen und Wegen. Wenn die Wirkung auf den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit analysiert werden soll, ist es notwendig Abschätzungen auf Basis eines Modells für den Verkehr durchzuführen. Eine Verkehrssimulation, die auf geeigneten Modellen für die realitätsnahe Abbildung des Verkehrsablaufes basiert, bietet die

Möglichkeit, den Verkehrsfluss unter definierten Randbedingungen zu analysieren und Einflussgrößen zu bewerten. Essentiell ist dabei die gezielte Variation einzelner Parameter bei exakt gleichbleibenden Randbedingungen, um so Wirkungen und Veränderungen auf eben diese Variation eingrenzen zu können. Ein Beispiel hierfür ist die Variation der Ausstattungsrate von Fahrzeugen mit C2X Systemen von 15 % auf 30 %, bei gleichbleibenden Randbedingungen.

Das reale verkehrliche Umfeld der Simulationsumgebung fließt durch die realitätsgetreue Abbildung des Verkehrsflusses auf dem zugrundeliegenden Streckennetz in die Wirkungsermittlung mit ein. Eine deterministische Beschreibung des Verkehrs ist grundsätzlich nicht möglich. Aus diesem Grund basiert jede Verkehrsmodellierung auf geeigneten stochastischen Annahmen, die auf empirischer Basis getroffen, zu einem geeigneten Modell verarbeitet werden [sim^{TD} W. D. W43.3, 2012, S. 8].

Verkehrssimulation in VISSIM

Die Verkehrssimulation wird mit der Software VISSIM (Version: 5.40-08) der PTV AG durchgeführt. VISSIM ist eine der meist verbreiteten Computerprogramme für mikroskopische Verkehrssimulationen weltweit. Durch den hohen Verbreitungsgrad der Software sind bereits umfassende Validierungen für die grundlegenden Simulationsmodelle erfolgt [sim^{TD} W. D. W43.3, 2012, S. 9].

Zur mikroskopischen Abbildung des Verhaltens von FahrerInnen-Fahrzeug-Einheiten werden in VISSIM folgende Modelle verwendet:

- Das Fahrzeugfolgmodell nach Rainer Wiedemann (Wiedemann74-Modell für den Innerortsbereich und Wiedemann99-Modell für den Außerortsbereich)
- Ein Fahrstreifenwechselmodell, das speziell für das Fahrzeugfolgmodell nach Wiedemann entwickelt wurde (2011)

Über Attribute zu FahrerInnen- und Fahrzeugeigenschaften ist eine individuelle Parametrisierung möglich. So kann beispielsweise die Aggressivität der FahrerInnen beim Fahrstreifenwechselverhalten durch die maximal akzeptierte Verzögerung beeinflusst werden. Des Weiteren bietet VISSIM eine Vielzahl an Schnittstellen für die nahtlose Integration zu anderen Systemen für Signalsteuerungen und Verkehrsmanagement [sim^{TD} W. D. W43.3, 2012, S. 9]. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, in VISSIM externe Algorithmen mithilfe verschiedener Programmierschnittstellen einzubinden.

Simulation von kooperativen Fahrzeugen in VISSIM

Um kooperative Fahrzeuge in die Verkehrssimulation zu integrieren, muss das bereits vorhandene mikroskopische Verkehrsflussmodell erweitert werden. Für die Einbindung von kooperativen Systemen und die Verwendung von C2X-Kommunikation steht in VISSIM in der Version 5.4-08 die C2X-API bereit. Diese ermöglicht den lesenden und schreibenden Zugriff auf verschiedene relevante Fahrzeug- und Infrastrukturparameter sowie den Versand und den Empfang von Nachrichtenpaketen über ein Kommunikationsmodul. Die C2X-API kann entweder über ein Python Skript oder eine C++ Ausführungsdatei angesprochen werden [sim^{TD} W. D. W43.3, 2012, S. 9].

Die Programmierung der Funktionsnachbildungen sowie der Beeinflussung des Fahrerverhaltens mittels der C2X-API erfolgt in der Programmiersprache Python auf eine modulare Weise, welche die Wiederverwendung gemeinsamer Komponenten und übergeordneter Konzepte für mehrere Funktionen ermöglicht.

Diese umfangreichen Möglichkeiten, Fahrzeuge und ITS Road Side Units in der Verkehrssimulation zu steuern und Fahr- und Verkehrssituationen aus aktuellen Fahrzeuginformationen detailliert zu beobachten, ermöglichen eine geeignete Anpassung des Fahrverhaltens der jeweils relevanten FahrerInnen-Fahrzeug-Einheiten [sim^{TD} W. D. W43.3, 2012, S. 9].

Systemvoraussetzungen für Fahrzeugkommunikation

Das Ziel von Kooperativen Diensten ist es, durch Bereitstellung von Informationen bzw. Warnungen in den mit C2X Systemen ausgestatteten Fahrzeugen auf die jeweils relevanten Besonderheiten der aktuellen Verkehrssituation hinzuweisen. Dies kann zum einen die wiederholte Anzeige von aktuellen Geschwindigkeiten während der Fahrt beinhalten. Andererseits können hiermit auch zusätzliche Informationen in die mit C2X Systemen ausgestatteten Fahrzeuge übermittelt werden, die einen Informationsvorsprung gegenüber den nicht ausgestatteten Fahrzeugen hervorrufen. Durch den frühzeitigen Erhalt von Informationen und Warnungen bspw. über Baustellen im Fahrbahnverlauf oder die Progressionsgeschwindigkeit einer Grünen Welle können ausgestattete Fahrzeuge früher auf die Verkehrssituation reagieren und somit die Fahr- und Verkehrseffizienz sowie die Fahr- und Verkehrssicherheit steigern.

Um die tatsächliche Wirkung der C2X Systeme mittels Verkehrssimulation abschätzen zu können, braucht es eine Referenz mit der die Ergebnisse verglichen werden können. Zu diesem Zweck wird neben verschiedenen Ausstattungsraten auch immer ein Nullfall in VISSIM simuliert, welcher den Ausgangszustand im jeweiligen Untersuchungsgebiet widerspiegelt. Somit wird die Verkehrssituation bei einer Ausstattungsrate von 0 % betrachtet.

Um aussagekräftige Simulationsergebnisse zu erreichen, ist es notwendig, die gewählten Parameter der verschiedenen Simulationsszenarien auf ihre Gültigkeit zu überprüfen. Hierzu ist eine Kalibrierung und Validierung der Verkehrssimulation nötig.

Das Einstellen der Modellparameter wird als Kalibrierung bezeichnet. Im Rahmen der Kalibrierung werden für den betroffenen Streckenabschnitt Messdaten benötigt. Diese Daten werden mit Hilfe von realen Testfahrzeugen gesammelt. Sollte es nicht möglich sein, derartige Daten zu erheben, kann auf einen vergleichbaren Streckenabschnitt zurückgegriffen werden [Detering, 2011, S. 54].

Die an die Kalibrierung anschließende Validierung soll den Nachweis erbringen, dass das Modell nicht nur für einen einzelnen betrachteten Datensatz aussagekräftige Ergebnisse liefert, sondern auch auf vergleichbare Situationen übertragbar ist. Hierfür ist ein zweiter Datensatz an Messdaten aus realen Testfahrten notwendig. Die Ergebnisse der Verkehrssimulation werden mit dem zweiten Messdatensatz verglichen, indem für eine geeignete Kenngröße ein Fehlermaß berechnet wird. Wenn ein zuvor festgelegter Grenzwert für das Fehlermaß nicht überschritten wird, kann davon ausgegangen werden, dass das Modell valide Ergebnisse liefert [Detering, 2011, S. 55].

Um ein signifikantes Verhalten abschätzen zu können, ist eine bestimmte Anzahl an Testfahrten innerhalb der Messdatensätze nötig. Diese Anzahl kann statistisch ermittelt werden um möglichst genaue Ergebnisse zu erreichen. In der Regel ist die Anzahl jedoch recht hoch, sodass diese im Rahmen solcher Forschungsprojekte, wie auch in IMPAKT, nicht realisiert werden kann.

4.2.3 Simulation UseCase “Green Light Optimal Speed Advisory”

Der UseCase “Green Light Optimal Speed Advisory” (GLOSA) versorgt den Fahrer bzw. die Fahrerin eines ausgestatteten Pkw mit der Information über die benötigte Geschwindigkeit zum

Passieren des nächsten signalisierten Knotenpunkt ohne zu halten. Diese Information soll den Verkehrsfluss harmonisieren, unnötiges Beschleunigen verhindern und ein optimiertes Heransetzen an die Knotenpunkte ermöglichen. Die Nachbildung des UseCase GLOSA erfolgte entsprechend der UseCase-Beschreibung des Testfeldes Telematik.

Zur Analyse der verkehrlichen Wirkung der Funktion ist eine Gegenüberstellung zwischen dem Verhalten ausgestatteter und nicht ausgestatteter FahrerInnen notwendig. Hierfür fehlen als Inputgrößen Informationen bezüglich des Fahr- und Reaktionsverhaltens der nicht ausgestatteten FahrerInnen aus den Realfahrten. Um das Fahrverhalten in der Verkehrssimulation möglichst realitätsnah abbilden zu können, müssen daher Annahmen getroffen werden.

Vorhandene Erfahrungen aus Fahrsimulatorstudien und Realtests aus dem Projekt sim^{TD} dienen hier als Anhaltspunkt für die veränderten Verhaltensweisen. Dabei werden in der durchgeführten Verkehrssimulation nur die verkehrliche Wirkung der Funktion untersucht und technische Kenngrößen wie etwa die Zuverlässigkeit der Nachrichtenübertragung werden nicht betrachtet. Es werden folgende Annahmen für die Simulationsläufe verwendet:

- Es wird davon ausgegangen, dass die Funktion technisch einwandfrei funktioniert (100 %ige Nachrichtenübertragung in die Fahrzeuge)
- Zusätzlich wird von einer 100 %igen Befolgsrate der FahrerInnen ausgegangen, um das maximale Potential der Funktionen ermitteln zu können.

4.2.3.1 Untersuchungsszenarien

In der Verkehrssimulation werden in Abhängigkeit des Anteils der ausgestatteten Fahrzeuge und des daraus resultierenden geänderten Fahrverhalten unterschiedliche Wirkungen der Funktion auf den Gesamtverkehr erwartet. Die verschiedenen Ausstattungsrate haben dabei direkten Einfluss auf den umgebenden nicht ausgestatteten Verkehr. Im Rahmen des IMPAKT-Projektes wurden folgende zu untersuchende Ausstattungsrate festgelegt:

- 0 % C2X (Ausgangszustand)
- 3 % C2X
- 15 % C2X
- 30 % C2X
- 80 % C2X

Die Analyse mit der hohen Ausstattungsrate von 80 % ist vorgesehen um die maximale zu erwartende Wirkung der Funktion abschätzen zu können. Weiterhin werden für verschiedene Verkehrszustände unterschiedliche Wirkungen erwartet. Aus diesem Grund werden die Szenarien durch zwei verschiedene Zeitscheiben weiter spezifiziert, welche als repräsentativ für diese Verkehrszustände angesehen werden:

- Tagesnormalverkehr (13-14 Uhr)
- Nachmittagsspitze (17-18 Uhr)

Aus der Kombination von Ausstattungsgrad und Zeitscheibe ergeben somit für die Wirkungsermittlung von GLOSA in der Verkehrssimulation in Summe zehn verschiedene Szenarien (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Auswerteszenarien für den UseCase GLOSA

Stunde	Ausstattungsgrad [%]	Name Szenario	Nummer Szenario
13-14 Uhr	0	glosa_h1314_nullfall	1
	3	glosa_h1314_a03	2
	15	glosa_h1314_a15	3
	30	glosa_h1314_a30	4
	80	glosa_h1314_a80	5
17-18 Uhr	0	glosa_h1718_nullfall	6
	3	glosa_h1718_a03	7
	15	glosa_h1718_a15	8
	30	glosa_h1718_a30	9
	80	glosa_h1718_a80	10

4.2.3.2 Kalibrierung der Verkehrssimulation

Um die verkehrlichen Wirkung des UseCase GLOSA durch eine Verkehrssimulation testen zu können, muss vorab eine Nachbildung der realen Gegebenheiten im Testgebiet erfolgt sein. Darunter versteht man die Nachbildung von Streckengeometrien, Lichtsignalanlagen und der Verkehrslage.

Simulationsumgebung

In der Verkehrssimulation wird der UseCase GLOSA, analog zu den Realtests, am Handelskai in südöstlicher Fahrtrichtung (stadtauswärts) auf ihre Wirkung hinsichtlich Verkehrssicherheit und Verkehrseffizienz getestet. Das Testgebiet der Funktion umfasst die folgenden Knotenpunkte:

- 02020 – Handelskai - Machstraße
- 02023 – Handelskai - Scandic Crown Hotel
- 02002 – Handelskai - Meiereistraße
- 02079 – Handelskai - Marathonweg
- 02094 – Handelskai - Chrastekgasse
- 02009 – Handelskai – Johann-Boehm-Platz

Mit Ausnahme des Knotenpunktes 02079 ist jeder Knotenpunkt in der Verkehrssimulation, wie auch im realen Testgebiet, mit einer Road Side Unit ausgestattet die entsprechende Informationen an die ausgestatteten Fahrzeuge versendet. Die Darstellung des Handelskai in der Verkehrssimulation sowie als Kartenausschnitt kann der nachfolgenden Abbildung 44 entnommen werden. Die Simulation erfolgt mithilfe der Simulationssoftware VISSIM (PTV AG) in der Version 5.40.

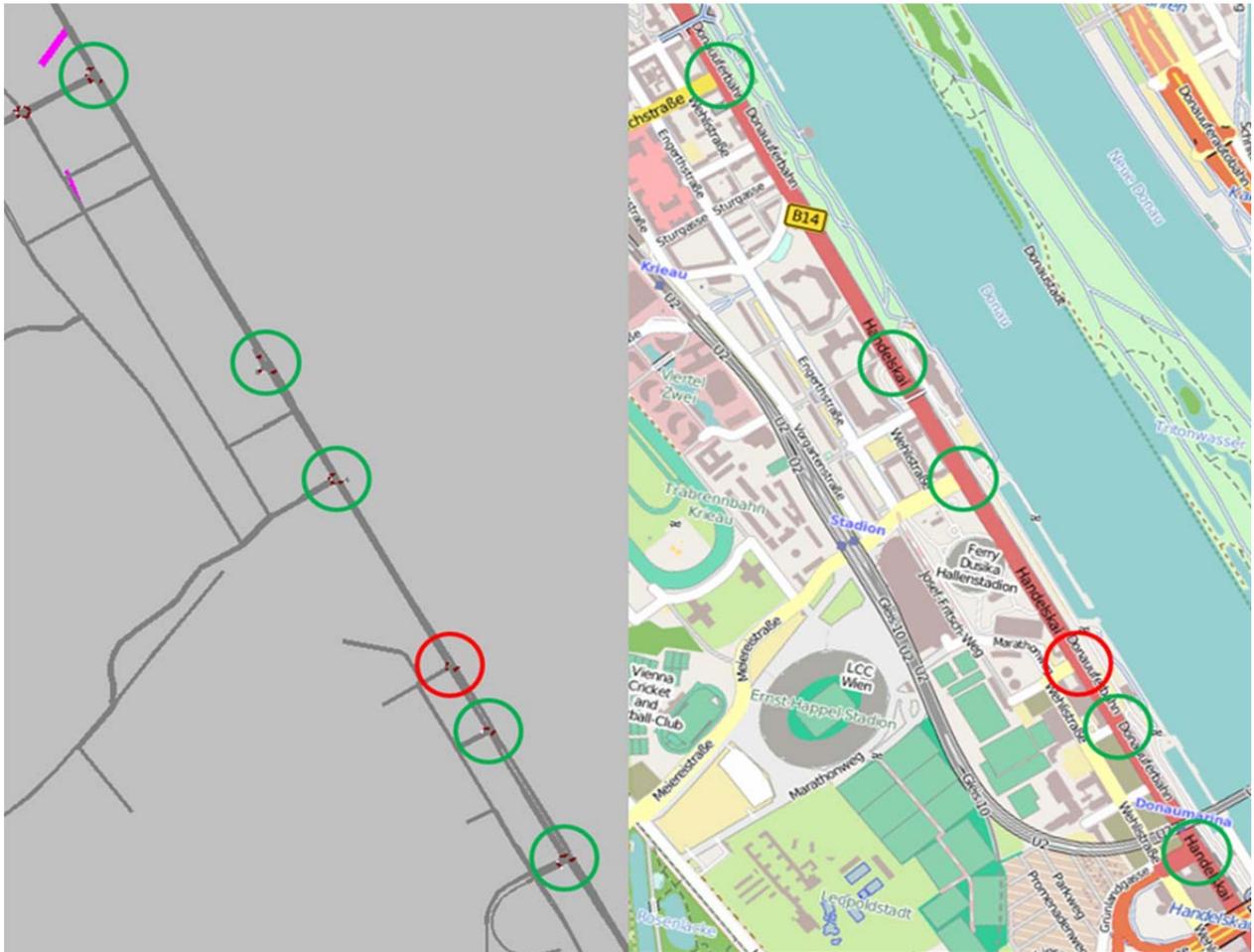


Abbildung 44: Handelskai in der Verkehrssimulation mit Markierung der VLSA-Knoten (Quelle: OpenStreetMap)

Verkehrszustand

Wie bereits erwähnt, wird die verkehrliche Wirkung der Funktion GLOSA in den zwei Zeitscheiben 13-14 Uhr (Tagesnormalverkehr) sowie 17-18 (Nachmittagsspitze) untersucht. Das Verkehrsmodell Großraum Wien lieferte dabei die Basis für die Kalibrierung des Verkehrszustandes. Des Weiteren wurden die aggregierten stündlichen Verkehrsstärken der Zählstelle 1177 an den 43 Werktagen im Oktober und November 2013 zum Kalibrieren der Simulation herangezogen. Tabelle 18 listet die statistischen Kennwerte (Standardabweichung, Minima und Maxima, Quantilwerte, Median, Mittelwert, Stichprobe) gegliedert nach Auswertestunde, Fahrtrichtung (NW, SO) und Fahrzeugklasse (Kfz, Lkw) auf.

Tabelle 18: Statistik zu den stündlichen Verkehrsstärken der Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013

Std.	Richtung	Größe [Fz/h]	Std. Abw.	Var. Koeff.	Minima	5% Quantil	25% Quantil	Median	Mean	75% Quantil	95% Quantil	Maxima	SV-Anteil
13-14 Uhr	Nordwest (NW)	QKFZ	107	0.16	573	588	607	633	674	674	885	985	7.2 %
		QLKW	7	0.15	32	38	44	47	48	55	58	74	
	Südost (SO)	QKFZ	141	0.18	621	650	728	752	805	813	1063	1241	8.6 %
		QLKW	9	0.13	52	59	62	68	69	76	84	91	
17-18 Uhr	Nordwest (NW)	QKFZ	132	0.13	758	792	994	1040	1022	1094	1164	1409	2.9 %
		QLKW	9	0.29	12	14	25	30	29	34	43	49	
	Südost (SO)	QKFZ	198	0.17	796	835	987	1142	1143	1265	1458	1648	3.4 %
		QLKW	12	0.30	18	23	28	39	39	47	60	63	

Mit Hilfe von Tabelle 18 können erhebliche Unterschiede zwischen der Stunde 13-14 Uhr (im Mittel 674 Kfz/h für Fahrtrichtung NW bzw. 805 Kfz/h für Fahrtrichtung SO) und 17-18 Uhr (im Mittel 1022 Kfz/h für Fahrtrichtung NW bzw. 1043 Kfz/h für Fahrtrichtung SO) festgestellt werden. Der Schwerverkehrsanteil (Verhältnis Mean QLKW zu Mean QKFZ) ist in der Stunde 17-18 Uhr für beide Fahrtrichtungen deutlich geringer (< 4 %). Für die Simulation wird ein mittlerer SV-Anteil von 8 % für die Stunde 13-14 Uhr und 4 % für die Stunde 17-18 Uhr im Verkehrsmodell angenommen.

In mehreren Iterationsschritten wurden die Verkehrsstärken der Zuflüsse in der Simulation angepasst und die so simulierte Verkehrsmengen mit den empirischen Daten der Zählstelle verglichen. Tabelle 19 stellt die gezählten und simulierten (3 Simulationsläufe) Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten an der Zählstelle 1177 am Handelskai nach abgeschlossener Kalibrierung gegenüber.

Tabelle 19: Vergleich empirischer und simulierter Verkehrsdaten an der Zählstelle 1177 Handelskai

0	Std.	1	Fahrt-Richtung	2	Datenquelle	3	Verkehrsstärke [Fz/h]	4	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]
13-14 Uhr	Nordwest (NW)	Empirisch		674	49.1				
		Simulationslauf 1		680	44.0				
		Simulationslauf 2		652	44.2				
		Simulationslauf 3		662	44.9				
		Mittelwert Simulation		665	44.4				
		Abweichung zu empirisch		-1.4%	-9.6%				
	Südost (SO)	Empirisch		805	53.9				
		Simulationslauf 1		810	49.7				
		Simulationslauf 2		805	50.1				
		Simulationslauf 3		776	50.1				
		Mittelwert Simulation		797	49.9				
		Abweichung zu empirisch		-1.0%	-7.3%				
17-18 Uhr	Nordwest (NW)	Empirisch		1022	47.7				
		Simulationslauf 1		1091	43.8				
		Simulationslauf 2		1030	41.8				
		Simulationslauf 3		1014	43.2				
		Mittelwert Simulation		1045	42.9				
		Abweichung zu empirisch		+2.3%	-10.0%				
	Südost (SO)	Empirisch		1143	52.4				
		Simulationslauf 1		1136	48.1				
		Simulationslauf 2		1094	48.2				
		Simulationslauf 3		1061	48.5				
		Mittelwert Simulation		1097	48.3				
		Abweichung zu empirisch		-4.0%	-7.8%				

Fahrverhalten

Für das Geschwindigkeitsverhalten der nicht ausgestatteten FahrerInnen wird die Verteilung der Geschwindigkeiten vorliegender Einzelfahrzeugdaten am Messquerschnitt 1177 am Handelskai verwendet. Abbildung 45 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung in Form von Boxplots mit Angabe der Standardabweichung (S) und Stichprobengröße (n), links an Werktagen für die Stunde 13-14 Uhr und rechts für die Stunde 17-18 Uhr (entspricht den simulierten Zeitscheiben). Dabei existieren nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Zeitbereichen, jedoch variieren die Geschwindigkeiten zwischen den beiden Fahrtrichtungen (Fahrtrichtung Nordwest: Median bei ca. 47-48 km/h; Fahrtrichtung Südost: Median bei 52-54 km/h).

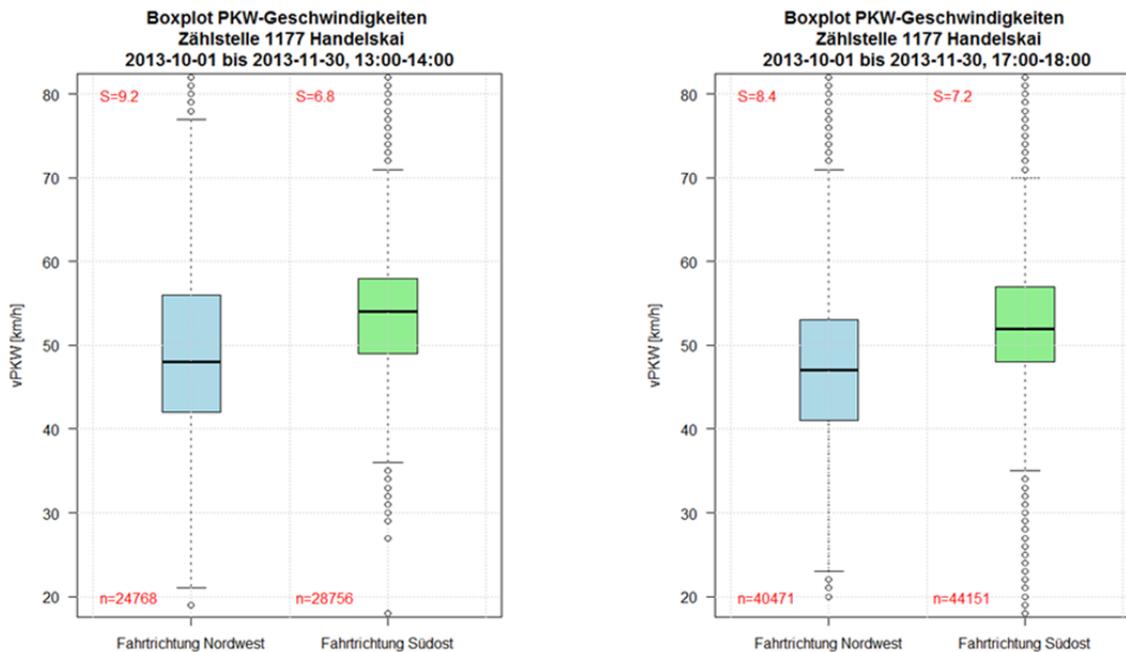


Abbildung 45: Boxplot Pkw-Geschwindigkeiten der Zählstelle 1177 am Handelskai für die Stunden 13-14 Uhr und 17-18 Uhr

Während der Zeitscheibe 13-14 Uhr wird die Wunschgeschwindigkeitsverteilung der Pkw auf 54 km/h mit einer Bandbreite von 44 km/h bis 65 km/h festgesetzt. Bei Lkw wird eine Wunschgeschwindigkeit von 48 km/h mit einer Bandbreite von 37 km/h bis 60 km/h angenommen.

Während der Nachmittagsspitze von 17-18 Uhr wird die Wunschgeschwindigkeitsverteilung der Pkw auf 54 km/h mit einer Bandbreite von 42 km/h bis 64 km/h festgesetzt. Bei Lkw wurde eine Wunschgeschwindigkeit von 48 km/h mit einer Bandbreite von 36 km/h bis 59 km/h angesetzt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Cooperative Mobility Systems and Services for Energy Efficiency“ (EcoMove) ist am Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München für das innerstädtische Fahrverhalten (Folge-, Spurwechsel- und Querverhalten) ein eigener Parametersatz [EcoMove 2013] für die Mikroverkehrssimulation entstanden, welcher auch für die Untersuchungen im Rahmen von IMPAKT verwendet wird. Dieser bildet die Charakteristik des innerstädtischen Verkehrs realitätsnaher ab als dies durch die Standard-Parameter der Verkehrssimulationssoftware VISSIM möglich ist. So wird beispielsweise beim Spurwechselverhalten die akzeptierte Verzögerung für das eigene und das Folgefahrzeug gegenüber den Standard-Parametern erhöht, wo hingegen beim Folgeverhalten der mittlere Stillstandsabstand verringert wird.

4.2.3.3 Validierung der Verkehrssimulation

Die Validierung der Verkehrssimulation soll den Nachweis erbringen, dass das Modell nicht nur für einen einzelnen betrachteten Datensatz aussagekräftige Ergebnisse liefert, sondern auch auf vergleichbare Situationen übertragbar ist. Durch das Fehlen von Datensätzen für C2X Fahrzeuge ist im Rahmen des Projektes IMPAKT keine Validierung im klassischen Sinn möglich. Stattdessen findet eine Anpassung durch Annahmen statt, die einer Art Validierung gleichzusetzen ist.

Fahrverhalten C2X

Das Fahrverhalten der durch den UseCase GLOSA informierten FahrerInnen sollte sich, dank der zusätzlichen Bereitstellung von verkehrsrelevanten Informationen gegenüber den FahrerInnen ohne System, im Optimalfall merklich unterscheiden. Es wird angenommen, dass durch die Information über die Progressionsgeschwindigkeit des Grünbandes entlang des Streckenzuges ein homogeneres Fahrerkollektiv mit einer geringeren Streuung hervorgerufen wird. Diese Wirkung könnte anhand von Realdaten validiert werden. Aus den vorhandenen Realdaten für das innerstädtische Testgebiet ließen sich jedoch aufgrund der fehlenden Informationen zu den Schaltzuständen der einzelnen LSA keine Erkenntnisse zum Fahrverhalten der Fahrzeuge mit GLOSA-System ableiten. Daher war es notwendig Annahmen bezüglich des Fahrverhaltens zu treffen. Dabei wird die anfängliche Wunschgeschwindigkeitsverteilung der ausgestatteten Pkw auf 54 km/h mit einer Bandbreite von 44 km/h bis 65 km/h festgesetzt. Dies entspricht den Ergebnissen der Querschnittsmessung am Handelskai (siehe Kapitel 4.2.3.2 Fahrverhalten). Die Information bezüglich der Progressionsgeschwindigkeit der Grünen Welle von 50 km/h wird dem ausgestatteten Fahrzeug ab einem Bereich von 220 m vor der Lichtsignalanlage mitgeteilt, falls dieser sich zu diesem Zeitpunkt im Grünband der Grünen Welle befindet. Sobald die mit C2X ausgestatteten Pkw die Information erhalten haben, wird ihre Wunschgeschwindigkeitsverteilung auf 50 km/h mit einer Bandbreite von 45 km/h bis 55 km/h gesetzt (siehe Abbildung 46).

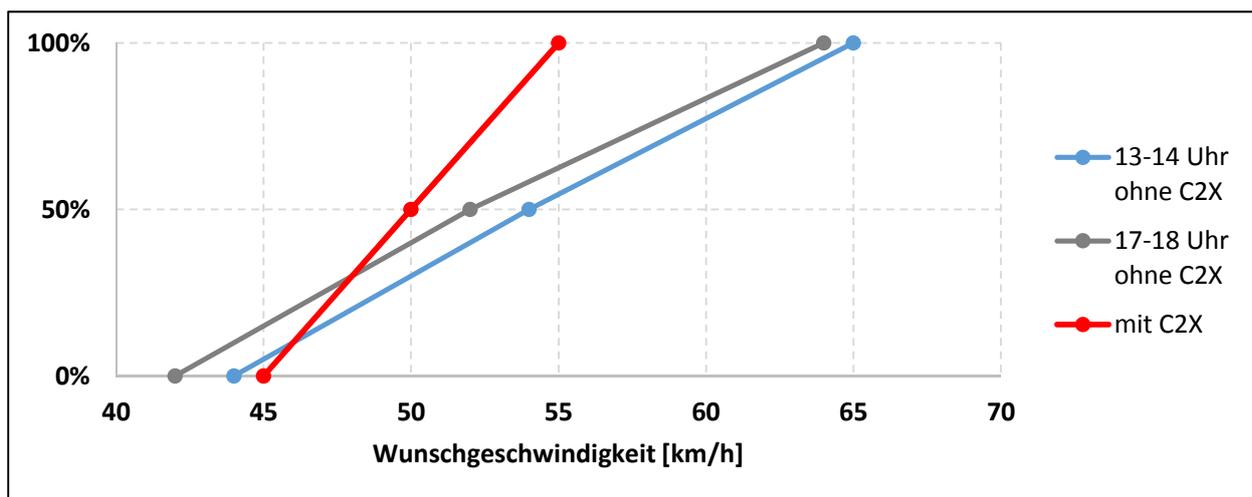


Abbildung 46: GLOSA Verteilung der in der Verkehrssimulation verwendeten Wunschgeschwindigkeit für Pkw ohne C2X (Normalverkehr und Nachmittagsspitze) sowie der mit C2X ausgestatteten Pkw

Weiterhin wird angenommen, dass die FahrerInnen, nachdem sie die Information über die Progressionsgeschwindigkeit im Streckenzug einmal erhalten haben, dieses angepasste Geschwindigkeitsverhalten bis zum Ende des Streckenzuges beibehalten. Die weiteren Modellparameter bezüglich des Folge-, Spurwechsel- und Querverhaltens bleiben unverändert und sind identisch zu denen der nicht ausgestatteten FahrerInnen.

Reaktionsverhalten C2X

Um eine verkehrliche Wirkung zu erzeugen, muss sich das Reaktionsverhalten der ausgestatteten Fahrzeuge von dem der nicht ausgestatteten unterscheiden. Der UseCase GLOSA wurde durch den Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München zur ausschließlichen Verwendung in der IMPAKT Verkehrssimulation nachgebildet. Die Nachbildung erfolgte im Rahmen der für die Verkehrssimulation möglichen und sinnvollen, oben beschriebenen Randbedingungen, das heißt die Umsetzung orientiert sich an der funktionalen Wirkungsweise, die auf eine Veränderung des Fahrverhaltens der jeweils zu informierenden FahrerInnen abzielt. Die Nachbildung der

Funktion erfolgt, entsprechend der Programmierschnittstelle der verwendeten Simulationssoftware VISSIM, in der Programmiersprache Python.

Ab einem Bereich von 220 m vor der Lichtsignalanlage erfolgt durch das Python Skript eine Abfrage der momentanen Position und Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Gleichzeitig werden die Abstände der einzelnen signalisierten Knotenpunkte sowie die jeweiligen maximalen Grün- und Rotzeiten der Signalanlagen abgefragt. Mit Hilfe der Parameter Distanz zwischen dem Fahrzeug und der nächsten Lichtsignalanlage, der momentanen Fahrzeuggeschwindigkeit sowie der restlichen Grün- bzw. Rotzeit der LSA wird berechnet, ob das Fahrzeug den Knotenpunkt während der Grünzeit passieren kann. Wenn dies für die nächsten beiden Knotenpunkte im Straßenverlauf gegeben ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich das Fahrzeug im Grünband der Grünen Welle befindet. In diesem Fall erhält das Fahrzeug eine Information über die Progressionsgeschwindigkeit der Grünen Welle und passt seine Wunschgeschwindigkeitsverteilung auf 50 km/h an.

Abbildung 47 zeigt vereinfacht den Ablauf des Skripts. In Abbildung 48 ist die Umsetzung der Funktion GLOSA in VISSIM ersichtlich. Die mit C2X ausgestatteten Pkw sind rot markiert. Erhalten Sie eine Information bezüglich der Progressionsgeschwindigkeit der grünen Welle wird ihnen die Farbe Gelb zugewiesen.



Abbildung 47: Visualisierung des Python Skripts für GLOSA

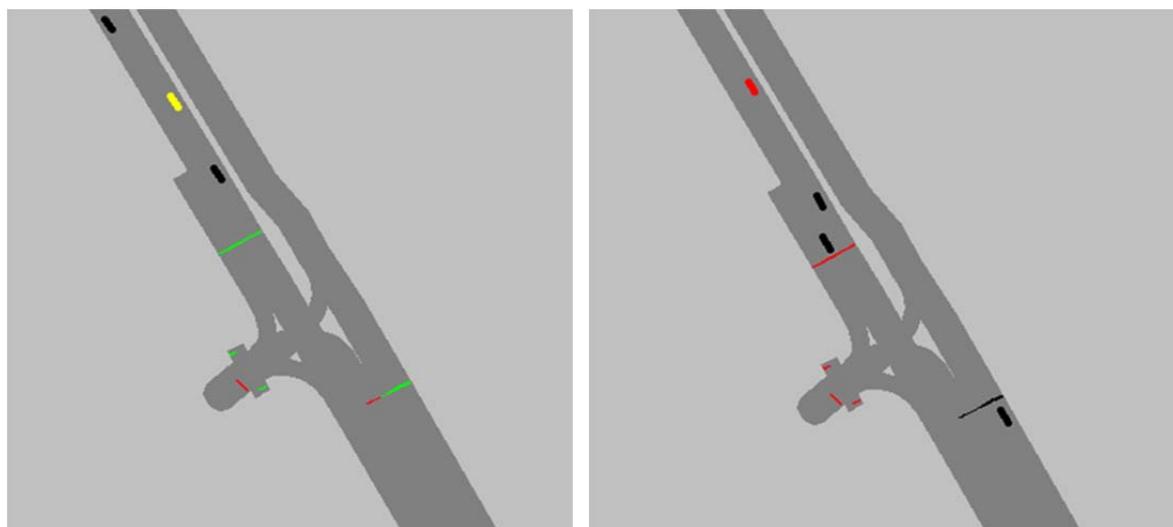


Abbildung 48: Umsetzung UseCase GLOSA in der Simulation, links befindet sich das Fahrzeug innerhalb, rechts außerhalb des Grünbandes

4.2.4 Simulation UseCase „Road Works Warning“

Der Use Case „Road Works Warning“ (RWW) informiert den oder die FahrerInnen eines Pkw über Baustellen im weiteren Straßenverlauf. Durch den frühzeitigen Erhalt der Information kann sich der oder die FahrerIn auf die potentielle Gefahrenquelle einstellen und rechtzeitig einen Spurwechsel sowie eine Geschwindigkeitsanpassung durchführen. Dieser Use Case wurde aus den folgenden Gründen ausgewählt, um im Rahmen einer mikroskopischen Verkehrssimulation untersucht zu werden:

- Die Funktion „Road Works Warning“ beinhaltet im Unterschied zu anderen Funktionen des Testfeld Telematik Austria (TTA) die Notwendigkeit von Fahrstreifenwechseln aufgrund von gesperrten Fahrstreifen im Baustellenbereich. Daher ist von einer frühzeitigen Information und Warnung des Fahrers bzw. der FahrerIn vor Baustellen eine höhere Wirkung zu erwarten als in anderen durch TTA-Funktionen adressierten Situationen.
- Die Funktion ist aktuell im Rahmen des EU-Korridors „Niederlande-Deutschland-Österreich“ als erster Anwendungsfall eines einheitlichen länderübergreifenden ITS-Service geplant und wird dadurch in den nächsten Jahren deutlich an Bedeutung gewinnen.

In dem ursprünglich vom IMPAKT-Team vorgesehen Szenario bekamen die ausgestatteten Fahrzeuge die Information über die Baustelle im Fahrbahnverlauf im Bereich von ca. 100 m vor einer Schilderbrücke, die auf eben diese Baustelle hinweist. Die ausgestatteten Fahrzeuge bekamen die Information also innerhalb des Sichtbereiches der Schilderbrücke. Auf Grund der kurzen Distanz ergab sich kein Informationsvorsprung der ausgestatteten Fahrzeuge gegenüber den nicht ausgestatteten Fahrzeugen und somit wurde keine verkehrliche Wirkung der Funktion erwartet.

Aus diesem Grund wird der UseCase RWW unter einer Reihe von getroffenen Annahmen mit Abwandlungen zur realen Umsetzung im Testfeld in der Verkehrssimulation nachgebildet. Ziel dieses Vorgehens ist die Darstellung von Potenzialen der Funktion. Hierzu wird vorausgesetzt, dass die ausgestatteten FahrerInnen in ausreichender Entfernung vor der Baustelle eine Warnung erhalten und gegenüber den nicht ausgestatteten Fahrern damit einen Informationsvorsprung haben. Damit lässt sich ein geändertes Fahrverhalten (frühzeitigere Reaktion und ein geändertes Geschwindigkeitsverhalten) begründbar annehmen.

Vorhandene Erfahrungen aus Fahrsimulatorstudien und Realtests aus dem Projekt sim^{TD} dienen hier als Anhaltspunkt für die veränderten Verhaltensweisen. In der durchgeführten Verkehrssimulation wird lediglich die verkehrliche Wirkung der Funktion untersucht, technische Kenngrößen wie etwa die Zuverlässigkeit der Nachrichtenübertragung werden nicht betrachtet. Zusätzlich wird von einer 100 %igen Befolgungsrates der informierten FahrerInnen ausgegangen, um das maximale Potential der Funktionen ermitteln zu können.

Aus den oben genannten Gründen für die geplante Einführung des Anwendungsfalls „Road Works Warning“ im EU-Korridor orientiert sich die Funktionsweise der im Rahmen der Verkehrssimulation abzubildenden UseCase RWW stark an der Funktionsausprägung der geplanten Umsetzung im EU-Korridor. Das bedeutet, dass die ausgestatteten FahrerInnen zusätzlich eine Detail-Information über die Lage der Baustelle (Information bezüglich des gesperrten Fahrstreifens) erhalten.

4.2.4.1 Untersuchungsszenarien

In der Verkehrssimulation werden in Abhängigkeit des Anteils der ausgestatteten Fahrzeuge und des daraus resultierenden geänderten Fahrverhalten unterschiedliche Wirkungen der Funktion RWW auf den Gesamtverkehr erwartet. Um das verkehrliche Wirkpotential der Funktion RWW abschätzen zu können, wurden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse verschiedene Szenarien miteinander verglichen. Die verschiedenen Ausstattungsgraden haben dabei direkten Einfluss auf den umgebenden nicht ausgestatteten Verkehr. Im IMPAKT Team wurden folgende zu untersuchende Ausstattungsgraden festgelegt:

- 0 % C2X (Ausgangszustand)
- 3 % C2X
- 15 % C2X
- 30 % C2X
- 80 % C2X

Die Analyse mit der hohen Ausstattungsrate von 80 % ist vorgesehen um die maximale zu erwartende Wirkung der Funktion abschätzen zu können. Weiterhin werden für verschiedene Verkehrszustände unterschiedliche Wirkungen erwartet. Aus diesem Grund werden die Szenarien durch zwei verschiedene Zeitscheiben weiter spezifiziert, welche als repräsentativ für diese Verkehrszustände angesehen werden:

- Tagesnormalverkehr (13-14 Uhr)
- Nachmittagsspitze (17-18 Uhr)

Zudem wurde der Einfluss der Übertragungreichweite auf die verkehrliche Wirkung der Funktion RWW analysiert. Die Information über die Baustelle im Fahrbahnverlauf geht entweder 300 oder 500 m vor besagter Baustelle beim Fahrer oder bei der Fahrerin des ausgestatteten Pkw ein. Der Zeitpunkt des Erhalts der Information wirkt sich außerdem auf das Fahrstreifenwechselverhalten der ausgestatteten Fahrzeuge aus.

Bei Erhalt der Information passen die ausgestatteten Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit an. Für diese Verhaltensänderung wurden ebenfalls zwei Szenarien variiert - Untersuchungen mit einer reduzierten Wunschgeschwindigkeitsverteilung von 95 km/h sowie 110 km/h.

Aus der Kombination von unterschiedlichen Zeitscheiben, Ausstattungsgraden, Informationsorten und Wunschgeschwindigkeitsverteilungen ergeben sich insgesamt 34 verschiedene Auswerteszenarien für den UseCase RWW (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Auswerteszenarien für den UseCase RWW

Stunde	Informationsort [m]	Wunschgeschwindigkeit [km/h]	Ausstattungsgrad C2X [%]	Name Szenario	Nummer Szenario
13-14 Uhr	-	-	0	rww_h1314_nullfall	1
	300	95	3	rww_h1314_300m_v95_a03	2
			15	rww_h1314_300m_v95_a15	3
			30	rww_h1314_300m_v95_a30	4
			80	rww_h1314_300m_v95_a80	5
		110	3	rww_h1314_300m_v110_a03	6
			15	rww_h1314_300m_v110_a15	7
			30	rww_h1314_300m_v110_a30	8
			80	rww_h1314_300m_v110_a80	9
	500	95	3	rww_h1314_500m_v95_a03	10
			15	rww_h1314_500m_v95_a15	11
			30	rww_h1314_500m_v95_a30	12
			80	rww_h1314_500m_v95_a80	13
		110	3	rww_h1314_500m_v110_a03	14
			15	rww_h1314_500m_v110_a15	15
			30	rww_h1314_500m_v110_a30	16
			80	rww_h1314_500m_v110_a80	17
17-18 Uhr	-	-	0	rww_h1718_nullfall	18
	300	95	3	rww_h1718_300m_v95_a03	19
			15	rww_h1718_300m_v95_a15	20
			30	rww_h1718_300m_v95_a30	21
			80	rww_h1718_300m_v95_a80	22
		110	3	rww_h1718_300m_v110_a03	23
			15	rww_h1718_300m_v110_a15	24
			30	rww_h1718_300m_v110_a30	25
			80	rww_h1718_300m_v110_a80	26
	500	95	3	rww_h1718_500m_v95_a03	27
			15	rww_h1718_500m_v95_a15	28
			30	rww_h1718_500m_v95_a30	29
			80	rww_h1718_500m_v95_a80	30
		110	3	rww_h1718_500m_v110_a03	31
			15	rww_h1718_500m_v110_a15	32
			30	rww_h1718_500m_v110_a30	33
			80	rww_h1718_500m_v110_a80	34

4.2.4.2 Kalibrierung der Verkehrssimulation

Um die verkehrlichen Wirkung des UseCase RWW durch eine Verkehrssimulation testen zu können, muss vorab eine Nachbildung der realen Gegebenheiten im Testgebiet erfolgt sein. Darunter versteht man die Nachbildung von Streckengeometrien und der Verkehrslage.

Simulationsumgebung

Als Simulationsumgebung zur Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen der Funktion „Road Works Warning“ wurde der Abschnitt zwischen dem Flughafen Schwechat in Wien und dem Autobahnknoten Schwechat auf der Autobahn A4 gewählt. Die Baustelle wurde stadteinwärts auf einem dreistreifigen Autobahnabschnitt kurz vor dem Knoten Schwechat platziert. Sie befindet sich auf dem rechten äußeren Fahrstreifen, wodurch der dreistreifige Bereich der Autobahn auf zwei Fahrstreifen reduziert wird. Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit in diesem Bereich beträgt 130 km/h. Die Verkehrssimulation erfolgt mithilfe der Simulationssoftware VISSIM (PTV AG) in der Version 5.40. Die Abbildung der Baustelle als Karten- sowie Simulationsausschnitt kann der nachfolgenden Abbildung 49 entnommen werden.

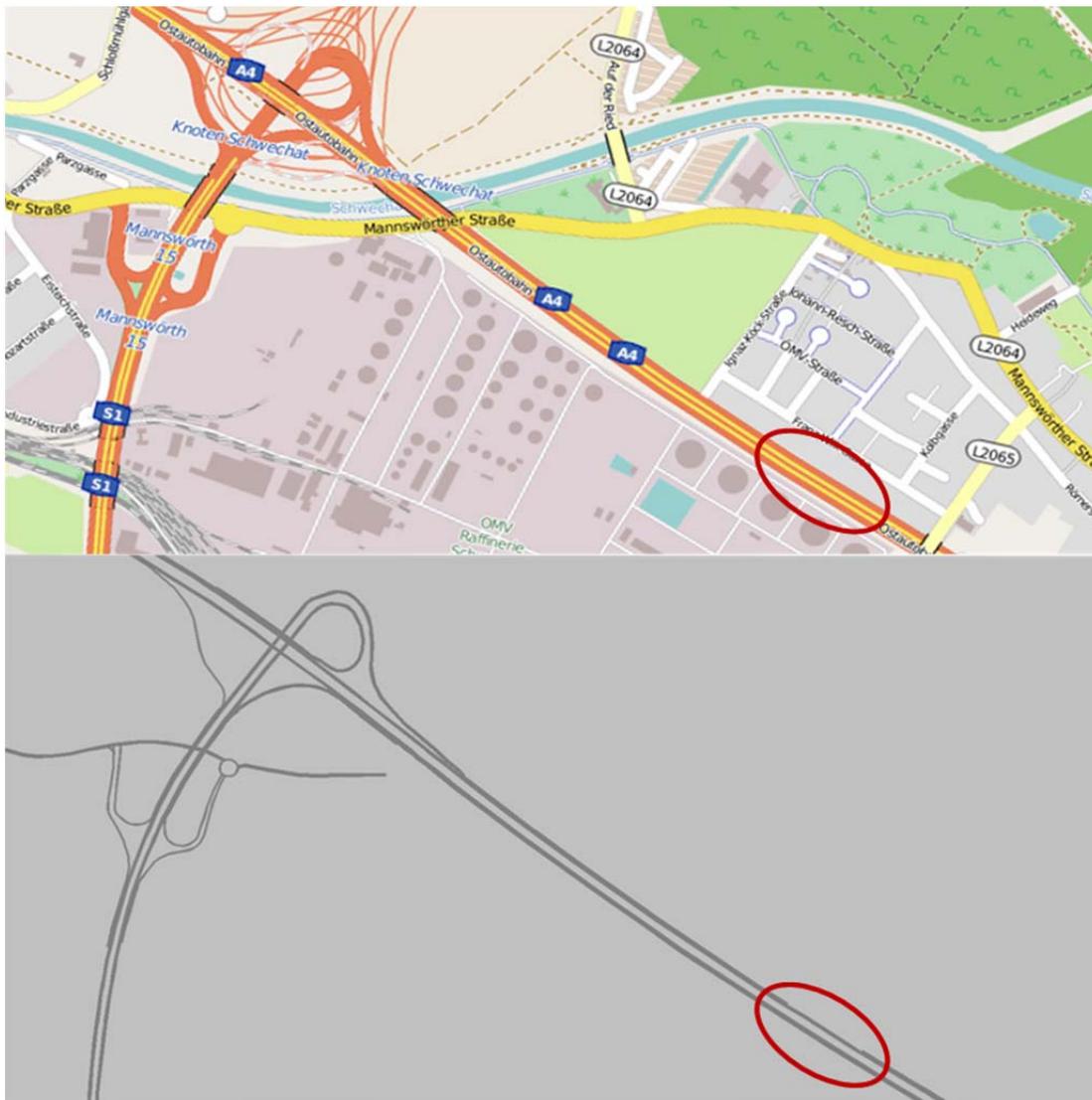


Abbildung 49: Lage der Baustelle für die Simulation der RWW (Quelle: OpenStreetMap)

Verkehrszustand

Die verkehrliche Wirkung der Funktion RWW wird ebenfalls in den zwei Zeitscheiben 13-14 Uhr (Tagesnormalverkehr) sowie 17-18 Uhr (Nachmittagsspitze) untersucht. Das Verkehrsmodell Großraum Wien lieferte dabei die Basis für die Kalibrierung des Verkehrszustandes. Die Kalibrierung der Verkehrssimulation erfolgte dann durch Auswertungen der Verkehrsstärken an den folgenden drei Messquerschnitten (Lage siehe Abbildung 50):

- km 8.7: AQ_A04_2_008.700 (Querschnitt nach der simulierten Baustelle)
- km 10.4: AQ_A04_2_010.400 (Querschnitt vor der simulierten Baustelle)
- km 11.9: AQ_A04_2_011.900

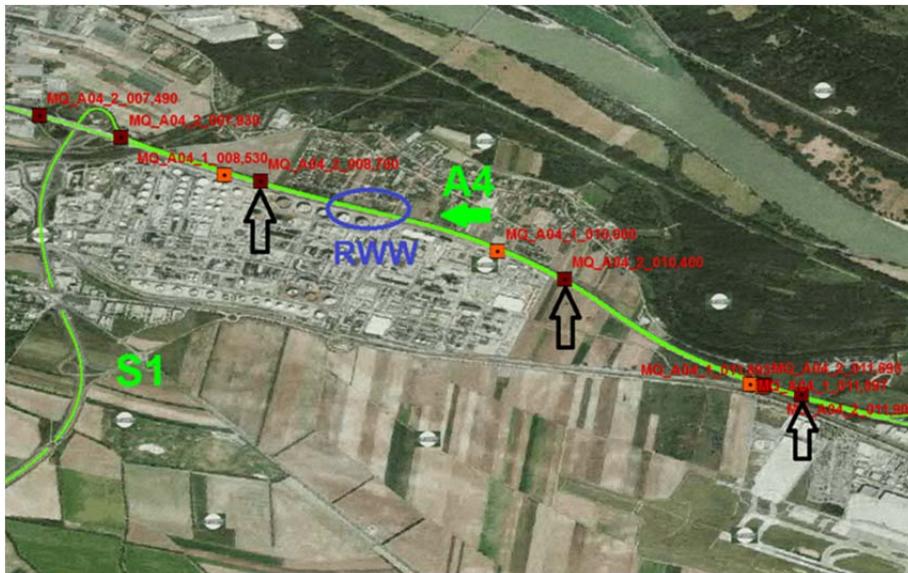


Abbildung 50: Lage der 3 Querschnitte auf der A4 Richtung Wien im Bereich der simulierten Baustelle (Quelle: GoogleEarth)

Die gezählten Verkehrsstärken (stündlicher Mittelwert aus den Werktagen zwischen 01.10.2013 und 30.11.2013) an den drei Messquerschnitten auf der A4 werden in Tabelle 21 für die betrachteten Stunden zusammengefasst.

Tabelle 21: Statistik zu den stündlichen Verkehrsstärken an 3 Messquerschnitten auf der A4 Richtung Wien in der Stunde 13-14 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013

Std.	Quer-schnitt	Größe [Fz/h]	Std. Abw.	Var. Koeff	Minima	5% Quantil	25% Quantil	Median	Mean	75% Quantil	95% Quantil	Maxima	SV-Anteil
13-14 Uhr	km 8.7	QKFZ	193	0.09	1350	1910	2040	2152	2122	2237	2345	2507	15.8%
		QLKW	59	0.18	172	246	290	340	335	381	416	440	
	km 10.4	QKFZ	296	0.17	1270	1341	1477	1723	1748	1985	2249	2301	18.8%
		QLKW	60	0.18	159	243	291	330	329	370	421	441	
	km 11.9	QKFZ	212	0.09	1418	2020	2230	2327	2296	2427	2553	2677	14.1%
		QLKW	57	0.18	161	237	280	328	323	363	407	419	
17-18 Uhr	km 8.7	QKFZ	260	0.10	1570	2175	2341	2567	2505	2698	2817	2893	11.7%
		QLKW	64	0.22	152	188	249	300	294	347	384	391	
	km 10.4	QKFZ	327	0.15	1554	1611	2010	2127	2169	2320	2780	2894	12.9%
		QLKW	59	0.21	162	175	242	285	279	330	358	369	
	km 11.9	QKFZ	238	0.08	2121	2438	2772	2921	2865	3036	3185	3261	9.5%
		QLKW	56	0.21	150	174	239	278	272	314	348	377	

Die empirischen Verkehrsstärken am km 10.4 werden aufgrund der Differenz zu den benachbarten Messquerschnitten (ev. Messfehler oder defekter Detektor) nicht beim Kalibrieren der Verkehrsnachfrage im Simulationsmodell verwendet, es werden nur die Verkehrsstärken der Quer-

schnitte bei km 8.7 und km 11.9 als Zielgröße herangezogen. Der Schwerverkehr wird im Modell mit einem Anteil von 14 % für die Stunde 13-14 Uhr und 9,5 % für die Stunde 17-18 Uhr angenommen.

In mehreren Iterationsschritten werden die Zuflüsse (Verkehrsstärken) in der Simulation angepasst und die simulierten Verkehrsmengen mit den empirischen Daten verglichen. Tabelle 22 stellt die gezählten und simulierten (5 Simulationsläufe) Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten an der Zählstelle bei km 8.7 (AQ_A04_2_008.700) nach abgeschlossener Kalibrierung gegenüber.

Tabelle 22: Vergleich empirischer und simulierter Verkehrsdaten an der Zählstelle AQ_A04_2_008.700

Std.	Datenquelle	Verkehrsstärke [Fz/h]	Mittlere Geschwindigkeit [km/h]
13-14 Uhr	Empirisch	2122	103.5
	Simulationslauf 1	2083	96.2
	Simulationslauf 2	2055	96.5
	Simulationslauf 3	2087	97.4
	Simulationslauf 4	1990	97.6
	Simulationslauf 5	2105	96.7
	Mittelwert Simulation	2064	96.9
	Abweichung zu empirisch	-2.7%	-6.4%
17-18 Uhr	Empirisch	2505	99.8
	Simulationslauf 1	2374	96.7
	Simulationslauf 2	2379	95.8
	Simulationslauf 3	2407	96.9
	Simulationslauf 4	2325	96.9
	Simulationslauf 5	2413	95.6
	Mittelwert Simulation	2380	96.4
	Abweichung zu empirisch	-5.0%	-3.4%

Ergänzend werden noch Reisezeiten in der Simulation des Nullfalls mit den gemessenen Reisezeiten von Fahrten ohne kooperative Services (Zustand 0) verglichen. Dabei waren 13 Fahrten im Zustand 0 am betreffenden Abschnitt zwischen Flughafen Wien und Knoten Schwechat im Bereich der simulierten Baustelle verfügbar. Die Reisezeiten bei diesen Fahrten betreffen den Abschnitt zwischen Referenzpunkt RP_103070223 und RP_903070151 auf der A4 (Länge 3,930 km). Dieser Abschnitt unterscheidet sich geringfügig von der Reisezeitmessung in der Simulation (4,0 km). Daher wurden zu Vergleichszwecken bei der Auswertung die Reisezeitwerte aus den Realfahrten (Zustand 0) auf einen 4 km langen Abschnitt hochgerechnet. Es ist zu erkennen, dass die gemessenen Reisezeiten mit Abweichungen von Mittelwert und Median unter 10 % gut mit den Reisezeiten aus der Simulation übereinstimmen (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Vergleich der gemessenen und simulierten Reisezeiten auf einem 4km langen Abschnitt auf der A4 zwischen Flughafen Wien und Knoten Schwechat

Reisezeit für 4km Abschnitt [s]	StdAbw	Minima	Median	Mean	Maxima	Stichprobe
Realfahrten Zustand 0	12	111	127	131	149	13
Simulation 13-14 Uhr	22	106	132	138	268	10325
Abweichung zu Realfahrten	+77%	-5%	+4%	+6%	+80%	-
Simulation 17-18 Uhr	21	109	138	143	284	11919
Abweichung zu Realfahrten	+71%	-1%	+8%	+9%	+91%	-

Fahrverhalten

Für das Geschwindigkeitsverhalten der Pkw und Lkw im Ausgangszustand wurden die Querschnittsdaten im 1-Minutenintervall an den gleichen drei Messquerschnitten der A4 betrachtet. An diesen drei Querschnitten wurde die Geschwindigkeitsverteilung für die repräsentativen Stunden 13-14 Uhr (Abbildung 51) und 17-18 Uhr (Abbildung 52) an Werktagen innerhalb des Zeitraums vom 01.10.2013 bis 30.11.2013 ausgewertet.

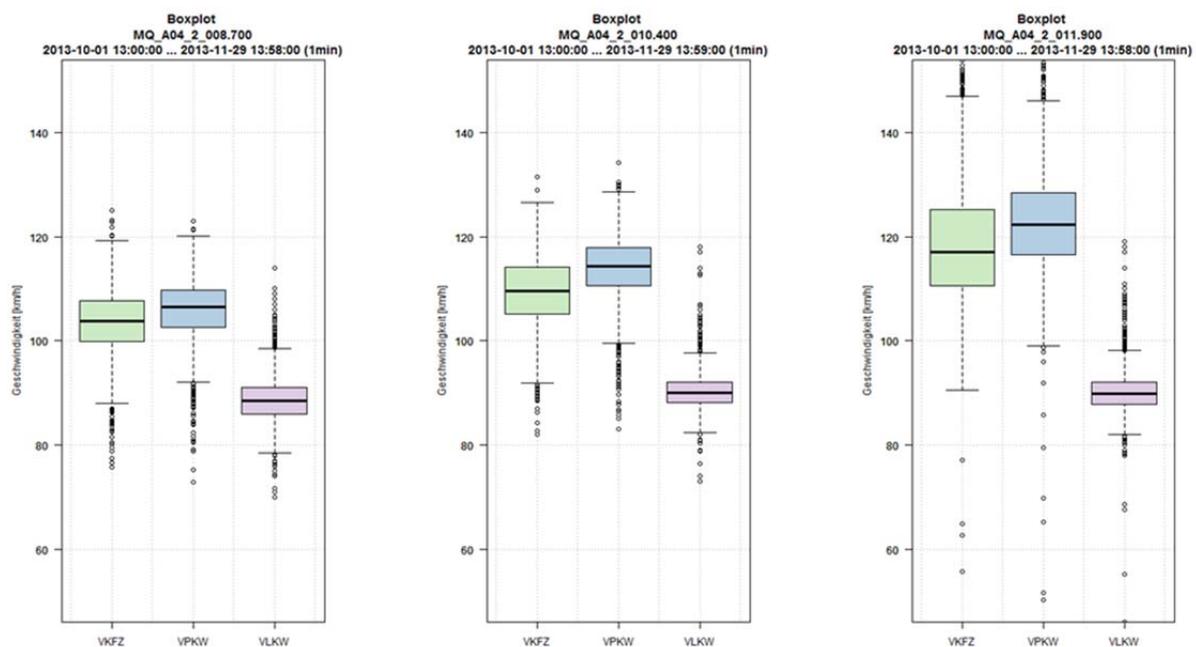


Abbildung 51: Boxplot der Geschwindigkeiten für 3 Messquerschnitte auf der A4 Richtung Wien in der Stunde 13-14 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013

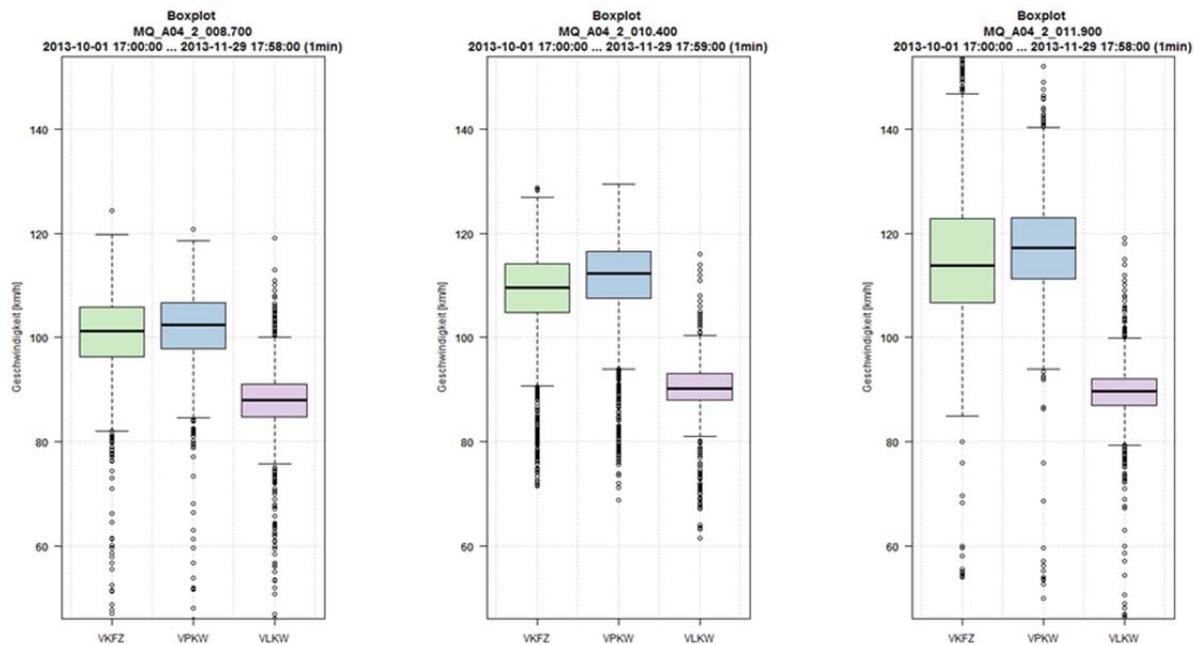


Abbildung 52: Boxplot der Geschwindigkeiten für 3 Messquerschnitte auf der A4 Richtung Wien in der Stunde 17-18 Uhr an Werktagen, Zeitraum 01.10.2013 bis 30.11.2013

Das Geschwindigkeitsniveau sinkt mit Annäherung an die Stadt Wien (für Stunde 13-14 Uhr mittlere VKFZ 118 km/h bei km 11.9, 109 km/h bei km 10.4 und 104 km/h bei km 8.7). Erwartungsgemäß sind die durchschnittlichen Geschwindigkeiten für die Stunde 17-18 Uhr etwas geringer (1 - 4 %) als für die Stunde 13-14 Uhr. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten dienen als Zielwerte in der Simulation.

Somit wird die Wunschgeschwindigkeitsverteilung der Pkw während der Zeitscheibe 13-14 Uhr auf 130 km/h mit einer Bandbreite von 109 km/h bis 139 km/h festgesetzt. Bei den Lkw wird eine Wunschgeschwindigkeitsverteilung mit einer Bandbreite von 84,5 km/h bis 97 km/h bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h angesetzt.

In der Zeitscheibe von 17-18 Uhr sinken die Minima und Maxima der Bandbreiten, was voraussichtlich durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen bedingt ist. Während der Nachmittagsspitze wird die Wunschgeschwindigkeitsverteilung der Pkw auf 130 km/h mit einer Bandbreite von 101 km/h bis 133 km/h festgesetzt. Bei den Lkw wird eine Wunschgeschwindigkeitsverteilung von 80 km/h mit einer Bandbreite von 81 km/h bis 98 km/h angenommen.

Für das generelle Fahrverhalten in der mikroskopischen Simulation fließen des Weiteren Informationen zu Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten auf österreichischen Autobahnen des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz ein (vgl. [Kropfitsch 2013]). Für die Modellparameter bezüglich des Folge-, Spurwechsel- und Querverhaltens werden ebenfalls vorhandene Erfahrungen und Erkenntnisse aus verschiedenen anderen Forschungsaktivitäten der beiden Universitäten genutzt (z.B. simTD, EcoMove).

Reaktionsverhalten

Um das Fahrstreifenwechselverhalten aller Fahrzeuge realistisch darzustellen, wurden basierend auf Erfahrungen aus vergangenen Forschungsprojekten Annahmen getroffen, da hier keine entsprechende Datengrundlage vorhanden war und die Standardeinstellungen aus VISSIM Version 5.4-08 nicht als zielführend eingeschätzt wurden.

Für realistische Fahrstreifenwechsel wurde der Abschnitt ab 550 m vor der Baustelle in vier Bereiche unterteilt, welche der Abbildung 53 entnommen werden können.

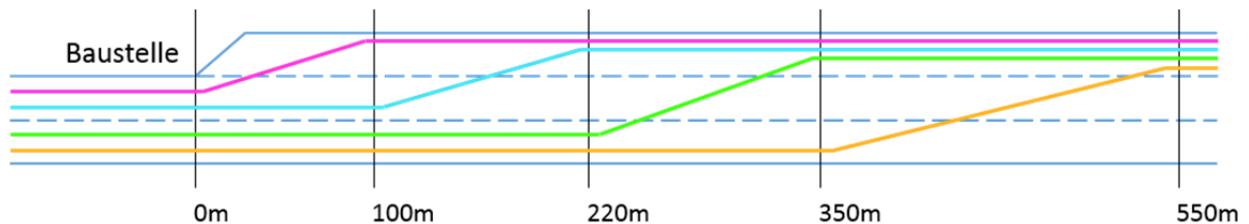


Abbildung 53: Bereichseinteilung der Fahrstreifenwechsel RWW

In VISSIM werden die Bereiche als eigene Streckenabschnitte dargestellt. Jeweils in 100, 220, 350 und 550 m vor der Baustelle sind die Streckenabschnitte mit Verbindungsstrecken verbunden. Innerhalb dieser Teilbereiche erhält ein gewisser Anteil an Fahrzeugen einen Fahrstreifenwechselbefehl. Der Fahrstreifenwechsel kann dabei zu einem beliebigen Zeitpunkt der Durchfahrt des Teilbereiches durchgeführt werden, jedoch muss er bis zum Erreichen des nächsten Abschnittes vollzogen worden sein. Es ist anzumerken, dass von einer Befolgungsrate von 100 % der informierten FahrerInnen ausgegangen wird, um das maximale Potential der Funktionen ermitteln zu können.

Es wird hier die Annahme auf Basis von Erfahrungen aus dem Projekt sim^{TD} getroffen, dass 45 % der Pkw im Bereich zwischen 550 und 350 m, 35 % der Pkw im Bereich zwischen 350 und 220 m, 15 % der Pkw im Bereich zwischen 220 und 100 m und 5 % kurz vor der Baustelle von dem rechten auf den mittleren bzw. linken Fahrstreifen wechseln. Der hohe Anteil von Fahrstreifenwechseln im Bereich 550 bis 350 m und 350 bis 220 m vor der Baustelle ist durch traditionelle Warnungen über Baustellen im Fahrbahnverlauf zu erklären.

Neben der Warnung durch Schilderbrücken ist ab einem gewissen Abstand die Baustelle mit bloßem Auge zu erkennen, was zu weiteren Fahrstreifenwechseln führt. Bei den Lkw wird die Annahme getroffen, dass jeweils 50 % der Lkw im Bereich zwischen 350 und 220 m und im Bereich zwischen 220 und 100 m auf den mittleren bzw. linken Fahrstreifen wechseln.

4.2.4.3 Validierung der Verkehrssimulation

Die Validierung der Verkehrssimulation soll den Nachweis erbringen, dass das Modell nicht nur für einen einzelnen betrachteten Datensatz aussagekräftige Ergebnisse liefert, sondern auch auf vergleichbare Situationen übertragbar ist. Durch das Fehlen von Datensätzen für C2X Fahrzeuge ist im Rahmen des Projektes IMPAKT keine Validierung im klassischen Sinn möglich. Stattdessen findet eine Anpassung durch Annahmen statt, die einer Art Validierung gleichzusetzen ist.

Fahrverhalten C2X

Das Fahrverhalten der informierten FahrerInnen sollte sich, dank des Informationsvorteils gegenüber nicht informierten FahrerInnen, merklich unterscheiden. Es wird angenommen, dass durch die Information über die Baustelle im Verlauf des Streckenzuges die ausgestatteten Fahrzeuge eine Geschwindigkeitsanpassung und einen frühzeitigen Fahrstreifenwechsel durchführen. Im Zuge der Geschwindigkeitsanpassung werden zwei Szenarien betrachtet. Das erste Szenario sieht eine Reduktion der Wunschgeschwindigkeitsverteilung auf 110 km/h mit einer Bandbreite von 100 km/h bis 120 km/h vor. Im zweiten Szenario wird die Wunschgeschwindigkeitsverteilung auf 95 km/h mit einer Bandbreite von 85 km/h bis 105 km/h abgesenkt (siehe Abbildung 54). Diese Annahmen beruhen auf Erfahrungen aus diversen Forschungsprojekten (z. B. sim^{TD}).

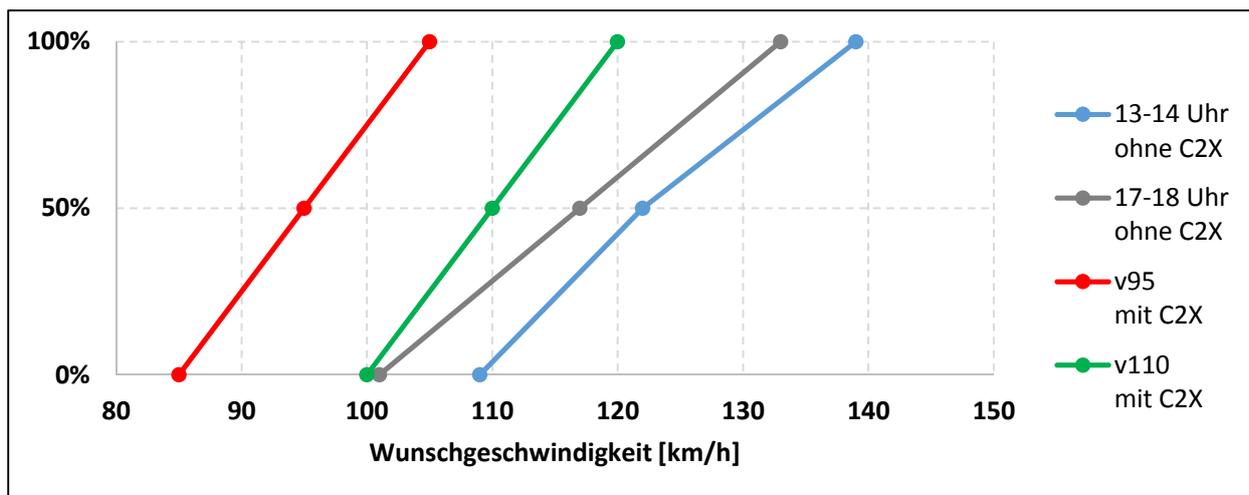


Abbildung 54: RWW Verteilung der in der Verkehrssimulation verwendeten Wunschgeschwindigkeit für Pkw ohne C2X (Normalverkehr und Nachmittagsspitze) sowie der mit C2X ausgestatteten Pkw in den Szenarien v95 und v110

Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass FahrerInnen, welche die Information über die Baustelle erhalten haben, dieses angepasste Geschwindigkeitsverhalten bis zum Erreichen der Baustelle beibehalten. Die weiteren Modellparameter bezüglich des Folge-, Fahrstreifenwechsel- und Querverhaltens bleiben unverändert und sind identisch zu denen der nicht informierten FahrerInnen.

Reaktionsverhalten C2X

Um eine verkehrliche Wirkung zu erzeugen, muss sich das Reaktionsverhalten der ausgestatteten Fahrzeuge von dem der nicht ausgestatteten unterscheiden. Der UseCase RWW wurde durch den Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München zur ausschließlichen Verwendung in der IMPAKT Verkehrssimulation nachgebildet. Die Nachbildung erfolgte im Rahmen der für die Verkehrssimulation möglichen und sinnvollen, oben beschriebenen Randbedingungen, das heißt die Umsetzung orientiert sich an der funktionalen Wirkungsweise die auf eine Veränderung des Fahrverhaltens der jeweils zu informierenden FahrerInnen abzielt. Die Nachbildung der Funktion erfolgt, entsprechend der Programmierschnittstelle der verwendeten Simulationssoftware VISSIM, in der Programmiersprache Python.

Je nachdem welches Szenario betrachtet wird, erhalten die ausgestatteten Fahrzeuge 300 oder 500 m vor der Baustelle die entsprechende Information über die Baustelle im Fahrbahnverlauf. Die Fahrzeuge erhalten daraufhin eine Änderung der Wunschgeschwindigkeitsverteilung auf 95 bzw. 110 km/h, die bis zum Beginn der Baustelle erhalten bleibt.

Durch den Informationsvorsprung, welcher den ausgestatteten Fahrzeugen gegenüber den nicht ausgestatteten Fahrzeugen durch die Information entsteht, sind auch Änderungen im Fahrstreifenwechselverhalten zu erwarten. Somit können die informierten FahrerInnen früher einen Fahrstreifenwechsel und eine Geschwindigkeitsanpassung durchführen. Die prozentualen Anteile der Fahrstreifenwechsel in den einzelnen Teilbereichen vor der Baustelle sind in der folgenden Tabelle gelistet und basieren auf Erfahrungen aus dem Projekt sim^{TD}.

Tabelle 24: Anteil der Fahrstreifenwechsel bei Warnung vor der Baustelle

Abstand zur Baustelle [m]	Pkw (C2X) 500m [%]	Pkw (C2X) 300m [%]	Pkw [%]	Lkw[%]
550 – 350	66	45	45	–
350 – 220	19	40	35	–
220 – 100	12	12	15	50
100 – 0	3	3	5	50

In Abbildung 55 ist die Umsetzung der Funktion in VISSIM ersichtlich. Die mit der Funktion ausgestatteten Fahrzeuge werden mit der Farbe Rot markiert. In einer definierten Entfernung (je nach Szenario) vor der Baustelle erhalten die ausgestatteten Fahrzeuge die Information über die Baustelle. Daraufhin erfolgt ebenfalls je nach Szenario eine Änderung der Wunschgeschwindigkeitsverteilung. An dieser Stelle wird diesen Fahrzeugen die Farbe Gelb zugewiesen.

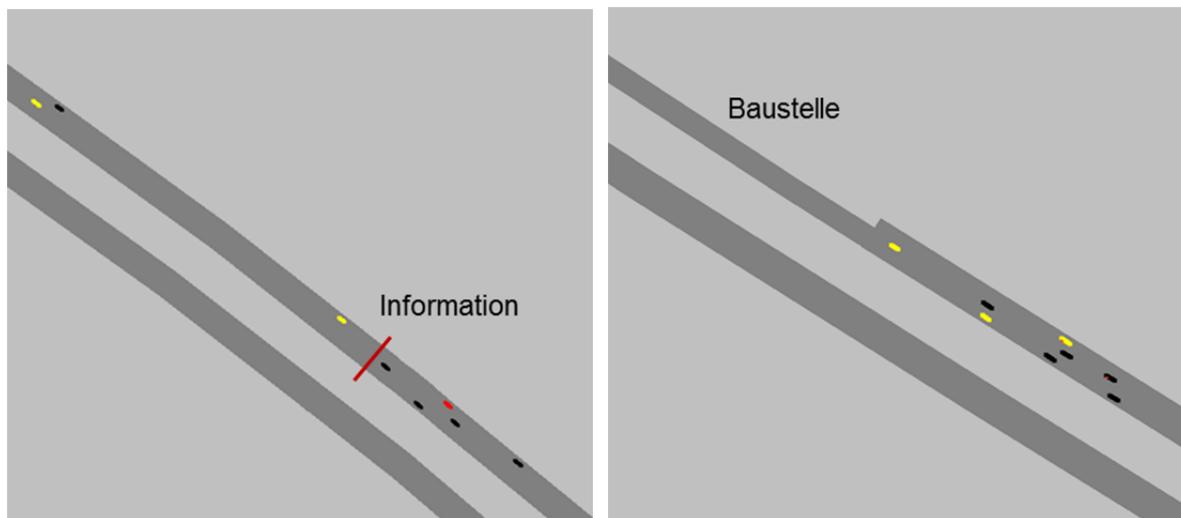


Abbildung 55: Umsetzung UseCase RWW in der Verkehrssimulation, links Ort der Information der Fahrerinnen, rechts Situation am Beginn der Baustelle

4.3 Wirkungsanalyse der Fahr- und Verkehrseffizienz

Um die Fahreffizienz zu analysieren werden fahrdynamische Kenngrößen (siehe Tabelle 1) einzeln für sämtliche Fahrwegtrajektorien bestimmt und zu Vergleichswecken im Anschluss gemittelt (z. B. über Trajektorien innerhalb eines gleichen Streckenabschnittes). Aus den GPS-Realdaten werden die Kenngrößen direkt für jede einzelne Testfahrt bestimmt. Bei den Simulationsdaten sind die Einzelfahrzeugtrajektorien für jedes Fahrzeug im Verkehrsmodell verfügbar. Daher werden hier durch Mittelung die fahrdynamischen Kenngrößen je Abschnitt in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades ausgewertet.

Die Verkehrseffizienz kann einerseits durch Kapazitätsanalysen und andererseits durch Analyse der Homogenität des Verkehrsflusses (Geschwindigkeiten, Zeit- bzw. Weglücken, Fahrstreifenverteilung, Spurwechselverhalten) bewertet werden (vgl. Tabelle 2). Eine Kapazitätsanalyse ist jedoch nur möglich wenn der Verkehrsfluss auch in den überlasteten Bereich (gebundener Verkehr), das heißt in den unteren Ast des q-v-Diagrammes wandert. Dies bedeutet, dass für eine Kapazitätsanalyse sowohl die Verkehrsdaten bei freiem und teilgebundenem Verkehr (stabiler Verkehrsfluss), als auch bei gebundenem Verkehr (instabiler Verkehrsfluss) erforderlich sind.

Auf den betrachteten Abschnitten der simulierten Szenarien (GLOSA: Handelskai Fahrtrichtung Südost, RWW: A4 Fahrtrichtung Wien) treten bei Verwendung der realen Verkehrsmengen kaum Kapazitätsengpässe auf. Daher werden in diesem Kapitel lediglich Kenngrößen zur Bewertung des Harmonisierungseffektes betrachtet, eine Kapazitätsanalyse mit fiktiven höheren Verkehrsbelastungen erfolgt anschließend im Kapitel 5 zur Hochrechnung der Netzauswirkungen kooperativer Systeme. Aus diesem Grund werden hier die Indikatoren von Fahr- und Verkehrseffizienz gemeinsam betrachtet.

Folgende Kenngrößen werden dabei untersucht:

- Reisezeit T bzw. Verlustzeit (Differenz aus aktueller und Nullreisezeit)
- Geschwindigkeitsverhalten (mittlere Geschwindigkeit v_1 und deren Standardabweichung v_1_sd , maximale Geschwindigkeit v_max)
- Beschleunigungsverhalten (Standardabweichung der Beschleunigung „acceleration noise“ ACN , minimale a_min und maximale Beschleunigung a_max , mittlere positive a_pos_AVG und negative Beschleunigung a_neg_AVG und deren Standardabweichungen a_pos_sd und a_neg_sd)
- Anteil Fahrmodus „Cruising“ bzw. „Idling“
- Congestion Index (Stauindex, Verhältnis aus Verlustzeit zu Nullreisezeit)
- Anzahl der Halte
- Anzahl der Spurwechsel
- Gesamtwegstrecke D (Distanz)

Unter der Reisezeit wird die aktuelle Fahrzeit (eines Fahrzeuges oder vieler Fahrzeuge gemittelt) auf einem Abschnitt verstanden. Die Verlustzeit am Abschnitt ergibt sich dann aus der Differenz zur Nullreisezeit (Reisezeit bei freiem Verkehrsfluss, z. B. Fahrzeit mit der höchst zulässigen Geschwindigkeit am Abschnitt).

Ein Halt ist dann gegeben wenn das Fahrzeug unter eine bestimmte Grenzgeschwindigkeit fällt und diese eine bestimmte Zeitdauer nicht überschreitet. Die Grenzgeschwindigkeit wurde mit 3 km/h und die Zeitdauer mit 2 s definiert.

Die Fahrmodi „Cruising“ und „Idling“ werden folgendermaßen definiert: Ein Fahrzeug befindet sich im Fahrmodus „Idling“ wenn es die Grenzgeschwindigkeit von 3 km/h unterschreitet. Ein Fahrzeug befindet sich im Fahrmodus „Cruising“ wenn die absolute Beschleunigung (egal ob verzögern oder beschleunigen) kleiner $0,1 \text{ m/s}^2$ ist und die Grenzgeschwindigkeit von 3 km/h überschritten wird. Cruising beschreibt eine konstante Fahrt, das heißt ein hoher Cruising-Anteil auf einem Abschnitt spricht für einen homogenen Verkehrsablauf.

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Kenngrößen untersucht um die Fahr- und Verkehrseffizienz von kooperativen Fahrzeugen auf mikroskopischer (Einzelfahrten) und mesoskopischer (Abschnitt) Ebene zu bewerten, anfangs in Kapitel 4.3.1 auf Basis Realdaten und anschließend in Kapitel 4.3.2 anhand Simulationsdaten.

4.3.1 Wirkungen der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis von Realdaten

Zur Analyse der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis Realdaten werden einzelne GPS-Track bzw. Abschnitte mehrerer Tracks (z. B. zwischen zwei Referenzpunkten) in einem Vorher-Nachher-Vergleich gegenübergestellt. Das bedeutet, dass fahrdynamische Kenngrößen nicht

kooperativer Fahrzeuge („Zustand 0“-Fahrten, Juni / Juli 2012) mit denen von kooperativen Fahrzeugen („Zustand 1“-Fahrten, Oktober / November 2013) für bestimmte Streckenabschnitte zwischen zwei Referenzpunkten (RP) verglichen werden.

Zuerst werden auf mikroskopischer Ebene Einzelfahrten (GPS-Tracks) in Kapitel 4.3.1.1 betrachtet und anschließend erfolgt in Kapitel 4.3.1.2 eine Analyse verschiedener Abschnitte im Untersuchungsgebiet (mesoskopische Ebene).

4.3.1.1 Fahrtenfeine Betrachtung

Bei der fahrtenfeinen Betrachtung werden einzelne Trajektorien der Testfahrten im Zustand 1 (Oktober und November 2013) analysiert und mit dem aktuellen Verkehrszustand sowie den empfangenen Testfeldmeldungen (Messages) fusioniert. Dabei wird darauf geachtet, dass Trajektorien innerhalb verschiedener Verkehrszustände (freier und gebundener Verkehr) gewählt werden.

Bei den Darstellungen werden Contourplots verwendet. Die Abszisse stellt die Zeitachse dar, auf der Ordinate ist der Weg abgebildet (Einheit: Autobahnkilometer). Der Abschnitt entspricht dem Weg zwischen Anfangs- und Endpunkt auf der Ordinate. Die einzelnen Fahrten sind als Trajektorien in diesem Zeit-Weg Diagramm dargestellt.

Der Verkehrszustand wird in Form der aktuellen Geschwindigkeiten an den Messquerschnitten (1-Minuten Intervall) in farblicher Abstufung gezeigt (gelb/rot: niedrige Geschwindigkeiten; grün/blau: hohe Geschwindigkeiten). Die von den TestfahrerInnen empfangenen Meldungen werden mittels vertikaler Linie (Zeitpunkt der Meldung) in den Contourplots samt Inhalt der Message abgebildet.

Die folgenden 3 Beispiele werden nun betrachtet:

- Beispiel 1: Autobahn A4, Knoten Schwechat bis Knoten Prater, 10.10.2013
- Beispiel 2: Autobahn A23, Favoriten bis Knoten Prater, 17.10.2013
- Beispiel 3: Autobahn A23, Favoriten bis Knoten Prater, 28.11.2013

Beispiel 1: Autobahn A4, Knoten Schwechat bis Knoten Prater, 10.10.2013

Es wurde hier eine Trajektorie (Track 126) auf diesem Teilabschnitt zwischen Knoten Schwechat und Prater am späten Nachmittag an diesem Tag aus den Testfahrten gewonnen. Die fahrdynamischen Kenngrößen der Trajektorie innerhalb des Abschnittes sind in Tabelle 25 zusammengefasst. Aus dem Contourplot (Abbildung 56) ist zu erkennen, dass die Trajektorie beim Knoten Schwechat bei freiem Verkehr beginnt und beim Knoten Prater bei dichtem Verkehr ($v < 80$ km/h) endet.

Tabelle 25: Fahrdynamische Kenngrößen von Track 126 im Abschnitt Knoten Schwechat bis Prater

Track Nr.	D [m]	T [s]	v1 [km/h]	v1_sd [km/h]	v_max [km/h]	ACN [m/s ²]	a_max [m/s ²]	a_min [m/s ²]	a_pos_AVG [m/s ²]	a_pos_sd [m/s ²]	a_neg_AVG [m/s ²]	a_neg_sd [m/s ²]
126	5561	231	86,7	20,1	114,8	0,77	2,30	-2,28	0,61	0,52	-0,57	0,50

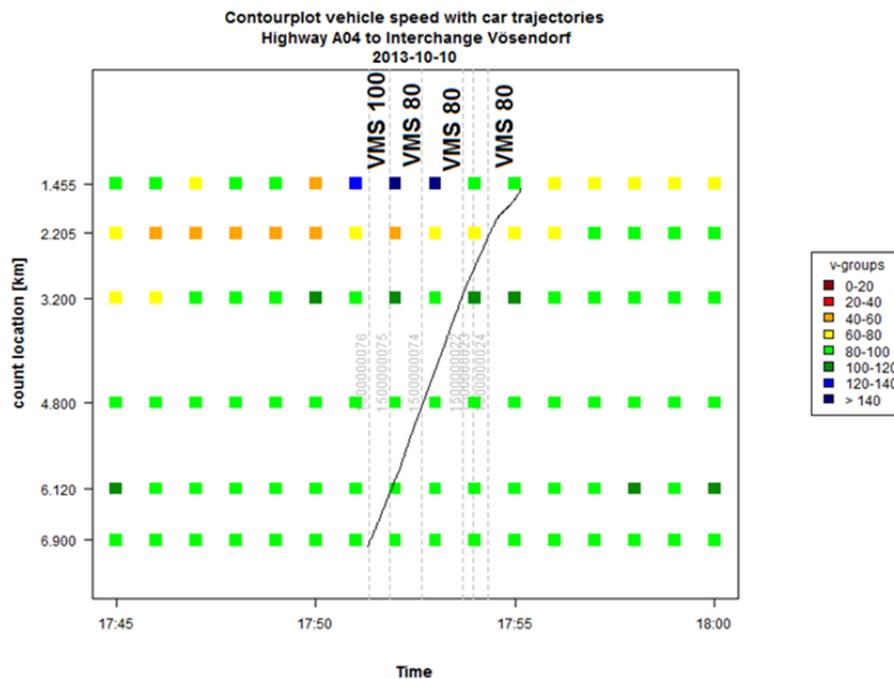


Abbildung 56: Fusion von GPS-, Querschnitts- und Meldungsdaten dargestellt im Zeit-Weg-Diagramm, A4 Richtung Wien, Abschnitt Knoten Schwechat bis Knoten Prater, 10.10.2013

Die Trajektorie zeichnet sich durch einen sehr homogenen Verlauf bis zum Messquerschnitt bei Kilometer 2.205 aus, daran ändert auch die empfangene Meldung hinsichtlich Geschwindigkeitsbeschränkung von 100 auf 80 km/h (variable message sign, VMS 80) nichts. Ab km 2.205 ist ein Abfall der Geschwindigkeit unter 80 km/h aufgrund des Verkehrszustandes erkennbar. Es ist hier kein Einfluss auf das Fahrverhalten aufgrund der empfangenen Meldungen feststellbar.

Beispiel 2: Autobahn A23, Favoriten bis Knoten Prater, 17.10.2013

An diesem Tag konnten drei Fahrten am späten Nachmittag eruiert werden, wobei eine Fahrt (Track 162) bei zählflüssigem Verkehr und zwei Fahrten (Track 164 und 165) bei freiem Verkehr den Abschnitt absolvierte (siehe Abbildung 57). Die fahrdynamischen Kenngrößen der drei Trajektorien innerhalb des betrachteten Abschnittes sind in Tabelle 26 gegenübergestellt.

Tabelle 26: Fahrdynamische Kenngrößen von Track 162, 164 und 165 im Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater

Track Nr.	D [m]	T [s]	v1 [km/h]	v1_sd [km/h]	v_max [km/h]	ACN [m/s ²]	a_max [m/s ²]	a_min [m/s ²]	a_pos_AVG [m/s ²]	a_pos_sd [m/s ²]	a_neg_AVG [m/s ²]	a_neg_sd [m/s ²]
162	3494	685	25.6	12.8	58.4	0.04	4.68	-3.53	0.61	0.75	-0.52	0.58
164	3266	156	87.3	6.4	106.8	0.13	8.19	-6.68	1.78	1.67	-1.66	1.62
165	3456	195	68.3	24.6	103.1	0.79	3.06	-3.06	0.51	0.59	-0.57	0.66

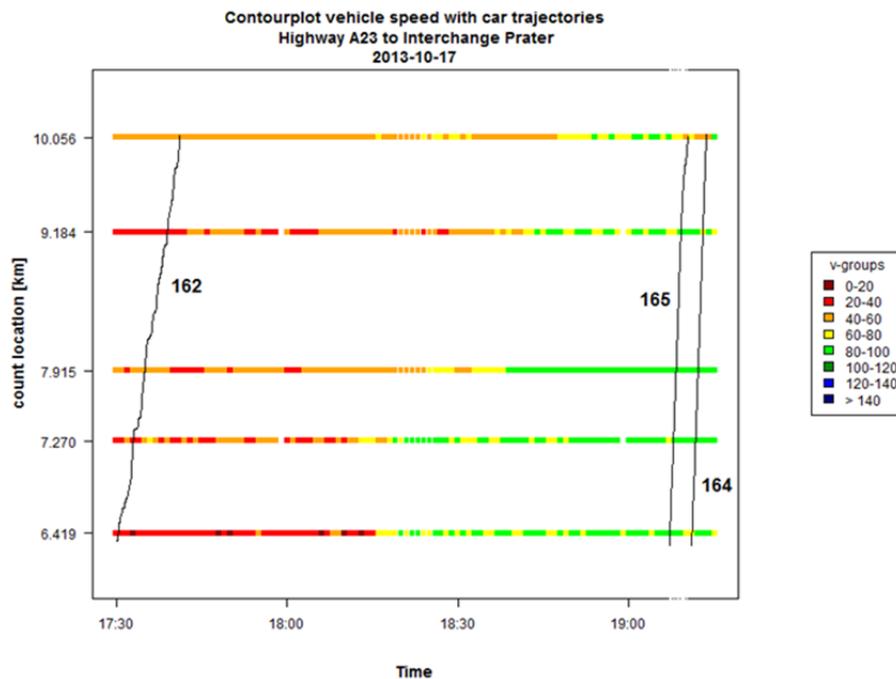


Abbildung 57: Fusion von GPS-, Querschnitts- und Meldungsdaten dargestellt im Zeit-Weg-Diagramm, A23 Richtung Norden, Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater, 17.10.2013

Die erste Trajektorie (Track 162) ist stark von den zähflüssigen bzw. gestauten Verkehrsbedingungen in diesem Zeitraum beeinflusst (Durchschnitts- nur 25,6 km/h und Maximalgeschwindigkeit nur 58,4 km/h bei einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h im Regelfall), dies zeigt sich durch einen inhomogenen Verlauf mit wechselnden Geschwindigkeiten. Verglichen mit den anderen beiden Trajektorien (Track 165 und 164) ist die Reisezeit bei Track 162 (685 s) um ein Vielfaches höher (195 s bzw. 156 s bei Track 165 bzw. 164). Die einzelnen Trajektorien werden vergrößert in Abbildung 58 dargestellt zusammen mit den empfangenen Meldungen der Fahrzeuge.

Track 162 fällt durch einen sehr zackigen Verlauf infolge des Stop&Go Verkehrs auf. 4-mal wurde die Meldung Stau (VMS Stau) und einmal eine Geschwindigkeitsbeschränkung (VMS 60) empfangen. Beim Anzeigequerschnitt bei km 9.184 wird bei allen drei Trajektorien auf eine Baustelle hingewiesen (rww). Track 164 und 165 haben außerdem eine Information bezüglich Park&Ride Erdberg bekommen.

Track 165 empfing neben den Meldungen „rww“ und „Info P&R Erdberg“ 4-mal die Meldung VMS 80 (entspricht der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Regelfall), einmal davon bei zähflüssigen Verkehrsbedingungen kurz vor dem Knoten Prater (Geschwindigkeit unter 60 km/h bei km 10).

Track 164 weist eine homogene Fahrt bei relativ konstanter Geschwindigkeit auf. Das spiegelt sich auch in den fahrdynamischen Kennwerten wider: Durchschnittsgeschwindigkeit 87,3 km/h, geringe Standardabweichung der Geschwindigkeit von 6,4 km/h und geringes Beschleunigungsrauschen (ACN) von 0,13 m/s². Mehrmals hatte auch Track 164 die VMS Meldung 80 km/h erhalten.

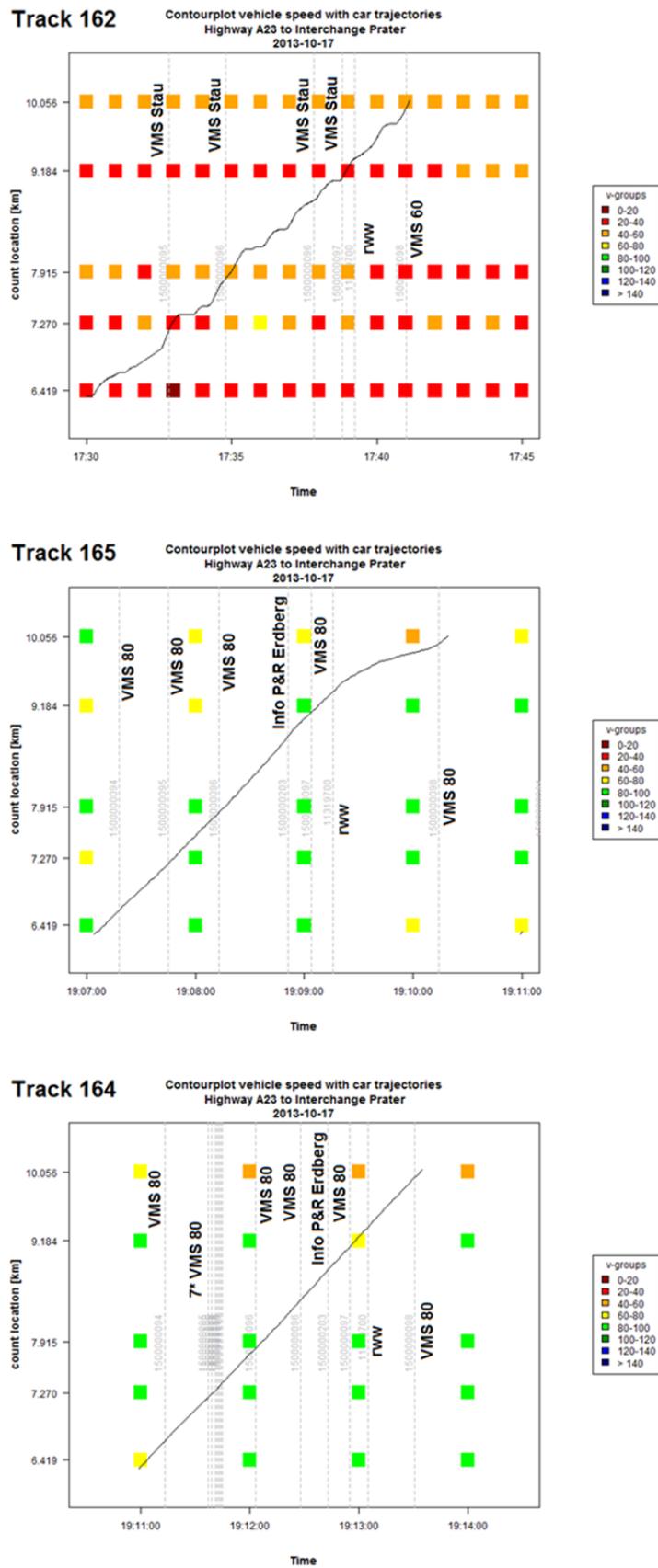


Abbildung 58: Vergrößertes Zeit-Weg-Diagramm von Track 162, 165 und 164 fusioniert mit Querschnitts- und Meldungsdaten

Beispiel 3: Autobahn A23, Favoriten bis Knoten Prater, 28.11.2013

Es konnten hier drei Fahrten im Tagesverlauf festgestellt werden, wobei eine Fahrt am späten Nachmittag zwischen 17 und 18 Uhr (Track 624) bei zähflüssigem Verkehr aufgetreten ist, die beiden anderen verliefen bei freiem bzw. teilgebundenem Verkehrsfluss (siehe Abbildung 59). Die fahrdynamischen Kenngrößen der drei Trajektorien innerhalb des betrachteten Abschnittes sind in Tabelle 27 gegenübergestellt.

Tabelle 27: Fahrdynamische Kenngrößen von Track 620, 624 und 625 im Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater

Track Nr.	D [m]	T [s]	v1 [km/h]	v1_sd [km/h]	v_max [km/h]	ACN [m/s ²]	a_max [m/s ²]	a_min [m/s ²]	a_pos_AVG [m/s ²]	a_pos_sd [m/s ²]	a_neg_AVG [m/s ²]	a_neg_sd [m/s ²]
620	3516	177	75.3	4.4	85.0	1.10	5.69	-5.21	0.89	0.94	-0.72	0.68
624	3412	535	27.8	13.6	70.7	0.04	3.22	-4.42	0.77	0.69	-0.87	0.76
625	3603	154	87.0	5.5	100.9	0.79	4.23	-1.83	0.61	0.65	-0.55	0.47

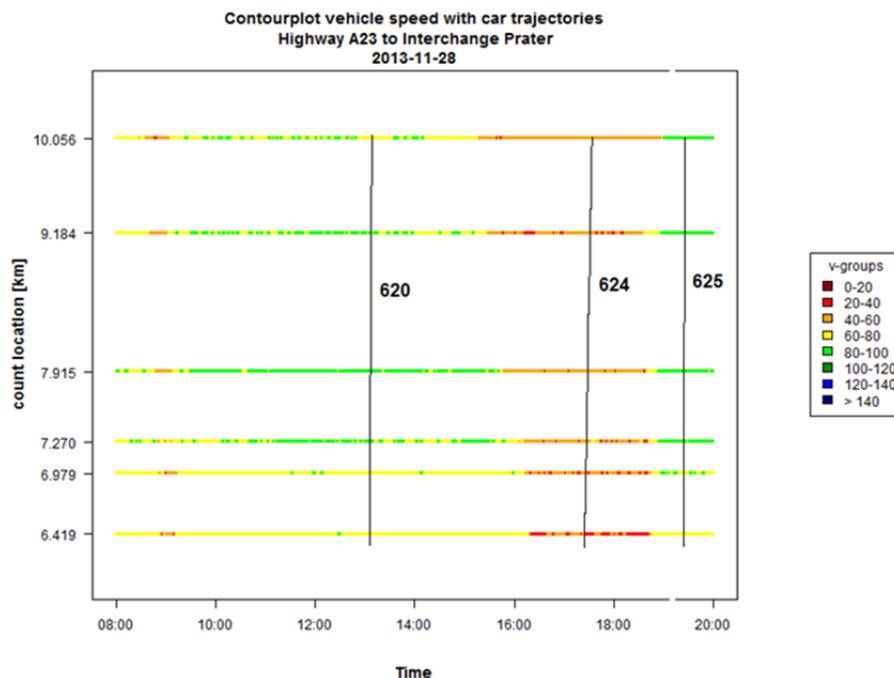


Abbildung 59: Fusion von GPS-, Querschnitts- und Meldungsdaten dargestellt im Zeit-Weg-Diagramm, A23 Richtung Norden, Abschnitt Favoriten bis Knoten Prater, 28.11.2013

Von den drei Trajektorien bewegt sich eine (Track 624) innerhalb zähflüssiger Verkehrsbedingungen. In der Vergrößerung von Track 624 in Abbildung 60 erkennt man gut den inhomogenen Verlauf mit den mehrfach empfangenen Meldungen VMS 60 & Stau. Die Reisezeit ist deutlich höher (535 s) als bei den anderen beiden Trajektorien (177 s bzw. 154 s), die sich durch einen homogenen Verlauf auszeichnen. Insgesamt konnte hier bei der fahrtenfeinen Betrachtung auf mikroskopischer Ebene keine Änderung im Fahrverhalten aufgrund der empfangenen Meldungen im Rahmen der drei Beispiele festgestellt werden.

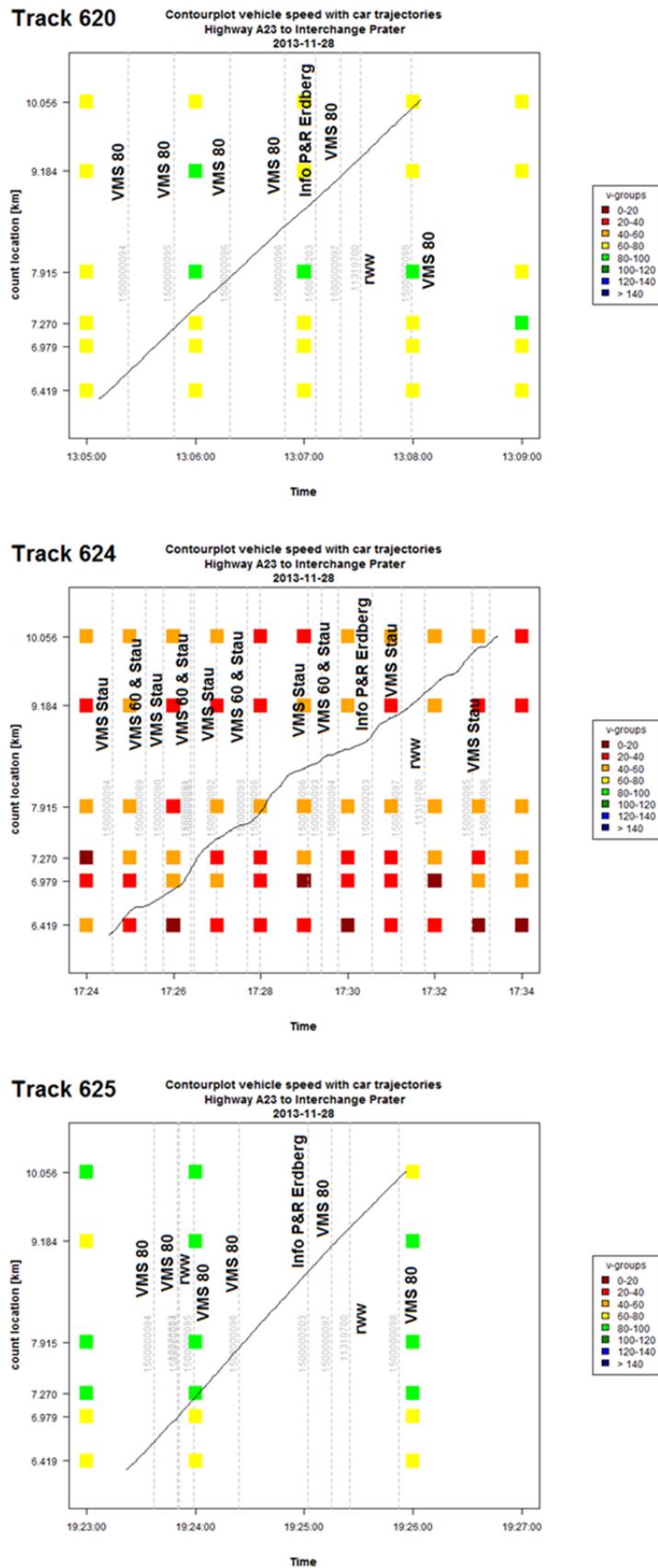


Abbildung 60: Zeit-Weg-Diagramm von Track 620, 624 und 625 fusioniert mit Querschnitts- und Meldungsdaten

4.3.1.2 Abschnittsfeine Betrachtung

Bei der abschnittsfeinen Betrachtung werden fahrdynamische Kenngrößen je Auswerteabschnitt zur Bewertung der Fahr- und Verkehrseffizienz gebildet. Dabei werden die Kenngrößen resultierend aus den Realfahrten ohne kooperative Systeme (Zustand 0-Fahrten, Juni und Juli 2012) den Kenngrößen aus den Realfahrten mit kooperativen Systemen (Zustand 1-Fahrten, Oktober und November 2013) gegenübergestellt. Folgende 7 Abschnitte werden hier betrachtet:

- Abschnitt A: Autobahn A4, Fahrtrichtung Ungarn, Knoten Prater bis Knoten Schwechat (RP 103030204 bis RP 613030107)
- Abschnitt B: Autobahn A4, Fahrtrichtung Ungarn, Knoten Schwechat bis Flughafen Wien (RP 103034217 bis RP 803030150)
- Abschnitt C: Autobahn A4, Fahrtrichtung Wien, Flughafen Wien bis Knoten Schwechat (RP 103070223 bis RP 903070151, in diesem Bereich befindet sich das simulierte Szenario „RWW“)
- Abschnitt D: Autobahn A23, Fahrtrichtung Norden, Knoten Inzersdorf bis Favoriten (RP 622010103 bis RP 622010104)
- Abschnitt E: Autobahn A23, Fahrtrichtung Norden, Knoten Prater bis Handelskai (RP 642010109 bis RP 642010110)
- Abschnitt F: Autobahn A23, Fahrtrichtung Süden, Knoten Landstraße bis Favoriten (RP 102050112 bis RP 622050109)
- Abschnitt G: Innerorts, Handelskai Fahrtrichtung Südost, Kreuzung Machstraße bis Aufahrt A23 (RP 800008114 bis RP 800009119)

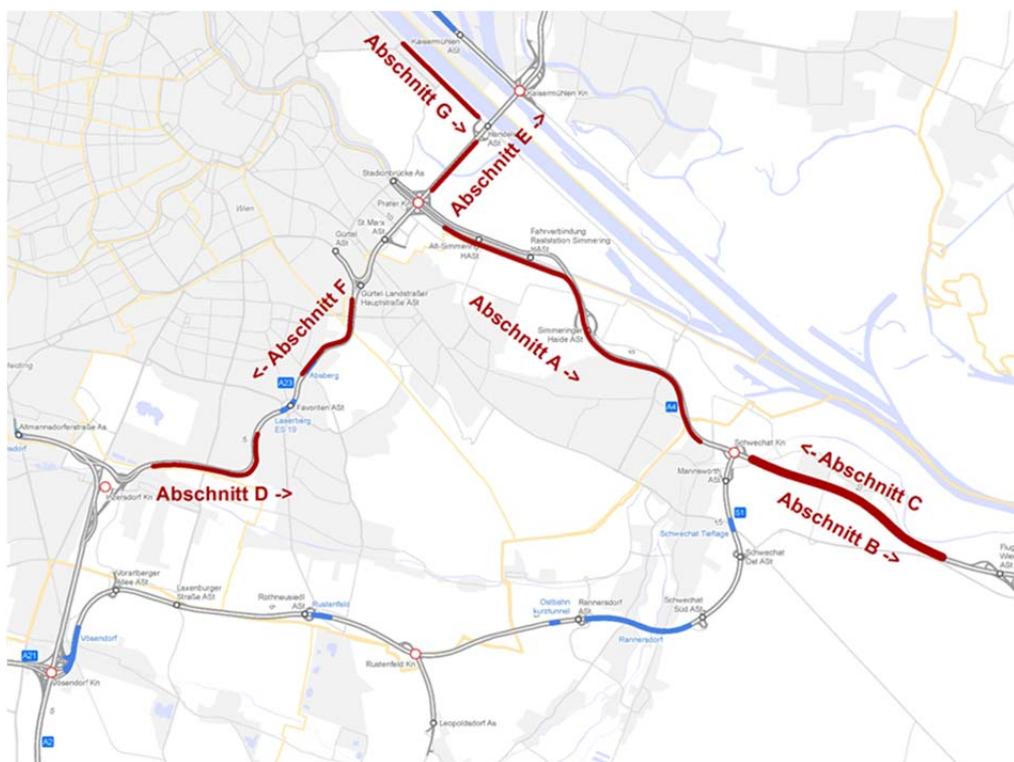


Abbildung 61: Lage der Auswerteabschnitte im Rahmen der Analyse der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis Realdaten

Aufgrund der geringen Stichprobe an Testfahrten sowohl für den Zustand 0 als auch Zustand 1 mit kooperativen Systemen, konnte hier bei den Realdatenauswertungen keine Klassifizierung nach Tagestyp (z. B. Werktag) und Tageszeit bzw. Verkehrszustand durchgeführt werden da die Stichprobe dadurch noch geringer ausfallen würde und eine statistische Auswertung fahrdynamischer Kenngrößen in diesem Fall nicht repräsentativ wäre. Als Referenz kann hier eine Untersuchung von Otterstätter und Friedrich genannt werden (s. [Otterstätter 2011], S. 709), die eine erforderliche Stichprobengröße von 25 Testfahrten auf einem Abschnitt je Klasse bei nicht bis schwach gestörtem Verkehrsfluss für Fahrzeitmessungen angeben.

Die fahrdynamischen Kenngrößen wurden grafisch in Form von Boxplots und Histogrammen ausgewertet und anschließend tabellarisch zur Gegenüberstellung zusammengefasst. Eine vollständige Auswertung der Grafiken aller 7 Abschnitte ist dem Anhang C zu entnehmen. Exemplarisch wird die grafische Auswertung anhand des Auswertabschnittes A demonstriert.

Abschnitt A: A4, Fahrtrichtung Ungarn, Knoten Prater bis Knoten Schwechat

Der Abschnitt A ist etwa 6,4 km lang, weist 2 Fahrstreifen auf und befindet sich zwischen den Referenzpunkten 103030204 und 613030107 auf der A4 Fahrtrichtung Ungarn.

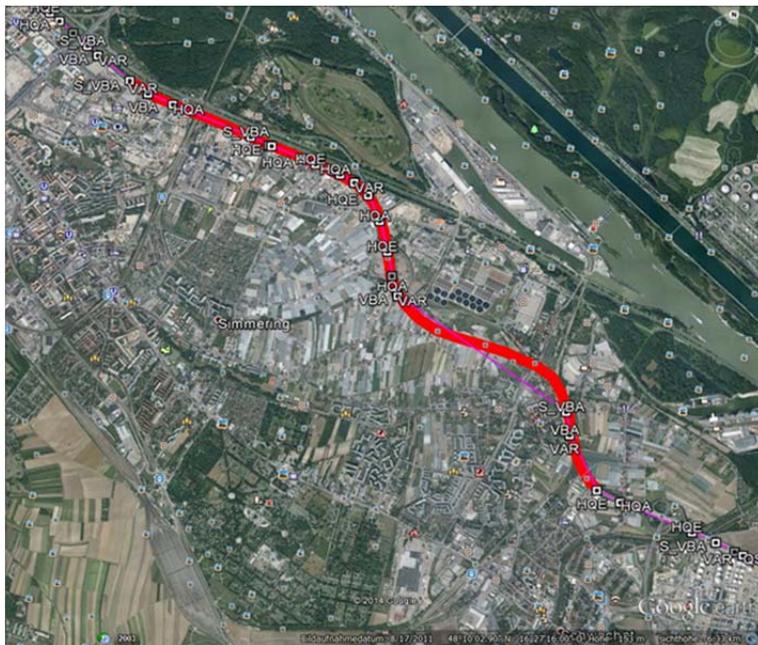


Abbildung 62: Lage Abschnitt A der Realdatenauswertung (Quelle: Google Earth)

Für diesen Abschnitt waren 13 Fahrten im Zustand 0 und 27 Fahrten im Zustand 1 verfügbar. Abbildung 63 zeigt die Boxplots für die fahrdynamischen Kenngrößen $v1$, $v1_{sd}$, a_{pos_AVG} , a_{pos_sd} , a_{neg_AVG} , a_{neg_sd} , T und ACN und Abbildung 64 den Anteil des Fahrmodus „Cruising“ anhand eines Histogrammes. Die Gesamtwegstrecke und die Anzahl der Spurwechsel werden in Tabelle 28 dargestellt.

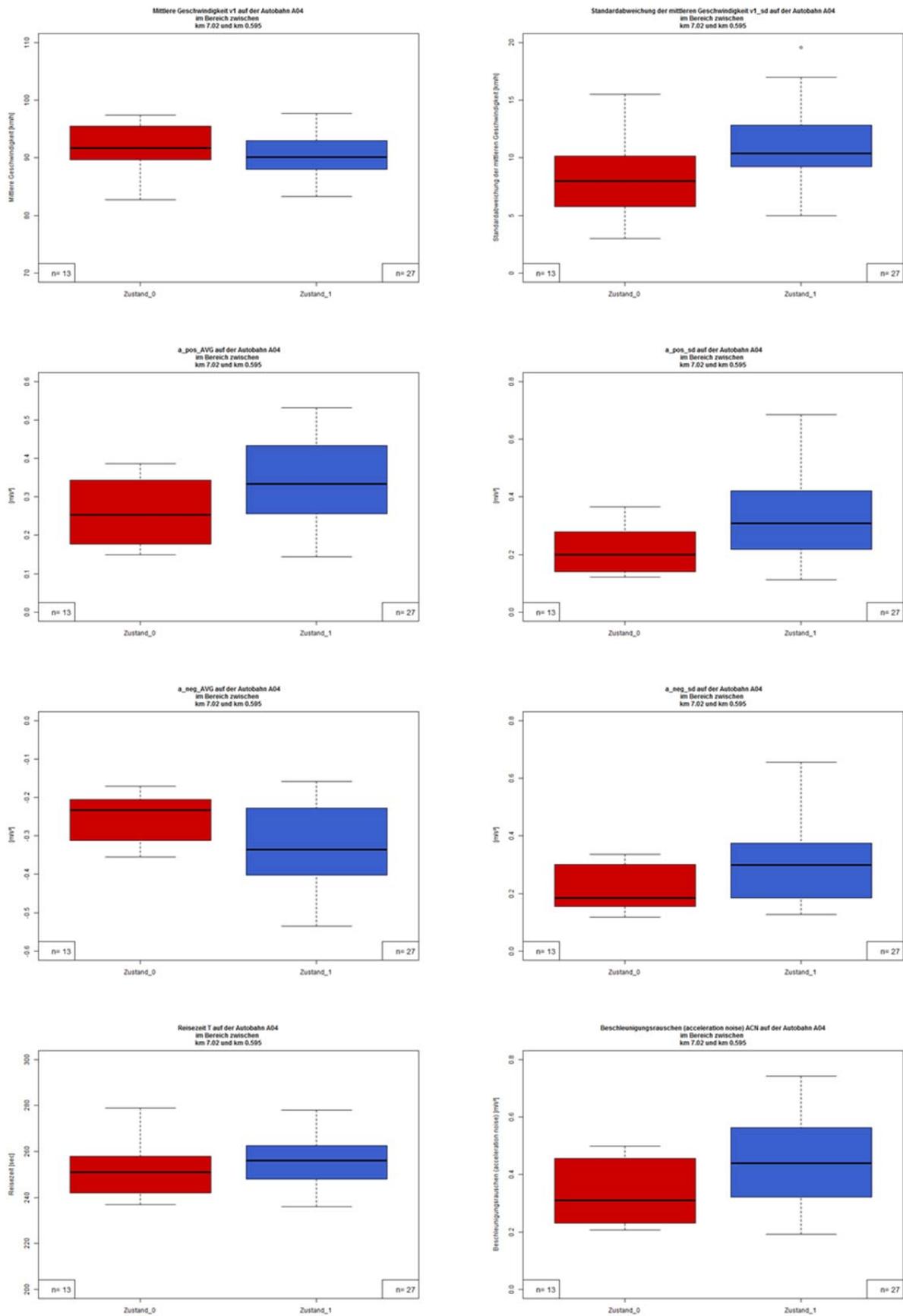


Abbildung 63: Boxplots fahrdynamischer Kenngröße im Zustand 0 und 1 für den Auswerteabschnitt A

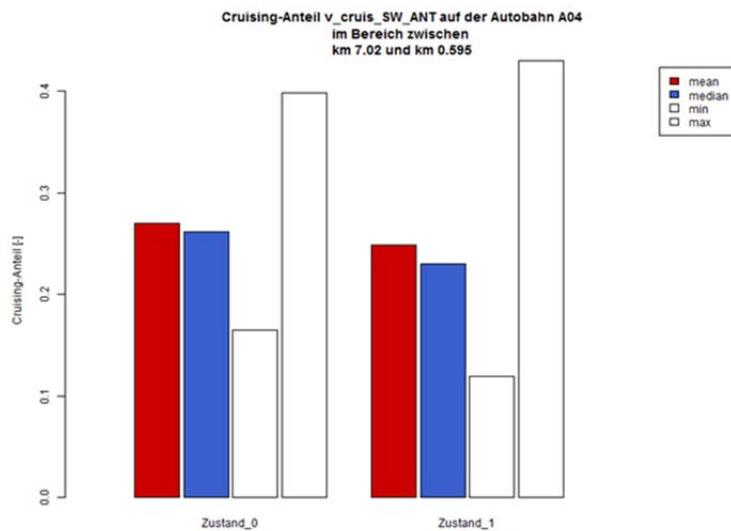


Abbildung 64: Cruising Anteil im Zustand 0 und Zustand 1 für den Auswerteabschnitt A

Tabelle 28: Wegstrecke und Spurwechsel im Zustand 0 und 1 für den Auswerteabschnitt A

Testfahrten Abschnitt A	Stichprobe [-]	Wegstrecke [km]			Anzahl Spurwechsel [-]		
		gesamt	mittel	Trend	gesamt	mittel	Trend
Zustand 0	13	83,4	6,417	-	52	4,0	-
Zustand 1	27	173,1	6,412	-0,1 %	100	3,7	-7,5 %

Die Stichprobe an Testfahrten am Abschnitt A ist im Zustand 1 mehr als doppelt so hoch ($n=27$) als im Zustand 0 ($n=13$). Der Cruising Anteil reduziert sich geringfügig bei den Fahrten im Zustand 1 (25 %) im Vergleich zum Zustand 0 (27 %), dabei ist die Spannweite zwischen Minimum und Maximum beim Zustand 1 stärker ausgeprägt.

Bei den fahrdynamischen Kenngrößen sind unterschiedliche Tendenzen erkennbar. Verglichen mit dem Zustand 0 sinkt die mittlere Geschwindigkeit im Zustand 1 im Mittel von 91,1 auf 90,2 km/h, wohingegen die Standardabweichung im Mittel von 8,3 auf 10,8 km/h ansteigt.

Bei den Beschleunigungskennwerten sind die Spannweiten zwischen Minima und Maxima durchweg größer im Zustand 1. Das Beschleunigungsrauschen (ACN) ist im Zustand 1 um 62 % höher als im Zustand 0. Die durchschnittliche positive bzw. negative Beschleunigung ist im Zustand 1 (Mittelwert 0,37 bzw. -0,35 m/s^2) absolut gesehen höher als im Zustand 0 (Mittelwert 0,25 bzw. -0,25 m/s^2).

Gegenüberstellung der 7 Auswerteabschnitte A bis G

Die Mittelwerte der fahrdynamischen Kenngrößen aller 7 Auswerteabschnitte sind zur Gegenüberstellung für die Zustände 0 und 1 in Tabelle 29 zusammengefasst. Eine vollständige Auswertung für alle Abschnitte mit allen Abbildungen und Tabellen ist dem Anhang C zu entnehmen.

Tabelle 29: Vergleich der fahrdynamischen Kenngrößen (Mittelwerte) aus den Realdaten Zustand 0 mit Zustand 1 für die sieben Auswerteabschnitte A bis G

Ab-schnitt	Zu-stand	n	T	v1	v1_sd	a_pos_AVG	a_pos_sd	a_neg_AVG	a_neg_sd	ACN	Cruising Anteil	Spur-wechsel
		[-]	[s]	[km/h]	[km/h]	[m/s ²]	[%]	[/km]				
A	0	13	254	91.1	8.3	0.25	0.22	-0.25	0.21	0.33	27	0.62
	1	27	256	90.2	10.8	0.37	0.41	-0.35	0.38	0.54	25	0.58
	vs. 0	108%	1%	-1%	30%	44%	84%	37%	79%	62%	-8%	-7%
B	0	10	113	111.7	7.7	0.31	0.26	-0.30	0.27	0.41	23	0.78
	1	41	111	113.0	8.5	0.27	0.23	-0.26	0.25	0.34	37	0.54
	vs. 0	310%	-1%	1%	11%	-15%	-11%	-16%	-7%	-17%	63%	-31%
C	0	13	128	111.4	10.5	0.34	0.27	-0.35	0.30	0.45	23	0.72
	1	40	122	116.7	10.5	0.29	0.24	-0.33	0.28	0.38	28	0.73
	vs. 0	208%	-5%	5%	0%	-15%	-11%	-4%	-9%	-14%	23%	0%
D	0	6	99	80.0	4.4	0.19	0.16	-0.33	0.31	0.24	32	0.69
	1	29	116	77.4	7.0	0.56	0.53	-0.57	0.55	0.57	22	1.32
	vs. 0	383%	17%	-3%	60%	189%	243%	74%	79%	140%	-30%	91%
E	0	15	48	79.9	4.5	0.31	0.21	-0.27	0.21	0.35	29	1.01
	1	108	56	70.9	6.9	0.52	0.46	-0.48	0.42	0.61	19	1.52
	vs. 0	620%	17%	-11%	56%	67%	116%	80%	100%	72%	-35%	50%
F	0	8	79	75.9	9.9	0.41	0.79	-0.39	0.39	0.68	21	1.16
	1	31	76	75.8	6.9	0.70	0.73	-0.72	0.72	0.74	15	1.08
	vs. 0	288%	-3%	0%	-30%	71%	-8%	86%	84%	9%	-31%	-7%
G	1	16	164	48.6	8.1	0.65	0.64	-0.67	0.64	0.29	13	-

Die Stichprobe ist bei allen Abschnitten im Zustand 1 deutlich größer als im Zustand 0 (2- bis 6-mal so hoch). Nachfolgend wird auf die fahrdynamischen Kennwerte eingegangen.

Mittlere Geschwindigkeit und Reisezeit

Die Reisezeiten verändern sich merkbar stark nur bei den Abschnitten D und E (beide A23 Richtung Norden) mit jeweils einer Erhöhung im Zustand 1 um 17 % verglichen mit Zustand 0, dadurch sind hier auch die mittleren Geschwindigkeiten geringer. Die Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeit ist bei diesen Abschnitten D und E deutlich größer (um 60 bzw. 56 %) im Zustand 1. Bei den Abschnitten C und F verringert sich die Reisezeit im Zustand 1 um 5 % (F) bzw. 3 % (G). Der Abschnitt F (A23 Richtung Süden) ist der einzige Abschnitt an dem die Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeit im Zustand 1 geringer ist (um 30 %) als im Zustand 0.

Beschleunigungskenngrößen

Bei den Abschnitten A, D, E und F steigen im Zustand 1 die positiven und negativen mittleren Beschleunigungen sowie das Beschleunigungsrauschen im Vergleich zum Zustand 0. Die größten Steigerungen sind am Abschnitt D erkennbar (189 % bei *a_pos_AVG*, 243 % bei *a_pos_sd*, 74 % bei *a_neg_AVG*, 79 % bei *a_neg_sd* und 140 % bei *ACN*). Bei den Abschnitten B und C (A4 zwischen Flughafen und Knoten Schwechat, beide Richtungen) sind die Beschleunigungskenngrößen durchwegs geringer im Zustand 1 als im Zustand 0 (z. B. um 17 % bei *ACN* am Abschnitt B).

Cruising Anteil und Spurwechsel

Passend zu den Ergebnissen der Beschleunigungskenngrößen bei den Abschnitten B und C ist infolge dessen der Cruising Anteil hier höher im Zustand 1 (37 bzw. 28 %) als im Zustand 0 (23 %). Bei den restlichen Abschnitten sinkt der Cruising Anteil im Zustand 1 (um bis zu 35 %). Die Spurwechselanzahl erhöht sich deutlich bei den Abschnitt D und E im Zustand 1 (1,32 bzw. 1,52 pro Kilometer) verglichen mit Zustand 0 (0,69 bzw. 1,01 pro Kilometer). Bei den restlichen Abschnitten ist eine Verringerung der Spurwechsel um bis 31 % (Abschnitt B) zu erkennen.

4.3.1.3 Fazit Wirksamkeit Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis Realdaten

Bei der Analyse der Wirksamkeit der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis Realdaten wurde einerseits auf mikroskopischer Ebene einzelne Fahrten und andererseits auf mesoskopischer Ebene mehrere Testfahrten eines Abschnittes betrachtet.

In der fahrtfeinen Betrachtung wurden Einzelfahrten bei verschiedenen Verkehrszuständen mit den im Fahrzeug empfangenen Testfeldmeldungen untersucht. Ein Großteil der Meldungen entsprach der Anzeige an den jeweiligen Querschnitten der Verkehrsbeeinflussungsanlage (Typ VMS, Variable Message Sign). Bei gebundenem Verkehr sind die Fahrtrajektorien aufgrund inhomogener Geschwindigkeiten nicht linear im Zeit-Weg-Diagramm. In diesem Fall wurde eine Staumeldung und zum Teil zusätzlich eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 60 km/h im kooperativen Fahrzeug angezeigt. Bei stabilen Verkehrsbedingungen ist die Trajektorie linear (gleichmäßige Geschwindigkeit), dabei wurde die Geschwindigkeitsbegrenzung des Regelfalls (im Beispiel 80 km/h auf der A23) empfangen. Weitere Meldungen in den Beispielen betrafen Baustellenwarnung (RWW) sowie Information zu Park&Ride Möglichkeiten (P&R Erdberg). Es konnte jedoch kein direkter Einfluss der Meldungen auf die Fahreffizienz des kooperativen Fahrzeuges in den Auswertungen festgestellt werden.

In der abschnittsfeinen Betrachtung wurden 7 verschiedene Streckenabschnitte untersucht an denen fahrdynamische Kenngrößen von Zustand 0 und Zustand 1 miteinander verglichen wurden. Die Ergebnisse unterscheiden sich zwischen den einzelnen Abschnitten. Bei den Abschnitten A, D und E konnte im Zustand 1 eine geringere Verkehrseffizienz bzw. inhomogener Verkehr (höhere Standardabweichung der Geschwindigkeit, höheres Beschleunigungsrauschen, sinkender Cruising-Anteil) im Vergleich zum Zustand 0 festgestellt werden. Im Gegensatz dazu konnten bei den Abschnitten B und C eine höhere Verkehrseffizienz attestiert werden. Beispielsweise erhöht sich der Cruising-Anteil am Abschnitt B von 23 % im Zustand 0 auf 37 % im Zustand 1, das Beschleunigungsrauschen nimmt hier um 17 % ab. Beim Abschnitt C nimmt die Reisezeit im Zustand 1 ab, dadurch erhöht sich die mittlere Geschwindigkeit von 111,4 km/h im Zustand 0 auf 116,7 km/h im Zustand 1. Die Aussagen sind jedoch nicht allgemein gültig, da beim Vergleich von Fahrten im Zustand 0 und 1 keine Klassifizierung in ähnliche Verkehrsbedingungen bzw. Zeitbereiche aufgrund der zu geringen Stichprobe an Realdaten vorgenommen werden konnte.

4.3.2 Wirkungen der Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis von Simulationsdaten

Es werden zwei verschiedene UseCases für kooperative Fahrzeuge (C2X) simuliert. Der Use-Case „Green Light Optimal Speed Advisory“ (GLOSA) wird am niederrangigen Verkehrsflussmodell simuliert. Ausgewertet wird hier der rund 2 km lange Streckenabschnitt zwischen Kafkastraße und Auffahrt A23 am Handelskai in Fahrtrichtung Südosten. Zwei Zeitscheiben (13-14 Uhr und 17-18 Uhr) mit unterschiedlicher Verkehrsnachfrage werden hier untersucht. Kombiniert mit den fünf verschiedenen Ausstattungsgraden (0 %, 3 %, 15 %, 30 % und 80 %) ergeben sich

10 verschiedene Simulationsszenarien die ausgewertet werden. Für jedes Szenario wurden 10 Simulationsdurchläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen durchgeführt.

Der UseCase „Roadworks Warning“ (RWW) wird am hochrangigen Verkehrsflussmodell simuliert. Ausgewertet wird der 4 km lange Abschnitt auf der Autobahn A4 vor dem Knoten Schwechat in Fahrrichtung Wien, indem sich die simulierte Baustelle befindet. Auch hier werden die beiden Zeitscheiben 13-14 Uhr und 17-18 Uhr simuliert. In Kombination mit den fünf Ausstattungsgraden und den beiden Sensitivitätskriterien Wunschgeschwindigkeit (95 bzw. 110 km/h) und Meldungsempfangsort (300 bzw. 500 m) ergeben sich hier insgesamt 34 verschiedene Auswerteszenarien. Jedes Szenario wurde mit je fünf Simulationsdurchläufen mit unterschiedlichen Startzufallszahlen simuliert.

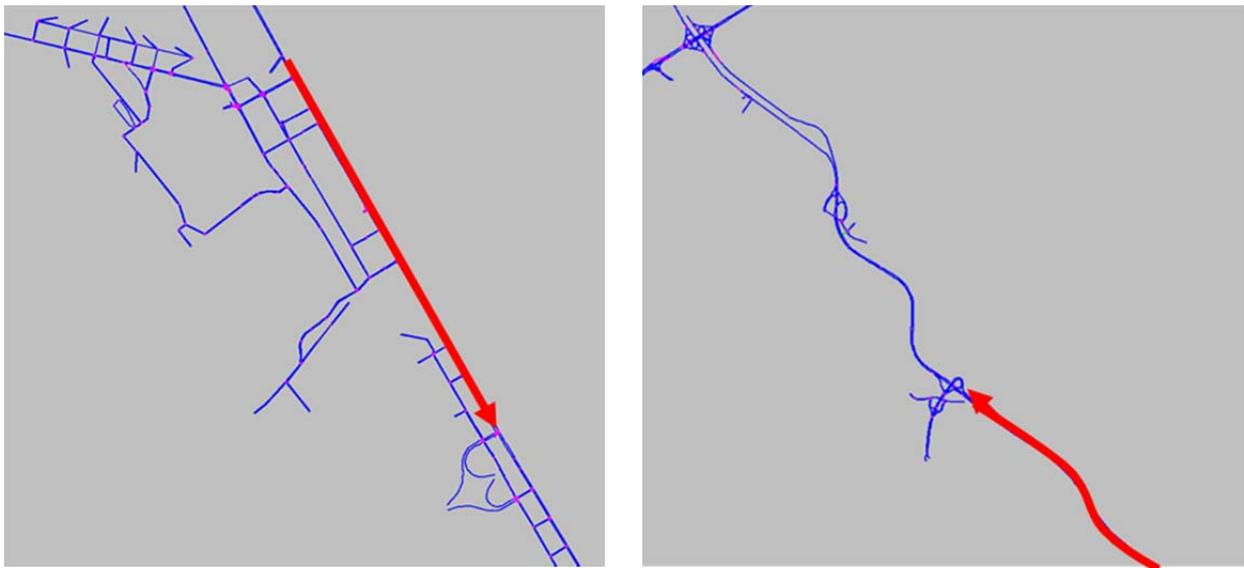


Abbildung 65: Darstellung der Auswertestrecke Handelskai am niederrangigen Simulationsnetz (links) und der Auswertestrecke auf der Autobahn A4 am hochrangigen Simulationsnetz (rechts)

Folgende Kennwerte zur Beurteilung der Fahr- und Verkehrseffizienz werden aus den Simulationsdaten bestimmt, die Ergebnisse werden dann anschließend je UseCase und Zeitscheibe präsentiert:

- Geschwindigkeitsverhalten (mittlere Geschwindigkeit v_{mean} bzw. mittlere Geschwindigkeit ohne Stillstandszeiten $v_{mean_without_idling}$ und deren Standardabweichungen)
- Beschleunigungsverhalten (Standardabweichung der Beschleunigung „acceleration noise“ ACN , mittlere positive a_{pos_AVG} und negative Beschleunigung a_{neg_AVG} und deren Standardabweichungen a_{pos_sd} und a_{neg_sd})
- Anteil Fahrmodus „Cruising“ und „Idling“
- Stauindex (Congestion Index)
- Anzahl der Halte
- Anzahl der Spurwechsel

4.3.2.1 GLOSA – Wirkungen auf Fahr- und Verkehrseffizienz

In diesem Abschnitt werden die Auswertungen hinsichtlich Fahr- und Verkehrseffizienz für die Simulation des UseCase GLOSA am niederrangigen Simulationsnetz gezeigt, zuerst betreffend der Stunde 13-14 Uhr (Tagesnormalverkehr) und anschließend für die Stunde 17-18 Uhr (Nachmittagsspitze).

UseCase GLOSA, Stunde 13-14 Uhr

Die fahrdynamischen Kenngrößen für den UseCase GLOSA Zeitscheibe 13-14 Uhr sind grafisch in Abbildung 66 als Balkendiagramme mit Mittelwert und obere und untere Schranke der Standardabweichung dargestellt, sowie tabellarisch im Anschluss in Tabelle 30.

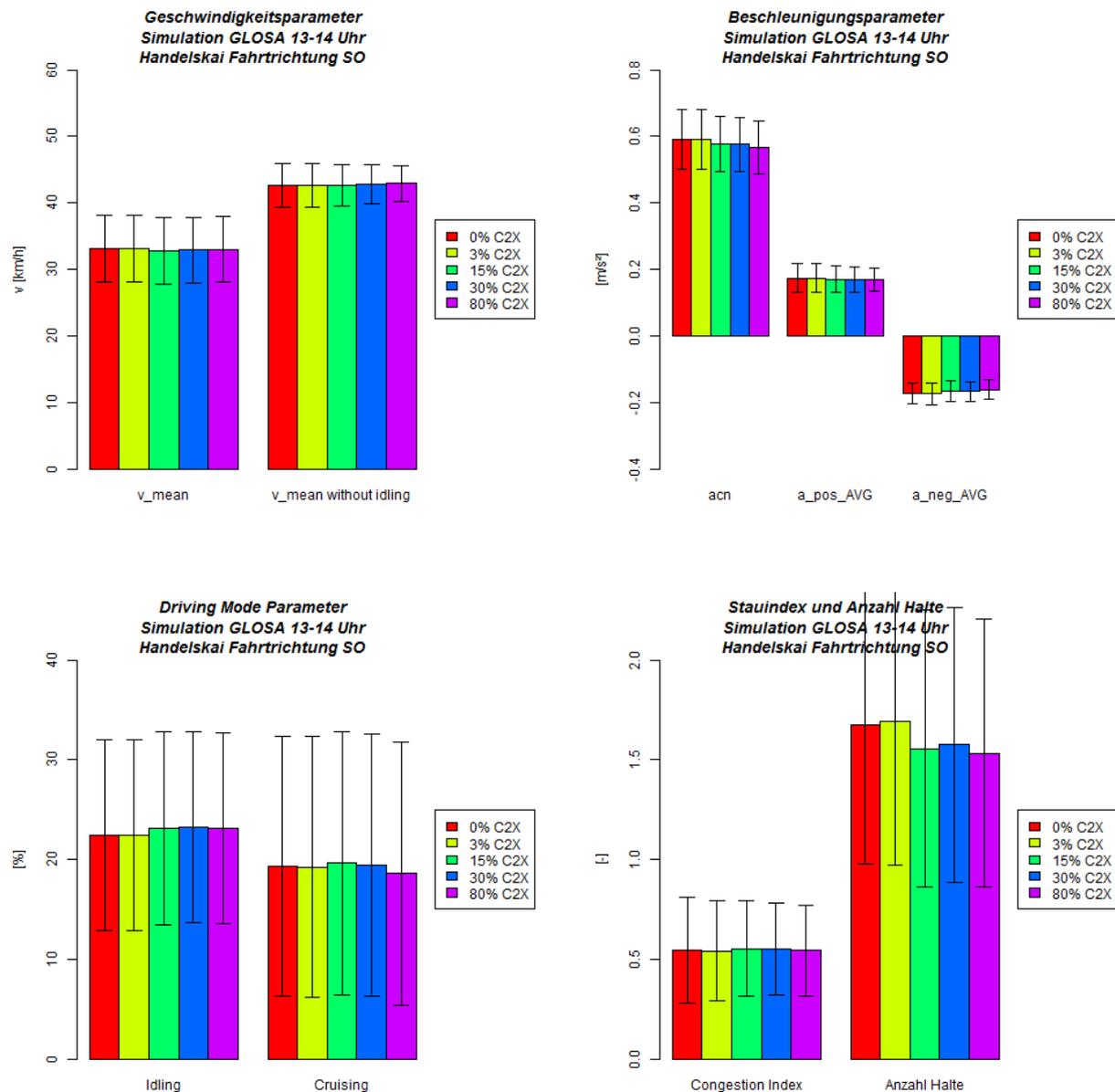


Abbildung 66: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr

Tabelle 30: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr

Fahrdynamische Kenngrößen GLOSA 13-14 Uhr		0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
acn [m/s ²]	mean vs. 0	0.591	0.592 0.1%	0.578 -2.1%	0.576 -2.4%	0.566 -4.3%
	sd vs. 0	0.091	0.091 0.6%	0.083 -8.1%	0.081 -10.3%	0.079 -12.4%
a_pos_AVG [m/s ²]	mean vs. 0	0.175	0.175 0.2%	0.171 -1.9%	0.170 -2.7%	0.169 -3.2%
	sd vs. 0	0.044	0.044 0.9%	0.039 -9.9%	0.038 -14.1%	0.035 -20.5%
a_neg_AVG [m/s ²]	mean vs. 0	-0.172	-0.172 0.2%	-0.166 -3.3%	-0.166 -3.7%	-0.160 -7.0%
	sd vs. 0	0.032	0.033 1.7%	0.031 -3.6%	0.030 -6.6%	0.031 -5.0%
Idling Anteil [%]	mean vs. 0	22.49	22.42 -0.3%	23.14 2.9%	23.22 3.3%	23.13 2.9%
	sd vs. 0	9.54	9.54 -0.1%	9.72 1.8%	9.56 0.2%	9.59 0.5%
Cruising Anteil [%]	mean vs. 0	19.32	19.27 -0.3%	19.65 1.7%	19.47 0.8%	18.63 -3.6%
	sd vs. 0	13.00	13.05 0.3%	13.19 1.4%	13.12 0.9%	13.18 1.4%
v_mean [km/h]	mean vs. 0	33.10	33.14 0.1%	32.89 -0.6%	32.93 -0.5%	33.06 -0.1%
	sd vs. 0	5.01	5.01 -0.1%	5.00 -0.2%	4.88 -2.7%	4.88 -2.8%
v_mean.without.idling [km/h]	mean vs. 0	42.63	42.66 0.1%	42.73 0.2%	42.83 0.5%	42.94 0.7%
	sd vs. 0	3.30	3.32 0.6%	3.11 -5.8%	2.98 -9.6%	2.74 -17.1%
Congestion.Index [-]	mean vs. 0	0.547	0.544 -0.6%	0.555 1.5%	0.552 0.8%	0.545 -0.4%
	sd vs. 0	0.264	0.249 -5.9%	0.238 -10.1%	0.229 -13.2%	0.228 -13.8%
Anzahl.Halte [-]	mean vs. 0	1.676	1.690 0.9%	1.556 -7.1%	1.576 -5.9%	1.533 -8.5%
	sd vs. 0	0.700	0.716 2.3%	0.692 -1.1%	0.687 -1.7%	0.669 -4.3%

Generell können hier nur geringe Abweichungen (<10 %) mit steigendem C2X-Anteil festgestellt werden. Hinsichtlich Geschwindigkeitsverhalten (*v_mean* und *v_mean_without_idling*) sind keine Unterschiede bei geänderten C2X-Ausstattungsgraden erkennbar. Im Gegensatz dazu

nimmt bei den Beschleunigungsparametern das Beschleunigungsrauschen (a_{cr}) mit steigendem C2X-Anteil ab (um 4,3 % weniger bei 80 % C2X-Anteil im Vergleich zum Nullfall).

Die mittleren Beschleunigungen (a_{pos_AVG} und a_{neg_AVG}) nehmen absolut gesehen geringfügig ab, die positive um 3,2 %, die negative um 7,0 % bei 80 % C2X-Ausstattungsgrad im Vergleich zum Nullfall. Bei der Betrachtung der Anteile der Fahrmodi nehmen bei 80 % C2X-Anteil die Stillstandszeiten (Idling) um 2,9 % zu, und der Cruising-Anteil um 3,6 % ab. Der Idling-Anteil beträgt im Mittel 22-24 %, der Cruising Anteil 18-20 % auf der Referenzstrecke. Die Standardabweichung ist jedoch bei beiden hoch (10 % bei Idling, 13 % bei Cruising). Die Anzahl der Halte beträgt durchschnittlich 1,7 bei 0 % C2X und 1,5 bei 80 % C2X, das bedeutet eine Abnahme von 8,5 %. Der Stauindex bleibt nahezu unverändert.

Im nächsten Schritt werden verschiedene Netzkenngößen in Abhängigkeit des Ausstattungsgrades tabellarisch miteinander verglichen (siehe Tabelle 31). Es handelt sich dabei um einen Output für das gesamte Simulationsnetz (alle Fahrzeuge, alle Strecken).

Tabelle 31: Auswertung der Netzkenngößen aus der Simulation GLOSA 13-14 Uhr

Netzkenngößen GLOSA 13-14 Uhr	0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
Mittlere Anzahl Halte pro Fz	2.49	2.46	1.69	1.68	1.48
vs. 0% C2X	-	-1.2%	-32.3%	-32.7%	-40.6%
Mittlere Geschwindigkeit [km/h]	24.3	24.4	28.6	28.8	31.1
vs. 0% C2X	-	0.4%	17.5%	18.5%	27.8%
Mittlere Standzeit pro Fz [s]	81.9	81.7	54.0	53.3	46.1
vs. 0% C2X	-	-0.3%	-34.2%	-34.9%	-43.8%
Mittlere Verlustzeit pro Fz [s]	118.8	118.1	81.8	81.0	70.7
vs. 0% C2X	-	-0.6%	-31.1%	-31.8%	-40.5%
Gesamtreisezeit [h]	334	332	281	278	259
vs. 0% C2X	-	-0.4%	-15.9%	-16.7%	-22.5%
Gesamtwegstrecke [km]	8068	8069	7989	7977	7998
vs. 0% C2X	-	0.0%	-1.0%	-1.1%	-0.9%

Es zeigt sich hier ein deutlicher Einfluss des C2X-Ausstattungsgrades. Ab 15 % C2X-Anteil nimmt die mittlere Anzahl der Halte, die mittlere Standzeit sowie die mittlere Verlustzeit pro Fahrzeug deutlich ab (>30 %). Des Weiteren steigt die mittlere Geschwindigkeit im Netz von 24,3 km/h bei 0 % C2X auf 31,1 km/h bei 80 % C2X-Anteil, damit sinkt auch die Gesamtreisezeit im Netz um bis zu 22,5 %. Die Gesamtwegstrecke bleibt annähernd konstant.

Abschließend werden die Anzahl der Spurwechsel aller Fahrzeuge auf der Referenzstrecke betrachtet (siehe Tabelle 32). Nur im Simulationsfall 80 % C2X-Ausstattungsgrad nimmt die Anzahl der Spurwechsel merklich ab um etwa 13 % im Vergleich zum Nullfall.

Tabelle 32: Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation GLOSA 13-14 Uhr

Anzahl Spurwechsel GLOSA 13-14 Uhr	0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
Mittelwert	2123	2136	2150	2087	1850
vs. 0% C2X	-	0.6%	1.2%	-1.7%	-12.8%
Standardabweichung	77	95	50	86	53
vs. 0% C2X	-	23.4%	-35.6%	11.5%	-30.8%

UseCase GLOSA, Stunde 17-18 Uhr

Als nächstes werden die fahrdynamischen Kenngrößen für die Tagesspitze 17-18 Uhr beim UseCase GLOSA ausgewertet und dargestellt (siehe Abbildung 67 bzw. Tabelle 33). Im Gegensatz zur Stunde 13-14 Uhr können hier kaum bzw. nur geringere Effekte mit steigendem C2X-Anteil festgestellt werden. Lediglich etwa 2 % Zunahme der mittleren Geschwindigkeiten und 4,3 % weniger Halte fallen bei 80 % C2X-Anteil im Vergleich mit dem Nullfall auf. Die Abweichungen bei den Beschleunigungsparametern sind kleiner 2 %.

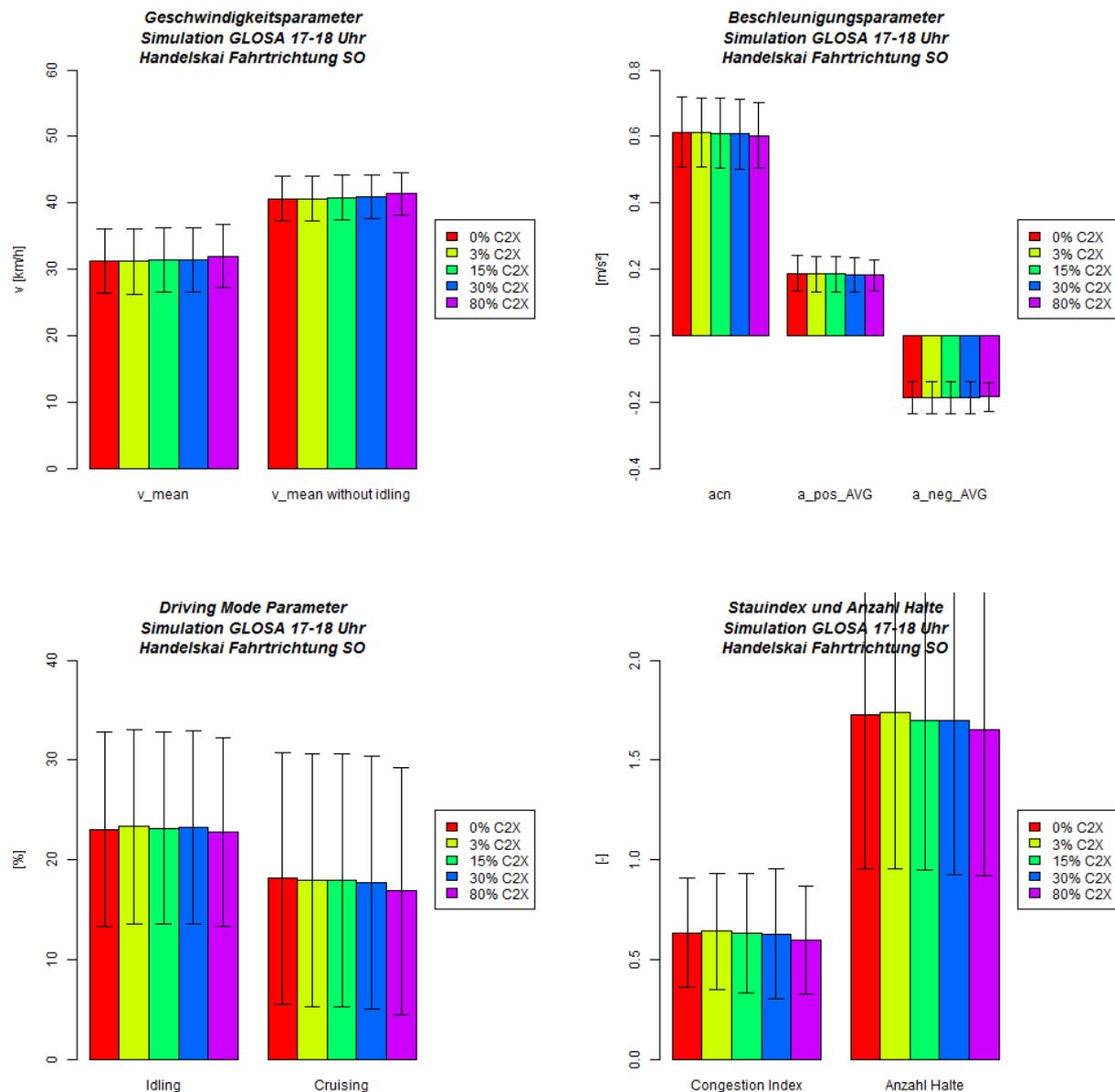


Abbildung 67: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr

Tabelle 33: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr

Fahrdynamische Kenngrößen GLOSA 17-18 Uhr		0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
acn [m/s ²]	mean	0.613	0.612	0.610	0.607	0.603
	vs. 0		-0.2%	-0.4%	-0.9%	-1.6%
	sd	0.105	0.105	0.105	0.104	0.097
	vs. 0		0.0%	0.7%	-0.7%	-7.1%
a_pos_AVG [m/s ²]	mean	0.188	0.187	0.186	0.185	0.183
	vs. 0		-0.4%	-0.9%	-1.6%	-2.3%
	sd	0.054	0.054	0.053	0.053	0.047
	vs. 0		-0.1%	-0.8%	-2.3%	-12.6%
a_neg_AVG [m/s ²]	mean	-0.186	-0.186	-0.186	-0.185	-0.184
	vs. 0		-0.3%	-0.4%	-1.0%	-1.5%
	sd	0.049	0.049	0.049	0.048	0.044
	vs. 0		-0.3%	-0.4%	-2.3%	-9.8%
Idling Anteil [%]	mean	23.08	23.36	23.18	23.24	22.81
	vs. 0		1.2%	0.5%	0.7%	-1.2%
	sd	9.70	9.74	9.64	9.64	9.40
	vs. 0		0.4%	-0.7%	-0.6%	-3.1%
Cruising Anteil [%]	mean	18.14	17.94	17.96	17.74	16.90
	vs. 0		-1.1%	-1.0%	-2.2%	-6.9%
	sd	12.62	12.63	12.69	12.71	12.38
	vs. 0		0.0%	0.5%	0.7%	-1.9%
v_mean [km/h]	mean	31.32	31.20	31.41	31.47	32.00
	vs. 0		-0.4%	0.3%	0.5%	2.1%
	sd	4.84	4.87	4.83	4.84	4.77
	vs. 0		0.5%	-0.3%	-0.1%	-1.4%
v_mean.without.idling [km/h]	mean	40.67	40.66	40.83	40.94	41.39
	vs. 0		0.0%	0.4%	0.7%	1.8%
	sd	3.34	3.40	3.39	3.34	3.20
	vs. 0		1.9%	1.5%	0.1%	-4.0%
Congestion.Index [-]	mean	0.636	0.644	0.633	0.630	0.599
	vs. 0		1.2%	-0.4%	-0.8%	-5.7%
	sd	0.272	0.289	0.300	0.324	0.269
	vs. 0		6.3%	10.2%	19.0%	-1.2%
Anzahl.Halte [-]	mean	1.728	1.738	1.698	1.697	1.654
	vs. 0		0.6%	-1.7%	-1.8%	-4.3%
	sd	0.773	0.781	0.750	0.767	0.733
	vs. 0		1.0%	-2.9%	-0.7%	-5.1%

Ein ähnliches Bild zeichnet sich auch bei Betrachtung der Netzkenngößen. Im Gegensatz zur Stunde 13-14 Uhr sind hier bei der Simulation der Stunde 17-18 Uhr kaum bzw. deutlich geringere Effekte bemerkbar. Erst bei einem Anteil von 80 % C2X treten Wirkungen auf die Verkehrseffizienz auf (siehe Tabelle 34), in Form einer Abnahme der mittleren Anzahl der Halte (-

5,4 %), der mittleren Standzeit pro Fahrzeug (-7,0 %), der mittleren Verlustzeit pro Fahrzeug (-6,3 %) und der Gesamtreisezeit (-4,7 %). Ein weiterer positiver Effekt ist die Steigung der mittleren Geschwindigkeit im Netz um 5,7 % im Vergleich zum Nullfall.

Tabelle 34: Auswertung der Netzkenngrößen aus der Simulation GLOSA 17-18 Uhr

Netzkenngrößen GLOSA 17-18 Uhr	0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
Mittlere Anzahl Halte pro Fz	3.20	3.17	3.16	3.20	3.03
vs. 0% C2X	-	-1.1%	-1.3%	-0.1%	-5.4%
Mittlere Geschwindigkeit [km/h]	22.3	22.5	22.5	22.4	23.5
vs. 0% C2X	-	1.1%	1.3%	0.5%	5.7%
Mittlere Standzeit pro Fz [s]	104.2	101.7	101.7	104.3	97.0
vs. 0% C2X	-	-2.4%	-2.4%	0.1%	-7.0%
Mittlere Verlustzeit pro Fz [s]	154.7	152.0	152.3	155.4	145.0
vs. 0% C2X	-	-1.8%	-1.6%	0.4%	-6.3%
Gesamtreisezeit [h]	467	462	462	464	445
vs. 0% C2X	-	-0.9%	-1.1%	-0.5%	-4.7%
Gesamtwegstrecke [km]	10363	10379	10381	10364	10446
vs. 0% C2X	-	0.2%	0.2%	0.0%	0.8%

Die Spurwechselanzahl (Tabelle 35) verringert sich um 11,3 % bei 80 % C2X-Ausstattungsgrad im Vergleich zum Nullfall. Bei 3 % und 15 % C2X-Anteil ist diese beinahe unverändert, bei 30 % C2X-Anteil sinkt diese um 3,3 %. Auffallend ist die höhere Standardabweichung der Spurwechselanzahl bei 80 % C2X- Ausstattungsgrad (72), dagegen eine geringere bei 30 % C2X-Anteil (53) im Vergleich zum Nullfall (61). Dies ist auch in Abbildung 68 beim Vergleich zwischen den Stunden 13-14 Uhr und 17-18 Uhr erkennbar. Erwartungsgemäß ist die Anzahl der Spurwechsel in der Stunde 17-18 Uhr höher (rd. 2600 für den Nullfall) als in der Stunde 13-14 Uhr (rd. 2100 für den Nullfall).

Tabelle 35: Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation GLOSA 17-18 Uhr

Anzahl Spurwechsel GLOSA 17-18 Uhr	0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
Mittelwert	2605	2608	2589	2520	2311
vs. 0% C2X	-	0.1%	-0.6%	-3.3%	-11.3%
Standardabweichung	61	88	59	53	72
vs. 0% C2X	-	45.2%	-3.1%	-12.6%	18.7%

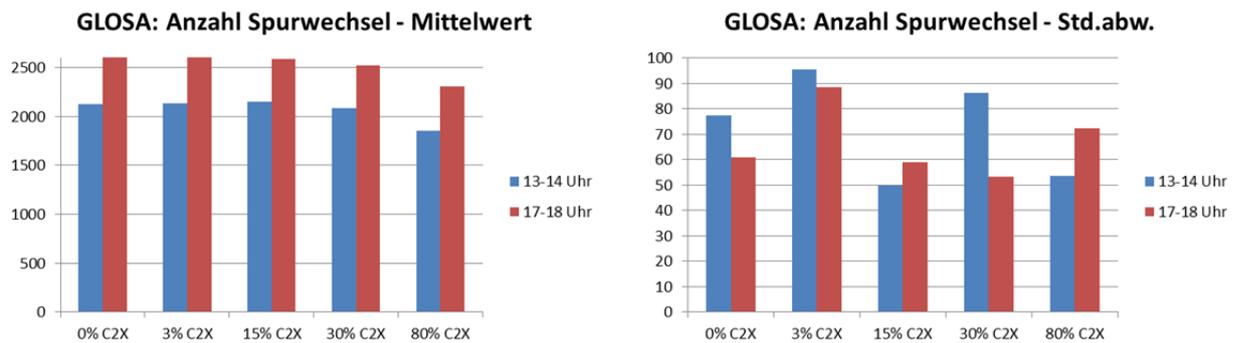


Abbildung 68: Vergleich Mittelwert und Standardabweichung der Spurwechsel zwischen Simulation GLOSA 13-14 Uhr und GLOSA 17-18 Uhr

Die fahrdynamischen Kenngrößen für den UseCase GLOSA sind zur Gegenüberstellung der beiden Auswertestunden 13-14 und 17-18 Uhr noch in Tabelle 36 zusammengefasst.

Tabelle 36: Vergleich der fahrdynamischen Kenngrößen GLOSA 13-14 Uhr mit GLOSA 17-18 Uhr

Fahrdynamische Kenngrößen GLOSA		0% C2X	3% C2X	vs. 0	15% C2X	vs. 0	30% C2X	vs. 0	80% C2X	vs. 0
acn [m/s ²]	13-14	0.591	0.592	0.10%	0.578	-2.10%	0.576	-2.40%	0.566	-4.30%
	17-18	0.613	0.612	-0.20%	0.61	-0.40%	0.607	-0.90%	0.603	-1.60%
a_pos_AVG [m/s ²]	13-14	0.175	0.175	0.20%	0.171	-1.90%	0.17	-2.70%	0.169	-3.20%
	17-18	0.188	0.187	-0.40%	0.186	-0.90%	0.185	-1.60%	0.183	-2.30%
a_neg_AVG [m/s ²]	13-14	-0.172	-0.172	0.20%	-0.166	-3.30%	-0.166	-3.70%	-0.16	-7.00%
	17-18	-0.186	-0.186	-0.30%	-0.186	-0.40%	-0.185	-1.00%	-0.184	-1.50%
ldling Anteil [%]	13-14	22.49	22.42	-0.30%	23.14	2.90%	23.22	3.30%	23.13	2.90%
	17-18	23.08	23.36	1.20%	23.18	0.50%	23.24	0.70%	22.81	-1.20%
Cruising Anteil [%]	13-14	19.32	19.27	-0.30%	19.65	1.70%	19.47	0.80%	18.63	-3.60%
	17-18	18.14	17.94	-1.10%	17.96	-1.00%	17.74	-2.20%	16.9	-6.90%
v_mean [km/h]	13-14	33.1	33.14	0.10%	32.89	-0.60%	32.93	-0.50%	33.06	-0.10%
	17-18	31.32	31.2	-0.40%	31.41	0.30%	31.47	0.50%	32	2.10%
v_mean.without. ldling [km/h]	13-14	42.63	42.66	0.10%	42.73	0.20%	42.83	0.50%	42.94	0.70%
	17-18	40.67	40.66	0.00%	40.83	0.40%	40.94	0.70%	41.39	1.80%
Congestion.Index [-]	13-14	0.547	0.544	-0.60%	0.555	1.50%	0.552	0.80%	0.545	-0.40%
	17-18	0.636	0.644	1.20%	0.633	-0.40%	0.63	-0.80%	0.599	-5.70%
Anzahl.Halte [-]	13-14	1.676	1.69	0.90%	1.556	-7.10%	1.576	-5.90%	1.533	-8.50%
	17-18	1.728	1.738	0.60%	1.698	-1.70%	1.697	-1.80%	1.654	-4.30%
Anz. Spurwechsel [-]	13-14	2123	2136	0.60%	2150	1.20%	2087	-1.70%	1850	-12.80%
	17-18	2605	2608	0.10%	2589	-0.60%	2520	-3.30%	2311	-11.30%

4.3.2.2 RWW – Wirkungen auf Fahr- und Verkehrseffizienz

In diesem Abschnitt werden die Auswertungen hinsichtlich Fahr- und Verkehrseffizienz für die Simulation des UseCase RWW am hochrangigen Simulationsnetz gezeigt, zuerst betreffend der Stunde 13-14 Uhr (Tagesnormalverkehr) und anschließend für die Stunde 17-18 Uhr (Nachmittagsspitze).

Aufgrund der Vielzahl an Szenarien beim UseCase RWW werden aus Darstellungsgründen nur die Szenarien mit 0%, 15% und 80% C2X-Anteil gezeigt. Außerdem veranschaulichten die zuvor gezeigten Analysen beim UseCase GLOSA (vgl. Tabelle 20), dass vor Allem bei einem sehr geringer Ausstattungsgrad (3%) kaum eine Wirkung festgestellt werden konnte und somit das Augenmerk auf höhere Ausstattungsgrade liegen sollte.

UseCase RWW, Stunde 13-14 Uhr

Die fahrdynamischen Kenngrößen werden wieder in Form von Balkendiagrammen und Tabellen präsentiert, jedoch im Gegensatz zum UseCase GLOSA werden hier die Kenngrößen *v_mean_without_idling*, *congestion_index* und *Anzahl Halte* aufgrund fehlender bzw. mangelhafter Stillstandszeiten nicht dargestellt (siehe Abbildung 69 für die Stunde 13-14 Uhr).

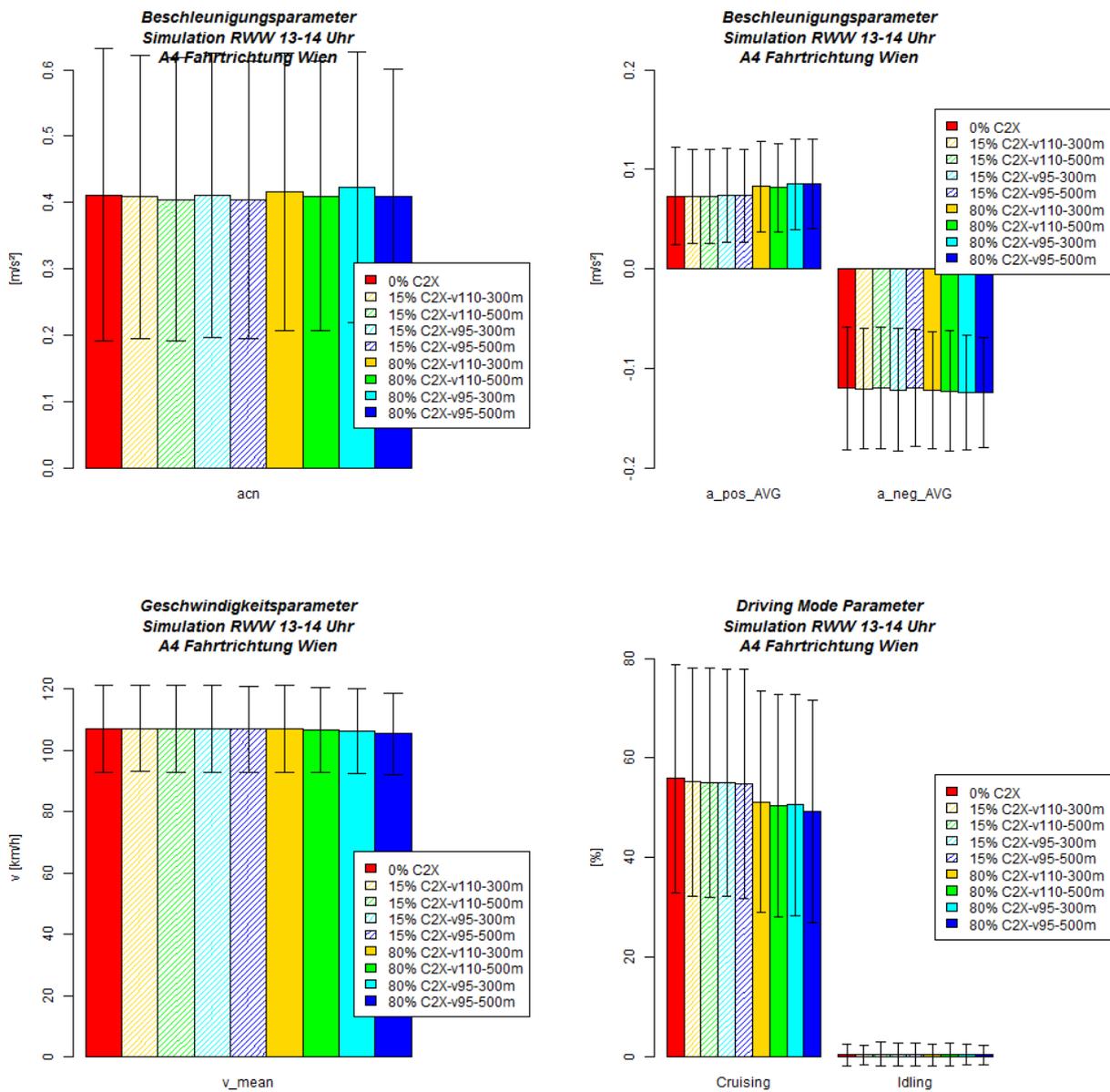


Abbildung 69: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunschgeschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr

Tabelle 37: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunschgeschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr

Fahrdynamische Kenngrößen RWW 13-14 Uhr		"0"-Fall	15% C2X v110 300m	15% C2X v110 500m	15% C2X v95 300m	15% C2X v95 500m	80% C2X v110 300m	80% C2X v110 500m	80% C2X v95 300m	80% C2X v95 500m
acn [m/s ²]	mean	0.411	0.409	0.405	0.412	0.404	0.417	0.410	0.423	0.409
	vs. 0		-0.6%	-1.6%	0.1%	-1.7%	1.3%	-0.4%	2.8%	-0.5%
[m/s ²]	sd	0.220	0.213	0.213	0.214	0.209	0.209	0.203	0.203	0.192
	vs. 0		-3.2%	-3.1%	-2.7%	-5.2%	-5.3%	-7.9%	-7.6%	-12.8%
a_pos_AVG [m/s ²]	mean	0.073	0.073	0.073	0.074	0.074	0.083	0.082	0.085	0.086
	vs. 0		-0.1%	0.1%	1.1%	0.6%	13.6%	12.2%	16.6%	17.1%
[m/s ²]	sd	0.049	0.047	0.047	0.047	0.047	0.046	0.044	0.045	0.045
	vs. 0		-3.6%	-3.0%	-3.4%	-4.1%	-6.7%	-9.4%	-7.4%	-7.3%
a_neg_AVG [m/s ²]	mean	-0.120	-0.120	-0.119	-0.121	-0.119	-0.122	-0.123	-0.124	-0.124
	vs. 0		0.3%	-0.4%	1.4%	-0.1%	1.7%	2.5%	4.0%	3.5%
[m/s ²]	sd	0.062	0.060	0.061	0.062	0.059	0.059	0.060	0.057	0.055
	vs. 0		-1.8%	-0.7%	0.0%	-4.0%	-4.7%	-2.2%	-6.7%	-10.0%
Idling Anteil [%]	mean	0.44	0.42	0.51	0.47	0.48	0.43	0.47	0.43	0.41
	vs. 0		-4.3%	15.7%	6.7%	9.3%	-1.2%	7.1%	-2.3%	-6.8%
[%]	sd	2.16	1.99	2.41	2.22	2.36	2.17	2.32	2.06	2.02
	vs. 0		-7.8%	11.6%	2.8%	9.3%	0.7%	7.5%	-4.4%	-6.4%
Cruising Anteil [%]	mean	55.87	55.25	55.07	55.03	54.76	51.16	50.40	50.61	49.25
	vs. 0		-1.1%	-1.4%	-1.5%	-2.0%	-8.4%	-9.8%	-9.4%	-11.8%
[%]	sd	22.94	22.90	22.98	22.87	22.98	22.23	22.36	22.18	22.24
	vs. 0		-0.2%	0.2%	-0.3%	0.2%	-3.1%	-2.5%	-3.3%	-3.0%
v_mean [km/h]	mean	106.97	107.19	107.02	106.95	106.83	107.00	106.62	106.22	105.42
	vs. 0		0.2%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.3%	-0.7%	-1.5%
[km/h]	sd	14.25	14.17	14.35	14.20	14.12	14.11	13.74	13.79	13.27
	vs. 0		-0.6%	0.7%	-0.3%	-0.9%	-1.0%	-3.6%	-3.2%	-6.9%

Im Gegensatz zum UseCase GLOSA sind hier eher negative Effekte hinsichtlich Fahr- und Verkehrseffizienz mit steigendem C2X-Ausstattungsgrad beobachtbar. Während die Kenngrößen *acn*, *v_mean* und *a_neg_AVG* sich kaum zwischen den einzelnen Szenarien unterscheiden, nehmen die mittleren positiven Beschleunigungen bei 80% C2X Szenarien um 12-17 % zu und der Cruising-Anteil sinkt um 8-12 % im Vergleich zum Nullfall.

Die Netzkenngößen (Tabelle 38) aus der Simulation von RWW 13-14 Uhr zeigen keine Erhöhungen von C2X auf die Verkehrseffizienz. Lediglich bei der mittleren Geschwindigkeit gibt es Steigerungen bis zu 1,4 % von 86,9 km auf 88,1 km/h (80 % C2X-Ausstattungsgrad, Informationsort 500 m und Wunschgeschwindigkeitsverteilung v110 km/h), dies führt dann zu einer gleichermaßen Reduktion der Reisezeit.

Tabelle 38: Auswertung der Netzkenngrößen aus der Simulation RWW 13-14 Uhr

Netzkenngrößen RWW 13-14 Uhr	"0"- Fall	15% C2X 300m v95	15% C2X 300m v110	15% C2X 500m v95	15% C2X 500m v110	80% C2X 300m v95	80% C2X 300m v110	80% C2X 500m v95	80% C2X 500m v110
Mittlere Anzahl Halte pro Fz	0.653	0.653	0.641	0.638	0.652	0.668	0.658	0.661	0.649
vs. „0“		0.0%	-1.7%	-2.3%	-0.2%	2.4%	0.8%	1.3%	-0.6%
Mittlere Geschwin- digkeit [km/h]	86.9	86.9	87.2	87.3	87.0	87.8	87.9	87.8	88.1
vs. „0“		0.1%	0.3%	0.5%	0.2%	1.1%	1.2%	1.1%	1.4%
Mittlere Standzeit pro Fz [s]	4.66	4.72	4.61	4.54	4.65	4.83	4.79	4.78	4.66
vs. „0“		1.4%	-0.9%	-2.4%	-0.1%	3.8%	2.8%	2.6%	0.2%
Mittlere Verlustzeit pro Fz [s]	51.5	52.4	51.7	51.3	52.1	54.4	54.1	54.2	53.6
vs. „0“		1.7%	0.4%	-0.4%	1.1%	5.6%	5.1%	5.2%	4.1%
Gesamtreisezeit [h]	1015	1014	1011	1009	1012	1004	1002	1004	1001
vs. „0“		-0.1%	-0.4%	-0.5%	-0.2%	-1.1%	-1.2%	-1.1%	-1.4%
Gesamtwegstrecke [km]	88124	88097	88110	88072	88084	88086	88087	88097	88096
vs. „0“		0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Abschließend werden die Spurwechsel auf der Referenzstrecke der A4 für RWW 13-14 Uhr betrachtet (Tabelle 39). Die absolute Anzahl der Spurwechsel ändert sich kaum (max. 1,6 % beim 80 % C2X-Ausstattungsgrad, Informationsort 300 m und Wunschgeschwindigkeitsverteilung v95 km/h), jedoch nimmt die Standardabweichung bei den 80 % C2X-Szenarien stark ab (20-30 %) im Vergleich zum Nullfall.

Tabelle 39: Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation RWW 13-14 Uhr

Spurwechsel RWW 13-14 Uhr	"0"- Fall	15% C2X 300m v95	15% C2X 300m v110	15% C2X 500m v95	15% C2X 500m v110	80% C2X 300m v95	80% C2X 300m v110	80% C2X 500m v95	80% C2X 500m v110
Mittelwert	15778	15762	15761	15761	15775	15527	15629	15574	15673
vs. „0“	-	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	-1.6%	-0.9%	-1.3%	-0.7%
Standardabw.	390.1	449.2	390.4	402.9	420.9	298.1	307.3	314	274.7
vs. „0“	-	15.1%	0.1%	3.3%	7.9%	-23.6%	-21.2%	-19.5%	-29.6%

UseCase RWW, Stunde 17-18 Uhr

Die fahrdynamischen Kenngrößen der Stunde 17-18 Uhr bei RWW (Abbildung 70 bzw. Tabelle 40) unterscheiden sich kaum von der Stunde 13-14 Uhr (Abbildung 69), lediglich die mittleren Geschwindigkeiten sind bei der Stunde 17-18 Uhr um etwa 5 % geringer. Hinsichtlich des Einflusses der kooperativen Systeme gilt daher das gleiche wie für die Stunde 13-14 Uhr, es sind keine positiven Effekte erkennbar, die mittleren positiven Beschleunigungen nehmen bei den 80 % C2X-Szenarien zu (hier um 7-13 %) und der Cruising-Anteil sinkt (hier um 6-11 %) im Vergleich zum Nullfall.

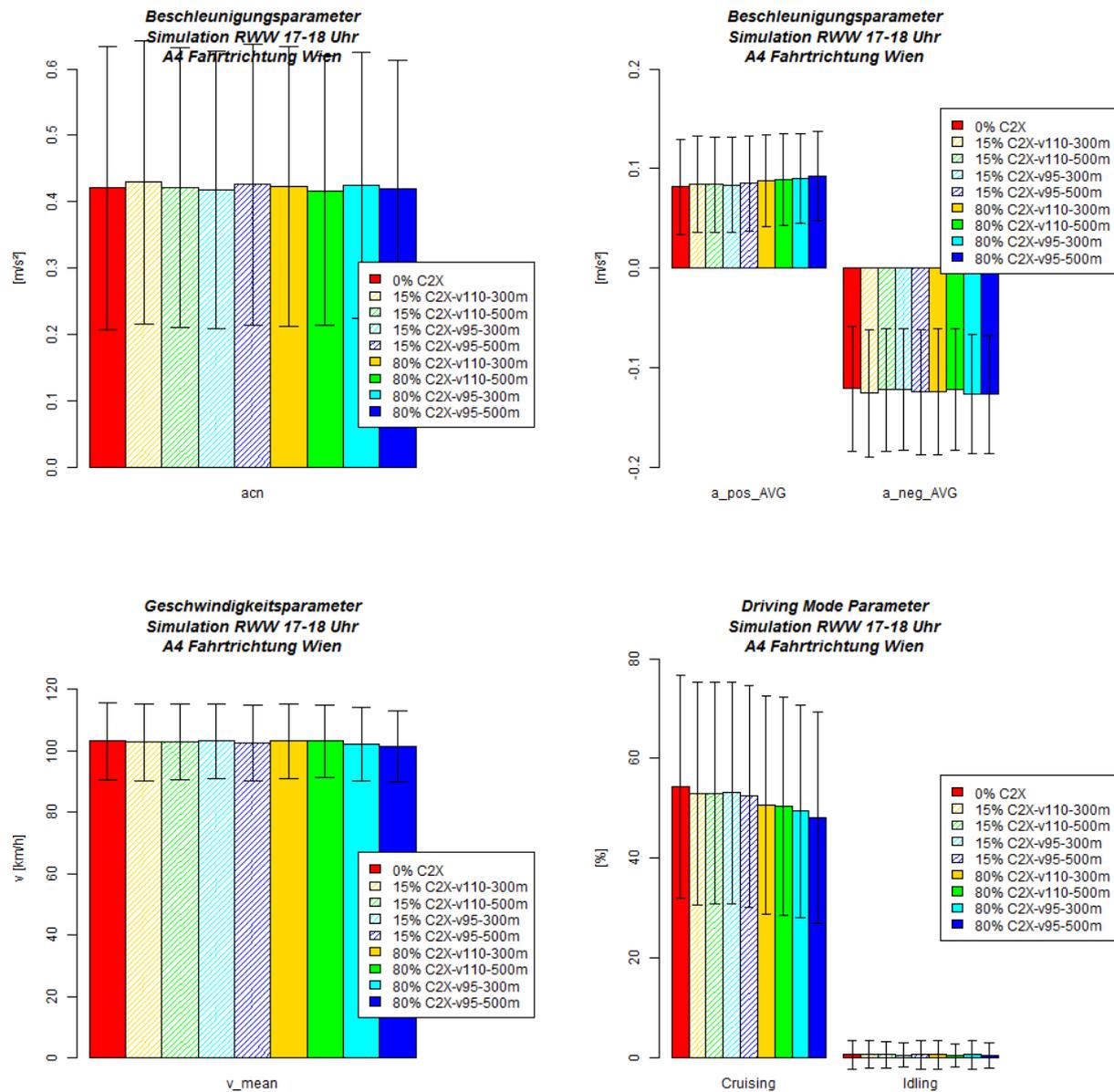


Abbildung 70: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Austattungsgrad, C2X-Wunschgeschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 17-18 Uhr

Tabelle 40: Fahrdynamische Kenngrößen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunschgeschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 17-18 Uhr

Fahrdynamische Kenngrößen RWW 17-18 Uhr		"0"-Fall	15% C2X v110 300m	15% C2X v110 500m	15% C2X v95 300m	15% C2X v95 500m	80% C2X v110 300m	80% C2X v110 500m	80% C2X v95 300m	80% C2X v95 500m
acn [m/s ²]	mean	0.421	0.429	0.422	0.418	0.426	0.423	0.417	0.425	0.419
	vs. 0		2.1%	0.2%	-0.6%	1.2%	0.6%	-0.9%	1.0%	-0.5%
	sd	0.213	0.214	0.211	0.208	0.211	0.211	0.203	0.200	0.194
	vs. 0		0.3%	-1.1%	-2.2%	-1.1%	-0.9%	-4.9%	-6.3%	-9.2%
a_pos_AVG [m/s ²]	mean	0.082	0.084	0.084	0.083	0.085	0.088	0.088	0.090	0.092
	vs. 0		2.9%	3.0%	2.2%	4.3%	7.3%	8.3%	10.6%	12.8%
	sd	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.046	0.046	0.045	0.045
	vs. 0		1.5%	0.5%	0.2%	0.2%	-2.9%	-3.5%	-5.9%	-6.0%
a_neg_AVG [m/s ²]	mean	-0.121	-0.125	-0.122	-0.122	-0.124	-0.124	-0.122	-0.126	-0.127
	vs. 0		3.5%	0.9%	0.5%	2.8%	2.6%	0.7%	4.5%	4.8%
	sd	0.063	0.064	0.062	0.061	0.063	0.063	0.061	0.060	0.059
	vs. 0		1.5%	-2.1%	-3.0%	-0.3%	0.7%	-3.6%	-5.5%	-6.2%
Idling Anteil [%]	mean	0.65	0.70	0.62	0.55	0.69	0.65	0.46	0.64	0.57
	vs. 0		7.9%	-4.8%	-15.7%	6.2%	0.3%	-28.5%	-1.3%	-12.2%
	sd	2.83	2.86	2.69	2.38	2.89	2.85	2.23	2.89	2.54
	vs. 0		1.3%	-5.0%	-15.7%	2.1%	0.9%	-21.0%	2.3%	-10.1%
Cruising Anteil [%]	mean	54.28	52.98	52.97	53.11	52.39	50.77	50.36	49.44	48.20
	vs. 0		-2.4%	-2.4%	-2.2%	-3.5%	-6.5%	-7.2%	-8.9%	-11.2%
	sd	22.28	22.23	22.21	22.24	22.23	21.87	21.82	21.33	21.18
	vs. 0		-0.2%	-0.3%	-0.2%	-0.3%	-1.8%	-2.1%	-4.3%	-5.0%
v_mean [km/h]	mean	103.11	102.83	103.04	103.11	102.56	103.09	103.16	102.27	101.54
	vs. 0		-0.3%	-0.1%	0.0%	-0.5%	0.0%	0.0%	-0.8%	-1.5%
	sd	12.59	12.56	12.38	12.20	12.33	12.32	11.85	11.94	11.56
	vs. 0		-0.3%	-1.7%	-3.1%	-2.1%	-2.2%	-5.9%	-5.2%	-8.2%

Auch bei der Auswertung den Netzkenngößen in Tabelle 41 (alle Fahrzeuge, alle Strecken im Verkehrsmodell) können keine positiven Wirkungen von C2X abgeleitet werden.

Tabelle 41: Auswertung der Netzkenngrößen aus der Simulation RWW 17-18 Uhr

Netzkenngrößen RWW 17-18 Uhr	"0"-Fall	15% C2X	15% C2X	15% C2X	15% C2X	80% C2X	80% C2X	80% C2X	80% C2X
		300m v95	300m v110	500m v95	500m v110	300m v95	300m v110	500m v95	500m v110
Mittlere Anzahl Halte pro Fz	8.74	9.24	9.15	9.17	9.22	9.24	9.20	9.19	9.22
vs. „0“		5.8%	4.7%	5.0%	5.5%	5.7%	5.3%	5.1%	5.5%
Mittlere Geschwindigkeit [km/h]	49.1	47.5	47.9	47.8	47.6	47.7	47.9	48.0	47.8
vs. „0“		-3.1%	-2.4%	-2.6%	-3.0%	-2.8%	-2.3%	-2.2%	-2.7%
Mittlere Standzeit pro Fz [s]	49.9	54.0	53.5	53.7	53.9	54.3	54.0	54.1	54.2
vs. „0“		8.2%	7.1%	7.6%	7.9%	8.8%	8.1%	8.4%	8.5%
Mittlere Verlustzeit pro Fz [s]	218.5	231.6	229.1	229.8	231.3	233.5	231.9	231.0	233.3
vs. „0“		6.0%	4.8%	5.2%	5.9%	6.9%	6.1%	5.7%	6.8%
Gesamtreisezeit [h]	2431	2495	2484	2486	2494	2488	2478	2473	2487
vs. „0“		2.6%	2.2%	2.3%	2.6%	2.4%	1.9%	1.8%	2.3%
Gesamtwegstrecke [km]	119205	118500	118859	118738	118623	118643	118653	118600	118645
vs. „0“		-0.6%	-0.3%	-0.4%	-0.5%	-0.5%	-0.5%	-0.5%	-0.5%

Abschließend wird das Spurwechselverhalten untersucht (Tabelle 42). Dabei kann festgestellt werden, dass die durchschnittliche Anzahl der Spurwechsel mit zunehmenden C2X-Anteil sinkt (um bis zu 1,5 % bei 15 % C2X und um bis zu 2,8 % bei 80 % C2X-Ausstattungsgrad). Verglichen mit der Stunde 13-14 Uhr (Abbildung 71) sind hier in Summe deutlich mehr Spurwechsel (um 12 %) und dafür eine geringere Standardabweichung.

Tabelle 42: Auswertung der Spurwechsel aus der Simulation RWW 17-18 Uhr

Spurwechsel RWW 17-18 Uhr	"0"-Fall	15% C2X	15% C2X	15% C2X	15% C2X	80% C2X	80% C2X	80% C2X	80% C2X
		300m v95	300m v110	500m v95	500m v110	300m v95	300m v110	500m v95	500m v110
Mittelwert	18105.2	17826.8	17906	17835	17888.8	17605.2	17685.6	17690	17822.2
vs. „0“	-	-1.5%	-1.1%	-1.5%	-1.2%	-2.8%	-2.3%	-2.3%	-1.6%
Standardabw.	222	176.7	190.9	197	192.7	128	222.3	166.9	155.9
vs. „0“	-	-20.4%	-14.0%	-11.3%	-13.2%	-42.3%	0.1%	-24.8%	-29.8%

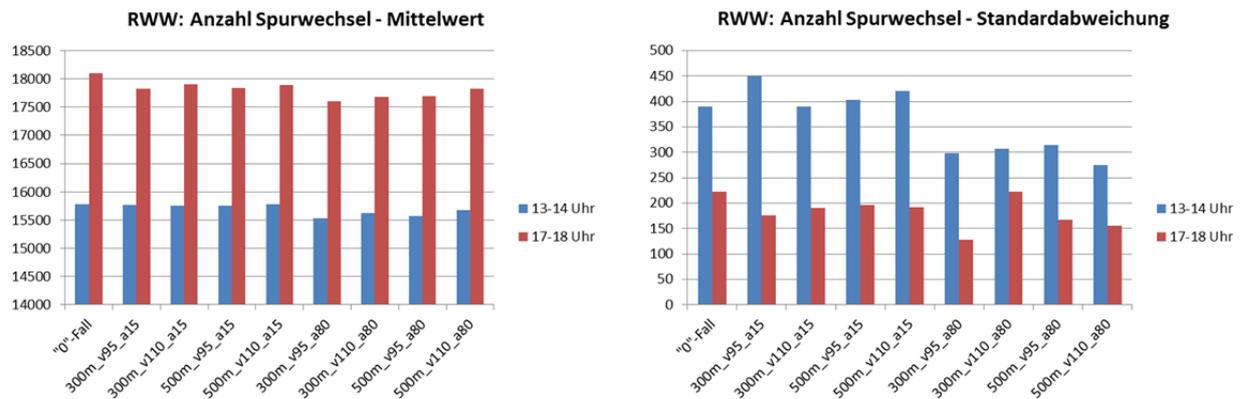


Abbildung 71: Vergleich Mittelwert und Standardabweichung der Spurwechsel zwischen Simulation RWW 13-14 Uhr und RWW 17-18 Uhr

4.3.2.3 Fazit Wirkung Fahr- und Verkehrseffizienz auf Basis Simulationsdaten

UseCase GLOSA

Generell ist bei geringem C2X-Ausstattungsgrad (3 und 15 %) kaum eine Wirkung von kooperativen Fahrzeugen auf die Fahr- und Verkehrseffizienz zu quantifizieren. Die Wirkung ist in der Stunde 13-14 Uhr bei GLOSA deutlich höher als in der Stunde 17-18 Uhr. Für den 80 % C2X-Fall sind bei den Beschleunigungsparametern (-4,3 % bei *acn*), bei der Anzahl der Halte (-8,5 %) und bei der Anzahl Spurwechsel (-12,8 %) sowie bei allen Netzkenngößen (siehe Tabelle 31) positive Effekte im Vergleich zum Nullfall erkennbar. Diese Kenngrößen deuten insbesondere bei hohem C2X-Anteil auf einen homogeneren Verkehrsfluss.

UseCase RWW

Mit Ausnahme einer geringeren Anzahl an Spurwechseln in der Stunde 17-18 Uhr (Maximalfall 2,8 % weniger Spurwechsel beim Szenario 80 % C2X-Ausstattungsgrad, Informationsort 300 m und Wunschgeschwindigkeitsverteilung v95 km/h), können keine positiven Effekte von kooperativen Fahrzeugen hinsichtlich Fahr- und Verkehrseffizienz hier in der Simulation des UseCase RWW festgestellt werden.

4.4 Analyse der Umweltauswirkungen

Für die Analyse der Umweltauswirkungen werden die (Schadstoff-)emissionen für die unterschiedlichen Auswerteszenarien der UseCases GLOSA und RWW mit dem an der TU Graz entwickeltem Emissionsmodell PHEM [Hausberger et al. 2012] berechnet.

Bei dem Modell PHEM handelt es sich um ein kennfeldbasiertes Emissionsmodell, aufbauend auf einem Fahrzeuglängsdynamikmodell zur Berechnung der aktuellen Antriebs- und Motorleistung. Die Emissionen sind in dreidimensionalen Kennfeldern über Motordrehzahl und Motorleistung abgelegt und werden mit einer Korrektur für den Transientbetrieb versehen. Für die Interpolation der Emissionen aus den Kennfeldern wird neben der Motorleistung somit auch die Motordrehzahl benötigt. Diese wird aus der Fahrzeuggeschwindigkeit, dem dynamischen Radhalbmesser und der Getriebeübersetzung berechnet. Somit können aus den Kennfeldern für

jede Sekunde im Fahrzyklus die Emissionen für den warmen Betriebszustand berechnet werden.

PHEM ist in der Lage, den Kraftstoffverbrauch und diverse Abgasemissionen wie NO_x (Stickoxide), CO (Kohlenmonoxid), NO (Stickstoffmonoxid), HC (Kohlenwasserstoff) und auch PM (Feinstaub) der simulierten oder gemessenen Geschwindigkeitstrajektorien zu berechnen. Zudem berechnet das Emissionsmodell fahrdynamische Kenngrößen wie Anteile von Fahrzuständen (Beschleunigungs-, Verzögerungs- oder Cruising-Anteil) oder auch das Beschleunigungsrauschen (Acceleration Noise), was der Standardabweichung der Beschleunigung eines Fahrzeugs in einem Verkehrsstrom entspricht. Die generelle Funktionsweise des Emissionsmodells PHEM wird in Abbildung 72 dargestellt.

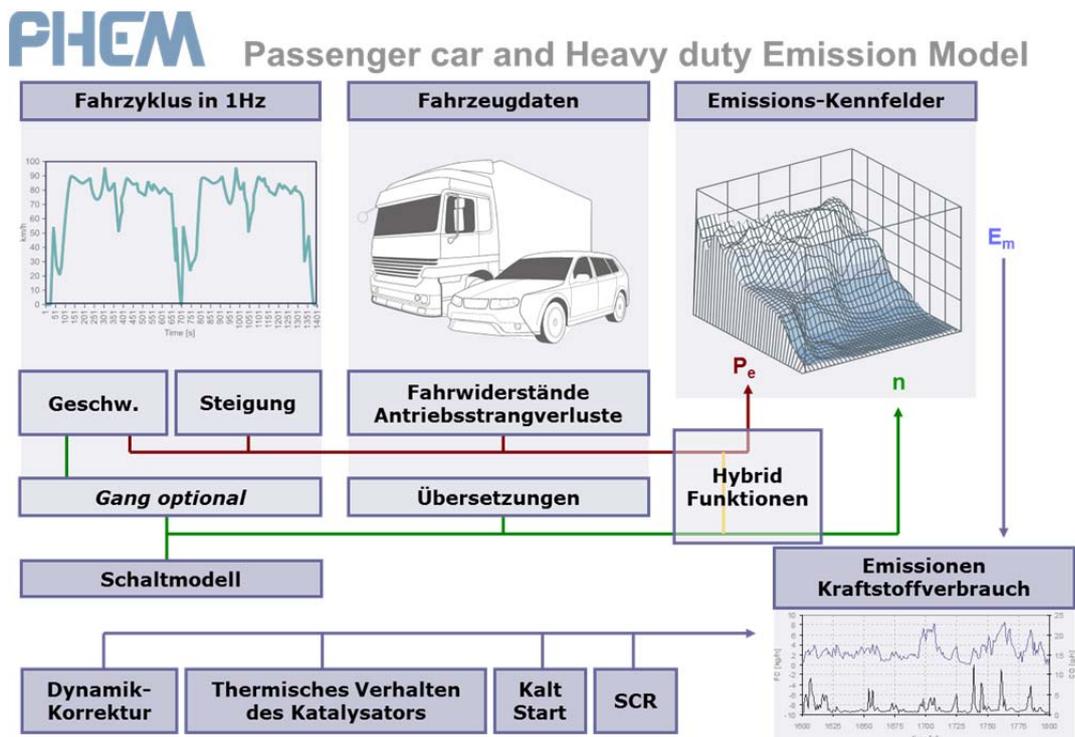


Abbildung 72: Funktionsweise des Emissionsmodells PHEM [Hausberger 2003]

Folgende Emissionskenngrößen werden mit PHEM ausgewertet:

- Kraftstoffverbrauch (FC)
- Stickoxide (NO_x)
- Stickstoffmonoxid (NO)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Kohlenwasserstoffe (HC)
- Feinstaub (PM)

Anschließend werden in Kapitel 4.4.1 die Umweltauswirkungen (Emissionen) auf Basis Realdaten ermittelt. Dabei werden die GPS-Daten (gemessene Fahrzeugtrajektorien) der Testfahrten herangezogen und ein Vergleich zwischen Zustand 0 (nicht kooperative Fahrzeuge) und Zustand 1 hergestellt. Danach werden in Kapitel 4.4.2 die Umweltauswirkungen auf Basis Simulationsdaten bestimmt, mit der Szenarien- feinen Auswertung für die UseCases GLOSA und RWW.

4.4.1 Umweltauswirkungen auf Basis von Realdaten

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Fahr- und Verkehrseffizienz werden auch hier zwei verschiedenen Ansätze bei den Umweltwirkungen auf Basis Realdaten verwendet. Zuerst werden Umweltauswirkungen kooperativer (Zustand 1) bzw. nicht kooperativer Fahrzeuge (Zustand 0) auf mikroskopischer Ebene infolge Einzelfahrzeugtrajektorien untersucht, und anschließend auf mesoskopischer Ebene Umweltwirkungen auf verschiedenen Streckenabschnitten analysiert.

4.4.1.1 Emissionsvergleich anhand von Einzelfahrzeugtrajektorien

Exemplarisch wird dabei ein Vergleich der Emissionen zweier ähnlicher Einzelfahrzeugtrajektorien (eine im Zustand 0 und eine im Zustand 1) durchgeführt. Hierfür werden auch die fahrdynamischen Kenngrößen betrachtet damit auf mikroskopischer Ebene ein Zusammenhang zwischen Fahrdynamik und Emissionen hergeleitet werden kann. Die Trajektorien bewegen sich von Wien via Südosttangente A23 und Autobahn A2 in Richtung Süden/Graz. Als Referenzabschnitt wird der knapp 10 km lange Autobahnabschnitt zwischen A23 Ausfahrt Landstraße und A2 Ausfahrt Shopping City Süd herangezogen (siehe Abbildung 73). Es wurde darauf geachtet, dass beide Trajektorien bei ähnlichen, vergleichbaren Verkehrsbedingungen auftreten. Die Trajektorie im Zustand 0 stammt vom Dienstag den 19.06.2012 um etwa 15:20 Uhr, und jene im Zustand 1 vom Dienstag 15.10.2013 um etwa 13:30 Uhr am Referenzabschnitt.

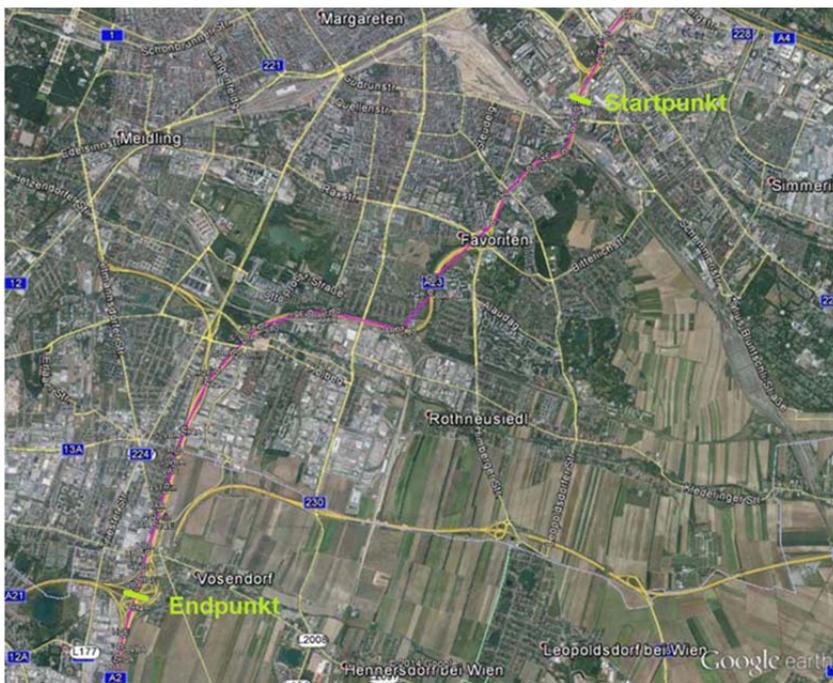


Abbildung 73: Referenzabschnitt zwischen A23 Landstraße und A2 Shopping City Süd für den Emissionsvergleich anhand zweier Einzelfahrzeugtrajektorien (Quelle: Google Earth)

Zuerst wird auf mikroskopischer Ebene die Fahrdynamik der Trajektorien betrachtet. Abbildung 74 zeigt den Verlauf der gefahrenen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen über die gefahrene Distanz.

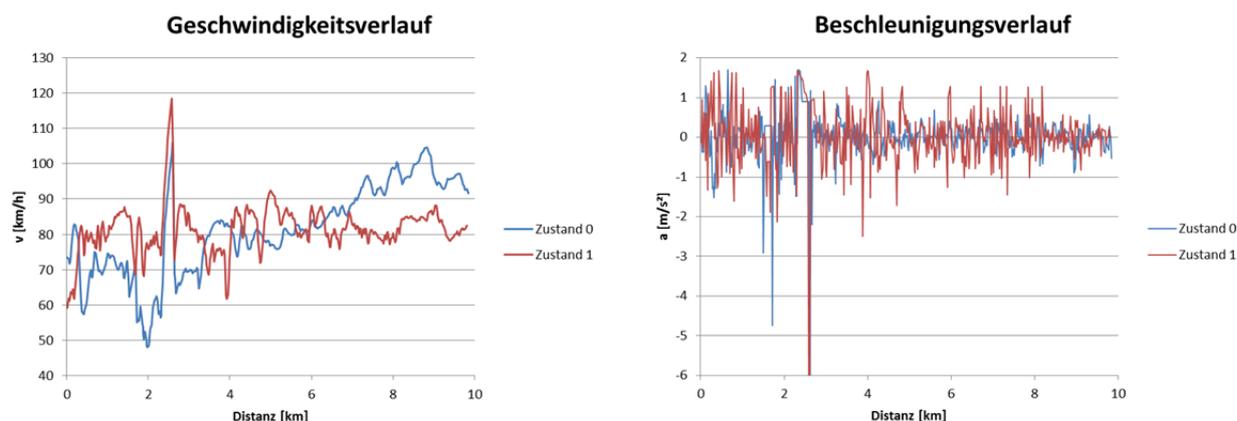


Abbildung 74: Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf zweier Einzelfahrzeugtrajektorien auf dem Autobahnabschnitt A23 Landstraße bis A2 Shopping City Süd

Die gefahrenen Geschwindigkeiten bewegen sich Großteils zwischen 60 und 90 km/h (die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 80 km/h im Grundzustand der Verkehrsbeeinflussungsanlage). Bei dem starken Anstieg der Geschwindigkeit bei der zurückgelegten Distanz von ca. 2,5 km handelt es sich um einen kurzen Signalausfall aufgrund der Unterflurtrasse Favoriten, das heißt die Spitze tritt in Wirklichkeit nicht auf. Der Beschleunigungsverlauf oszilliert die meiste Zeit zwischen $-1,0 \text{ m/s}^2$ und $+1,0 \text{ m/s}^2$.

Tabelle 43 vergleicht die fahrdynamischen Kenngrößen der beiden Trajektorien. Die mittlere Geschwindigkeit stimmt sehr gut mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h überein. Die mittleren Beschleunigungen sind bei der Fahrt im Zustand 1 größer. Der Cruising-Anteil ist bei beiden Trajektorien etwa 40 %, der Beschleunigungsanteil ist im Zustand 1 kleiner, der Verzögerungsanteil größer als bei der Fahrt im Zustand 0 und liegt jeweils bei etwa 30 %.

Tabelle 43: Vergleich der fahrdynamischen Kenngrößen zweier Einzelfahrzeugtrajektorien

Trajektorie	Distanz	mittlere Geschw.	Std-abw. der Beschl. (ACN)	mittlere Beschleunigung			Anteil Fahrmodus		
				gesamt	positiv	negativ	Beschl.	Verzögern	Cruising
Zustand	[km]	[km/h]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[%]	[%]	[%]
0	9.847	79.3	0.749	0.011	0.350	-0.452	34.5	24.6	40.9
1	9.823	80.9	0.829	0.015	0.508	-0.476	30.4	29.5	40.0
vs. 0	-0.3%	2.0%	10.7%	34.5%	45.4%	5.3%	-11.7%	20.0%	-2.2%

Im nächsten Schritt werden die absoluten Emissionswerte der beiden Trajektorien mit dem Emissionsmodell PHEM berechnet (siehe Tabelle 44).

Tabelle 44: Vergleich der absoluten Emissionswerte zweier Einzelfahrzeugtrajektorien

Trajektorie	FC	NOx	CO	HC	PM	PN	NO
Zustand	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[-]	[g]
0	457	4.59	0.233	0.079	0.289	4.05E+14	2.75
1	483	6.30	0.324	0.074	0.264	3.85E+14	3.78
vs. 0	5.9%	37.2%	39.3%	-6.5%	-8.6%	-4.9%	37.2%

Der Treibstoffverbrauch (FC) und die Emissionen NOx, CO und NO ist im Zustand 1 höher (um bis zu 40 %), die Kohlenwasserstoffe (HC), die Feinstaubemission (PM) und Partikelanzahl (PN)

geringer als im Zustand 0 (-8,6 % bei PM und -4,9 % bei PN). Abschließend wird der Verlauf der Emissionen über die gefahrene Distanz in Abbildung 75 beleuchtet. Dabei werden die Emissionskenngrößen FC, NO_x und PM betrachtet. Einerseits wird der Emissionsverlauf in [g/h] (linke Spalte) und andererseits die kumulierten Emissionen als Summenlinie (rechte Spalte) dargestellt.

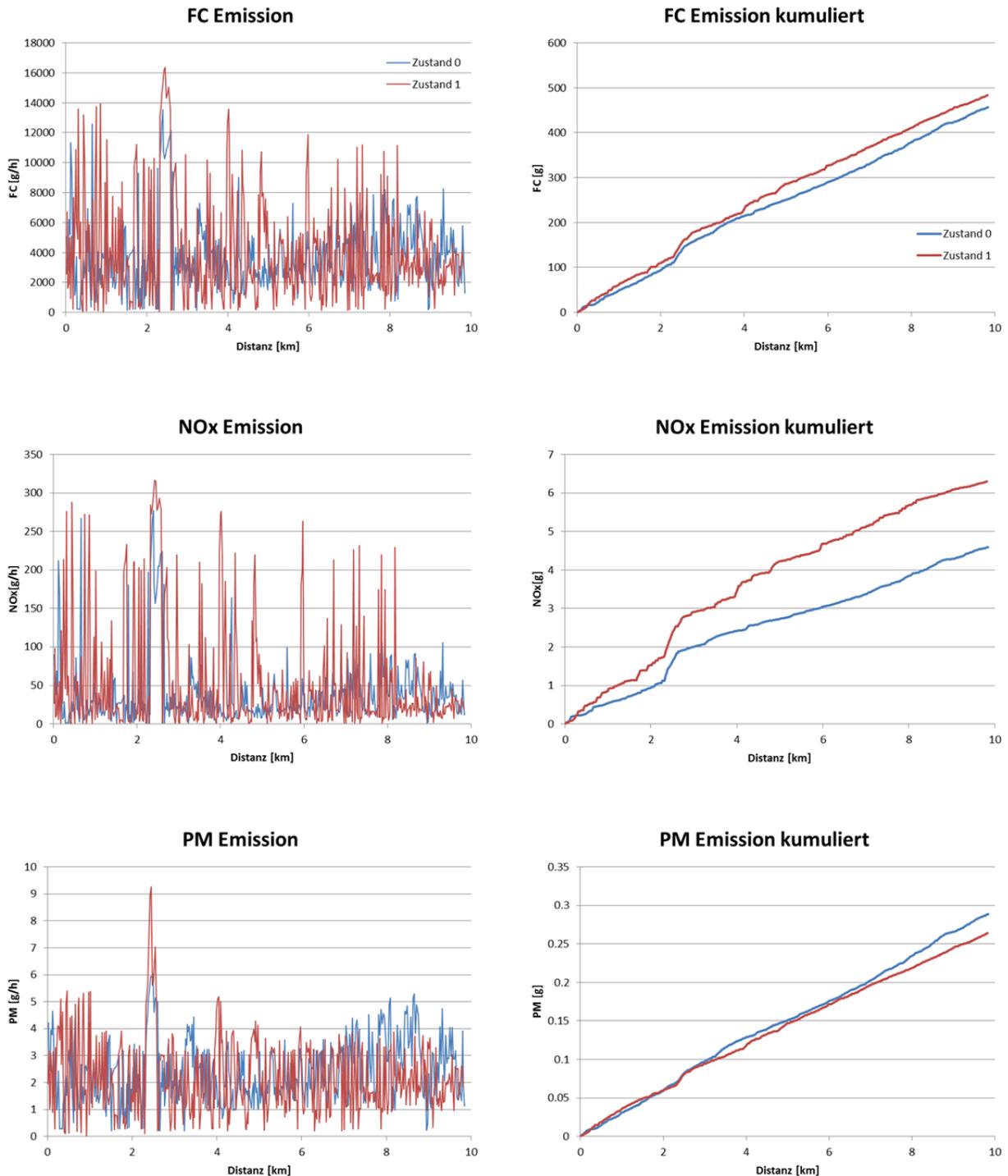


Abbildung 75: Verlauf der FC, NO_x und PM Emissionen zweier Einzelfahrzeugtrajektorien

Der Verlauf der Emissionen streut sehr stark für das feine Berechnungsintervall von 1 s (entspricht dem Abstand zwischen zwei Zeitstempeln in den GPS-Daten). Anschaulicher ist daher

die kumulierte Menge an Emissionen über die Distanz. Dieser ist bei allen drei Emissionskenngrößen annähernd linear mit Ausnahme des kurzen Signalausfalls bei der 2,5 km Distanz.

4.4.1.2 Abschnittsfeine Emissionsberechnung

Bei der abschnittsfeinen Analyse der Umweltauswirkungen werden die fahrzeugbasierten Emissionen aus den realen GPS-Daten mit dem Emissionsmodell PHEM berechnet. Dabei werden Emissionen von Fahrten ohne kooperative Dienste (Zustand 0, Testfahrten vom Juni/Juli 2012) mit denen mit kooperativen Diensten (Zustand 1, Testfahrten vom Oktober/November 2013) miteinander verglichen.

In Anlehnung an die Analyse der Fahr- und Verkehrseffizienz werden auch hier die Umweltauswirkungen anhand der gleichen 7 Streckenabschnitte untersucht:

- Abschnitt A: Autobahn A4, Fahrtrichtung Ungarn, Knoten Prater bis Knoten Schwechat (RP 103030204 bis RP 613030107)
- Abschnitt B: Autobahn A4, Fahrtrichtung Ungarn, Knoten Schwechat bis Flughafen Wien (RP 103034217 bis RP 803030150)
- Abschnitt C: Autobahn A4, Fahrtrichtung Wien, Flughafen Wien bis Knoten Schwechat (RP 103070223 bis RP 903070151, in diesem Bereich befindet sich das simulierte Szenario „RWW“)
- Abschnitt D: Autobahn A23, Fahrtrichtung Norden, Knoten Inzersdorf bis Favoriten (RP 622010103 bis RP 622010104)
- Abschnitt E: Autobahn A23, Fahrtrichtung Norden, Knoten Prater bis Handelskai (RP 642010109 bis RP 642010110)
- Abschnitt F: Autobahn A23, Fahrtrichtung Süden, Knoten Landstraße bis Favoriten (RP 102050112 bis RP 622050109)
- Abschnitt G: Innerorts, Handelskai Fahrtrichtung Südost, Kreuzung Machstraße bis Auffahrt A23 (RP 800008114 bis RP 800009119)

Zur Orientierung ist die Lage der Abschnitte in Abbildung 76 dargestellt.

Tabelle 45 zeigt die Ergebnisse für den Treibstoffverbrauch (FC) sowie für Emissionen aus Stickoxiden (NO_x), Stickstoffmonoxid (NO), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC) und Feinstaub (PM); zusätzlich ist die jeweilige Abweichung in Prozent zwischen Zustand 0 und 1 angegeben. Am Abschnitt G waren keine Realdaten für den Zustand 0 verfügbar.

Tabelle 45: Umweltauswirkungen (Emissionen) auf Basis Realdaten für die sieben betrachteten Abschnitte

Ab-schn.	Zu-stand	FC [g/km]	NOx [g/km]	NO [g/km]	CO [mg/km]	HC [mg/km]	PM [mg/km]
A	0	43.7	0.433	0.260	19.4	7.46	28.1
	1	46.5	0.515	0.309	22.3	7.50	29.1
	vs. 0	6.4%	18.9%	18.8%	14.9%	0.5%	3.6%
B	0	51.3	0.650	0.390	15.1	7.16	32.8
	1	50.7	0.609	0.366	14.2	7.08	33.5
	vs. 0	-1.2%	-6.3%	-6.2%	-6.0%	-1.1%	2.1%
C	0	48.0	0.618	0.371	15.8	6.95	30.5
	1	47.9	0.608	0.365	13.8	6.78	31.2
	vs. 0	-0.2%	-1.6%	-1.6%	-12.7%	-2.4%	2.3%
D	0	41.0	0.403	0.242	22.4	7.35	26.0
	1	47.8	0.574	0.344	32.3	8.02	27.7
	vs. 0	16.6%	42.4%	42.1%	44.2%	9.1%	6.5%
E	0	45.5	0.438	0.263	25.7	8.03	29.6
	1	52.4	0.596	0.358	36.3	8.84	31.8
	vs. 0	15.2%	36.1%	36.1%	41.2%	10.1%	7.4%
F	0	39.2	0.399	0.239	25.4	7.50	24.7
	1	52.8	0.707	0.424	36.6	8.10	29.6
	vs. 0	34.7%	77.2%	77.4%	44.1%	8.0%	19.8%
G	0	-	-	-	-	-	-
	1	59.7	0.639	0.383	60.0	11.18	36.5

Die größten Abweichungen zwischen Zustand 0 und 1 sind bei NOx, NO und CO auf den Abschnitten D, E und F auf der Südosttangente A23 zu erkennen (um 36-78 % höhere Emissionen im Zustand 1). Geringere Emissionen im Zustand 1 können bei den Abschnitten B und C auf der Autobahn A4 festgestellt werden (z. B. -12,7 % bei CO am Abschnitt C, oder -6,3 % bei NOx am Abschnitt B).

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Streckenkategorien (Abschnitte A, B und C auf der A4, Abschnitte D, E und F auf der A23, Abschnitt G innerorts) zeigt, dass die größten Abweichungen bei Kohlenmonoxid CO auftreten (z. B. 60,0 mg/km am Abschnitt G Zustand 1 im Gegensatz zu 13,8 mg/km am Abschnitt C Zustand 1).

4.4.1.3 Fazit Umweltwirkungen auf Basis von Realdaten

Zuerst wurden auf mikroskopischer Ebene zwei Einzelfahrtrajektorien je Zustand 0 und 1 miteinander verglichen. Zum Teil konnten im Zustand 1 höhere Emissionen (bei FC, NOx, CO und NO), zum Teil geringere Emissionen (bei HC, PM und PN) als im Zustand 0 festgestellt werden.

In der abschnittsfeinen Betrachtung sind für Zustand 1-Fahrten geringere Emissionen bei den Abschnitten B und C (A4 zwischen Knoten Schwechat und Flughafen, beide Fahrtrichtungen) zu erkennen. Die größte Verminderung ist hier bei Kohlenmonoxid (z. B. -12,7 % bei Abschnitt C) zu beobachten. An den übrigen Abschnitten sind die Emissionen im Zustand 1 höher als im Zustand 0. Die größten Differenzen sind hier bei den Abschnitten D, E und F (A 23) bei Kohlenmonoxid zu erkennen.

Der hier durchgeführte Vergleich der Ergebnisse zwischen Zustand 0 und 1 trifft jedoch keine generelle Aussage über den Unterschied der Umweltwirkungen zwischen kooperativen und nicht kooperativen Fahrzeugen. Wie bereits in Kapitel 4.3.1.2 erwähnt wäre hierfür eine Klassifi-

zierung in verschiedene Tageszeiten bzw. Verkehrszustände mit ähnlichen verkehrlichen Bedingungen notwendig, welche jedoch aufgrund der eingeschränkten Realdatenbasis für beide Zustände nicht möglich gewesen ist. Das mögliche Potential von kooperativen Systemen hinsichtlich Umweltwirkungen wird dann später in Kapitel 4.4.2 anhand von Simulationsdaten dargestellt.

4.4.2 Umweltauswirkungen auf Basis von Simulationsdaten

Die Emissionswerte (NO_x, NO, CO, FC, PM und HC) werden im Folgenden je Szenario pro Fahrzeug und Streckenkilometer einer Richtung dargestellt (Einheit [g/(Fz*km)]), zuerst für den UseCase GLOSA am niederrangigen Netz und anschließend für den UseCase RWW am hochrangigen Netz.

4.4.2.1 GLOSA – Umweltwirkungen

UseCase GLOSA, Stunde 13-14 Uhr

Tabelle 46 sowie Abbildung 77 zeigen die Emissionen in Abhängigkeit des Ausstattungsgrades an kooperativen Fahrzeugen (0, 3, 15, 30 und 80 %) für den innerstädtischen UseCase GLOSA in der Stunde 13-14 Uhr.

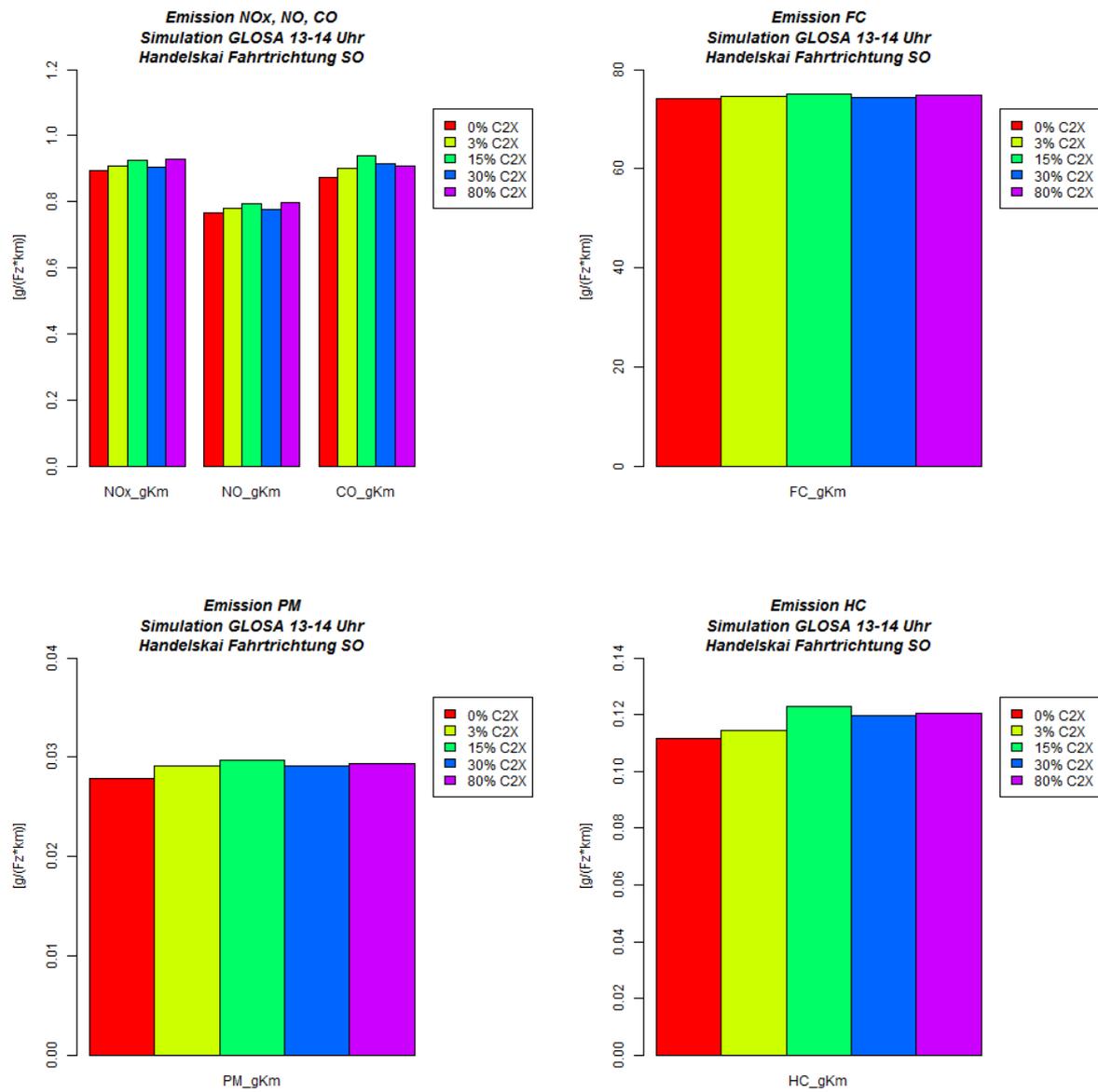


Abbildung 77: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr

Tabelle 46: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 13-14 Uhr

Emissionswerte [g/(Fz*km)] GLOSA 13-14 Uhr		0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
FC	mean	74.08	74.68	74.98	74.39	74.83
	vs. 0		0.8%	1.2%	0.4%	1.0%
NOx	mean	0.895	0.908	0.924	0.906	0.928
	vs. 0		1.4%	3.2%	1.2%	3.6%
NO	mean	0.766	0.780	0.796	0.777	0.799
	vs. 0		1.8%	3.8%	1.4%	4.2%
CO	mean	0.874	0.901	0.940	0.915	0.907
	vs. 0		3.0%	7.5%	4.7%	3.8%
HC	mean	0.111	0.115	0.123	0.120	0.121
	vs. 0		2.8%	10.2%	7.4%	8.1%
PM	mean	0.0279	0.0291	0.0297	0.0291	0.0294
	vs. 0		4.2%	6.4%	4.3%	5.3%

Es können hier keine positiven Umweltwirkungen durch kooperative Fahrzeuge festgestellt werden. Unerwartet sind fast alle Emissionswerte bei 15 % C2X-Ausstattungsgrad am höchsten. Der Kraftstoffverbrauch bleibt annähernd konstant, während die anderen Emissionswerte beim Nullfall (0 % C2X-Anteil) am geringsten sind. Zum Beispiel sind beim Feinstaub PM die Emissionen bei 80 % C2X-Ausstattungsgrad um 5,3 % höher, bei HC sogar um 8,1 % höher als im Nullfall. Bei NOx und NO sind die Emissionen mit kooperativen Fahrzeugen (3, 15, 30 und 80 % C2X-Anteil) um 1-4 % höher, bei CO um 3-8 % höher im Vergleich zum Nullfall.

UseCase GLOSA, Stunde 17-18 Uhr

Die Umweltwirkungen für die Stunde 17-18 Uhr können der Abbildung 78 bzw. der Tabelle 47 entnommen werden.

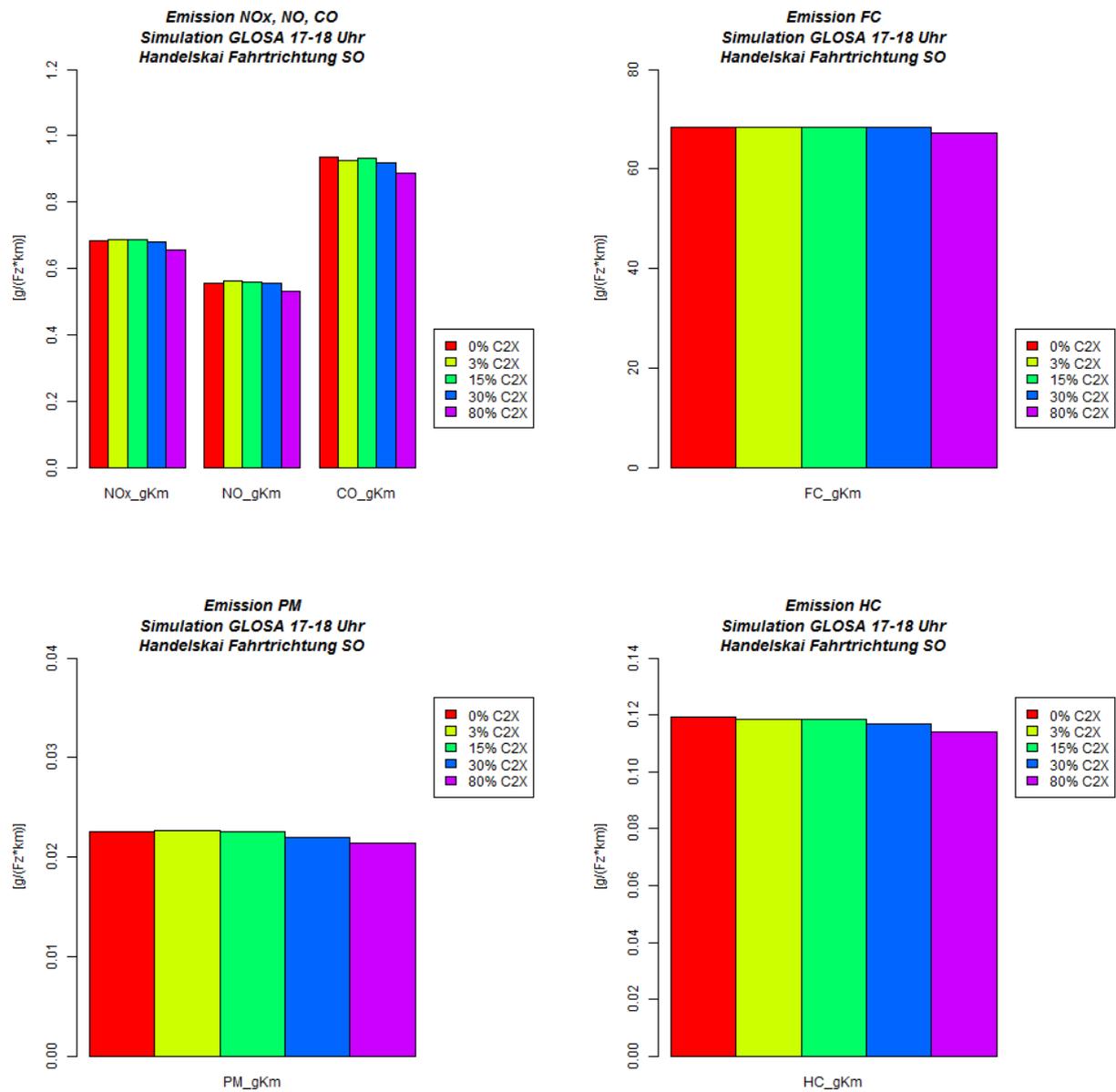


Abbildung 78: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr

Tabelle 47: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades auf Basis der Simulation GLOSA 17-18 Uhr

Emissionswerte [g/(Fz*km)] GLOSA 17-18 Uhr		0% C2X	3% C2X	15% C2X	30% C2X	80% C2X
FC	mean	68.42	68.33	68.35	68.27	67.18
	vs. 0		-0.1%	-0.1%	-0.2%	-1.8%
NOx	mean	0.682	0.688	0.686	0.682	0.655
	vs. 0		0.8%	0.5%	-0.1%	-4.1%
NO	mean	0.557	0.562	0.561	0.558	0.533
	vs. 0		0.9%	0.6%	0.1%	-4.3%
CO	mean	0.936	0.926	0.931	0.919	0.889
	vs. 0		-1.0%	-0.5%	-1.8%	-5.0%
HC	mean	0.119	0.119	0.118	0.117	0.114
	vs. 0		-0.6%	-0.9%	-2.2%	-4.5%
PM	mean	0.0225	0.0227	0.0225	0.0220	0.0215
	vs. 0		0.6%	0.0%	-2.2%	-4.7%

In der Stunde 17-18 Uhr wirken sich die hohen Ausstattungsgrade (30 und 80 % C2X) positiv auf die Emissionen aus. Der Kraftstoffverbrauch sinkt bei 80 % C2X-Anteil nur um 1,8 %, jedoch bei den Emissionen HC um 4,5 %, PM um 4,7 %, NOx um 4,1 %, NO um 4,3 % und CO um 5,0 % im Vergleich zum Nullfall.

4.4.2.2 RWW – Umweltwirkungen

Beim UseCase RWW treten deutlich mehr Szenarien auf als bei GLOSA, da hier neben dem Ausstattungsgrad auch hinsichtlich Meldungsempfangsort und Progressionsgeschwindigkeit für kooperative Fahrzeuge variiert wird. Aufgrund der geringen Ergebnisdifferenzen zwischen den verschiedenen Ausstattungsgraden aus den bisherigen Erkenntnissen und um die Übersichtlichkeit zu bewahren, werden die Szenarien mit dem Ausstattungsgrad 3 % und 30 % hier beim UseCase RWW nicht dargestellt.

UseCase RWW, Stunde 13-14 Uhr

Tabelle 48 sowie Abbildung 79 zeigen die Emissionswerte für die Stunde 13-14 Uhr für die verschiedenen Szenarien bei RWW.

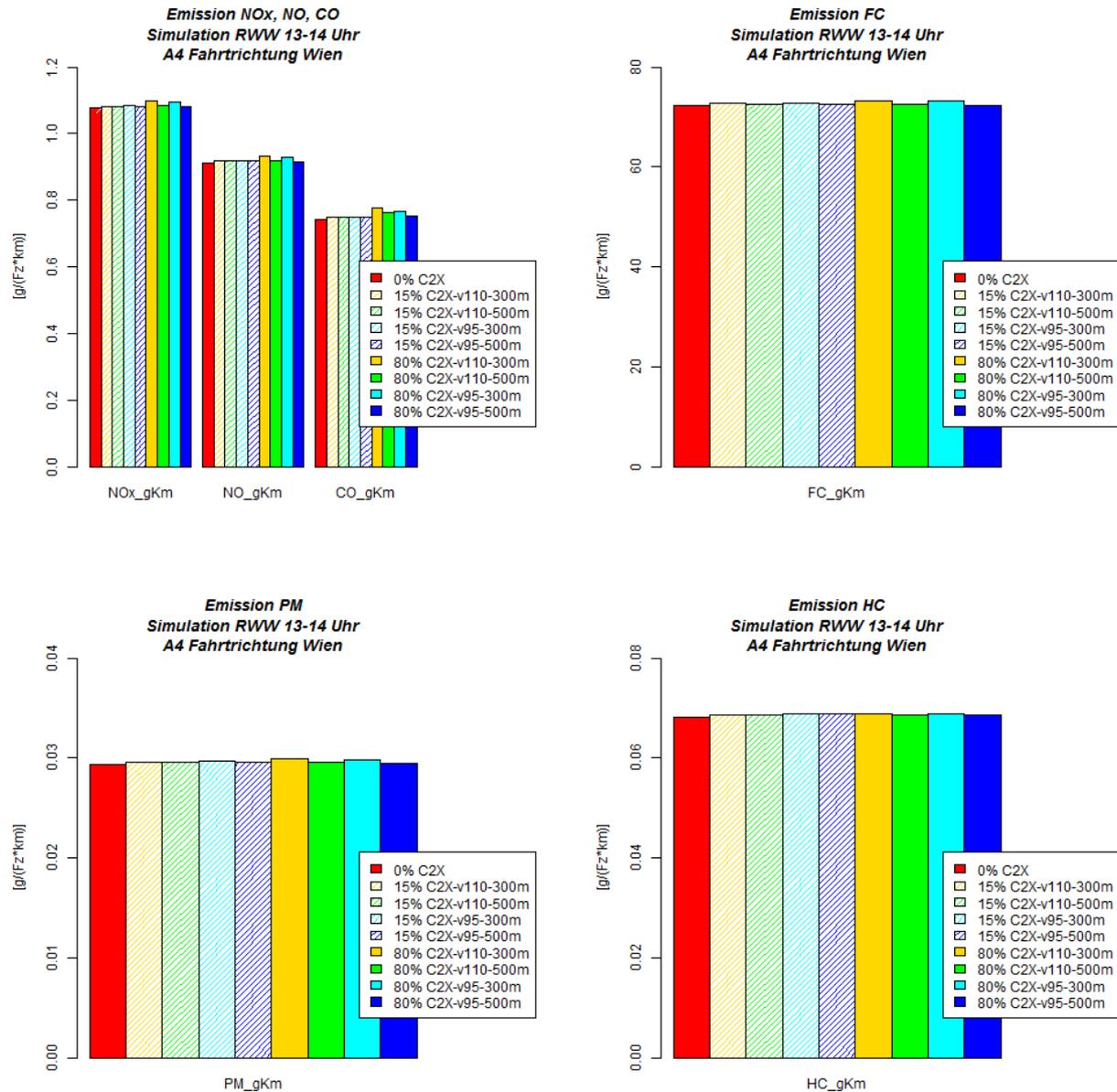


Abbildung 79: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Austattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr

Tabelle 48: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis der Simulation RWW 13-14 Uhr

Emissionswerte [g/(Fz*km)] RWW 13-14 Uhr		"0"-Fall	15% C2X v110 300m	15% C2X v110 500m	15% C2X v95 300m	15% C2X v95 500m	80% C2X v110 300m	80% C2X v110 500m	80% C2X v95 300m	80% C2X v95 500m
FC	mean	72.29	72.66	72.61	72.69	72.45	73.28	72.56	73.16	72.31
	vs. 0		0.5%	0.4%	0.6%	0.2%	1.4%	0.4%	1.2%	0.0%
NOx	mean	1.076	1.082	1.082	1.084	1.081	1.098	1.085	1.096	1.080
	vs. 0		0.6%	0.5%	0.7%	0.4%	2.0%	0.8%	1.9%	0.4%
NO	mean	0.913	0.919	0.918	0.920	0.918	0.931	0.920	0.930	0.917
	vs. 0		0.7%	0.6%	0.8%	0.5%	2.0%	0.8%	1.9%	0.4%
CO	mean	0.742	0.751	0.750	0.751	0.748	0.777	0.764	0.767	0.753
	vs. 0		1.2%	1.1%	1.3%	0.9%	4.8%	3.0%	3.5%	1.5%
HC	mean	0.0682	0.0687	0.0687	0.0688	0.0688	0.0688	0.0686	0.0689	0.0687
	vs. 0		0.7%	0.7%	0.9%	0.8%	0.8%	0.6%	1.0%	0.7%
PM	mean	0.0294	0.0296	0.0296	0.0297	0.0295	0.0299	0.0295	0.0299	0.0295
	vs. 0		0.8%	0.8%	0.9%	0.5%	1.8%	0.5%	1.6%	0.3%

Ähnlich wie bei GLOSA 13-14 Uhr sind auch hier keine positiven Effekte hinsichtlich Umweltwirkung für kooperative Fahrzeuge zu erkennen. Bei den beiden Szenarien mit 80 % C2X-Ausstattungsgrad und dem Informationsort 300m vor der Baustelle sind die Emissionen insgesamt am höchsten (um bis zu 4,8 % im Vergleich zum Nullfall).

UseCase RWW, Stunde 17-18 Uhr

Die Umweltwirkungen (Emissionswerte) der Szenarien RWW für die Stunde 17-18 Uhr sind in Abbildung 80 bzw. Tabelle 49 dargestellt.

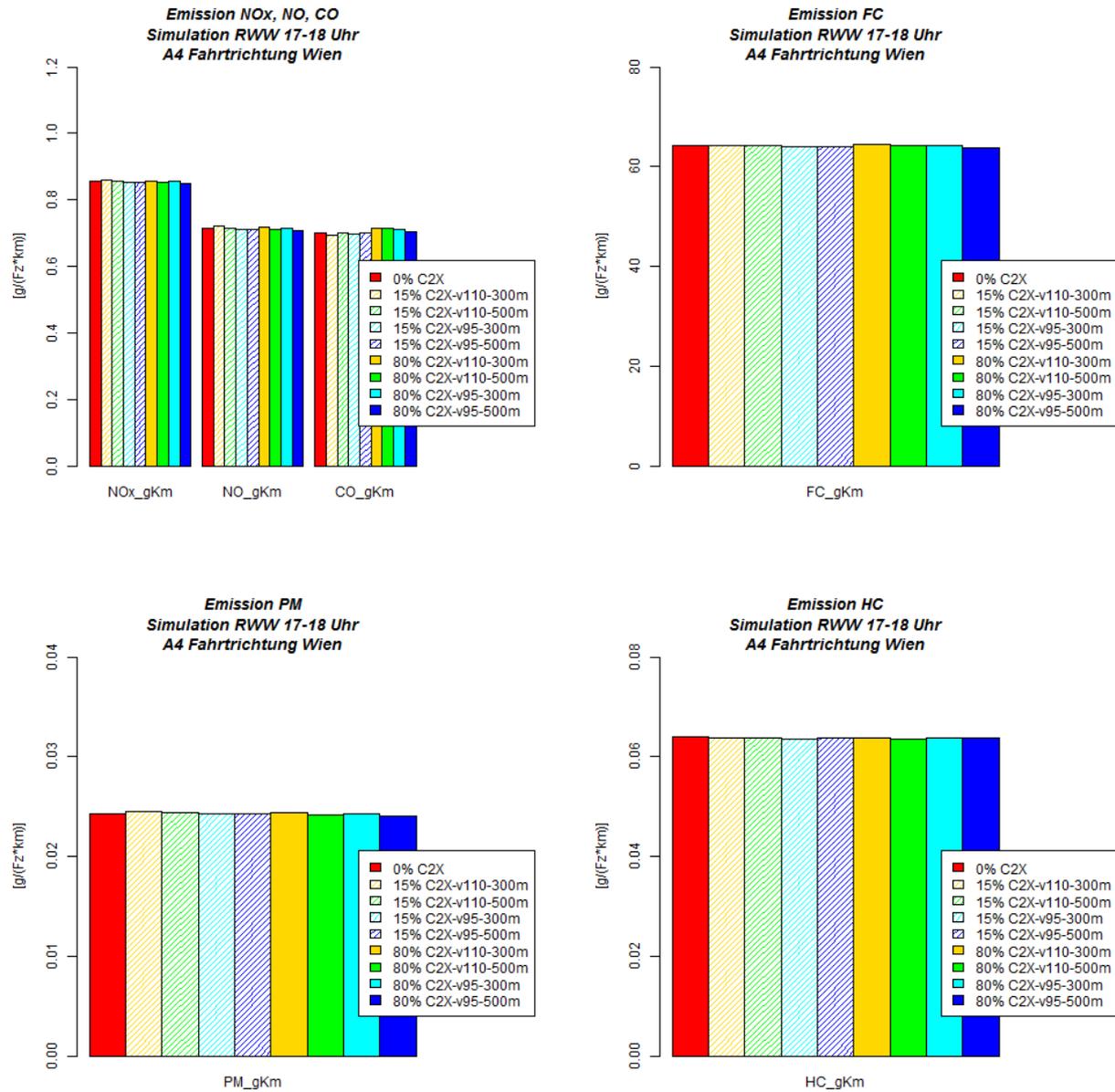


Abbildung 80: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis Simulation RWW 17-18 Uhr

Tabelle 49: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit C2X-Ausstattungsgrad, C2X-Wunsch-geschwindigkeit und Meldungsempfangsort auf Basis Simulation RWW 17-18 Uhr

Emissionswerte [g/(Fz*km)] RWW 17-18 Uhr		"0"-Fall	15% C2X v110 300m	15% C2X v110 500m	15% C2X v95 300m	15% C2X v95 500m	80% C2X v110 300m	80% C2X v110 500m	80% C2X v95 300m	80% C2X v95 500m
FC	mean	64.35	64.34	64.32	64.08	64.10	64.40	64.20	64.24	63.72
	vs. 0		0.0%	0.0%	-0.4%	-0.4%	0.1%	-0.2%	-0.2%	-1.0%
NOx	mean	0.856	0.861	0.856	0.853	0.852	0.858	0.852	0.856	0.849
	vs. 0		0.6%	0.0%	-0.3%	-0.5%	0.3%	-0.5%	0.0%	-0.8%
NO	mean	0.716	0.721	0.716	0.713	0.712	0.717	0.711	0.715	0.709
	vs. 0		0.7%	0.0%	-0.4%	-0.5%	0.1%	-0.7%	-0.1%	-0.9%
CO	mean	0.702	0.694	0.702	0.698	0.700	0.717	0.714	0.711	0.706
	vs. 0		-1.1%	0.0%	-0.7%	-0.4%	2.1%	1.7%	1.3%	0.5%
HC	mean	0.0640	0.0638	0.0638	0.0636	0.0639	0.0637	0.0636	0.0638	0.0637
	vs. 0		-0.4%	-0.3%	-0.6%	-0.2%	-0.5%	-0.6%	-0.3%	-0.4%
PM	mean	0.0243	0.0245	0.0244	0.0243	0.0243	0.0244	0.0242	0.0243	0.0241
	vs. 0		0.7%	0.3%	-0.1%	-0.1%	0.5%	-0.5%	0.0%	-0.9%

Fast alle Emissionswerte sind grundsätzlich konstant in der Stunde 17-18 Uhr (Abweichungen von max. 1 % zwischen den Szenarien), mit Ausnahme von Kohlenmonoxid. Die CO-Emissionen sind bei den 80 % C2X-Szenarien geringfügig höher (bis zu 2,1 %) und bei den 15 % C2X-Szenarien geringfügig niedriger (um bis zu 1,1 %) im Vergleich zum Nullfall.

4.4.2.3 Fazit Umweltwirkungen auf Basis Simulationsdaten

UseCase GLOSA

Für die Stunde 13-14 Uhr konnten keine positiven Umweltwirkungen in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades ermittelt werden. Im Gegensatz dazu beträgt in der Stunde 17-18 Uhr die Einsparung an Emissionen bis zu 5 % bei 80 % C2X-Anteil und bis zu 2,2 % bei 30 % C2X-Anteil, jedoch keine Emissionsabnahme bei niedrigem Ausstattungsgrad (3 und 15 % C2X).

UseCase RWW

Generell konnten keine positiven Umweltwirkungen beim UseCase RWW festgestellt werden. Im Gegenteil, bei 80 % C2X-Ausstattungsgrad sind die Emissionen höher als bei der geringeren Ausstattung von 15 % C2X. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Szenarien sind allgemein bei allen Emissionsgrößen sehr klein (unter 2 %). Lediglich bei einer Emissionsgröße konnte eine positive Wirkung erkannt werden, bei Kohlenmonoxid (CO) sind die Emissionen bei den 15 % C2X-Szenarien um bis zu 1,2 % geringer im Vergleich zum Nullfall.

4.5 Wirkungsanalyse der Sicherheit des Verkehrsflusses

Zur Untersuchung der Sicherheit des Verkehrsflusses werden fahrdynamische Kenngrößen für einzelne Trajektorien bestimmt und im Anschluss gegenübergestellt. Aus den GPS-Daten der Realfahrten werden die aufgezeichneten dynamischen Messwerte (Fahrzeuggeschwindigkeit und -beschleunigung, Zeitpunkt, Ort und Inhalt empfangener und angezeigter Meldungen) verwendet. Die Analyse der hervorgerufenen Änderungen erfolgt durch verschiedene paarweise Vergleiche unterschiedlicher Systemzustände:

- (a) Fahrten ohne kooperative Systeme (Zustand 0) – Fahrten mit kooperativen Systemen (Zustand 1)
- (b) Fahrten ohne kooperative Systeme (Zustand 0) – Fahrten mit kooperativen Systemen ohne Anzeige der Informationen im Fahrzeug (Zustand 1b) (die entsprechende Meldung wurde nicht an das Fahrzeug gesendet bzw. erst nach Überquerung der zugehörigen Schilderbrücke angezeigt)
- (c) Fahrten mit kooperativen Systemen und rechtzeitiger Anzeige der Informationen (Zustand 1a) – Fahrten mit kooperativen Systemen ohne Anzeige der Informationen im Fahrzeug (Zustand 1b) (die entsprechende Meldung wurde nicht an das Fahrzeug gesendet bzw. erst nach Überquerung der zugehörigen Schilderbrücke angezeigt)

Aus der Gegenüberstellung der Zustände im Fall (a) lassen sich die generellen verkehrlichen Wirkungen eines kooperativen Systems im Vergleich zum Verkehrsverhalten ohne System ableiten. Aus den Situationsvergleichen der Fällen (b) und (c) ergibt sich, ob ein Fahrer oder eine Fahrerin mit kooperativen System sein oder ihr Verhalten insgesamt geändert hat, obwohl in den untersuchten Fahrsituationen keine zusätzlichen Informationen vom System bereitgestellt werden. Im Fall (b) werden dabei Fahrten ohne System als Basis genutzt. Aus den Vergleichen im Fall (c) können Aussagen über die Nachhaltigkeit der Beeinflussung des Fahrverhaltens durch die Nutzung des kooperativen Systems abgeleitet werden.

Bei der Analyse der Simulationsdaten sind die Einzelfahrzeugtrajektorien für jedes Fahrzeug im Verkehrsmodell verfügbar. Daher werden hier durch Mittelung die fahrdynamischen Kenngrößen je Abschnitt in Abhängigkeit des C2X-Ausstattungsgrades ausgewertet.

4.5.1 Kenngrößen zur Ermittlung der Fahr- und Verkehrssicherheit

Im Rahmen der Wirkungsanalyse der Fahr- und Verkehrssicherheit wird das Reaktions-, Abstands- sowie Beschleunigungsverhalten der VerkehrsteilnehmerInnen untersucht. Des Weiteren werden Aspekte hinsichtlich der Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge, der Harmonisierung des Verkehrsablaufs und der kritischen Fahrsituationen näher betrachtet. Bei der Auswertung der verkehrlichen Wirkung der Fahrsicherheit wird die Sicherheit eines einzelnen Fahrers bzw. einer einzelnen Fahrerin betrachtet, während bei der Verkehrssicherheit das Fahrzeugkollektiv in die Auswertung mit einbezogen wird. Die Auswertungsstrategie basiert auf Erfahrungen aus dem Großfeldbesuch sim^{TD} im Großraum Frankfurt am Main [sim^{TD} W. D. W41.2b, 2012, S. 10ff]. Für die Auswertung der Fahr- und Verkehrssicherheit werden zum einen Realdaten basierend auf GPS-Messverfahren und zum anderen Daten aus Verkehrssimulationen verwendet. Der Fokus liegt jedoch auf der Analyse der Kenngrößen mittels Verkehrssimulation.

4.5.1.1 Änderung des Abstandverhaltens

Die Überprüfung des Validierungsziels Änderung des Abstandsverhaltens erfolgt mittels der Kenngrößen „mittlere Nettozeitlücke“ und „minimale Nettozeitlücke“. Die Berechnung wird auf der Grundlage fahrzeuggenerierter Daten aus der Verkehrssimulation durchgeführt.

Mittlere Nettozeitlücke

Zur Ermittlung der Kenngröße „mittlere Nettozeitlücke“ werden die Parameter Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs benötigt. Die Datenbasis für die Berechnung der Kenngröße besteht aus Realdaten oder Simulationsergebnissen.

Für die Berechnung der Kenngröße werden nur Nettozeitlücken unter 6 s berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei einer Nettozeitlücke von über 6 s keine Beeinflussung durch ein vorrausfahrendes Fahrzeug vorliegt [Vogel, 2002, S. 15ff.]. Die Nettozeitlücke wird gemäß folgender Formel (1) berechnet.

$$t_{netto} = \frac{d}{v} \quad (1)$$

d = Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeug [m]

v = Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs [$\frac{m}{s}$]

Die Ermittlung der „mittleren Nettozeitlücke“ erfolgt für jedes Fahrzeug. Basierend auf den ermittelten Nettozeitlücken werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge berechnet.

Minimale Nettozeitlücke

Zur Ermittlung der Kenngröße „minimale Nettozeitlücke“ werden analog zur „mittleren Nettozeitlücke“ die Parameter Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs benötigt. Die Datenbasis für die Berechnung der Kenngröße besteht aus Realdaten oder Simulationsergebnissen. Die „minimale Nettozeitlücke“ wird gemäß Formel (2) berechnet.

$$t_{netto\min} = \frac{d}{v} \quad (2)$$

d = Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeug [m]

v = Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs [$\frac{m}{s}$]

Die Ermittlung der „minimalen Nettozeitlücke“ erfolgt für jedes Fahrzeug. Auf Grundlage der Ergebnisse werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge berechnet.

4.5.1.2 Änderung des Beschleunigungsverhaltens

Für die Überprüfung des Validierungsziels Änderung des Beschleunigungsverhaltens werden die Kenngrößen „maximale Längsbeschleunigung“ und „minimale Längsbeschleunigung“ betrachtet. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage fahrzeuggenerierter Daten.

Maximale Längsbeschleunigung

Zur Bestimmung der Kenngröße „maximale Längsbeschleunigung“ wird der Maximalwert der Längsbeschleunigung eines jeden Fahrzeugs über die gesamte Prüfsituation ermittelt. Basierend auf diesen Daten werden der Median, der Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge berechnet. Die Berechnung der Kenngröße erfolgt ausschließlich auf Basis von Realdaten.

Minimale Längsbeschleunigung

Analog zur „maximalen Längsbeschleunigung“ wird für die Bestimmung der Kenngröße „minimale Längsbeschleunigung“ das Minimum der Längsbeschleunigung eines jeden Fahrzeugs über die gesamte Prüfsituation ermittelt. Basierend auf den ermittelten Daten werden Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge der Gruppe berechnet. Die Berechnung der Kenngröße erfolgt ausschließlich auf Basis von Realdaten.

Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens

Die Überprüfung des Validierungsziels Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens erfolgt mittels der Kenngrößen „Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten“ und „Standardabweichung der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten“. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage fahrzeuggenerierter Daten aus den Realfahrten sowie unter Verwendung der Ergebnisse der Verkehrssimulation.

Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten

Zur Ermittlung der Kenngröße „Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten“ werden die Parameter Länge der gefahrenen Route, Zeitraum zum Durchfahren der Route sowie die mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit benötigt. Die Berechnung der Kenngröße erfolgt ausschließlich auf Basis von Realdaten. Die Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über eine definierte Route erfolgt gemäß der Formel (3).

$$v_m = \frac{s}{t} \quad (3)$$

s = Länge der gesamten Route [km]

t = Zeitraum zum Durchfahren der Route [h]

Die Berechnung der mittleren Geschwindigkeit erfolgt für jedes Fahrzeug. Basierend auf den ermittelten Geschwindigkeiten werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge gebildet.

Standardabweichung der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten

Zur Ermittlung der Kenngröße „Standardabweichung der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten“ werden die Parameter Länge der gefahrenen Route, Zeitraum zum Durchfahren der Route sowie die Standardabweichung der Einzelfahrzeuggeschwindigkeit benötigt. Die Berechnung der Kenngröße erfolgt ausschließlich auf Basis von Realdaten.

Die Ermittlung der der Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über eine definierte Route erfolgt analog der Formel (3). Aus den ermittelten Geschwindigkeiten wird die Standardabweichung der Geschwindigkeit für jedes einzelne Fahrzeug berechnet. Basierend auf den ermittelten Daten werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge einer Gruppe gebildet.

4.5.1.3 Änderung der Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen

Das Validierungsziel Änderung der Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen wird mittels der Kenngrößen „mittlere Time-To-Collision“, „minimale Time-To-Collision“, „Anzahl kritischer Fahrsituationen“ und „Anzahl kritischer Nettozeitlücken“ überprüft. Die Berechnung der Kenngrößen erfolgt ausschließlich auf Basis von Simulationsergebnissen.

Mittlere Time-To-Collision

Zur Ermittlung der Kenngröße „mittlere Time-To-Collision“ werden die Parameter Abstand zum vorrausfahrenden Fahrzeug, Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs sowie Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs benötigt.

Für die Ermittlung der Kenngröße wird der Mittelwert der TTC für jedes Fahrzeug gemäß Formel (4) berechnet.

$$ttc = \frac{d}{\Delta v} \quad \text{mit } \Delta v = v_{ego} - v_{ego-1} \quad (4)$$

d = Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]

v_{ego-1} = Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs [$\frac{m}{s}$]

v_{ego} = Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs [$\frac{m}{s}$]

Basierend auf den ermittelten Werten werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge berechnet.

Minimale Time-To-Collision

Zur Ermittlung der Kenngröße „minimale Time-To-Collision“ werden die Parameter Abstand zum vorrausfahrenden Fahrzeug, Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs sowie Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs benötigt.

Für die Ermittlung der Kenngröße wird das Minimum der TTC für jedes Fahrzeug einer Gruppe gemäß Formel (5) berechnet.

$$ttc_{min} = \frac{d}{\Delta v} \quad \text{mit } \Delta v = v_{ego} - v_{ego-1} \quad (5)$$

d = Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]

v_{ego-1} = Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs [$\frac{m}{s}$]

v_{ego} = Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs [$\frac{m}{s}$]

Basierend auf den ermittelten Werten werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge berechnet.

Anzahl kritischer Fahrsituationen

Zur Ermittlung der Kenngröße „Anzahl kritischer Fahrsituationen“ werden die Parameter Abstand zum vorrausfahrenden Fahrzeug, Geschwindigkeit des betrachteten Fahrzeugs sowie Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs benötigt. Zur Identifikation einer kritischen Situation werden die TTC-Werte genutzt. Eine Situation wird als kritisch eingeschätzt, sobald

eine TTC kleiner als 4 s vorliegt [van der Horst & Hogema, 1993, S. 4]. Für die Ermittlung der Kenngröße erfolgt eine Anteilsberechnung der Zeitdauer der Unterschreitung von 4 s im Vergleich zur Gesamtfahrzeit für jedes Fahrzeug. Aus den errechneten Anteilen wird ein Mittelwert gebildet.

Basierend auf den ermittelten Werten werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge der Gruppe berechnet.

Anzahl kritischer Nettozeitlücken

Zur Ermittlung der Kenngröße „Anzahl kritischer Nettozeitlücken“ werden die Parameter Sekundenabstand sowie Beginn und Ende der Prüfsituation benötigt.

Von einer kritischen Nettozeitlücke wird ausgegangen, wenn ihr Wert kleiner als 0,8 s ist. Gemäß Bußgeldkatalog können kleinere Sekundenabstände auf deutschen und österreichischen Autobahnen strafrechtlich verfolgt werden – somit ist es sinnvoll diese Grenze zur Bestimmung von kritischen Fahrsituationen heranzuziehen [sim^{TD} W. D. W41.2b, 2012, S. 14].

Durch eine Anteilsberechnung der Zeitdauer der Unterschreitung von 0,8 s in Relation zur Gesamtfahrzeit kann die Kenngröße für jedes Fahrzeug errechnet werden. Die ermittelten Anteile werden zu einem Mittelwert zusammengefasst.

Basierend auf den ermittelten Werten werden der Median, Mittelwert und die Standardabweichung für alle Fahrzeuge der Gruppe berechnet.

4.5.2 Wirkungen der Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis von Realdaten

In den vorliegenden GPS-Daten sind lediglich Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte enthalten. Informationen über vorausfahrende oder Folgefahrzeuge der mit dem kooperativen System ausgestatteten Fahrzeuge (Vorhandensein von umgebenden Fahrzeugen, Geschwindigkeit und Abstand) liegen nicht vor. Dieser Umstand verhindert die Analyse des Abstandsverhaltens der mit kooperativen Systemen ausgestatteten Fahrzeuge. Die Auswertung der Verkehrssicherheitskenngrößen, wie Nettozeitlücken oder Time-to-Collision kann daher im Rahmen der Realdatenanalyse nicht durchgeführt werden.

Die Analyse der Genauigkeit der fahrspurgenauen Verortung der Fahrzeuge mit Hilfe der verwendeten GPS-Logger hat gezeigt, dass Fahrstreifenwechsel prinzipiell erkannt werden, jedoch zum Teil erhebliche zeitliche Abweichungen bei der Erkennung auftreten. Hieraus resultieren ebenso Ungenauigkeiten bei der Festlegung des Ortes des Fahrstreifenwechsels. Aus diesem Grund lassen sich keine zuverlässigen Aussagen zum Fahrstreifenwechselverhalten (Zeitpunkt, Ort und Art des Fahrstreifenwechsels) sowie den Einfluss der kooperativen Systeme auf den Fahrstreifenwechsel an sich ableiten. Es können jedoch Aussagen über die Häufigkeit von Fahrstreifenwechseln getroffen werden.

Die in den aufgezeichneten GPS-Daten enthaltenen Meldungen beinhalten lediglich die Informationen über Anzeigehalte der einzelnen Schilderbrücken der ausgestatteten Streckenabschnitte im Testgebiet. Demnach kann auf Grundlage der Realdaten lediglich die Änderung des Verhaltens der FahrerInnen nach Anzeige der einzelnen Meldungen im Fahrzeug analysiert werden.

Aus den vorgenannten Gründen wurden folgende Auswertungen der Realdaten durchgeführt:

- Analyse von Geschwindigkeitsverläufen

- Analyse von Beschleunigungsverläufen
- Reaktionsverhalten auf angezeigte Meldungen im Fahrzeug
- Fahrstreifenwechselhäufigkeit

Hierzu werden die aufgezeichneten GPS-Trajektorien zum einen für einzelne Schilderbrücken innerhalb des Untersuchungsgebietes und zum anderen als größere Abschnitte mehrerer aufeinanderfolgender Schilderbrücken analysiert. Neben der Darstellung der Geschwindigkeit-Zeit-Verläufe sowie der Beschleunigungs-Zeit-Verläufe erfolgte eine statistische Untersuchung der Fahrten mit Hilfe eigens erstellter Analyse-Skripte (unter Verwendung der Statistik-Software R).

Da im Rahmen der Testperiode 08.10.2013 bis 30.11.2013 lediglich Fahrten mit kooperativen Systemen (Zustand 1) durchgeführt wurden, ist eine Wirkungsanalyse im ursprünglichen Sinne (Vergleich des Fahrverhaltens mit und ohne kooperative Systeme in vergleichbaren Verkehrssituationen) nicht machbar. Um jedoch zumindest tendenzielle Aussagen über den Einfluss der kooperativen Systeme auf das Fahrverhalten treffen zu können, wurden durchgeführte Fahrten zur Überprüfung der Datenübertragung im Juni und Juli 2012 als Referenz für das Fahrverhalten ohne kooperative Systeme (Zustand 0) herangezogen. Die geringe Stichprobenanzahl an Fahrten für Zustand 0 und Zustand 1, wurde bei den Realdatenauswertungen keine Klassifizierung nach Tagestyp (z. B. Werktag) und Tageszeit bzw. Verkehrszustand durchgeführt. Eine derartige Unterscheidung zieht eine weitere Verringerung der Stichprobe nach sich und eine statistische Auswertung wäre in diesem Fall nicht repräsentativ.

Entsprechend dieses Vorgehens konnten insgesamt 159 Fahrten an Anzeigequerschnitten ohne kooperative Systeme (Zustand 0) in die Analyse einbezogen werden. Von den 1070 Testfahrten an Anzeigequerschnitten mit kooperativen Systemen mussten 220 Fahrten aufgrund fehlender Informationen über die Anzeigehalte der jeweiligen Schilderbrücke und weitere 108 Fahrten wegen aufgrund unterschiedlicher Inhalte von Schilderbrücke und Anzeige im Fahrzeug von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden. Tabelle 50 zeigt die Übersicht der berücksichtigten Fahrten und deren Verteilung auf die einzelnen Streckenabschnitte im Untersuchungsgebiet. Die farbig hinterlegten Zeilen der Tabelle weisen auf Fahrten hin, die in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 50: Verteilung der Testfahrten an Anzeigequerschnitte auf die einzelnen Streckenabschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes

	Gesamt	A2 FR Nord	A23 FR Nord	A23 FR Süd	A2 FR Süd	A4 FR Ost	A4 FR West
Zustand 0							
Testfahrten ohne kooperative Systeme (06 – 07/2012))	159		11	12		37	99
Testfahrten mit zuweisbaren AQ (08.10. – 30.11.2013)	1070	33	147	228	58	160	444
Testfahrten mit unbekanntem Inhalt der AQ	220	10	14	60	21	17	98
Testfahrten mit unterschiedlichen Inhalten zwischen AQ und Meldung im Fahrzeug	108	3	64	9	1	8	23
Testfahrten mit kooperativen Systemen (08.10. – 30.11.2013)	742	20	69	159	36	135	353

Darüber hinaus wurden in der Auswertung lediglich Fahrten betrachtet, bei denen Informationen über die zulässige Höchstgeschwindigkeit gegeben waren. Gefahren-, Baustellen- und Stau-

warnungen ohne dazugehörige Geschwindigkeitsbeschränkung wurden nicht berücksichtigt. Deren Verteilung der Fahrten auf die Anzeigequerschnitte der einzelnen Streckenabschnitte ist in Tabelle 51 dargestellt. Somit konnten 626 Fahrten mit kooperativen Systemen (Zustand 1) analysiert werden. Die fett geschriebenen Zahlen in der Tabelle weisen dabei auf Fahrten an Anzeigequerschnitten hin für die ein Vergleich von kooperativen Systemen mit und ohne Meldung im Fahrzeug möglich ist.

Tabelle 51: Verteilung der Testfahrten mit relevanten Anzeigehalten an Anzeigequerschnitte auf die einzelnen Streckenabschnitte innerhalb des Untersuchungsgebietes

	Gesamt	A2 FR Nord	A23 FR Nord	A23 FR Süd	A2 FR Süd	A4 FR Ost	A4 FR West
Testfahrten mit kooperativen Systemen (08.10. – 30.11.2013)	742	20	69	159	36	135	353
Testfahrten mit Meldung im Fahrzeug	682	18	60	147	33	121	219
Anzeigehalt v = 60 km/h	22		4	1	1	4	12
Anzeigehalt v = 80 km/h	421	18	45	146	27	78	107
Anzeigehalt v = 100 km/h	139					39	100
anderer Anzeigehalt	100		11		5		84
Testfahrten ohne Meldung im Fahrzeug	60	2	9	12	3	14	20
Anzeigehalt v = 60 km/h	1		1				
Anzeigehalt v = 80 km/h	40	2	8	12	3	11	4
Anzeigehalt v = 100 km/h	3					3	
anderer Anzeigehalt	16						16
Zustand 1							
Testfahrten mit kooperativen Systemen und relevanten Anzeigehalten (Information über zulässige Höchstgeschwindigkeit enthalten)	626	20	58	159	31	135	223

4.5.2.1 Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens

Zur Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens wird zum einen der Vergleich aller Fahrten mit und ohne kooperativer Systeme an den einzelnen Anzeigequerschnitten durchgeführt. Hierbei wird die Verteilung der Geschwindigkeitswerte vor und nach den Anzeigequerschnitten statistisch untersucht. Die Darstellung der Verteilungen erfolgt in Form von Box-Whisker-Plots. Dabei sind jeweils die 25 %- und 75 %-Quantile, der Median (50 %-Quantil) sowie der untere und obere Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantile dargestellt. Für die unterschiedlichen Gruppierungen der einzelnen Darstellungen ergeben sich teilweise Gruppengrößen von unter 30, welche nicht einem statisch, großen Sample entsprechend der „statistical power“ entspricht. Daher ist auch die statistische Aussagekraft oder Signifikanz nur mehr eingeschränkt zu interpretieren und es lassen sich nur mehr indikative Aussagen ableiten.

Vergleich der Fahrten mit (Zustand 1) und ohne kooperative Systeme (Zustand 0)

Die Fahrten an Anzeigequerschnitten mit und ohne kooperative Systeme wurden für die verschiedenen Streckenabschnitte separat untersucht. Dabei konnten nur für die Abschnitte auf der A23 und der A4 Aussagen getroffen werden. Für die Streckenabschnitte auf der A2 lagen keine Fahrten ohne System vor.

In Abbildung 81 sind die Geschwindigkeitsverteilungen vor und nach Passieren der einzelnen Anzeigequerschnitte für die Streckenabschnitte auf der A23 dargestellt.

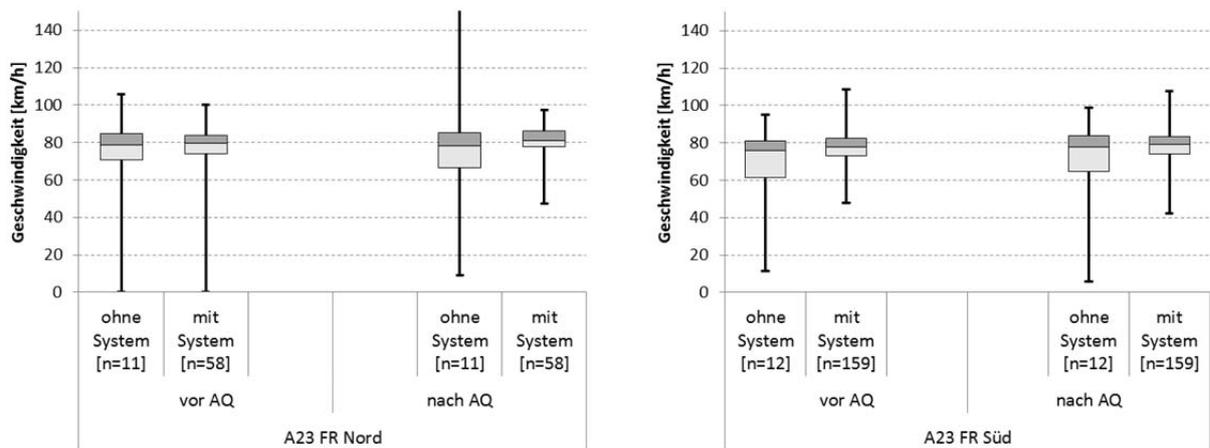


Abbildung 81: Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Die statistische Untersuchung der Fahrten auf der A23 zeigt, dass Mittelwert und Median der Geschwindigkeiten bei Fahrten mit System sowohl vor als auch nach dem Passieren des Anzeigequerschnittes tendenziell höher sind als bei Fahrten ohne System (siehe Tabelle 52 und Tabelle 53). Die statistische Aussagekraft der Untersuchung ist aufgrund der geringen Stichprobenanzahl der Fahrten ohne System nicht gegeben. Hierfür sind für jede der Untersuchten Zustände mindestens 30 Stichproben notwendig.

Tabelle 52: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Nord mit und ohne System

A23 FR Nord Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
	ohne System [n=11]	mit System [n=58]		ohne System [n=11]	mit System [n=58]	
Minimum	0,0	0,0		9,0	47,4	
Mittelwert	71,2	73,9	2,8	69,1	81,0	12,0
Median	78,6	79,5	0,9	78,2	81,1	2,9
Maximum	105,6	100,4		231,1	97,6	
Signifikanz		0,622			0,000	

Tabelle 53: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit und ohne System

A23 FR Süd Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
	ohne System [n=12]	mit System [n=159]		ohne System [n=12]	mit System [n=159]	
Minimum	11,2	48,1		6,0	42,2	
Mittelwert	71,7	77,3	5,6	72,9	78,5	5,6
Median	75,9	78,0	2,1	78,0	79,2	1,3
Maximum	94,9	108,5		98,8	107,6	
Signifikanz		0,000			0,000	

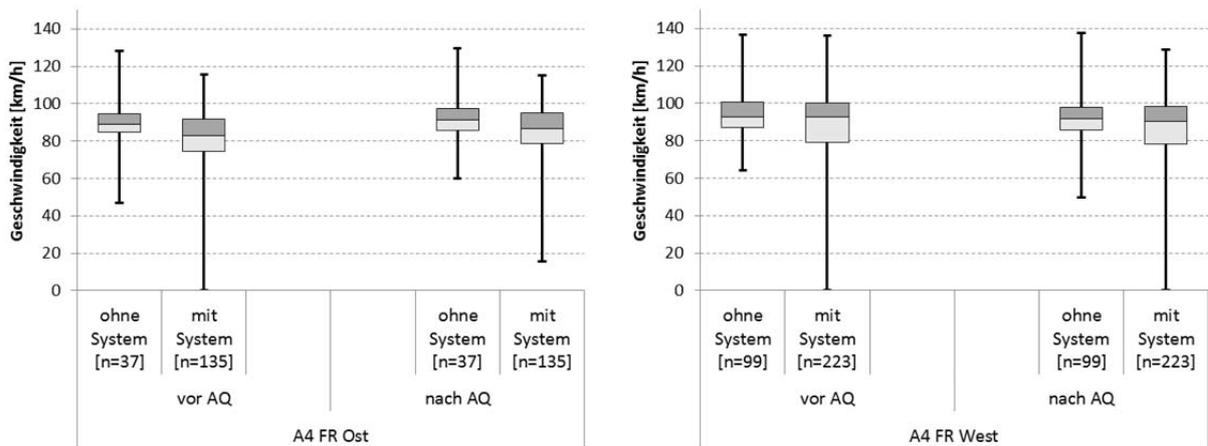


Abbildung 82: Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Für Fahrten auf der A4 zeigt sich, dass Mittelwert und Median der Geschwindigkeiten bei Fahrten mit System sowohl vor als auch nach dem Passieren des Anzeigequerschnittes geringer waren (siehe Abbildung 82). Diese Unterschiede stellen sich als signifikant heraus (siehe Tabelle 54 und Tabelle 55).

Tabelle 54: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit und ohne System

A4 FR Ost Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
	ohne System [n=37]	mit System [n=135]		ohne System [n=37]	mit System [n=135]	
Minimum	47,1	0		59,8	15,4	
Mittelwert	88,0	80,7	-7,4	91,3	85,7	-5,7
Median	89,1	82,8	-6,3	91,3	86,7	-4,6
Maximum	128,2	115,8		129,5	115,2	
Signifikanz		0,000			0,000	

Tabelle 55: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung West mit und ohne System

A4 FR West Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
	ohne System [n=99]	mit System [n=223]		ohne System [n=99]	mit System [n=223]	
Minimum	64,4	0,0		49,6	0,0	
Mittelwert	93,9	86,2	-7,8	92,9	85,0	-7,8
Median	92,7	92,6	-0,1	91,6	90,2	-1,4
Maximum	136,5	136,3		137,5	128,5	
Signifikanz		0,000			0,000	

Vergleich der Fahrten ohne kooperative Systeme (Zustand 0) und Fahrten mit kooperativen Systemen ohne Anzeige eine Meldung im Fahrzeug (Zustand 1b)

Um den Einfluss der kooperativen Systeme auf das Geschwindigkeitsverhalten zu untersuchen werden im Folgenden die Fahrten ohne System (Zustand 0) mit Fahrten mit aktivierten koopera-

tiven System verglichen, bei denen keine Anzeige einer Meldung im Fahrzeug erfolgte (Zustand 1b). Mit dieser Gegenüberstellung soll dargestellt werden, in wieweit das Wissen der FahrerInnen mit ein kooperativen System unterwegs zu sein seine Geschwindigkeitswahl beeinflusst. Auch hier konnten nur für die Abschnitte auf der A23 und der A4 Aussagen getroffen werden, da für die Streckenabschnitte auf der A2 keine Fahrten ohne System vorlagen.

In Abbildung 83 ist die Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Passieren des jeweiligen Anzeigequerschnittes bei Fahrten ohne System und Fahrten mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug für Fahrten auf der A23 dargestellt.

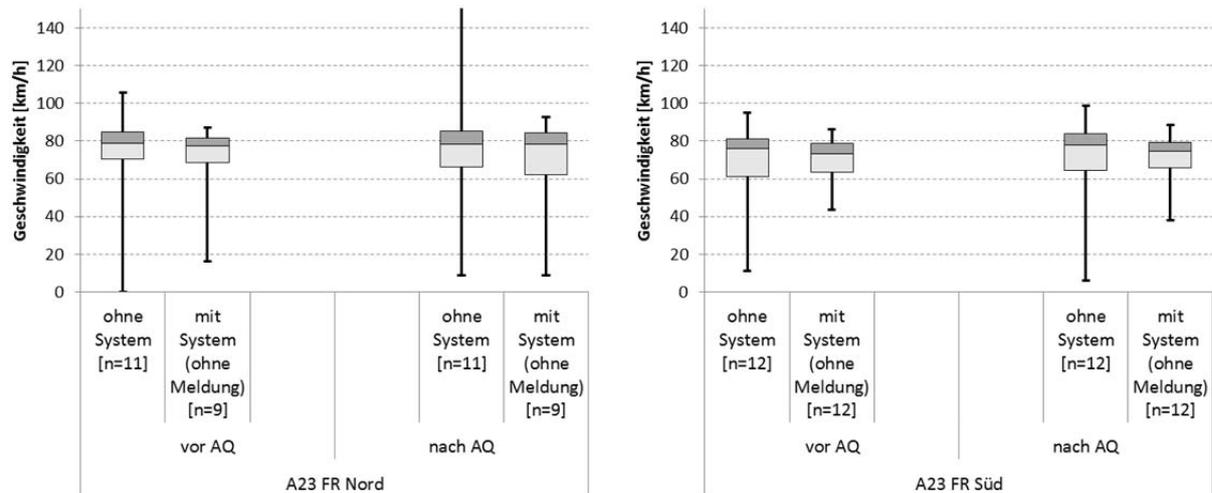


Abbildung 83: Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 ohne System sowie bei Fahrten mit kooperativen System und Ausbleiben einer Meldung im Fahrzeug (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Die statistische Untersuchung der Fahrten auf der A23 weisen nur geringe Unterschiede von Mittelwert und Median der Geschwindigkeiten zwischen Fahrten ohne System und Fahrten mit kooperativen Systemen ohne Anzeige einer Meldung auf (siehe Tabelle 56 und Tabelle 57). Es lassen sich demnach keine wesentlichen Unterschiede bei der Geschwindigkeitswahl während Fahrten auf der A23 allein durch die aktivierten kooperativen Systeme feststellen. Zur detaillierten Untersuchung vorhandener Unterschiede ist auch hier höhere Stichprobenanzahl notwendig.

Tabelle 56: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Nord ohne System und mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug

A23 FR Nord Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0 ohne System [n=11]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=9]	Differenz	Zustand 0 ohne System [n=11]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=9]	Differenz
Minimum	0,0	16,1		9,0	8,7	
Mittelwert	71,2	69,1	-2,1	69,1	67,3	-1,8
Median	78,6	77,6	-1,0	78,2	78,2	0,0
Maximum	105,6	87,2		231,1	92,6	
Signifikanz		0,003			0,122	

Tabelle 57: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd ohne System und mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug

A23 FR Süd Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0 ohne System [n=12]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=12]	Differenz	Zustand 0 ohne System [n=12]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=12]	Differenz
Minimum	11,2	43,7		6,0	38,0	
Mittelwert	71,7	70,5	-1,2	72,9	72,0	-1,0
Median	75,9	73,5	-2,4	78,0	74,5	-3,5
Maximum	94,9	86,1		98,8	88,5	
Signifikanz		0,000			0,000	

Abbildung 84 zeigt die Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Passieren des jeweiligen Anzeigequerschnittes bei Fahrten ohne System und Fahrten mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug für Fahrten auf der A4. Es ist erkennbar, dass die Fahrten mit System und ohne Anzeige entsprechender Meldungen mit geringeren Geschwindigkeiten stattgefunden haben.

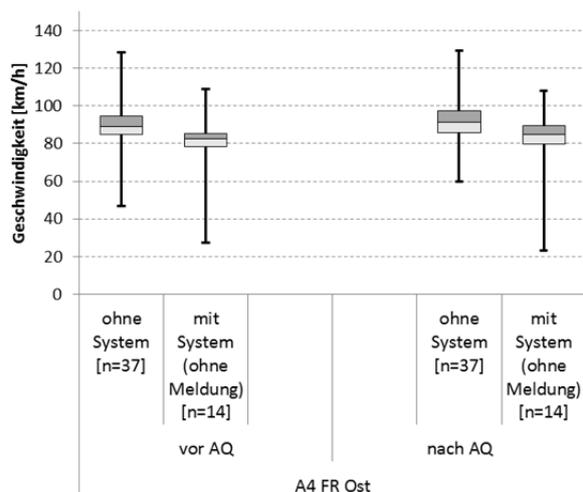


Abbildung 84: Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 in Fahrtrichtung Ost ohne System sowie bei Fahrten mit kooperativen System und bei Ausbleiben einer Meldung im Fahrzeug (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Die Fahrten mit kooperativen System ohne Anzeige einer Meldung (Zustand 1b) auf der A4 in Fahrtrichtung Ost weisen sowohl vor als auch nach dem Anzeigequerschnitt durchschnittliche Geschwindigkeiten auf, die 7,5 bzw. 7,0 km/h geringer sind als Fahrten ohne System (siehe Tabelle 58). Diese Werte sind als Tendenz zu betrachten. Für eine statistisch aussagekräftige Untersuchung ist eine höhere Stichprobenanzahl erforderlich.

Tabelle 58: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost ohne System und mit System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug

A4 FR Ost Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ		Differenz	nach AQ		Differenz
	Zustand 0 ohne System [n=37]	Zustand 1b mit System (ohne Meldung) [n=14]		Zustand 0 ohne System [n=37]	Zustand 1b mit System (ohne Meldung) [n=14]	
Minimum	47,1	27,4		59,8	23,3	
Mittelwert	88,0	80,5	-7,5	91,3	84,4	-7,0
Median	89,1	82,7	-6,4	91,3	85,0	-6,3
Maximum	128,2	108,9		129,5	107,9	
Signifikanz		0,000			0,000	

Eine eindeutige Zuordnung dieser Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens zum Einfluss der kooperativen Systeme ist an dieser Stelle nicht möglich. Für eine endgültige Einschätzung des Einflusses der Aktivierung eines kooperativen Systems auf die Geschwindigkeitswahl der FahrerInnen ist jedoch zum einen eine größere Anzahl an Fahrten mit System und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug notwendig. Zum anderen müssen detailliertere Untersuchungen des Geschwindigkeitsverhaltens in vergleichbaren Umgebungsbedingungen (identische vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit und gleicher Verkehrszustand) für beide Zustände durchgeführt werden.

Vergleich der Fahrten mit kooperativen Systemen und rechtzeitiger Anzeige der Informationen (Zustand 1a) und ohne Anzeige der Informationen im Fahrzeug (Zustand 1b)

Zur Darstellung der Wirkung der kooperativen Systeme auf das Geschwindigkeitsverhalten erfolgt die Gegenüberstellung von Fahrten mit System und entsprechend rechtzeitiger Anzeige der relevanten Information im Fahrzeug (Zustand 1a) und Fahrten, bei denen trotz aktiviertem kooperativen System keine Anzeige einer Meldung im Fahrzeug erfolgte (Zustand 1b). Anhand dieses Vergleichs soll die Wirkung der durch das System zur Verfügung gestellten Information auf die Geschwindigkeitswahl der FahrerInnen verdeutlicht werden. Zu diesem Zweck wurden Fahrten mit vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h für Fahrten an Anzeigequerschnitten auf der A23 und der A4 analysiert. Für Fahrten mit Anzeigen anderer Meldungsinhalte (Geschwindigkeitsbeschränkung 60 km/h oder 100 km/h) standen insgesamt nur wenige Fahrten zur Verfügung bzw. es waren keine oder nur vereinzelt Fahrten ohne Anzeige (Zustand 1b) zu verzeichnen. Um statistisch relevante Aussagen generieren zu können ist hier eine größere Stichprobenanzahl notwendig.

Abbildung 85 stellt die Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Passieren des jeweiligen Anzeigequerschnittes (Anzeigeinhalt: 80 km/h) bei Fahrten mit System sowohl ohne als auch Anzeige einer Information im Fahrzeug Anzeigequerschnitte auf der A23 in Fahrtrichtung Süd (links) und auf der A4 in Fahrtrichtung Ost (rechts) dar. Für den Vergleich in der jeweiligen Gegenrichtung lagen für aussagekräftige Ergebnisse zu wenige Fahrten im Zustand 1b vor.

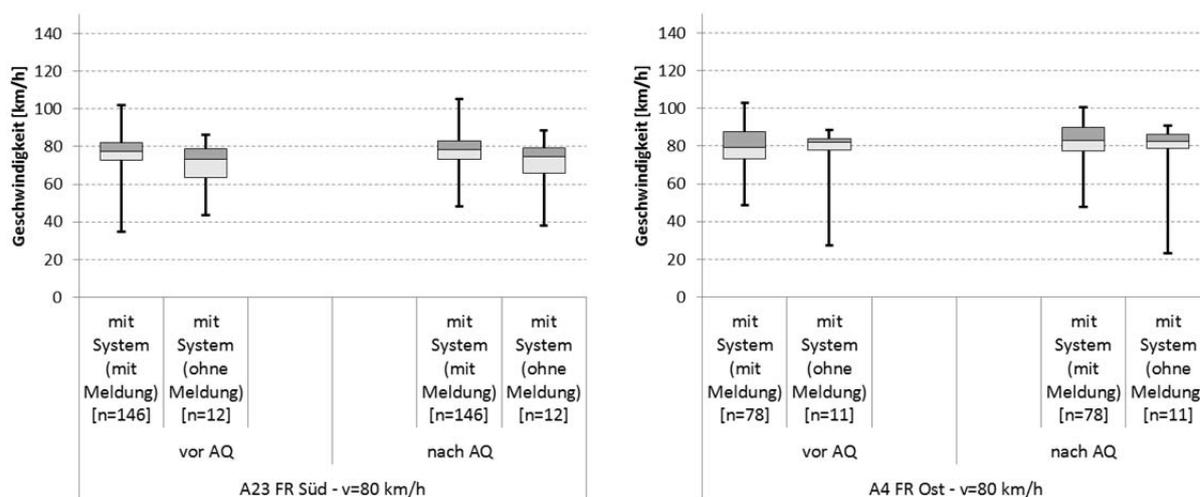


Abbildung 85: Verteilung der Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd und der A4 in Fahrtrichtung Ost bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h mit kooperativen Systemen und Anzeige der Information im Fahrzeug sowie bei Ausbleiben einer Meldung (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Für Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd zeigt sich ein negativer Einfluss der Anzeige der Meldung im Fahrzeug auf die mittlere Geschwindigkeit (siehe Tabelle 59). Hierbei weisen Fahrten ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug (Zustand 1b) im Mittel um 6 km/h höhere Geschwindigkeiten sowohl vor als auch nach dem Anzeigequerschnitt auf. Zur genaueren Überprüfung dieser Tendenz und zur statistischen Absicherung ist jedoch eine größere Stichprobenanzahl notwendig.

Tabelle 59: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h

A23 FR Süd Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 1a	Zustand 1b	Differenz	Zustand 1a	Zustand 1b	Differenz
	mit System (mit Meldung) [n=146]	mit System (ohne Meldung) [n=12]		mit System (mit Meldung) [n=146]	mit System (ohne Meldung) [n=12]	
Minimum	34,6	43,7		48,2	38,0	
Mittelwert	76,8	70,5	6,3	77,8	72,0	5,8
Median	77,6	73,5	4,1	78,3	74,5	3,9
Maximum	102,1	86,1		105,4	88,5	
Signifikanz		0,000			0,000	

Der Vergleich der Fahrten auf der A4 in Fahrtrichtung Ost zeigt nur geringe Unterschiede in der Geschwindigkeitsverteilung vor und nach dem jeweiligen Anzeigequerschnitt. Die mittleren Geschwindigkeiten sind bei Fahrten mit Anzeige einer Information (Zustand 1a) nur um ca. 3 km/h geringfügig höher als bei Fahrten mit Anzeige der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Fahrzeug. Auch an dieser Stelle ist für statistisch belastbare Aussagen ein größerer Stichprobenumfang notwendig.

Tabelle 60: Geschwindigkeiten vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h

A4 FR Ost Geschwindigkeit [km/h]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 1a	Zustand 1b	Differenz	Zustand 1a	Zustand 1b	Differenz
	mit System (mit Meldung) [n=78]	mit System (ohne Meldung) [n=11]		mit System (mit Meldung) [n=78]	mit System (ohne Meldung) [n=11]	
Minimum	48,5	27,4		48,0	23,3	
Mittelwert	79,7	77,2	2,5	83,1	80,0	3,1
Median	79,3	82,0	-2,8	83,0	82,5	0,5
Maximum	102,8	88,3		100,6	90,7	
Signifikanz		0,962			0,010	

4.5.2.2 Änderung des Beschleunigungsverhaltens

In identischer Weise wie zur Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens wurden die Fahrten an Anzeigequerschnitten mit und ohne kooperative Systeme für die verschiedenen Streckenabschnitte hinsichtlich der maximalen und minimalen Längsbeschleunigung untersucht.

Vergleich der Fahrten mit (Zustand 1) und ohne kooperative Systeme (Zustand 0)

In Abbildung 86 ist die Verteilung der minimalen Beschleunigung bei Fahrten mit (Zustand 1) und ohne System (Zustand 0) auf der A23 dargestellt.

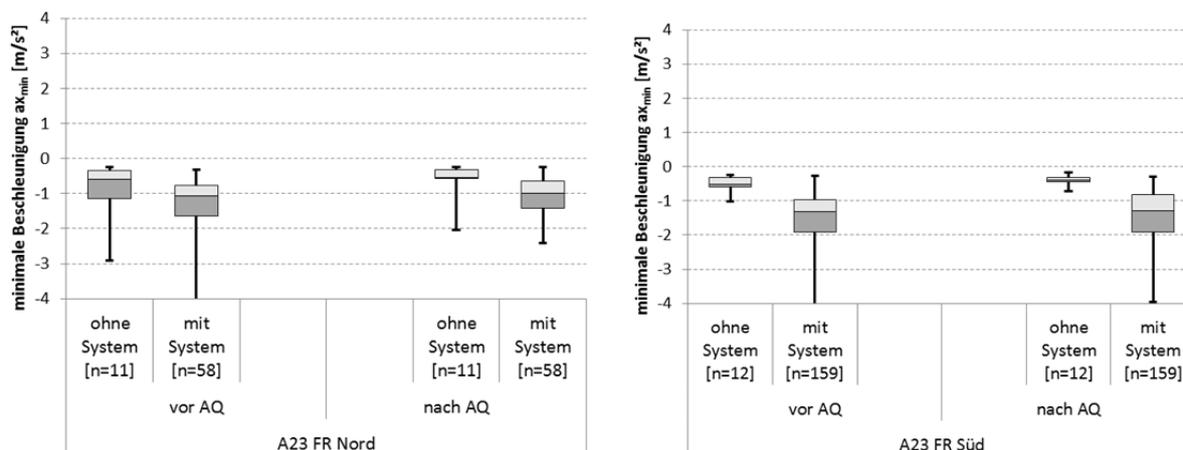


Abbildung 86: Verteilung der minimalen Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Der Vergleich der Verteilung der minimalen Beschleunigungen zeigt, dass die Fahrten mit System im Mittel geringere minimale Beschleunigungen aufweisen. Sowohl vor als auch nach den Anzeigequerschnitten bremsen die FahrerInnen ohne die Anzeige des kooperativen Systems weniger stark als FahrerInnen mit System. Das heißt es finden tendenziell stärkere Bremsvorgänge statt (siehe Tabelle 61 und Tabelle 62). Für Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd (vgl. Tabelle 62: ohne System vor AQ $-0,9 \text{ m/s}^2$, nach AQ: $-0,7 \text{ m/s}^2$; mit System: vor AQ $-1,4 \text{ m/s}^2$, nach AQ $-1,1 \text{ m/s}^2$) ist der Unterschied wesentlich größer als für Fahrten in Fahrtrichtung Nord (vgl. Tabelle 61: ohne System vor AQ $-0,5 \text{ m/s}^2$, nach AQ: $-0,4 \text{ m/s}^2$; mit System: vor und nach AQ $-1,5 \text{ m/s}^2$). Um jedoch belastbare Auswertungen und Ergebnisse zu produzieren ist ein größerer Stichprobenumfang an Fahrten, vor allem ohne System, notwendig.

Tabelle 61: minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Nord mit und ohne System

A23 FR Nord	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
minimale Beschleunigung [m/s ²]	ohne System [n=11]	mit System [n=58]		ohne System [n=11]	mit System [n=58]	
Minimum	-3,4	-6,1		-2,1	-4,2	
Mittelwert	-0,9	-1,4	-0,4	-0,7	-1,1	-0,4
Median	-0,6	-1,1	-0,5	-0,6	-1,0	-0,4
Maximum	-0,2	-0,2		-0,2	-0,2	

Tabelle 62: minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit und ohne System

A23 FR Süd minimale Beschleunigung [m/s ²]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
	ohne System [n=12]	mit System [n=159]		ohne System [n=12]	mit System [n=159]	
Minimum	-1,2	-5,9		-0,7	-4,8	
Mittelwert	-0,5	-1,5	-1,0	-0,4	-1,5	-1,1
Median	-0,5	-1,3	-0,8	-0,4	-1,3	-0,9
Maximum	-0,2	-0,1		-0,1	-0,1	

Die Verteilung der minimalen Längsbeschleunigung bei Fahrten auf der A4 im Zustand 0 und Zustand 1 ist in Abbildung 87 dargestellt.

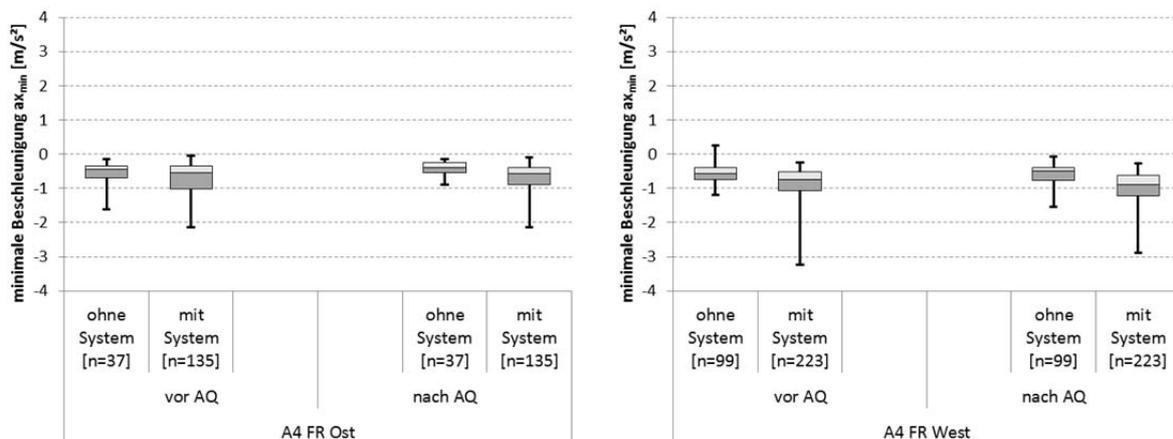


Abbildung 87: Verteilung der minimalen Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 mit und ohne System (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Im Unterschied zu Fahrten auf der A23 weisen die analysierten Fahrten auf der A4 geringere Unterschiede zwischen Zustand 0 und Zustand 1 auf. Der Mittelwert der minimalen Beschleunigungen der einzelnen Fahrten vor und nach dem Anzeigequerschnitt unterscheidet sich dabei um max. 0,2 m/s² (siehe Tabelle 63 und Tabelle 64). Zwar lässt sich auch auf der A4 eine tendenziell stärkere Bremsung für Fahrten mit System (Zustand 1) feststellen, diese geringen Unterschiede lassen jedoch keine Rückschlüsse auf ein durch das Systemwirkendes hervorgerufenen geänderten Fahrverhalten zu.

Tabelle 63: minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit und ohne System

A4 FR Ost minimale Beschleunigung [m/s ²]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0	Zustand 1	Differenz	Zustand 0	Zustand 1	Differenz
	ohne System [n=37]	mit System [n=135]		ohne System [n=37]	mit System [n=135]	
Minimum	-4,3	-4,3		-1,1	-2,3	
Mittelwert	-0,6	-0,7	-0,1	-0,4	-0,7	-0,3
Median	-0,4	-0,5	-0,1	-0,4	-0,6	-0,2
Maximum	-0,1	0,1		-0,1	-0,1	

Tabelle 64: minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung West mit und ohne System

A4 FR West minimale Beschleunigung [m/s ²]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 0 ohne System [n=99]	Zustand 1 mit System [n=223]	Differenz	Zustand 0 ohne System [n=99]	Zustand 1 mit System [n=223]	Differenz
Minimum	-1,5	-29,2		-1,7	-4,6	
Mittelwert	-0,6	-1,0	-0,5	-0,6	-1,0	-0,4
Median	-0,6	-0,7	-0,2	-0,5	-0,9	-0,4
Maximum	0,5	-0,1		-0,1	0,0	

Vergleich der Fahrten mit kooperativen Systemen und rechtzeitiger Anzeige der Informationen (Zustand 1a) und ohne Anzeige der Informationen im Fahrzeug (Zustand 1b)

Zur Untersuchung der Wirkung der Anzeige der Informationen im Fahrzeug wurden analog zur Analyse des Geschwindigkeitsverhaltens (Kapitel 4.5.2.1) auch die Verteilungen der minimalen Beschleunigungen bei Fahrten mit System sowohl bei korrekter Anzeige Information (Zustand 1a) als auch bei Ausbleiben einer Anzeige im Fahrzeug (Zustand 1b) gegenübergestellt.

In Abbildung 88 ist die Gegenüberstellung der minimalen Beschleunigungen bei Fahrten im Zustand 1a (mit Anzeige der Information im Fahrzeug) und im Zustand 1b (mit kooperativen System ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug) auf der A23 in Fahrtrichtung Süd (links) und auf der A4 in Fahrtrichtung Ost (rechts) dargestellt.

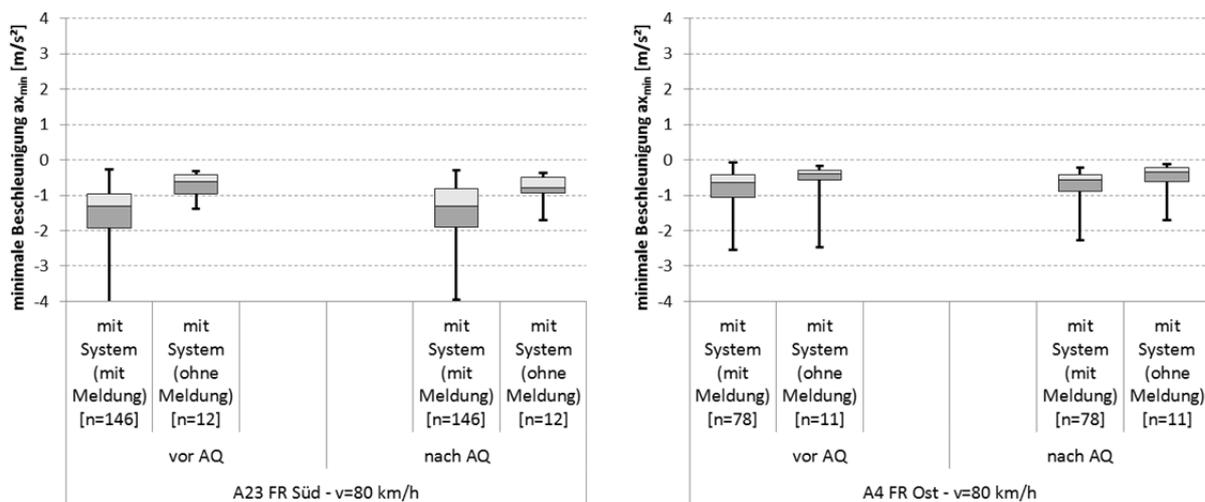


Abbildung 88: Verteilung der minimalen Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd und der A4 in Fahrtrichtung Ost bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h mit kooperativen Systemen und Anzeige der Information im Fahrzeug sowie bei Ausbleiben einer Meldung (dargestellt sind 25 %- und 75 %-Quantil, Median sowie unterer und oberer Whisker als 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantil)

Es ist erkennbar, dass die minimale Beschleunigung bei Fahrten mit angezeigter Information im Fahrzeug (Zustand 1a) sowohl vor als auch nach dem Anzeigequerschnitt geringer ist. Demnach bremsen die FahrerInnen bei Fahrten mit Informationsanzeigen im Fahrzeug stärker. Es zeigen sich zwischen Zustand 1a und Zustand 1b bei Fahrten auf der A23 in Fahrtrichtung Süd (Differenz vor AQ: -0,8 m/s²; Differenz nach AQ: -0,7 m/s²) größere Unterschiede aus als bei Fahrten auf der A4 in Fahrtrichtung Ost (Differenz vor AQ: -0,2 m/s²; Differenz nach AQ: -0,3 m/s²) (siehe Tabelle 65 und Tabelle 66). Auch an dieser Stelle ist jedoch zur Generierung

statistisch belastbarer Aussagen zur Wirkung der kooperativen Systeme auf das Beschleunigungsverhalten ein größerer Stichprobenumfang erforderlich.

Tabelle 65: minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A23 Fahrtrichtung Süd mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h

A23 FR Süd minimale Beschleunigung [m/s ²]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 1a mit System (mit Meldung) [n=146]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=12]	Differenz	Zustand 1a mit System (mit Meldung) [n=146]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=12]	Differenz
Minimum	-5,9	-1,5		-4,8	-2,3	
Mittelwert	-1,6	-0,7	-0,8	-1,5	-0,8	-0,7
Median	-1,3	-0,6	-0,7	-1,3	-0,8	-0,5
Maximum	-0,1	-0,3		-0,1	-0,4	

Tabelle 66: minimale Beschleunigung vor und nach Überqueren eines Anzeigequerschnittes bei Fahrten auf der A4 Fahrtrichtung Ost mit kooperativen System mit und ohne Anzeige einer Information im Fahrzeug bei vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h

A4 FR Ost minimale Beschleunigung [m/s ²]	vor AQ			nach AQ		
	Zustand 1a mit System (mit Meldung) [n=78]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=11]	Differenz	Zustand 1a mit System (mit Meldung) [n=78]	Zustand 1b mit System (ohne Mel- dung) [n=11]	Differenz
Minimum	-4,3	-2,8		-2,3	-1,9	
Mittelwert	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,3
Median	-0,7	-0,4	-0,3	-0,6	-0,4	-0,2
Maximum	-0,1	-0,2		-0,1	-0,1	

4.5.2.3 Reaktionsverhalten auf angezeigte Meldungen im Fahrzeug

Zur Analyse des Reaktionsverhaltens wurden die aufgezeichneten GPS-Trajektorien der einzelnen Fahrten an den Anzeigequerschnitten betrachtet. Hierzu wurden entsprechende Weg-Geschwindigkeits-Plots angefertigt. Eine erkennbare Reaktion der FahrerInnen auf eine im Fahrzeug angezeigte Meldung lässt sich in Situationen erwarten, in denen durch die Änderung der Randbedingungen (z. B. Änderung der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit, Erscheinen einer Warnung, ...) eine Anpassung des Fahrerverhaltens hervorgerufen wird. Daher werden in diesem Zusammenhang nur Fahrten an Anzeigequerschnitten berücksichtigt, bei denen es zu einer Änderung der Anzeigehalte im Vergleich zum vorherigen Anzeigequerschnitt kommt.

Durch die rechtlichen Randbedingungen, dass die Informationen der kooperativen Systeme den FahrerInnen erst innerhalb des Sichtbereiches des jeweiligen Anzeigequerschnittes zur Verfügung gestellt werden, ergeben sich Einschränkungen der nachweisbaren Wirkung der kooperativen Systeme. Wird bei der Analyse der Realdaten eine Veränderung des Fahrverhaltens bei der Überquerung der einzelnen Anzeigequerschnitte festgestellt, so lässt sich die Ursache der Reaktion der FahrerInnen nicht eindeutig dem System zuweisen. Diese Reaktion kann entweder durch die Wahrnehmung der Anzeige auf der Schilderbrücke oder durch die zusätzliche Anzeige der Information im Fahrzeug hervorgerufen worden sein.

Tabelle 67: Verteilung der Anzeigeninhalte bei Fahrten mit kooperativen Systemen zur Analyse des Reaktionsverhaltens

Meldungsinhalt	A2 FR Nord	A23 FR Nord	A23 FR Süd	A2 FR Süd	A4 FR Ost	A4 FR West	gesamt
					1	37	38
					24		24
					2		2
	6	24	18	30	31	38	147
		1					1
		1	2		3		6
	1	2					3
			1			1	2
					34		34
					2		2
		1			3	7	11
		3		1			4
		2				1	3
		1					1
						1	1
			1				1
unbekannter Inhalt	7	6	2	1	1	13	30
identischer Inhalt	9	30	144		78	106	367
Summe	23	71	168	32	179	204	677

Exemplarisch dafür sollen an dieser Stelle die Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe von Fahrten am Anzeigequerschnitt AQ 610 - A04_2_004,800 gezeigt werden. In Abbildung 89 sind Fahrten dargestellt, die eine Reaktion der FahrerInnen bereits bei Erreichen des Sichtbereiches des Anzeigequerschnittes zu erkennen sind.

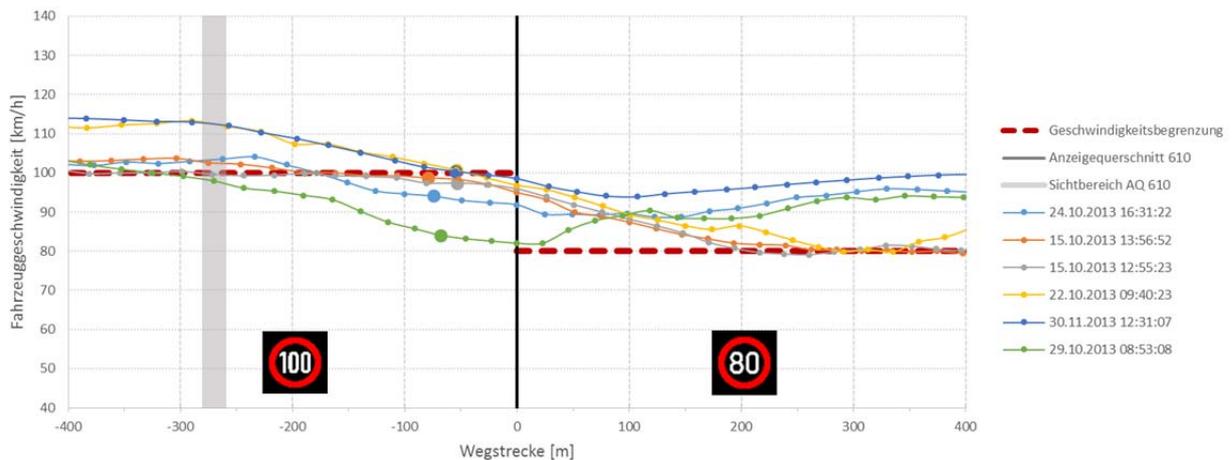


Abbildung 89: Geschwindigkeits-Weg-Verläufe beim Überqueren des AQ 610 - A04_2_004,800 bei Wechsel der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h und erkennbarer Reaktion bei Erreichen des Sichtbereiches

Abbildung 90 stellt Fahrten dar, welche eine Reaktion der FahrerInnen auf die Anzeige der Information im Fahrzeug bzw. auf die Anzeige der Schilderbrücke erkennen lässt.

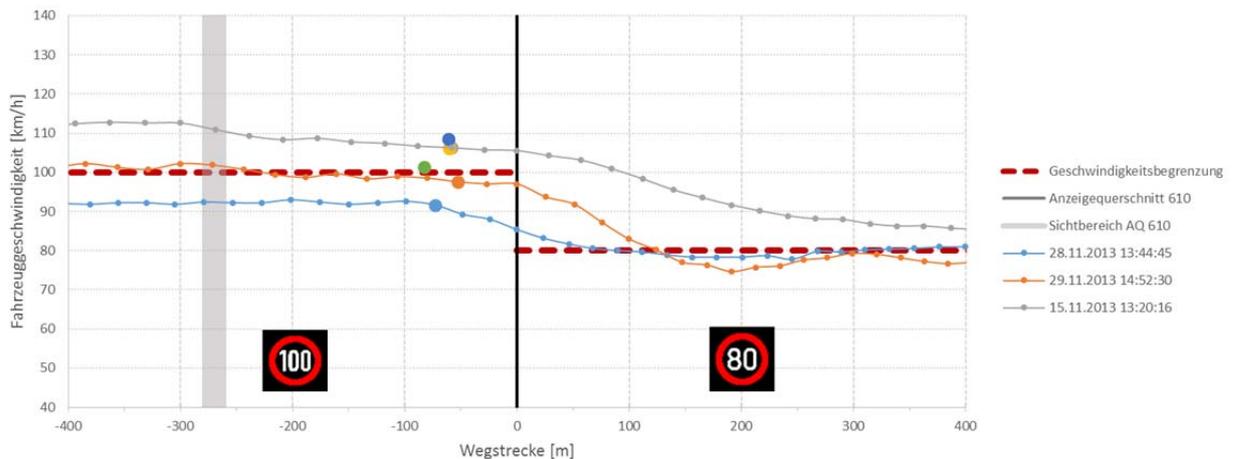


Abbildung 90: Geschwindigkeits-Weg-Verläufe beim Überqueren des AQ 610 - A04_2_004,800 bei Wechsel der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h erkennbarer Reaktion bei Anzeige der Information im Fahrzeug bzw. bei Erreichen des Anzeigequerschnittes

In Abbildung 91 sind Fahrten enthalten, in denen keine Reaktion auf die Änderung der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit erkennen lassen.

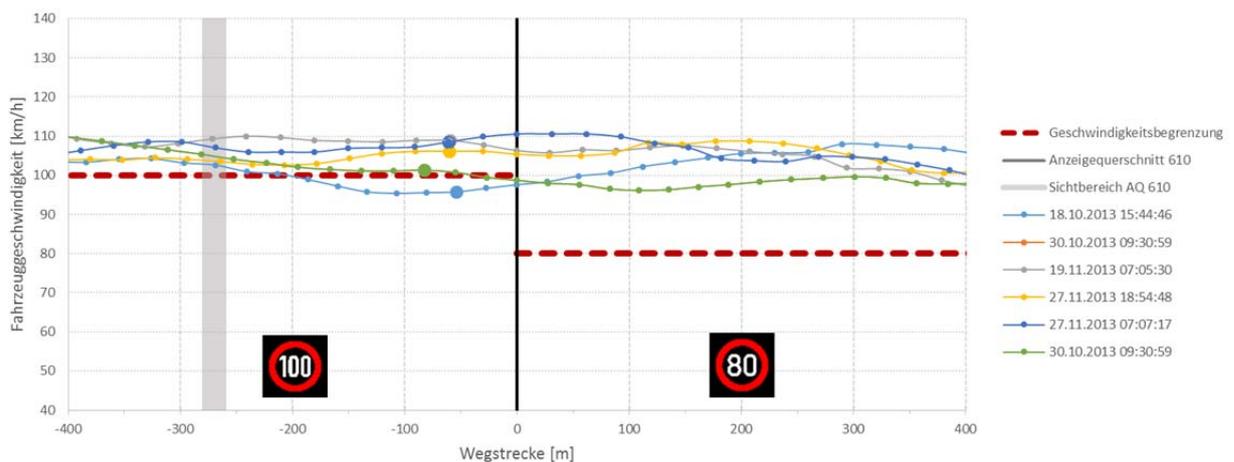


Abbildung 91: Geschwindigkeits-Weg-Verläufe beim Überqueren des AQ 610 - A04_2_004,800 bei Wechsel der vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h auf 80 km/h ohne erkennbare Reaktion

4.5.2.4 Fazit Wirksamkeit Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis Realdaten

Zur Analyse der Wirksamkeit Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis Realdaten wurde das Verhalten der Fahrzeuge während der Testfahrten an den jeweiligen Anzeigequerschnitten betrachtet. Hierzu wurden für die relevanten Anzeigequerschnitte innerhalb des Auswertebereiches (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13) die GPS-Trajektorien der einzelnen Testfahrten gefiltert. In der Auswertung wurden nur Streckenabschnitte einbezogen, für die 400 vor und 400 m nach dem Anzeigequerschnitt ausreichend GPS-Daten vorlagen und die Inhalte des Anzeigequerschnittes zum Zeitpunkt der Testfahrt bekannt waren.

Aus den auf diese Weise untersuchten Fahrten konnten keine generellen Änderungen im Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungsverhalten abgeleitet werden, welche eindeutig dem Einfluss der kooperativen Systeme zugeordnet werden kann. Es lassen sich dabei folgende Tendenzen erkennen:

- stärkere Verzögerung bei Anzeige einer Information im Fahrzeug (es sind um bis zu $1,0 \text{ m/s}^2$ geringere minimalen Beschleunigungen für Fahrten mit Anzeigen von kooperativen Systemen im Vergleich zu Fahrten ohne Anzeige einer Information zu verzeichnen),
- Höhere mittlere Geschwindigkeiten vor und nach dem Anzeigequerschnitt bei Anzeige einer Information im Fahrzeug (es zeigt sich eine bis zu 7 km/h höhere durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit im Vergleich zu Fahrten ohne Anzeige einer Information).

Für eine eindeutige, statistisch belegbare Aussage zum Einfluss der kooperativen Systeme auf die Fahr- und Verkehrssicherheit ist jedoch ein größerer Stichprobenumfang erforderlich. Auch für die verschiedenen Verkehrszustände und Umgebungsbedingungen ist die Analyse weiterer Fahrten notwendig.

Die Analyse des Reaktionsverhaltens anhand der GPS-Trajektorien hat gezeigt, dass die FahrerInnen nur teilweise auf die Anzeige der Informationen reagieren. Jedoch kann diese erkannte Änderung des Fahrverhaltens nicht eindeutig der Reaktion auf eine Anzeige im Fahrzeug zurückgeführt werden. Da sich der Anzeigezeitpunkt der Informationen im Fahrzeug immer innerhalb des Sichtbereiches der entsprechenden Schilderbrücke befindet, sind für eine detaillierte Analyse zusätzliche Informationen, wie Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug und Wahrnehmung der Anzeige im Fahrzeug (Blickzuwendung oder Ablenkung) erforderlich.

4.5.3 Wirkungen der Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis von Simulationsdaten

Auf Basis der Ergebnisse der Verkehrssimulation können für die verschiedenen Kenngrößen zur Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen bezogen auf die Fahr- und Verkehrssicherheit sowie die betrachteten Szenarien Berechnungen angestellt werden. Bei der Auswertung der Fahrsicherheit steht die Sicherheit des einzelnen Fahrers bzw. der Fahrerin im Vordergrund, während bei der Verkehrssicherheit das gesamte Fahrzeugkollektiv in der Auswertung betrachtet wird. Aus der Summe von Einzelfahrzeugdaten werden pro Kenngröße und Szenario jeweils Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Auf Basis dieser Größen können die Änderungen des Abstands-, Beschleunigungs- sowie Geschwindigkeitsverhaltens analysiert werden. Des Weiteren können Änderungen der Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen ermittelt werden.

4.5.3.1 Signifikanztests

Durch einen Signifikanztest wird entschieden, ob eine zuvor aufgestellte Hypothese verworfen werden kann oder nicht [vgl. Neubauer et al., 2002, S. 382]. Im Rahmen der Wirkungsermittlung wird die Signifikanz der Simulation so wie die Signifikanz der Kenngrößen geprüft. Dabei ergeben sich die folgenden beiden Hypothesen:

- Ist die gewählte Anzahl an Simulationsläufen groß genug um ausreichend genaue Ergebnisse zu produzieren
- Sind die Simulationsergebnisse der einzelnen Szenarien statistisch signifikant unterschiedlich zueinander

Die erste Hypothese lässt sich mit Hilfe eines zweiseitigen Konfidenzintervalls überprüfen, während die zweite Hypothese mit Hilfe eines t-Test validiert werden kann.

Signifikanz der Simulation

Durch die nicht-deterministische Verteilung des Straßenverkehrs werden zur realistischen Abschätzung der Auswirkung der Funktion GLOSA sowie RWW auf die Verkehrssimulation mehre-

re Simulationläufe benötigt. Generell lässt sich sagen, dass mit einem Anstieg der Anzahl von Simulationläufen auch die Genauigkeit der Ergebnisse ansteigt. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass ab einer gewissen Anzahl von Simulationläufen eine ausreichende Genauigkeit erreicht ist und der Nutzen weiterer Simulationläufe geringer ausfällt. Die Anzahl der benötigten Simulationläufe lässt sich über das Konfidenzintervall bestimmen [sim^{TD} W. D. W43.3, 2012, S. 21].

Mit Hilfe des Konfidenzintervalls kann der Mittelwert einer Stichprobe überprüft werden. Das Konfidenzintervall zeigt hierbei auf, wie genau die Berechnung des Mittelwerts ist. Das angestrebte Konfidenzniveau wurde auf 95 % festgelegt. Somit beinhalten mindestens 95 % aller berechneten Konfidenzintervalle den wahren Mittelwert der zu untersuchenden Stichprobe. Mit Hilfe des Standardfehlers kann gemäß Formel (6) das zweiseitige Konfidenzintervall μ berechnet werden.

$$\mu = 2 * 1,96 * s \quad (6)$$

s = Standardfehler der Stichprobe

Ein zweiseitiges Konfidenzintervall kommt zur Anwendung, da Abweichungen vom Mittelwert in beide Richtungen (positiv und negativ) möglich sind [Beyer et al., 1999, S. 180ff.].

Die Anzahl der benötigten Simulationläufe für die verschiedenen Kenngrößen können sich voneinander unterscheiden. In diesem Fall richtet sich die gewählte Anzahl von Simulationläufen für alle Kenngrößen nach der Kenngröße mit den meisten benötigten Läufen. Gemäß der Erfahrung aus anderen Projekten des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der TU München und unter Abwägung von Aufwand und Nutzen wurde vorab eine Anzahl von zehn Simulationläufen für jedes der betrachteten Szenarien gewählt.

Durch die ursprüngliche Anzahl an Simulationläufen, die Standardabweichung und ein angestrebtes Konfidenzintervall lässt sich die Anzahl an Simulationläufen ermitteln, die nötig ist, um das berechnete Konfidenzintervall zu erreichen. Hierbei zeigte sich, dass das erwünschte Konfidenzintervall bei GLOSA und RWW in allen Fällen bereits nach zwei Simulationläufen erreicht war. Zusätzlich wurde berechnet, welches Konfidenzintervall nach den ursprünglichen zehn Simulationläufen erreicht wurde (vgl. Tabelle 68). Das bedeutet, es wurden mehr Simulationläufe als zum Erreichen des Konfidenzniveaus von 95 % nötig sind, durchgeführt. Somit ist die Genauigkeit des berechneten Mittelwerts sehr hoch.

Tabelle 68: GLOSA, Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzintervalle des Mittelwerts der Einzel-fahrzeugeschwindigkeiten für die Ausstattungsraten 0 %, 30 % und 80 % für den Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard- abweichung [km/h]	berechnetes Konfidenzintervall	Anzahl benötigter Läufe	mögliches Kon- fidenzintervall nach 10 Läufen
a00	41,306	0,274	0,324	2	0,302
a30	41,704	0,248	0,246	2	0,230
a80	42,316	0,171	0,213	2	0,199

Signifikanz der Kenngrößen

Um die Ergebnisse der Verkehrssimulation besser analysieren zu können, ist eine Überprüfung der Signifikanz der Kenngrößen von Vorteil. Mit Hilfe des t-Tests lässt sich eine Aussage darüber treffen, wie unterschiedlich verschiedene Stichproben sind. Somit steht neben der graphischen Darstellung eine weitere Analysemöglichkeit zur Verfügung. Bei der Auswertung werden

auf diese Weise die verschiedenen Ausstattungsraten untereinander verglichen um eine Aussage treffen zu können, ob sich bspw. eine erhöhte Ausstattungsrate auf die Wirkung der Funktion bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen auswirkt (Verkehrsauswertung). Des Weiteren werden auch ausgestattete mit nicht ausgestatteten Fahrzeuge verglichen (Fahrauswertung) um die generelle Wirkung der Funktion beurteilen zu können.

Mit dem t-Test wird überprüft, ob sich zwei Stichproben statistisch signifikant unterscheiden. Im Kontext von IMPAKT wurden im Rahmen der Fahrauswertung die jeweils berechneten Kenngrößen der nicht ausgestatteten Fahrzeuge mit denen der ausgestatteten Fahrzeuge verglichen. Bei der Verkehrsauswertung wurden beispielsweise die jeweiligen berechneten Kenngrößen des gesamten Fahrerkollektivs eines Szenarios mit dem gesamten Fahrerkollektiv eines anderen Szenarios verglichen. Mit Hilfe des Mittelwerts und der Standardabweichung der jeweiligen Kenngrößen kann bestimmt werden, ob der Unterschied zwischen beiden Stichproben groß genug ist, für die Behauptung, dass beide Stichproben verschieden sind.

Um den t-Test durchführen zu können, wird unter anderem der Standardfehler der Stichprobe benötigt. Der Standardfehler liefert eine Aussage über die Genauigkeit des berechneten Mittelwerts. Je größer der Umfang der Stichprobe, desto kleiner ist der Standardfehler. Durch die Normierung auf den Stichprobenumfang macht der Standardfehler die Standardabweichung zweier Datensätze mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen vergleichbar. Der Standardfehler s errechnet sich gemäß Formel (7) [Neubauer et al., 2002, S. 351].

$$s = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

σ = Standardabweichung der Stichprobe

n = Umfang der Stichprobe

Mit Hilfe des Standardfehlers und den Mittelwerten der zu vergleichenden Stichproben lässt sich der t-Wert gemäß Formel (8) berechnen.

$$t = \frac{\text{Mittelwert von Stichprobe 1} - \text{Mittelwert von Stichprobe 2}}{\text{Standardfehler der Differenzen beider Mittelwerte}} \quad (8)$$

Der t-Wert stellt das Ergebnis des t-Tests dar. Er ermöglicht eine Aussage über die Anzahl der Standardfehler einer Stichprobe. Geht der t-Wert gegen null, so kann davon ausgegangen werden, dass sich die beiden Stichproben signifikant unterscheiden. Wenn der t-Wert gegen eins geht, kann wiederum angenommen werden, dass die Stichproben nicht signifikant unterschiedlich sind.

Um folglich die Signifikanz der Kenngrößen zu bestimmen, werden Mittelwert und Standardabweichung von zwei verschiedenen Szenarien miteinander verglichen. Mit Hilfe des Ergebnisses des t-Tests kann nun eine Aussage getroffen werden, ob sich die beiden Szenarien so sehr voneinander unterscheiden, dass sie als signifikant unterschiedlich eingestuft werden können. Somit kann festgestellt werden, ob sich veränderte Randbedingungen auf die verkehrliche Wirkung der Funktion auswirken [Neubauer et al., 2002, S. 440].

4.5.3.2 GLOSA - Wirkungen der Fahr- und Verkehrssicherheit

Im Fall des UseCase GLOSA wird der rund 2 km lange Streckenabschnitt zwischen Kafkastraße und Auffahrt A23 am Handelskai in Fahrtrichtung Südosten gemäß Kenngrößen der Fahr- und Verkehrssicherheit ausgewertet. Da der UseCase GLOSA nicht unmittelbar auf die Änderung

der Fahr- und Verkehrssicherheit abzielt, wurden hier zusätzlich zum Nullfall lediglich die Fälle mit einer C2X-Ausstattung von 30 % sowie 80 % für die beiden Zeitscheiben 13-14 Uhr sowie 17-18 Uhr betrachtet. In den nachfolgenden Kapiteln erfolgt die Auswertung nur exemplarisch für einige charakteristische Kenngrößen und Szenarien. Die Auswertung aller Kenngrößen und betrachteten Szenarien findet sich in visueller und tabellarischer Form im Anhang B1 und B2.

Änderung des Abstandsverhaltens

Abbildung 92 zeigt den Boxplot der mittleren Nettozeitlücke im Vergleich der Ausstattungsraten 0 %, 30 % und 80 % bei Tagesnormalverkehr (links) sowie in der Nachmittagsspitze (rechts).

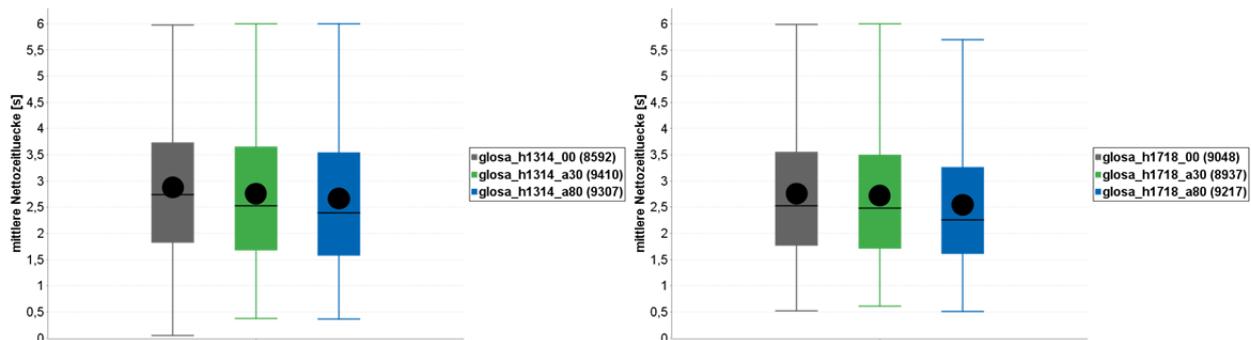


Abbildung 92: GLOSA Boxplot Mittlere Nettozeitlücke, Tagesnormalverkehr (links), Nachmittagsspitze (rechts), Vergleich der Ausstattungsraten

Die mittleren Nettozeitlücken werden mit steigender Ausstattungsrate niedriger. Die relative Häufigkeit von mittleren Nettozeitlücken im Bereich von 1,5 bis 2,0 s steigt mit steigender Ausstattungsrate an, wohingegen die relative Häufigkeit von mittleren Nettozeitlücken im Bereich von 3,5 bis 4,0 s abnimmt. Es lässt sich somit ableiten, dass durch die Funktion GLOSA mit steigender Ausstattungsrate der Abstand zum Vorderfahrzeug geringer wird. Ein Grund dafür könnte sein, dass durch GLOSA weniger Fahrzeuge an den Lichtsignalanlagen auf die Grünphase warten müssen. Beim Anfahren an der Lichtsignalanlage nach Stillstand entstehen tendenziell größere Nettozeitlücken, welche zu einer größeren mittleren Nettozeitlücke in der Gesamtverkehrsbetrachtung führt.

Wie in Tabelle 69 und Tabelle 70 ersichtlich, sind die Reduktionen für alle Kombinationen der t-Tests für Tagesnormalverkehr und Nachmittagsspitze signifikant unterschiedlich.

Tabelle 69 GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsraten für den Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert THW_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	2,878	0,030	0,000 ja	0,000 ja
a30	2,755	0,018	–	0,000 ja
a80	2,664	0,021	–	–

Tabelle 70 GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze

Ausstattungsrate	Mittelwert THW_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	2,762	0,030	0,000 ja	0,008 ja
a30	2,721	0,038	–	0,000 ja
a80	2,548	0,033	–	–

Im Vergleich zur Verkehrsauswertung fällt bei der Fahrauswertung auf, dass der Unterschied zwischen ausgestatteten und nicht ausgestatteten Fahrzeugen sehr gering ist. Abbildung 93 zeigt den Boxplot der mittleren Nettozeitlücke im Vergleich von ausgestatteten Fahrzeugen mit nicht ausgestatteten Fahrzeugen, bei einer Ausstattungsrate von 80 % während der Nachmittagsspitze.

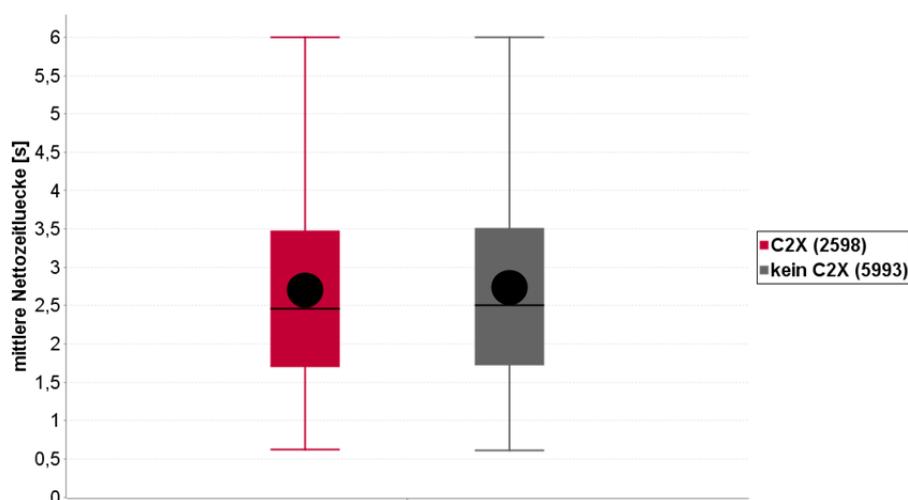


Abbildung 93 GLOSA Boxplot Mittlere Nettozeitlücke, Nachmittagsspitze, 30 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Über die gesamte Bandbreite der mittleren Nettozeitlücken ist der Unterschied von ausgestatteten Fahrzeugen zu nicht ausgestatteten Fahrzeugen sehr gering. Auch der t-Test zeigt, dass kein signifikanter Unterschied zwischen ausgestatteten Fahrzeugen und nicht ausgestatteten Fahrzeugen im Rahmen der Fahrauswertung existiert (vgl. Tabelle 71).

Tabelle 71 GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert THW_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant
a30	2,721	0,038	0,233 nein
a80	2,548	0,033	0,732 nein

Änderung des Beschleunigungsverhaltens

Der Einfluss der Funktion GLOSA auf das Beschleunigungsverhalten lässt sich unter anderem aus der maximalen Längsbeschleunigung erkennen. Abbildung 94 zeigt das Histogramm der

maximalen Längsbeschleunigung im Vergleich der Ausstattungsraten 0 %, 30 % und 80 % bei Tagesnormalverkehr (links) und in der Nachmittagsspitze (rechts).

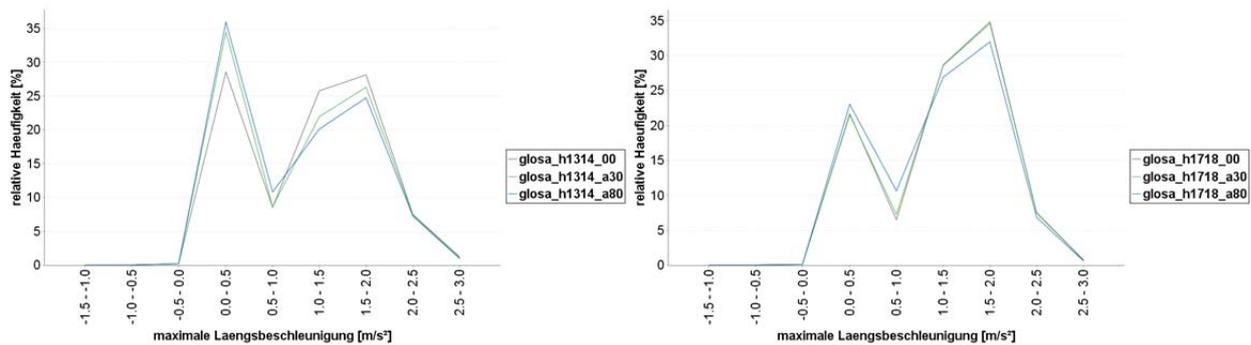


Abbildung 94 GLOSA Histogramm Maximale Längsbeschleunigung, Tagesnormalverkehr, Vergleich der Ausstattungsraten

Das Maximum im Bereich 0,0 bis 0,5 m/s² entspricht dem Anteil der Fahrzeuge die sich innerhalb des Grünbandes der Grünen Welle befinden und somit nur im geringen Maße beschleunigen oder abbremsen müssen. Das Maximum im Bereich 1,5 bis 2,0 m/s² entspricht den Fahrzeugen, die nach einem Halt an einer Lichtsignalanlage beschleunigen müssen um ihre Wunschgeschwindigkeit zu erreichen.

Das Histogramm des Tagesnormalverkehrs zeigt, dass die relative Häufigkeit der maximalen Längsbeschleunigung im Bereich 0,0 bis 1,0 m/s² zunimmt, während sie im Bereich 1,0 bis 2,5 m/s² abnimmt. Das heißt, dass die ausgestatteten Fahrzeuge weniger stark beschleunigen. Dies könnte durch den Informationsvorteil der ausgestatteten Fahrzeuge und den daraus resultierenden harmonischeren Verkehrsfluss zu erklären sein. Der Unterschied zwischen 30 % und 80 % Ausstattungsrate fällt im Bereich 0,0 bis 1,0 m/s² sehr gering aus.

Während der Nachmittagsspitze ist der gleiche Einfluss auf die relative Häufigkeit der maximalen Längsbeschleunigung zu beobachten. Der Unterschied zwischen dem Nullfall und einer Ausstattungsrate von 30 % ist jedoch sehr gering. Durch die erhöhte Verkehrsnachfrage während der Nachmittagsspitze ist der Verkehrsfluss vermutlich weniger harmonisch. Die umgekehrte Verteilung der Maxima im Vergleich zum Tagesnormalverkehr ist durch die erhöhte Verkehrsmenge während der Nachmittagsspitze zu erklären. Durch das verstärkte Verkehrsaufkommen wirkt die Harmonisierung des Verkehrsflusses weniger stark. Die ausgestatteten Fahrzeuge müssen stärker beschleunigen um die vorgegebene Wunschgeschwindigkeit zu erreichen.

In Tabelle 72 ist zu erkennen, dass die Reduktionen für alle Kombinationen der t-Tests für den Tagesnormalverkehr signifikant unterschiedlich ist. Die Werte für die Nachmittagsspitze (vgl. Tabelle 73) zeigen größtenteils das gleiche Bild.

Tabelle 72 GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsrate für den Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert a_max [m/s ²]	Standard- abweichung [m/s ²]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	1,132	0,015	0,000 ja	0,000 ja
a30	1,059	0,013	–	0,000 ja
a80	1,021	0,013	–	–

Tabelle 73 GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze

Ausstattungsrate	Mittelwert a_max [m/s ²]	Standard- abweichung [m/s ²]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	1,241	0,012	0,532 nein	0,008 ja
a30	1,238	0,013	–	0,000 ja
a80	1,186	0,015	–	–

Die Ergebnisse der Fahrauswertung der maximalen Längsbeschleunigung entsprechen in etwa denen der Verkehrsauswertung. Wie Abbildung 95 zeigt, kann bei Tagesnormalverkehr bei 80% Ausstattung mit GLOSA ein harmonischeres Fahrverhalten erzielt werden.

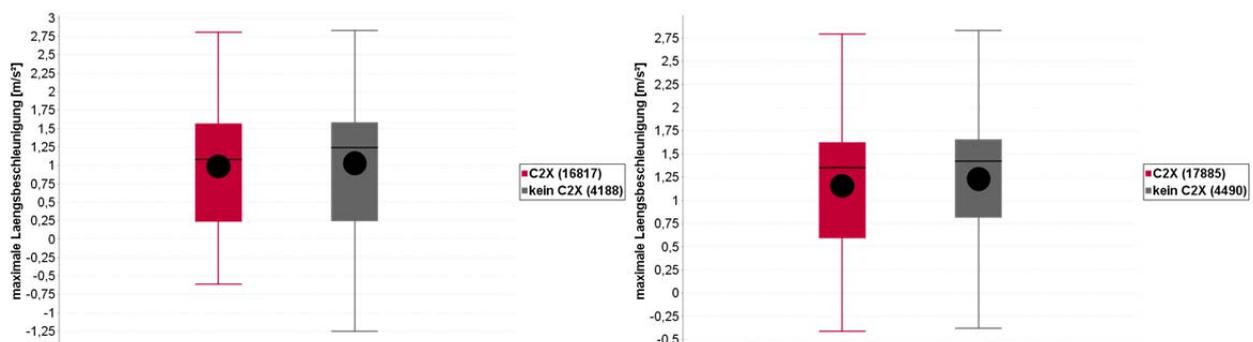


Abbildung 95 GLOSA Boxplot Maximale Längsbeschleunigung, Tagesnormalverkehr (links), Nachmittagsspitze (rechts), 80 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Auch die die Ergebnisse des t-Tests der Fahrauswertung zeigen, dass bis auf das Szenario Nachmittagsspitze mit 30 % Ausstattungsrate alle Kombinationen signifikant unterschiedlich sind (vgl. nachfolgende Tabellen).

Tabelle 74 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsrate für den Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung

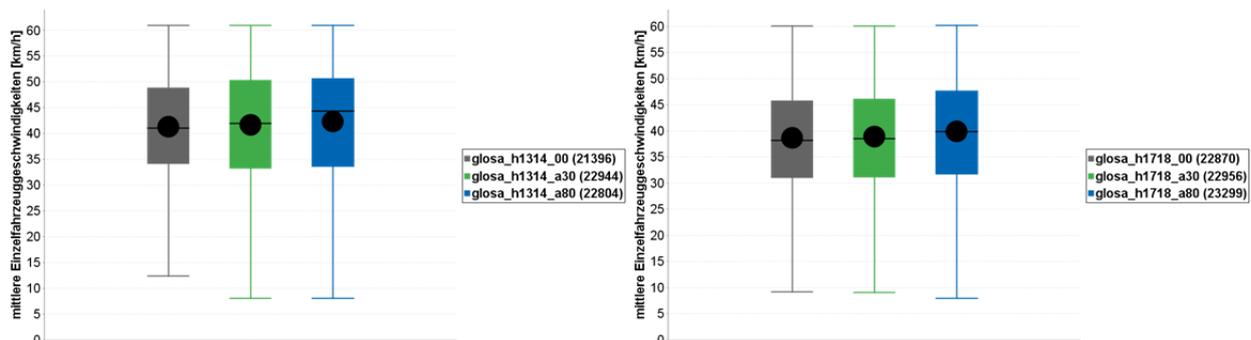
Ausstattungsrate	Mittelwert a_max [m/s ²]	Standard- abweichung [m/s ²]	t-Test, signifikant
a30	1,059	0,013	0,003 ja
a80	1,021	0,013	0,000 ja

Tabelle 75 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Maximalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert a_max [m/s ²]	Standard- abweichung [m/s ²]	t-Test, signifikant
a30	1,238	0,013	0,210 nein
a80	1,186	0,015	0,000 ja

Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens

Die Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens lässt sich unter anderem an der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeit bestimmen. Abbildung 96 zeigt den Boxplot der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten im Vergleich der Ausstattungsrate 0 %, 30 % und 80 % bei Tagesnormalverkehr (links) sowie in der Nachmittagsspitze (rechts).

**Abbildung 96 GLOSA Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Tagesnormalverkehr (links), Nachmittagsspitze (rechts), Vergleich der Ausstattungsrate**

Die Bandbreite der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten steigt im Vergleich von ausgestatteten zu nicht ausgestatteten Fahrzeugen. Mit steigender Ausstattungsrate steigt die mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit. Das heißt, dass die ausgestatteten FahrerInnen im Mittel schneller fahren. Der Grund dafür ist, dass die ausgestatteten FahrerInnen nachdem sie die Information über die Progressionsgeschwindigkeit der Grünen Welle erfahren haben, ihre Wunschgeschwindigkeitsverteilung auf 50 km/h anpassen. Die nicht ausgestatteten Fahrzeuge haben eigentlich eine höhere Wunschgeschwindigkeitsverteilung als die ausgestatteten Fahrzeuge, denn aufgrund der nicht vorhandenen Harmonisierung der nicht ausgestatteten Fahrzeuge werden tendenziell mehr Halte und Bremsvorgänge notwendig, wodurch sich eine niedrigere mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit ergibt. Die Harmonisierung des Verkehrsflusses macht sich bei steigender Ausstattungsrate durch eine steigende mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit der ausgestatteten Fahrzeuge bemerkbar. Die geringere Anzahl an Einzelfahr-

zeuggeschwindigkeiten über 40 km/h in der Nachmittagsspitze gegenüber des Tagesnormalverkehrs, ist durch das erhöhte Verkehrsaufkommen innerhalb dieser Zeitscheibe zu erklären. Die Ergebnisse der t-Tests in Tabelle 76 und Tabelle 77 zeigen, dass dieser Anstieg der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Kombinationen signifikant unterschiedlich ist.

Tabelle 76 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsarten für den Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard- abweichung [km/h]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	41,306	0,274	0,000 ja	0,000 ja
a30	41,704	0,248	–	0,000 ja
a80	42,316	0,171	–	–

Tabelle 77 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsarten für die Nachmittagsspitze

Ausstattungsrate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard- abweichung [km/h]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	38,659	0,307	0,001 ja	0,000 ja
a30	38,938	0,278	–	0,000 ja
a80	39,913	0,268	–	–

Im Vergleich zur Verkehrsauswertung fällt bei der Fahrauswertung auf, dass der Unterschied zwischen ausgestatteten und nicht ausgestatteten Fahrzeugen sehr gering ist. Abbildung 97 zeigt den Boxplot der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten bei Tagesnormalverkehr und 80 % Ausstattungsrate im Vergleich von nicht ausgestatteten Fahrzeugen zu ausgestatteten Fahrzeugen.

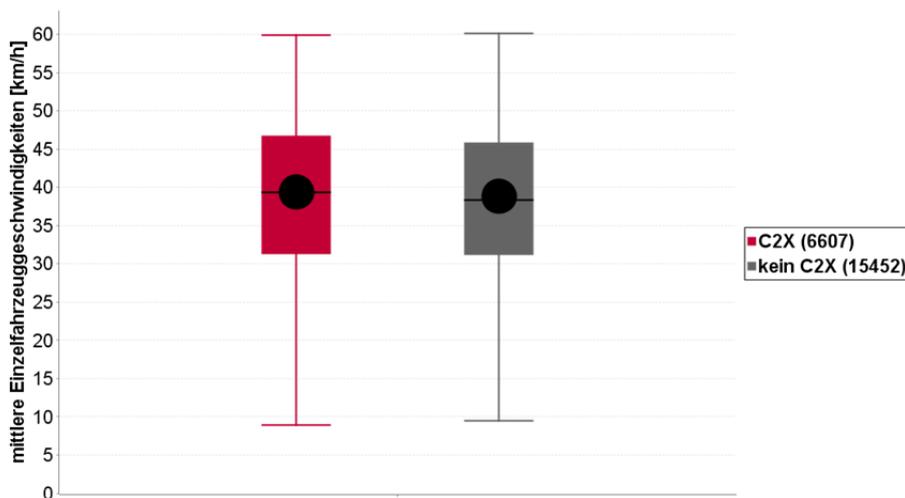


Abbildung 97 GLOSA Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Nachmittagsspitze, 30 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Die Bandbreite der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten ändert sich kaum im Vergleich von ausgestatteten Fahrzeugen zu nicht ausgestatteten Fahrzeugen. Gleichzeitig ist erkennbar, dass der Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten der ausgestatteten Fahrzeuge ebenfalls nur minimal zunimmt. Auch hier zeigt sich, dass die Wirkung der Funktion auf den einzelnen Fahrer bzw. die einzelne Fahrerin einen starken Einfluss auf den Gesamtverkehr hat. Der t-Tests der Fahrauswertung zeigt, dass alle Kombinationen signifikant unterschiedlich sind.

Tabelle 78 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwerts der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze

Ausstattungsrate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard- abweichung [km/h]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	38,659	0,307	0,001 ja	0,000 ja
a30	38,938	0,278	–	0,000 ja
a80	39,913	0,268	–	–

Änderung der Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen

Die zeigt, dass sich die FahrerInnen nur sehr selten in kritischen Fahrsituationen befinden. Die Funktion GLOSA hat diesbezüglich einen kaum messbaren Einfluss auf die Anzahl der kritischen Fahrsituationen. In Abbildung 98 ist das Histogramm der Anzahl kritischen Fahrsituationen im Vergleich der Ausstattungsrate 0 %, 30 % und 80 % in der Nachmittagsspitze dargestellt.

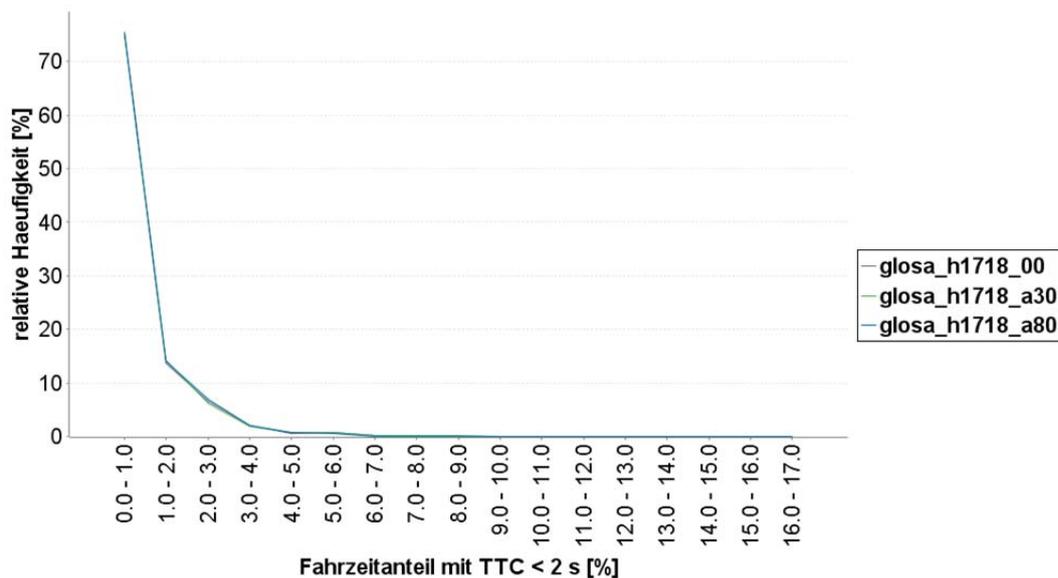


Abbildung 98 GLOSA Histogramm Anzahl kritischer Fahrsituationen, Nachmittagsspitze, Vergleich der Ausstattungsrate

Trotz steigender Ausstattungsrate ist keine nennenswerte Änderung der Anzahl kritischer Fahrsituationen erkennbar. Dieses Ergebnis zeigt sich ebenfalls durch die Ergebnisse des t-Test für die Verkehrsnachfrage in der Nachmittagsstunde in Tabelle 79. Dabei weist keine der Kombinationen der t-Tests signifikante Unterschiede aus. Bei der Untersuchung der Verhältnisse im Tagesnormalverkehr zeigt sich der gleiche Trend.

Tabelle 79 GLOSA Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Anzahl der kritischer Fahrsituationen für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze

Ausstattungsrate	Mittelwert p_TTC_krit [%]	Standard- abweichung [%]	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	0,625	0,028	0,997 nein	0,961 nein
a30	0,639	0,030	–	0,977 nein
a80	0,604	0,033	–	–

In ähnlicher Weise zeigen sich auch bei der Fahrauswertung keine wesentlichen Änderungen der Anzahl der kritischen Fahrsituationen durch den Einsatz der Funktion. Wie in Abbildung 99 sowie Tabelle 80 erkennbar ist, lassen sich auch bei einer Ausstattungsrate von 80 % keine Unterschiede in der relativen Häufigkeit der Anzahl der kritischen Fahrsituationen zwischen Fahrzeugen mit und ohne GLOSA-Funktion feststellen.

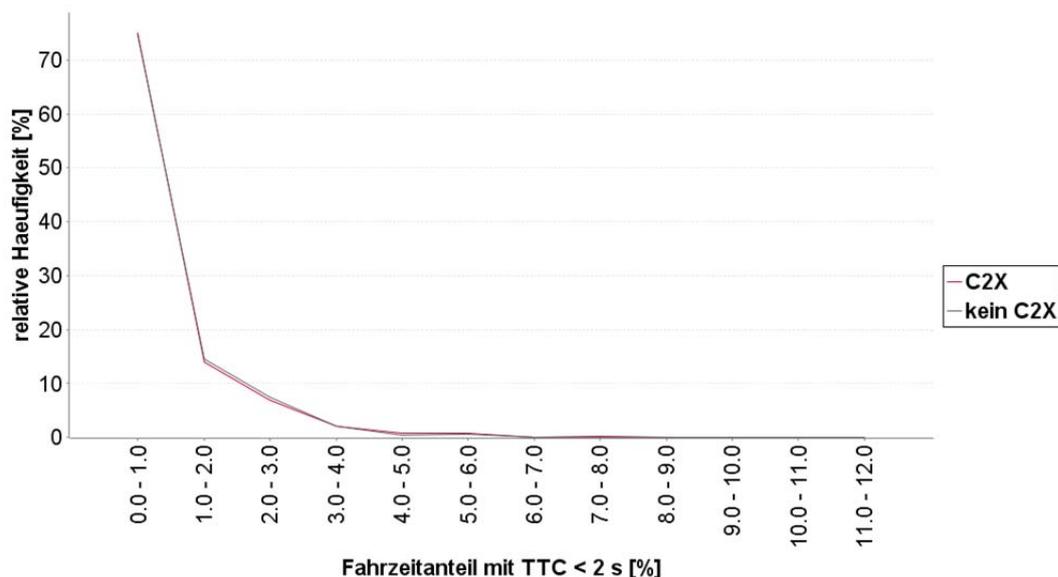


Abbildung 99 GLOSA Histogramm Anzahl der kritischen Fahrsituationen, Nachmittagsspitze, 80 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Tabelle 80 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Anzahl kritischer Fahrsituationen für alle Ausstattungsrate für die Nachmittagsspitze bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert p_TTC_krit [%]	Standard- abweichung [%]	t-Test, signifikant
a30	0,639	0,030	0,010 ja
a80	0,604	0,033	0,376 nein

4.5.3.3 RWW – Wirkungen der Fahr- und Verkehrssicherheit

Im Fall des UseCase RWW wird der 300 m bzw. 500 m lange Streckenabschnitt vor der simulierten Baustelle auf der A4 kurz vor dem Knotenpunkt Schwechat in Richtung Wien bezüglich Kenngrößen der Fahr- und Verkehrssicherheit ausgewertet. In den nachfolgenden Kapiteln erfolgt die Auswertung nur exemplarisch für einige charakteristische Kenngrößen und Szenarien.

Die Auswertung aller Kenngrößen und betrachteten Szenarien findet sich in visueller und tabellarischer Form im Anhang.

Änderung des Abstandverhaltens

Abbildung 100 zeigt das Histogramm der mittleren Nettozeitlücke im Vergleich der Ausstattungs-raten 0 %, 3 %, 15 %, 30 % und 80 % bei Tagesnormalverkehr, einer Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor der Baustelle und einer Wunschgeschwindigkeit von 110 km/h.

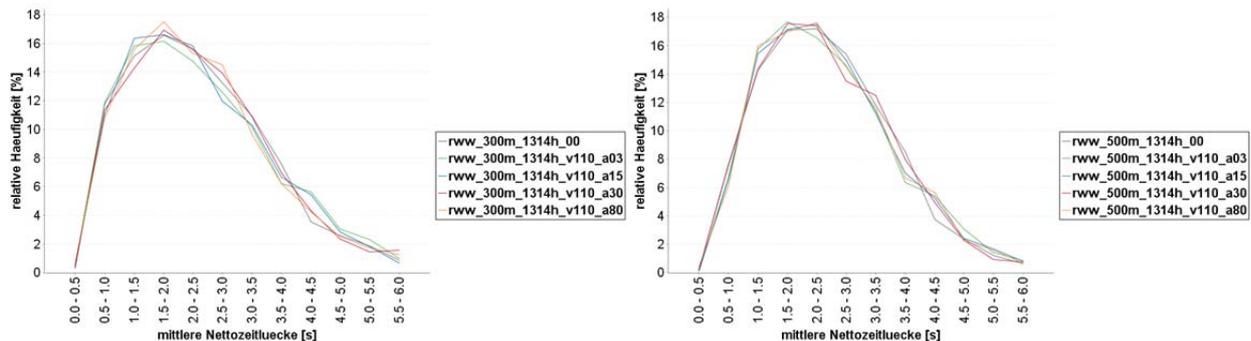


Abbildung 100 RWW Histogramm Mittlere Nettozeitlücke, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungs-raten

Trotz steigender Ausstattungsrate lässt sich keine Änderung der Verteilung der Häufigkeiten der mittleren Nettozeitlücke feststellen. Auch der Zeitpunkt des Erhalts der Information lässt keinen Einfluss erkennen. Die Streuung scheint zufällig zu sein.

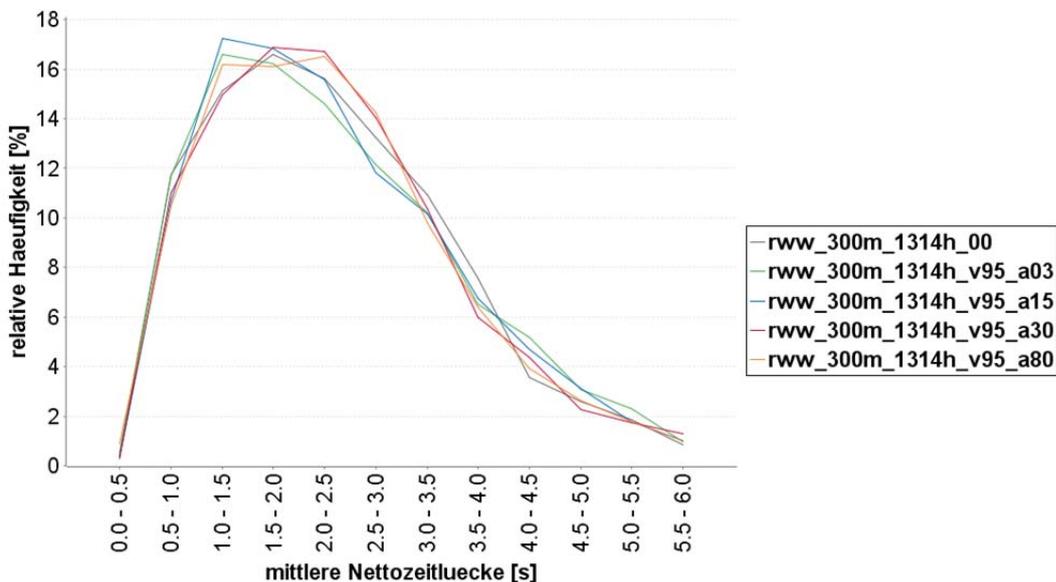


Abbildung 101 RWW Histogramm Mittlere Nettozeitlücke, Warnung 300 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungs-raten

Wie aus Abbildung 101 ersichtlich ist, lässt sich auch bei einem Szenario mit einer reduzierten Wunschgeschwindigkeitsverteilung von 95 km/h vor der Baustelle im Tagesnormalverkehr kein wesentlichen Änderungen der mittleren Nettozeitlücke aufgrund der Wirkung der Funktion erkennen. In der Nachmittagsspitze zeichnet sich dasselbe Bild ab. Die Ergebnisse des t-Tests bestätigen diese Aussagen statistisch. Tabelle 81 zeigt exemplarisch die statistischen Werte

des t-Tests bei einer Warnung 300 m vor der Baustelle, einer Wunschgeschwindigkeit von 110 km/h und Tagesnormalverkehr.

Tabelle 81 RWW Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Nettozeitlücke für alle Ausstattungsrate bei Warnung 300 m vor Baustelle, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert THW_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant a03	t-Test, signifikant a15	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	2,342	0,059	1,000 nein	1,000 nein	1,000 nein	1,000 nein
a03	2,380	0,055	-	1,000 nein	1,000 nein	1,000 nein
a15	2,352	0,038	-	-	1,000 nein	1,000 nein
a30	2,375	0,075	-	-	-	0,533 nein
a80	2,340	0,040	-	-	-	-

Ein Grund für den geringen Einfluss der Funktion RWW auf das Abstandsverhalten könnte der Informationszeitpunkt sein. Bei einer Warnung 300 m vor der Baustelle ist eine Schilderbrücke mit der herkömmlichen Baustellenwarnung bereits in Sicht, sodass der Informationsvorteil der ausgestatteten Fahrzeuge gering ausfällt. Auch bei einer Warnung 500 m vor der Baustelle, ist der Bereich in dem die ausgestatteten Fahrzeuge einen Informationsvorteil besitzen sehr kurz bemessen.

Auch in der Fahrauswertung lässt sich keine Wirkung der Funktion erkennen. Abbildung 102 zeigt den Boxplot der mittleren Nettozeitlücke bei Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und 80 % Ausstattungsrate im Vergleich nicht ausgestatteter Fahrzeuge mit ausgestatteten Fahrzeugen. Wie in Tabelle 82 ersichtlich, zeigt auch der t-Test, dass im Zuge der Fahrauswertung kein signifikanter Unterschied zwischen nicht ausgestatteten Fahrzeugen und ausgestatteten Fahrzeugen existiert.

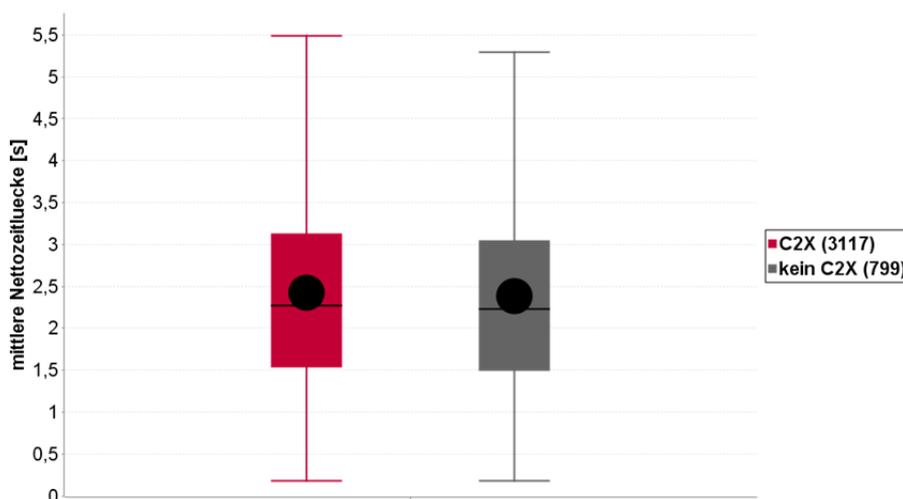


Abbildung 102 Boxplot Mittlere Nettozeitlücke, Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, 80 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Tabelle 82 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Nettozeitlücken für alle Ausstattungsrate bei Warnung 500 m vor Baustelle, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert THW_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant
a03	2.441	0.056	0,477 nein
a15	2.450	0.027	0,636 nein
a30	2.428	0.074	0,322 nein
a80	2.430	0.050	0,358 nein

Änderung des Beschleunigungsverhaltens

Abbildung 103 zeigt das Histogramm der minimalen Längsbeschleunigung im Vergleich der Ausstattungsrate in der Nachmittagsspitze, einer Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor der Baustelle und einer Wunschgeschwindigkeit von 110 km/h. Bei der Verkehrsauswertung zeigt sich, dass der Zeitpunkt des Informationserhalts wenig Einfluss auf die Verteilung der minimalen Längsbeschleunigung hat.

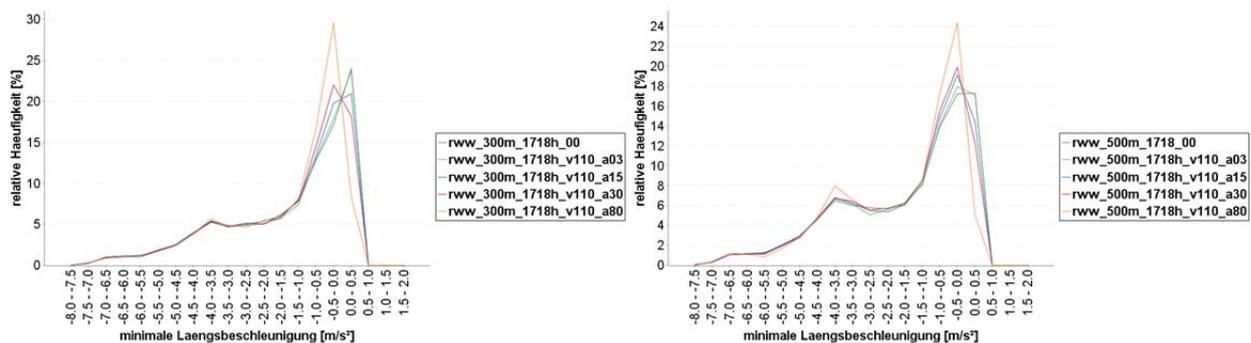


Abbildung 103 RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsrate von 0, 3, 15, 30 und 80 %

Die beiden Szenarien unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Auch wird ersichtlich, dass in beiden Szenarien im Bereich 0,0 m/s² bis -1,5 m/s² der größte Einfluss zu erkennen ist. Mit steigender Ausstattungsrate steigt in diesem Bereich die relative Häufigkeit der minimalen Längsbeschleunigung. Über die gesamte Bandbreite der minimalen Längsbeschleunigung ist der Einfluss der Funktion jedoch relativ gering. Bei einer Wunschgeschwindigkeit von 95 km/h zeichnet sich sowohl bei einer Warnung 300 sowie 500 m vor der Baustelle dasselbe Bild ab. Auch bei Tagesnormalverkehr ist der gleiche Trend zu erkennen.

Trotz scheinbar sehr geringer Unterschiede, zeigt der t-Test in allen Szenarien jedoch, dass sich die verschiedenen Ausstattungsrate signifikant unterscheiden. Tabelle 83 zeigt exemplarisch die Ergebnisse des t-Tests bei einer Warnung 500 m vor der Baustelle, einer Wunschgeschwindigkeit von 95 km/h und Tagesnormalverkehr.

Tabelle 83 RWW Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Minimalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsrate bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert a_min [m/s ²]	Standardabweichung [m/s ²]	t-Test, signifikant a03	t-Test, signifikant a15	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	-1,697	0,093	0,018 ja	0,000 ja	0,000 ja	0,000 ja
a03	-1,729	0,072	–	0,000 ja	0,000 ja	0,000 ja
a15	-1,764	0,053	–	–	0,000 ja	0,000 ja
a30	-1,801	0,054	–	–	–	0,000 ja
a80	-1,920	0,048	–	–	–	–

In der Fahrauswertung zeigt sich, dass die Wirkung der Funktion auf das Beschleunigungsverhalten sehr gering aber dennoch erkennbar ist. Abbildung 104 zeigt die Histogramme der minimalen Längsbeschleunigung im Vergleich von nicht ausgestatteten Fahrzeugen und ausgestatteten Fahrzeugen bei einer Ausstattungsrate von 3 % (links), 30 % (rechts) in der Nachmittagspitze, einer Warnung 300 m vor der Baustelle und einer Wunschgeschwindigkeit von 95 km/h.

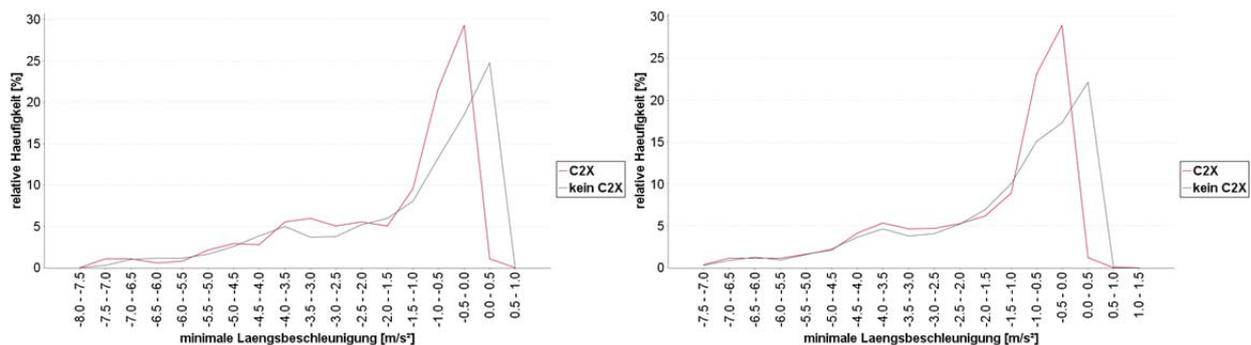


Abbildung 104 RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 300 m vor Baustelle, Nachmittagspitze, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, 3 % (links), 30 % (rechts) Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Es wird ersichtlich, dass im Vergleich zu nicht ausgestatteten Fahrzeugen in beiden Szenarien die relative Häufigkeit von stärkeren Bremsungen zunimmt. Dies ist durch die verringerte Wunschgeschwindigkeitsverteilung der ausgestatteten Fahrzeuge zu erklären. Die Änderung der Ausstattungsrate ruft dabei nur relativ geringe Unterschiede zwischen den beiden Szenarien hervor.

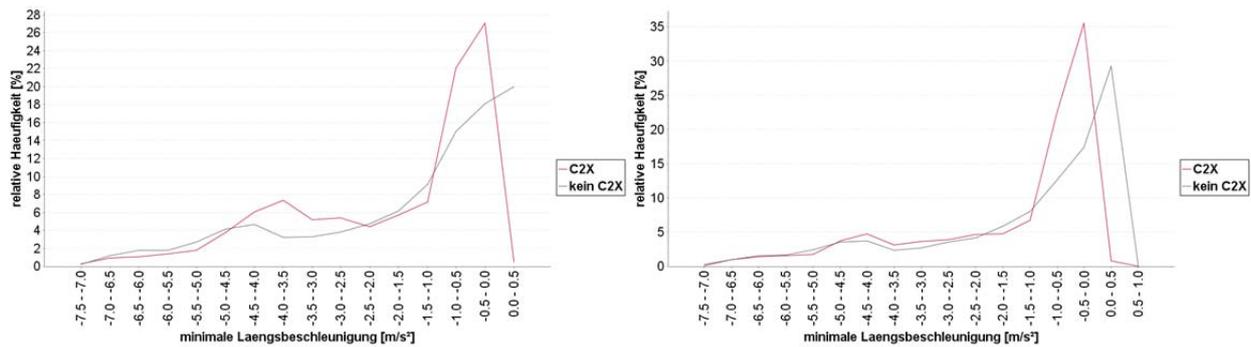


Abbildung 105 RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 300 m (rechts), 500 m (links) vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, 15 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

In Abbildung 105 (rechts) ist das Histogramm der minimalen Längsbeschleunigung bei einer Warnung 300 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und 15 % Ausstattungsrate im Vergleich von ausgestatteten Fahrzeugen mit nicht ausgestatteten Fahrzeugen dargestellt. Abbildung 105 (links) zeigt das Histogramm bei einer Warnung 500 m vor Baustelle und sonst gleichbleibenden Randbedingungen. Es zeigt sich, dass der Zeitpunkt des Erhalts der Information nur geringe Änderungen der Verteilung hervorruft. Bei früherem Erhalt der Information zeigt sich eine größere Häufigkeit von Längsbeschleunigungen im Bereich $-4,5$ bis $-4,0$ m/s². Das heißt, dass trotz der früheren Information im Vergleich mehr stärkere Bremsungen durchgeführt werden.

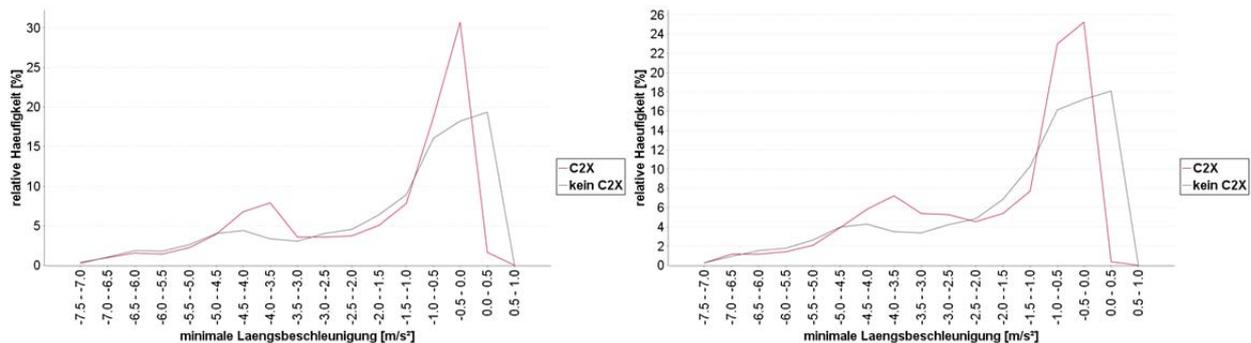


Abbildung 106 RWW Histogramm Minimale Längsbeschleunigung, Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h (rechts), 110 km/h (links) Wunschgeschwindigkeit, 30 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2

Abbildung 106 zeigt jeweils die Histogramme der minimalen Längsbeschleunigung bei Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr und 30 % Ausstattungsrate im Vergleich von ausgestatteten Fahrzeugen mit nicht ausgestatteten Fahrzeugen bei einer Wunschgeschwindigkeitsverteilung von 95 km/h sowie 110 km/h. Im Vergleich der Wunschgeschwindigkeitsverteilungen zeigt sich, dass es erwartungsgemäß bei 95 km/h mehr stärkere Bremsungen gibt. Im Bereich von 0,0 bis $-1,5$ m/s² unterscheiden sich die beiden Szenarios jedoch nur in sehr geringen Maße.

Das lokale Maximum im Bereich $-3,0$ bis $-4,0$ m/s² zeigt sich auch in der Nachmittagsspitze. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde dieses Maximum nicht berücksichtigt. Diese hohe Anzahl an starken Bremsungen erscheint nicht realistisch und kann auf die Annahmen bezüglich der Streubreite in den Wunschgeschwindigkeitsverteilungen der ausgestatteten FahrerInnen und die Annahmen bezüglich der Fahrstreifenwechsel zurückgeführt werden.

Bei den Ergebnissen des t-Tests der Fahrauswertung zeigt sich wie bei der Verkehrsauswertung, dass sich die Charakteristik der minimalen Längsbeschleunigung in allen Szenarien im Vergleich zum Nullfall signifikant unterscheiden. In Tabelle 84 sind die Ergebnisse der in Abbildung 105 sowie Abbildung 106 beschriebenen Fälle gelistet.

Tabelle 84 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Minimalen Längsbeschleunigung für alle Ausstattungsraten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert a_min [m/s ²]	Standard- abweichung [m/s ²]	t-Test, signifikant
RWW_300m_1314h_v95_a15	-1.377	0.055	0,000 ja
RWW_500m_1314h_v95_a15	-1.764	0.053	0,000 ja
RWW_500m_1314h_v95_a30	-1.801	0.054	0,000 ja
RWW_500m_1314h_v110_a30	-1.775	0.051	0,000 ja

Änderung des Geschwindigkeitsverhaltens

Durch die reduzierte Wunschgeschwindigkeitsverteilung der ausgestatteten Fahrzeuge zeigt sich in der Verkehrsauswertung klar eine Reduzierung der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten. Wie in Abbildung 107 erkennbar ist, sinkt die mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit mit steigender Ausstattungsrate stärker.

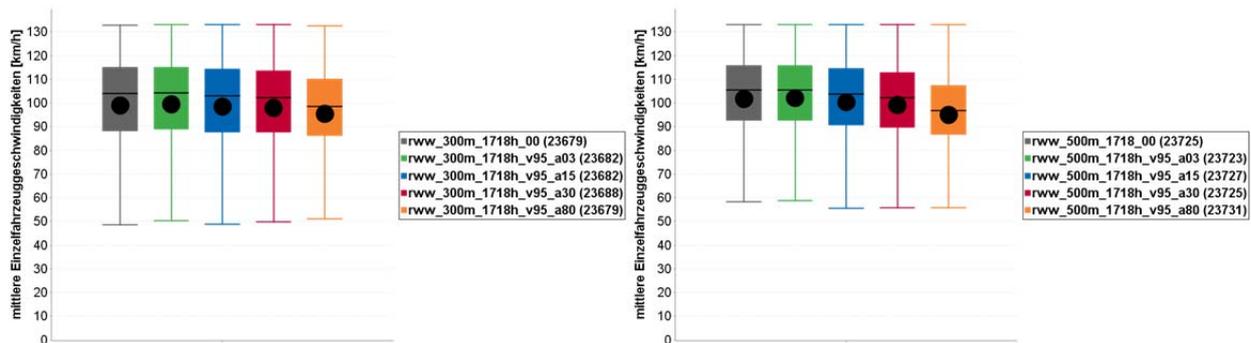


Abbildung 107 RWW Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten

Dies lässt sich durch den bremsenden Einfluss der ausgestatteten Fahrzeuge auf die nicht ausgestatteten Fahrzeuge erklären. Ab einer gewissen Ausstattungsrate passt sich das Fahrverhalten der nicht ausgestatteten FahrerInnen dem der ausgestatteten FahrerInnen an. Falls nicht ausgestattete Fahrzeuge hinter einem ausgestatteten Fahrzeug fahren, haben sie keine andere Möglichkeit als ihre Geschwindigkeit dem voraus fahrendem Fahrzeug anzugleichen.

Auch bei den Szenarien mit Tagesnormalverkehr und den Szenarien mit einer Wunschgeschwindigkeitsverteilung von 110 km/h sinkt die mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit mit steigender Ausstattungsrate.

Tabelle 85 und Tabelle 86 zeigen die Ergebnisse des t-Tests für die oben genannten Szenarien. Die Auswertung zeigt, dass sich alle Ausstattungsraten signifikant unterscheiden. Nur bei einer Ausstattungsrate von 3 % herrscht kein signifikanter Unterschied.

Tabelle 85 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungs-raten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Nachmittagsspitze

Ausstattungs-rate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard-abweichung [km/h]	t-Test, signifikant a03	t-Test, signifikant a15	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	98,971	1,560	0,091 nein	0,000 ja	0,000 ja	0,000 ja
a03	99,472	1,197	–	0,000 ja	0,000 ja	0,000 ja
a15	98,425	1,418	–	–	0,000 ja	0,000 ja
a30	97,882	0,952	–	–	–	0,000 ja
a80	95,373	0,994	–	–	–	–

Tabelle 86 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungs-raten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Nachmittagsspitze

Ausstattungs-rate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard-abweichung [km/h]	t-Test, signifikant a03	t-Test, signifikant a15	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	101,707	1,363	0,507 nein	0,000 ja	0,000 ja	0,000 ja
a03	102,014	1,212	–	0,000 ja	0,000 ja	0,000 ja
a15	100,274	1,010	–	–	0,000 ja	0,000 ja
a30	99,126	0,795	–	–	–	0,000 ja
a80	94,964	1,131	–	–	–	–

In der Fahrauswertung ist dieselbe Reduzierung der mittleren Einzelfahrzeuggeschwindigkeit zu erkennen. Wie aus Abbildung 108 ersichtlich wird, ist die Reduzierung sowohl bei einer Warnung ab 300 sowie 500 m vor der Baustelle zu beobachten.

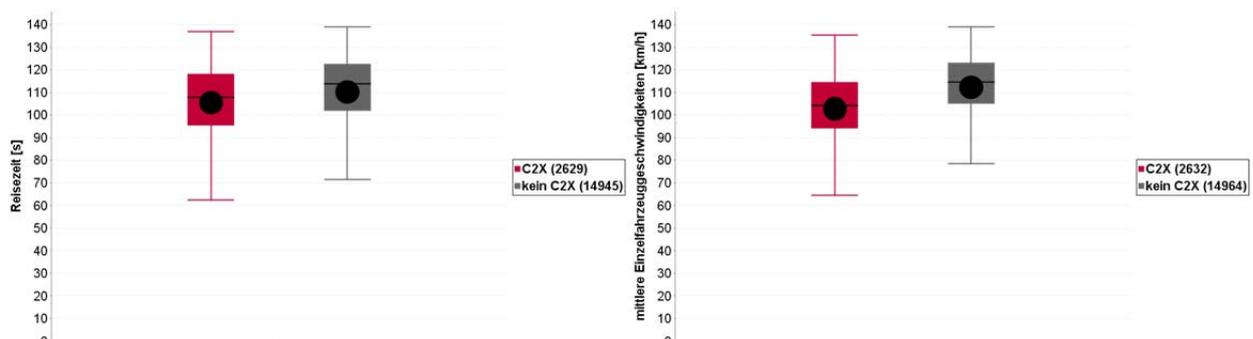


Abbildung 108 RWW Boxplot Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten, Warnung 300 m (links), 500 m (rechts) vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, 15 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Wie in Tabelle 87 und Tabelle 88 gelistet, bestätigt auch der t-Test, dass im Zuge der Fahrauswertung ein signifikanter Unterschied zwischen nicht ausgestatteten Fahrzeugen und ausgestatteten Fahrzeugen existiert.

Tabelle 87 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten bei Warnung 300 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard- abweichung [km/h]	t-Test, signifikant
a03	109.751	0.725	0,000 ja
a15	108.807	0.760	0,000 ja
a30	102.816	0.974	0,000 ja
a80	100.744	0.919	0,000 ja

Tabelle 88 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen des Mittelwert der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten für alle Ausstattungsraten bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert v_mean [km/h]	Standard- abweichung [km/h]	t-Test, signifikant
a03	106.946	0.993	0,000 ja
a15	106.038	0.668	0,000 ja
a30	104.571	1.035	0,000 ja
a80	100.259	1.062	0,000 ja

Änderung der Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen

Die Auswirkung der Funktion RWW auf die Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen ist nicht erkennbar. Die Werte weisen eine starke Streuung auf und weichen insgesamt nur im geringen Maße voneinander ab.

In Abbildung 109 ist das Histogramm sowie der Boxplot der Anzahl kritischer Nettozeitlücken im Vergleich der Ausstattungsraten 0 %, 3 %, 15 %, 30 % und 80 % in der Nachmittagsspitze bei einer Warnung 500 m vor der Baustelle und einer Wunschgeschwindigkeit von 95 km/h dargestellt. Trotz steigender Ausstattungsrate lässt sich bei der Anzahl der kritischen Nettozeitlücken im Histogramm keine wesentliche Änderung feststellen. Der Boxplot zeigt jedoch, dass die Anzahl der kritischen Nettozeitlücken, im Vergleich zu den anderen Szenarien, bei 3 % Ausstattungsrate leicht sinkt und bei 80 % Ausstattungsrate leicht steigt.

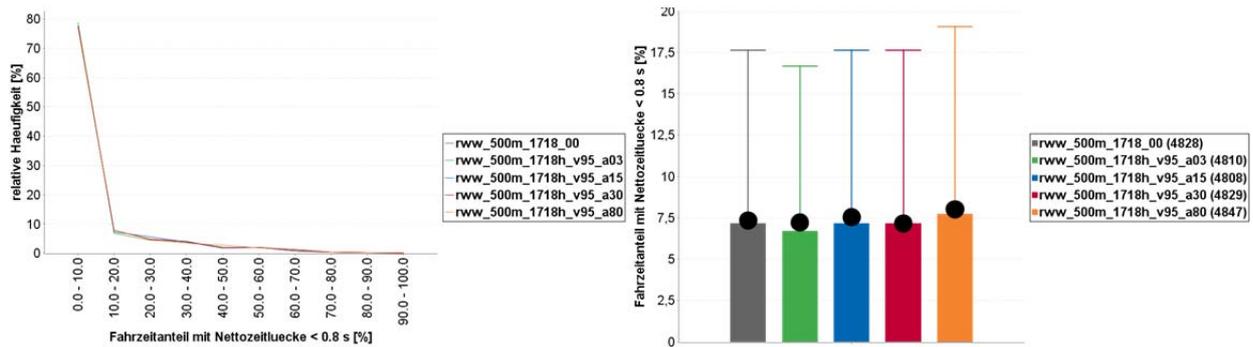


Abbildung 109 RWW Histogramm (links), Boxplot (rechts) Anzahl kritischer Nettozeitlücken, Warnung 500 m vor Baustelle, Nachmittagsspitze, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten

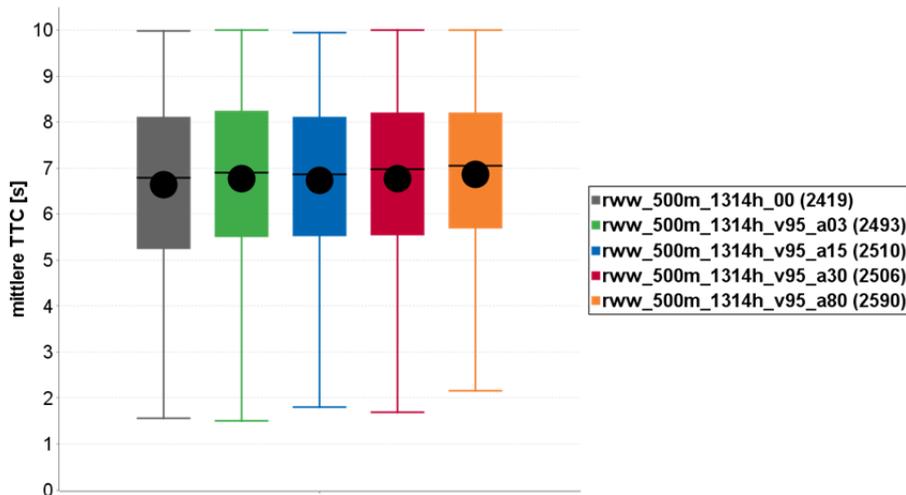


Abbildung 110 RWW Boxplot Mittlere Time-To-Collision, Warnung 500 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit, Vergleich der Ausstattungsraten

Abbildung 110 zeigt den Boxplot der mittleren Time-To-Collision im Vergleich der Ausstattungsvarianten 0 %, 3 %, 15 %, 30 % und 80 % bei Tagesnormalverkehr, einer Warnung 500 m vor der Baustelle und einer Wunschgeschwindigkeit von 95 km/h. Bei der Gegenüberstellung der Verteilung der mittleren TTC der verschiedenen Ausstattungsvarianten fällt die starke Streuung der einzelnen Werte auf. Ein Einfluss der Funktion RWW auf die mittlere Time-To-Collision lässt sich daher nicht feststellen.

Eine ähnliche Streuung lässt sich bei allen Szenarien und Ausstattungsvarianten beobachten. Weder der Zeitpunkt des Erhalts der Information über die Baustelle, noch die Wunschgeschwindigkeitsverteilungen lassen einen eindeutigen Einfluss auf die Verteilung der mittleren TTC erkennen. Wie Tabelle 89 zeigt, bestätigen die Ergebnisse des t-Tests, dass für alle betrachteten Fälle keine signifikanten Unterschiede vorliegen.

Tabelle 89 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Time-To-Collision für alle Ausstattungsrate bei Warnung 500 m vor Baustelle, 95 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr

Ausstattungsrate	Mittelwert TTC_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant a03	t-Test, signifikant a15	t-Test, signifikant a30	t-Test, signifikant a80
a00	6,646	1,873	0,159 nein	0,707 nein	0,108 nein	0,001 ja
a03	6,778	1,780	–	0,707 nein	0,837 nein	0,429 nein
a15	6,728	1,772	–	–	0,707 nein	0,046 ja
a30	6,767	1,807	–	–	–	0,617 nein
a80	6,872	1,724	–	–	–	–

Auch in der Fahrauswertung ist im Vergleich von nicht ausgestatteten Fahrzeugen und ausgestatteten Fahrzeugen eine starke Streuung zu beobachten (vgl. Abbildung 111) die zufällig erscheint. Auch bei veränderten Randbedingungen wie dem Abstand zur Baustelle oder der Zeitscheibe lässt sich bei der Fahrauswertung kein Trend erkennen.

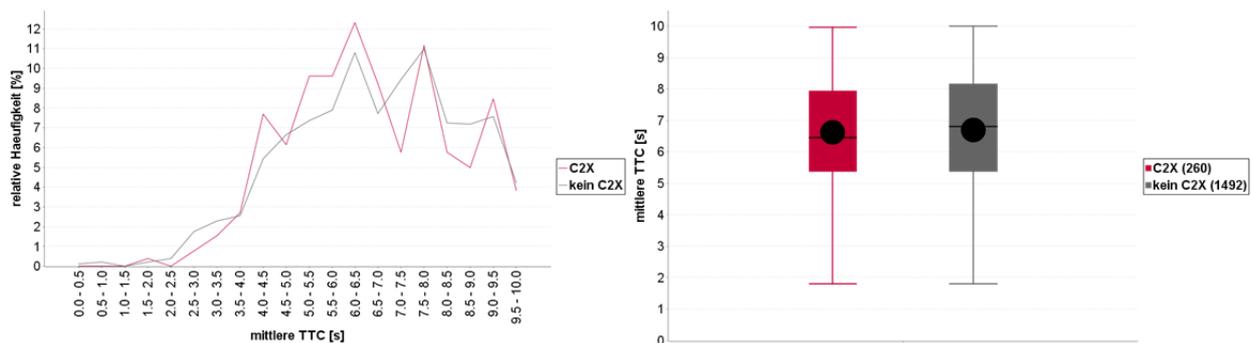


Abbildung 111 RWW Histogramm (links), Boxplot (rechts) Mittlere Time-To-Collision, Warnung 300 m vor Baustelle, Tagesnormalverkehr, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit, 15 % Ausstattungsrate, Vergleich Fahrzeuge ohne C2X vs. mit C2X

Auch die Ergebnisse des t-Tests zeigen, dass alle Ausstattungsrate sich nicht signifikant unterscheiden. Nur bei einer Ausstattungsrate von 3 % existiert ein signifikanter Unterschied, wie aus Tabelle 90 ersichtlich wird.

Tabelle 90 Mittelwert, Standardabweichung und Signifikanzen der Mittleren Time-To-Collision für alle Ausstattungsrate bei Warnung 300 m vor Baustelle, 110 km/h Wunschgeschwindigkeit und Tagesnormalverkehr bei Fahrauswertung

Ausstattungsrate	Mittelwert TTC_mean [s]	Standardabweichung [s]	t-Test, signifikant
a03	6.532	1.929	0,049 ja
a15	6.638	1.824	0,353 nein
a30	6.464	1.855	0,434 nein
a80	6.562	1.929	0,906 nein

4.5.3.1 Fazit Wirkung Fahr- und Verkehrssicherheit auf Basis Simulationsdaten

UseCase GLOSA

Die Funktion GLOSA führt zu einer Änderung des Abstandverhaltens. Der prozentuale Anteil von kurzen Nettozeitlücken zwischen Fahrzeugen steigt mit steigender Ausstattungsrate. Dies ist sowohl bei den mittleren als auch bei den minimalen Nettozeitlücken zu beobachten. Diese Änderung ist durch die geringere Anzahl an Fahrzeugen, die an Lichtsignalanlagen auf die Grünphase warten, zu vermuten. Beim Anfahren an der Lichtsignalanlage nach Stillstand entstehen tendenziell größere Nettozeitlücken.

Die Änderung des Beschleunigungsverhaltens zeigt sich in potentiell weniger starken Beschleunigungs- und Bremsvorgängen der ausgestatteten Fahrzeuge. Dies könnte durch den Informationsvorteil der ausgestatteten Fahrzeuge und den daraus resultierenden harmonischeren Verkehrsfluss zu erklären sein.

Das Geschwindigkeitsverhalten der ausgestatteten Fahrzeuge ändert sich dahin gehend, dass mit steigender Ausstattungsrate die mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit ebenfalls ansteigt. Der Grund für diese Änderung ist durch die Erhöhung der Wunschgeschwindigkeitsverteilung der ausgestatteten FahrerInnen bezüglich der Information über die Progressionsgeschwindigkeit der Grünen Welle zu erklären.

Eine Änderung in der Häufigkeit der kritischen Fahr- und Verkehrssituationen lässt sich nicht nachweisen. Die Funktion GLOSA hat weder Einfluss auf die Anzahl der kritischer Fahrsituationen noch auf die Anzahl der kritischen Nettozeitlücken. Auch bei der Verteilung der mittleren und minimalen Time-To-Collision stellt sich keine Änderung ein.

Somit lässt sich abschließend festhalten, dass der UseCase GLOSA die Fahr- und Verkehrssicherheit nicht verschlechtert. Bei hohen Ausstattungsraten kann die Funktion zur Harmonisierung des Verkehrsflusses beitragen, was als eine Verbesserung der Verkehrssicherheit anzusehen ist.

UseCase RWW

Der UseCase RWW hat keine Änderung des Abstandverhaltens zur Folge. Trotz steigender Ausstattungsrate lässt sich keine offensichtliche Änderung der Verteilung der Häufigkeiten der Nettozeitlücken feststellen. Die Streuung der Ergebnisse scheint zufällig zu sein. Des Weiteren zeigt sich, dass weder die Übertragungsreichweite, das Fahrverhalten noch der Verkehrszustand einen Einfluss auf die verkehrliche Wirkung hinsichtlich der Fahr- und Verkehrssicherheit nehmen.

Über die gesamte Bandbreite der Längsbeschleunigung ist der Einfluss der Funktion relativ gering. Dieser Trend zeichnet sich sowohl bei einer Wunschgeschwindigkeitsverteilung von 95 km/h als auch bei 110 km/h sowie jeweils bei einer Warnung 300 und 500 m vor der Baustelle ab.

Das Geschwindigkeitsverhalten der ausgestatteten Fahrzeuge ändert sich mit steigender Ausstattungsrate. Es zeigt sich, dass die mittlere Einzelfahrzeuggeschwindigkeit mit steigender Ausstattungsrate immer weiter sinkt. Dies lässt sich durch die verringerte Wunschgeschwindigkeitsverteilung der ausgestatteten Fahrzeuge erklären. Des Weiteren passt sich ab einer gewissen Ausstattungsrate das Fahrverhalten der nicht ausgestatteten FahrerInnen dem der ausgestatteten FahrerInnen an, da sich auf allen Fahrstreifen ausgestattete Fahrzeuge bewegen.

Die Auswirkung der Funktion RWW auf die Häufigkeit kritischer Fahr-/Verkehrssituationen ist nicht erkennbar. Im Vergleich der verschiedenen Ausstattungsraten fällt die Streuung der mittleren und minimalen Time-To-Collision sehr stark aus. Ein Einfluss der Funktion RWW auf die mittlere Time-To-Collision lässt sich nicht erkennen. Der Einfluss der Funktion auf die Anzahl kritischer Nettozeitlücken sowie auf die Anzahl kritischer Fahrsituationen ist sehr gering. Aus den Ergebnissen lassen sich keine signifikanten Änderungen ableiten.

5 Netzwirkungen von kooperativen Systemen

In diesem Kapitel wird die großräumige Wirkung von kooperativen Systemen hinsichtlich Verkehrsfluss (Effizienz) und Umwelt untersucht. Dazu wird das makroskopische Verkehrsmodell der ITS-Vienna Region (ITS-VR) herangezogen. Zuerst wird in Kapitel 5.1 das Verkehrsmodell vorgestellt. In Kapitel 5.2 wird mit einer Kapazitätsanalyse die Änderung des Strecken- und Knotenwiderstandes bei 80% C2X abgeschätzt und anschließend die Auswirkungen auf den Verkehrsfluss (Effizienz) mit dem Verkehrsmodell ermittelt und dargestellt. Danach werden in Kapitel 5.3 mit dem geänderten Netz bei 80% C2X die Umweltauswirkungen mithilfe des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA) [Infras GmbH 2010] auf das Betrachtungsgebiet hochgerechnet.

5.1 Verkehrsmodell für die Netzwirkungsanalyse

Bei dem Verkehrsmodell ITS-VR handelt es sich um ein makroskopisches Verkehrsmodell für den Individualverkehr für einen durchschnittlichen Werktag mit stundenfeiner Nachfrage für den österreichischen Ostraum (Niederösterreich, Wien u. nördliches Burgenland) (siehe Abbildung 112).

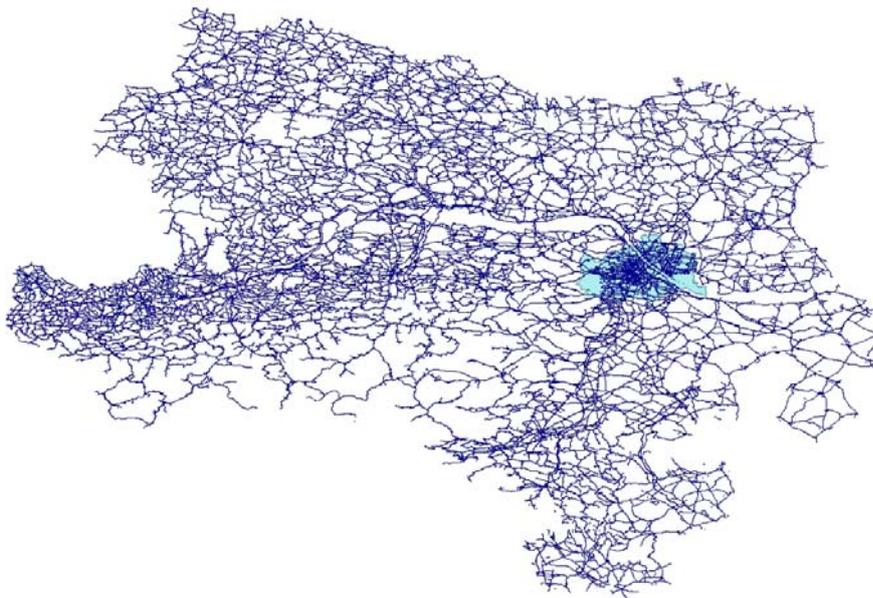


Abbildung 112: Makroskopisches Verkehrsmodell für den Großraum Wien

Als Betrachtungsgebiet wird hier das Gemeindegebiet der Stadt Wien herangezogen, das heißt für dieses Gebiet werden die Netzauswirkung berechnet und dargestellt. Überblicksmäßig ist die Netzstatistik des gesamten Verkehrsmodells sowie des Betrachtungsgebietes Wien in Tabelle 91 zusammengefasst.

Tabelle 91: Netzstatistik des Verkehrsmodells der ITS-VR mit dem Betrachtungsgebiet Wien

Netzelemente	Anzahl gesamt	Anzahl Gebiet Wien
Knoten	103.886	9895
Strecken	224.888	21.356
Bezirke	1096	250
Abbieger	553.160	51.425

Erhöht sich die Verkehrseffizienz (Kapazität) eines Verkehrssystems (z. B. durch kooperative Dienste), so verringert sich der Widerstand im Verkehrsnetz. Im Modell wird dieser Umstand durch Widerstandsfunktionen abgedeckt (veranschaulicht in Abbildung 113). Für die Analyse der Netzwirkung kooperativer Systeme wird angenommen, dass sich sowohl der Streckenwiderstand (Kapazität) als auch der Knotenwiderstand (Abbiegezeiten) im Netz mit ausgestatteten Fahrzeugen (C2X) ändert. Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den verschiedenen Ausstattungsgraden (0, 3, 15, 30 und 80 % C2X) bei den Ergebnissen in Kapitel 4 wird hier nur der 80 % C2X Fall dem Nullfall (0 % C2X) zur Analyse der Netzwirkung gegenübergestellt.

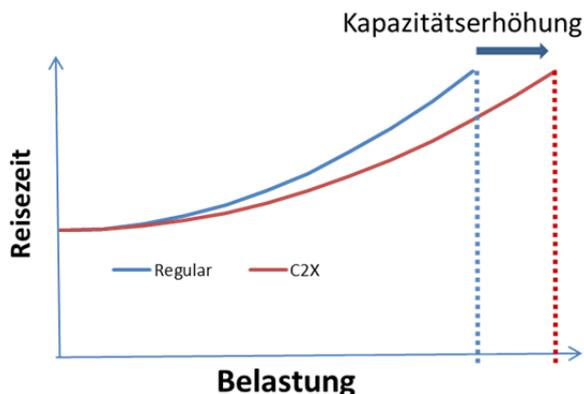


Abbildung 113: Veranschaulichung der Änderung der Widerstandsfunktion infolge kooperativer Systeme

Das Basis-Verkehrsmodell beinhaltet nur Strecken- und keine Knotenwiderstände. Da jedoch bei kooperativen Fahrzeugen für den UseCase GLOSA ein verminderter Knotenwiderstand an lichtsinalgesteuerten Knotenpunkten anzunehmen ist, werden im Modell Abbiegezeiten je nach Abbiegetyp (rechts, geradeaus, links) bei den 1238 Knoten mit Verkehrslichtsignalanlage (VLSA) im Gebiet Wien eingepflegt. Basierend auf Erfahrungswerten wird eine durchschnittliche Abbiegezeit von 10 Sekunden für Rechtsabbiegen, 7 Sekunden für Geradeausfahren und 15 Sekunden für Linksabbiegen für nicht ausgestattete Fahrzeuge (0% C2X) angenommen. Damit der Gesamtwiderstand im Verkehrsmodell in etwa gleich bleibt, wurde der Widerstand der jeweiligen Strecke vor der VLSA in Form einer 20 %-Erhöhung der Geschwindigkeit im unbelasteten Netz (v_0) verringert. Überschlagsmäßig wird für dem 80 % C2X Fall eine 10 - 15 % geringere Abbiegezeit an VLSA-Knoten angenommen (Werte für Abbiegezeiten siehe Tabelle 92).

Tabelle 92: Abbiegezeiten an VLSA-Knoten bei 0% und 80 % C2X im Verkehrsmodell ITS-VR

Abbiegetyp	0 % C2X	80 % C2X
Rechtsabbieger	10 s	9 s
Geradeaus	7 s	6 s
Linksabbieger	15 s	13 s

In Anlehnung an die mikroskopische Simulation von kooperativen Systemen werden auch hier die beiden Zeitscheiben 13-14 Uhr und 17-18 Uhr betrachtet. Da die Verkehrsnachfrage stundenfein verfügbar ist, wurde für diese beiden Stunden eine Verkehrsumlegung im Modell durchgeführt. Abbildung 114 zeigt in farblicher Abstufung die Auslastung (streckenfeines Verhältnis Verkehrsbelastung zu Kapazität) und Abbildung 115 die mittlere Streckengeschwindigkeit für beide Auswertestunden für den Nullfall (0 % C2X). Die Dicke der Balken signalisiert die Höhe der Verkehrsbelastung auf der jeweiligen Strecke.

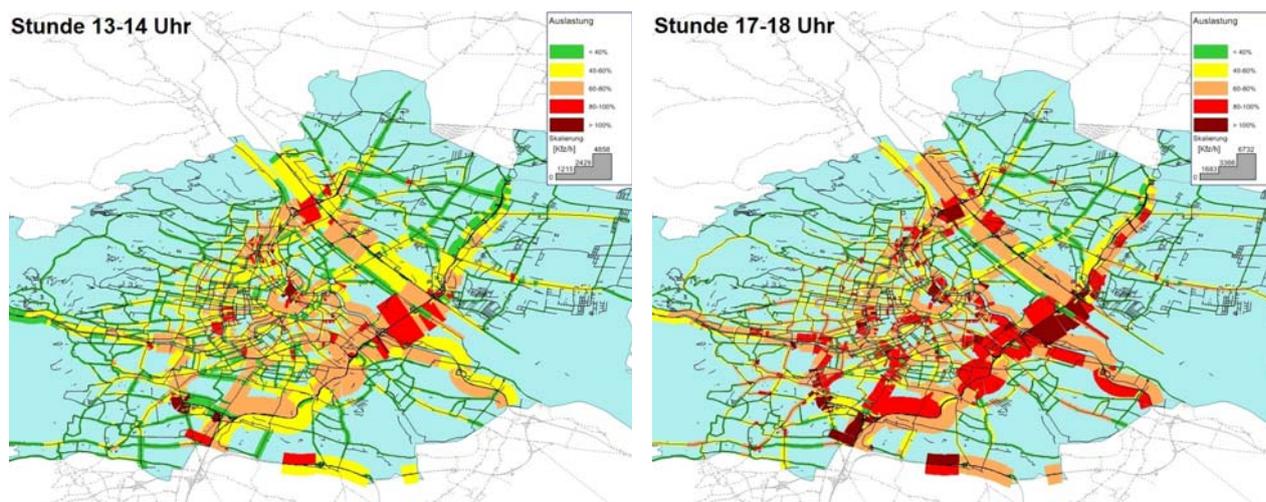


Abbildung 114: Auslastung im Verkehrsmodell ITS-VR im Gebiet Wien, Stunde 13-14 Uhr bzw. 17-18 Uhr

Die Auslastung im Verkehrsnetz Wien ist in der Stunde 17-18 Uhr deutlich höher als in der Stunde 13-14 Uhr. Rote Strecken bedeuten eine Auslastung größer 80 %, im Gegensatz zu grünen Strecken mit einer Auslastung kleiner 40 %. Vor allem die Hauptverkehrsadern (A23 Südosttangente, A4 Ostautobahn, A22 Donauuferautobahn, Gürtel, Ring, Triester Straße, Altmannsdorfer Straße, Wienzeile, Donaukanal etc.) sind in der Spitzensunde 17-18 Uhr stark ausgelastet (>60 %), einzelne Streckenabschnitte weisen eine Auslastung größer 100 % auf.

Dieses Bild spiegelt sich dabei auch in den mittleren Streckenabschnitten in Abbildung 115 wider. Rote Strecken bedeuten niedrige Geschwindigkeiten kleiner 40 km/h und grüne Strecken hohe Geschwindigkeiten größer 70 km/h. In der Stunde 13-14 Uhr sind die Strecken am hochrangigen Verkehrsnetz in Wien fast durchgehend grün (sprich flüssiger Verkehr), im Gegensatz wandern einige Strecken in der Stunde 17-18 Uhr in den gelb/orangen Bereich mit mittleren Streckengeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 70 km/h. Das niederrangige Straßennetz in Wien (Stadtstraßen) ist zumeist im orange/roten Bereich (<50 km/h) wobei sich in der Stunde 17-18 Uhr die Geschwindigkeiten um durchschnittlich eine Farbkategorie (entspricht 10 km/h) in Bezug zur Stunde 13-14 Uhr verringern.

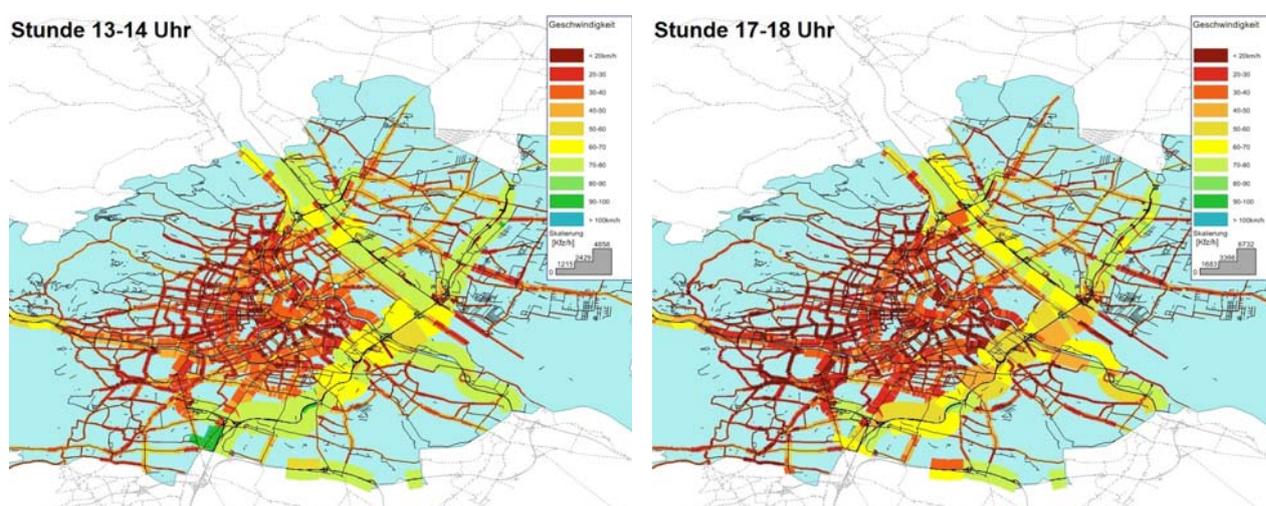


Abbildung 115: Geschwindigkeiten im Verkehrsmodell ITS-VR im Gebiet Wien, Stunde 13-14 bzw. 17-18 Uhr

5.2 Netzwirkung Verkehrsfluss (Effizienz)

Um die Wirkung von kooperativen System auf den Verkehrsfluss im Verkehrsmodell abzuschätzen, muss vorher in einer Kapazitätsanalyse der Unterschied zwischen den beiden Szenarien (0 und 80 % C2X-Ausstattungsgrad) hinsichtlich Kapazität auf der Strecke quantifiziert werden. Dazu werden die beiden mikroskopischen Verkehrsmodelle (hochrangig, UseCase Roadworks Warning „RWW“ und niederrangig, UseCase Green Light Optimal Speed Advisory „GLOSA“) herangezogen.

Zuerst werden die Verkehrsbelastungen im mikroskopischen Verkehrsmodell stufenweise erhöht, gesenkt und wieder erhöht um genügend Daten im überlasteten Verkehrszustand für die Kapazitätsanalyse zu generieren. Danach wird mittels Regressionsanalyse die Kapazität auf der Strecke mit einem Ansatz auf Basis des Fundamentaldiagrammes für 0 % und 80 % C2X-Anteil bestimmt. Einen Überblick zum Ablauf verschafft Abbildung 116, die Methodik dazu wird anschließend kurz erläutert.

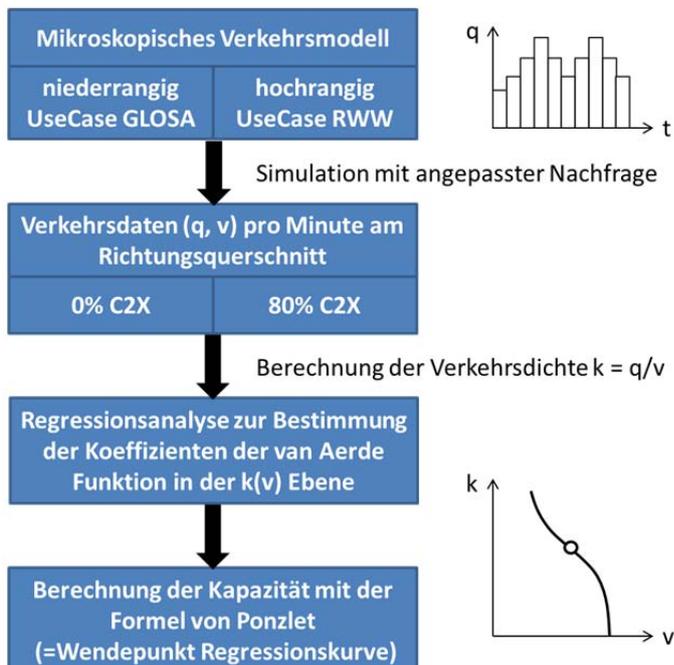


Abbildung 116: Methodik der Kapazitätsanalyse

Anpassen der Mikrosimulation

Die Verkehrsnachfrage im mikroskopischen Verkehrsmodell wird in 10 min Schritten stufenweise erhöht bzw. gesenkt um geeignete Daten für die nachfolgende Kapazitätsanalyse zu generieren. Insgesamt wird die Simulationsdauer hier von 1 auf 3 Stunden ausgedehnt. Als Basis wird die Verkehrsnachfrage der Stunde 17-18 Uhr in den beiden Modellen (hochrangig RWW und niederrangig GLOSA) herangezogen, die multipliziert mit entsprechenden Faktoren (siehe Tabelle 93) die Nachfrage je 10-Minuten Zeitschritt im Modell ergibt. Die Faktoren wurden zum Teil bewusst hoch (bis zum Faktor 1,9) angesetzt um sowohl Daten für stabilen als auch instabilen Verkehrsfluss zu generieren, da dies Voraussetzung für eine funktionierende Methodik der Kapazitätsanalyse ist.

Tabelle 93: Anpassungsfaktoren für die geänderte Verkehrsnachfrage

Simulationssekunden		RWW	GLOSA
Vorlaufzeit	0-900	0.63	0.70
Stunde 1	900-1500	0.63	0.70
	1500-2100	0.84	0.80
	2100-2700	1.05	0.90
	2700-3300	1.26	1.00
	3300-3900	1.48	1.20
	3900-4500	1.69	1.40
Stunde 2	4500-5100	1.90	1.60
	5100-5700	1.69	1.80
	5700-6300	1.48	1.60
	6300-6900	1.26	1.40
	6900-7500	1.48	1.20
	7500-8100	1.69	1.00
Stunde 3	8100-8700	1.90	1.20
	8700-9300	1.69	1.40
	9300-9900	1.48	1.60
	9900-10500	1.26	1.80
	10500-11100	1.05	1.60
	11100-11700	0.84	1.40

Bestimmung der Kapazität

In die Definition eines Auslastungsgrades von Streckenabschnitten geht neben der aktuellen Verkehrsstärke eine vom Querschnitt abhängige, theoretische aber spezifische Kapazität ein. Auf der Grundlage verschiedener mathematischer Funktionen wurde eine Vielzahl von Modellansätzen zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke q , Geschwindigkeit v und Verkehrsdichte k entwickelt. Viele dieser Modelle beschreiben dabei jedoch nur den Bereich des fließenden Verkehrs oder basieren auf einem zweigeteilten Funktionsverlauf mit unterschiedlichen Ansätzen für den fließenden und gebundenen Verkehr. Für die Ermittlung der Kapazität ist es dagegen sinnvoll, einen Modellansatz zu wählen, der alle Verkehrszustände mit einem durchgehenden Kurvenzug beschreibt [Geistefeldt 2007]. Das Verkehrsflussmodell nach [van Aerde 1995] ist dabei der einzige derzeit bekannte Ansatz, mit dem eine akzeptable Beschreibung sämtlicher auftretender Verkehrszustände durch einen durchgehenden Kurvenzug gelingt. Die $k(v)$ -Funktion dieses Verkehrsflussmodells lautet:

$$k(v) = \frac{1}{c_1 + \frac{c_2}{v_0 - \bar{v}_m} + c_1 \cdot \bar{v}_m} \quad (9)$$

$k(v)$ = Verkehrsdichte

v_0 = Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss

\bar{v}_m = aktuelle momentane Geschwindigkeit

c_1, c_2, c_3 = Formparameter

Die Verkehrsdichten werden über die fundamentale Beziehung $q = v \cdot k$ ermittelt. Als Eingangsgrößen dienen die Geschwindigkeiten und Verkehrsstärken im 1-Minuten Intervall am Messquerschnitt im Verkehrsmodell. Die Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss v_0 ist ein konstanter querschnittsspezifischer Wert, darf jedoch nicht mit der gesetzlich zulässigen Geschwindigkeit gleichgestellt werden. Pauschal wird hier v_0 als 95 % Quantil aller gefahrenen Geschwindigkeiten am Querschnitt angenommen.

In weiterer Folge können die Konstanten c_1 , c_2 und c_3 durch nicht-lineare Regression mit der Methode der kleinsten Quadrate (Least-Square-Verfahren) in der k - v Ebene ermittelt werden. Umformungen des $k(v)$ -Modells nach van Aerde mit Hilfe der Zustandsgleichung nehmen sehr komplizierte Formen an, daher ist es einfacher, die Regression in der k - v -Ebene durchzuführen. Die querschnittsspezifische Kapazität tritt in der k - v -Ebene am Wendepunkt der S-förmigen Funktion ein. Darauf aufbauend hat [Ponzlet 1996] zur Bestimmung der Kapazität C die folgende Gleichung angegeben:

$$C = \frac{-2 \sqrt{c_2} \cdot \sqrt{c_2 + c_1 \cdot v_0} + c_1 \cdot v_0 + 2 \cdot c_2 + c_3 \cdot v_0^2}{c_1^2 + 4 \cdot c_2 \cdot c_3 + 2 \cdot c_1 \cdot c_3 \cdot v_0 + c_3^2 \cdot v_0^2} \quad (10)$$

Die Kapazitäten werden je Simulationsszenario (RWW, GLOSA) für den 0 % und 80 % C2X Fall ermittelt und anschließend verglichen. Als Referenzquerschnitt wird beim UseCase GLOSA die Zählstelle 1177 in Fahrtrichtung Südost (2 Fahrstreifen, direkt nach der signalisierten Kreuzung Meiereistraße, vgl. Abbildung 33) und beim UseCase RWW die Zählstelle AQ_A04_2_010.400 auf der A4 in Fahrtrichtung Wien (3 Fahrstreifen, etwa 1440 m vor der Baustelle in der Simulation). Abbildung 117 zeigt die Regressionskurve im k - v -Diagramm) sowie das Fundamentaldiagramm (q - v -Diagramm) mit Angabe der Kapazität bei 0 % und 80 % C2X-Ausstattungsgrad beim Messquerschnitt am Handelskai.

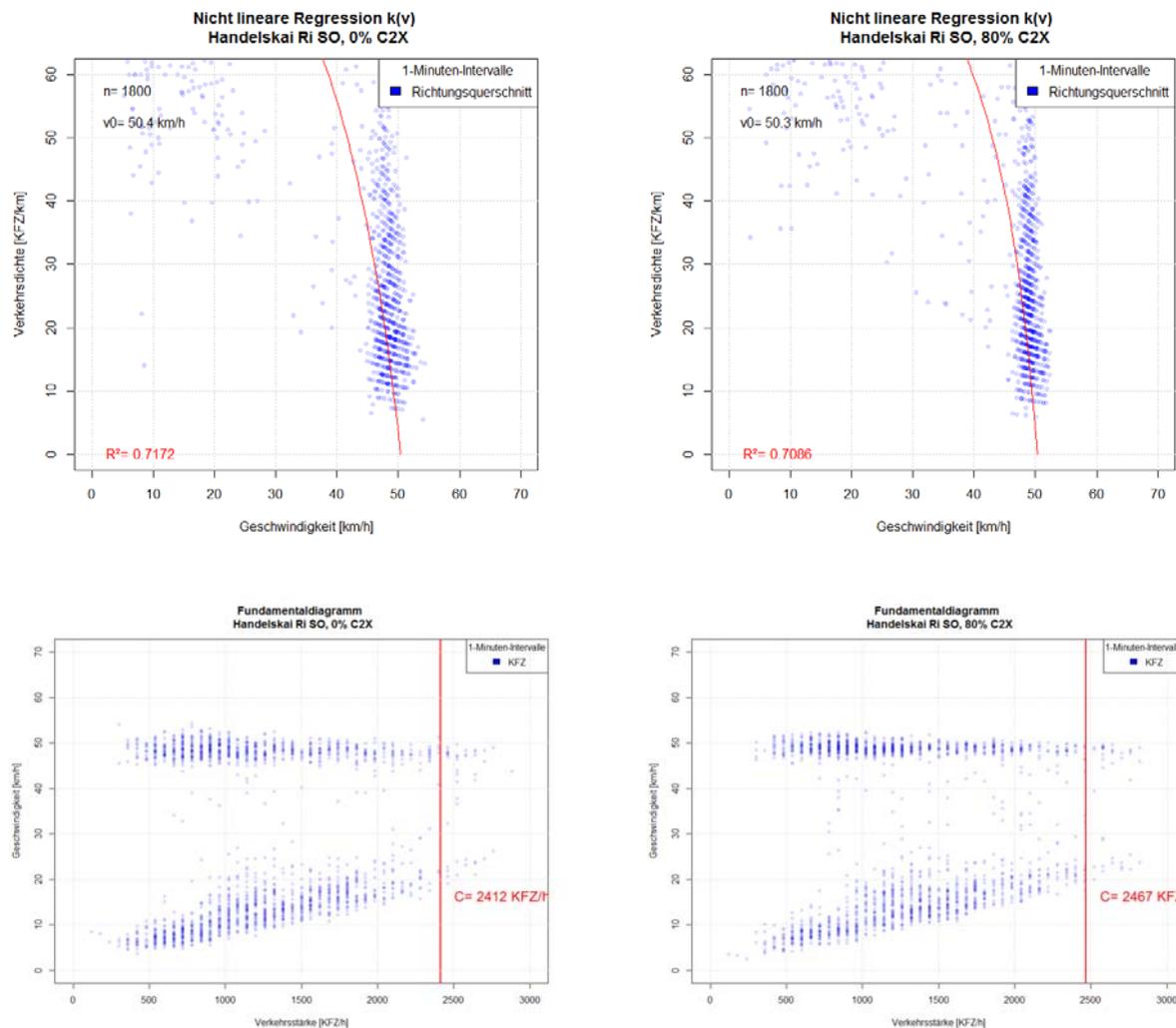


Abbildung 117: Ergebnisse der Kapazitätsanalyse am niederrangigen Netz bei 0 % und 80 % C2X, dargestellt im k-v-Diagramm mit Regressionskurve und im q-v-Diagramm mit der Kapazität

Die errechnete Kapazität bei der Zählstelle am Handelskai beträgt im 0 % C2X-Fall 2412 Kfz/h und im 80 % C2X-Fall 2467 Kfz/h. Dies entspricht einer Kapazitätssteigerung von 2,2 % auf Strecken mit einer Lichtsignalanlage im UseCase GLOSA bei einem Anteil von 80% an kooperativen Fahrzeugen. Die Auswertung veranschaulicht sehr gut die Trennung der Datenpunkte in stabilem und instabilem Verkehrsfluss.

Als nächstes wird die Kapazitätsanalyse am Autobahn Messquerschnitt durchgeführt. Abbildung 118 zeigt das k-v-Diagramm mit der nicht linearen Regressionsanalyse und das q-v-Diagramm mit der Angabe der Kapazität für 0 % und 80 % C2X.

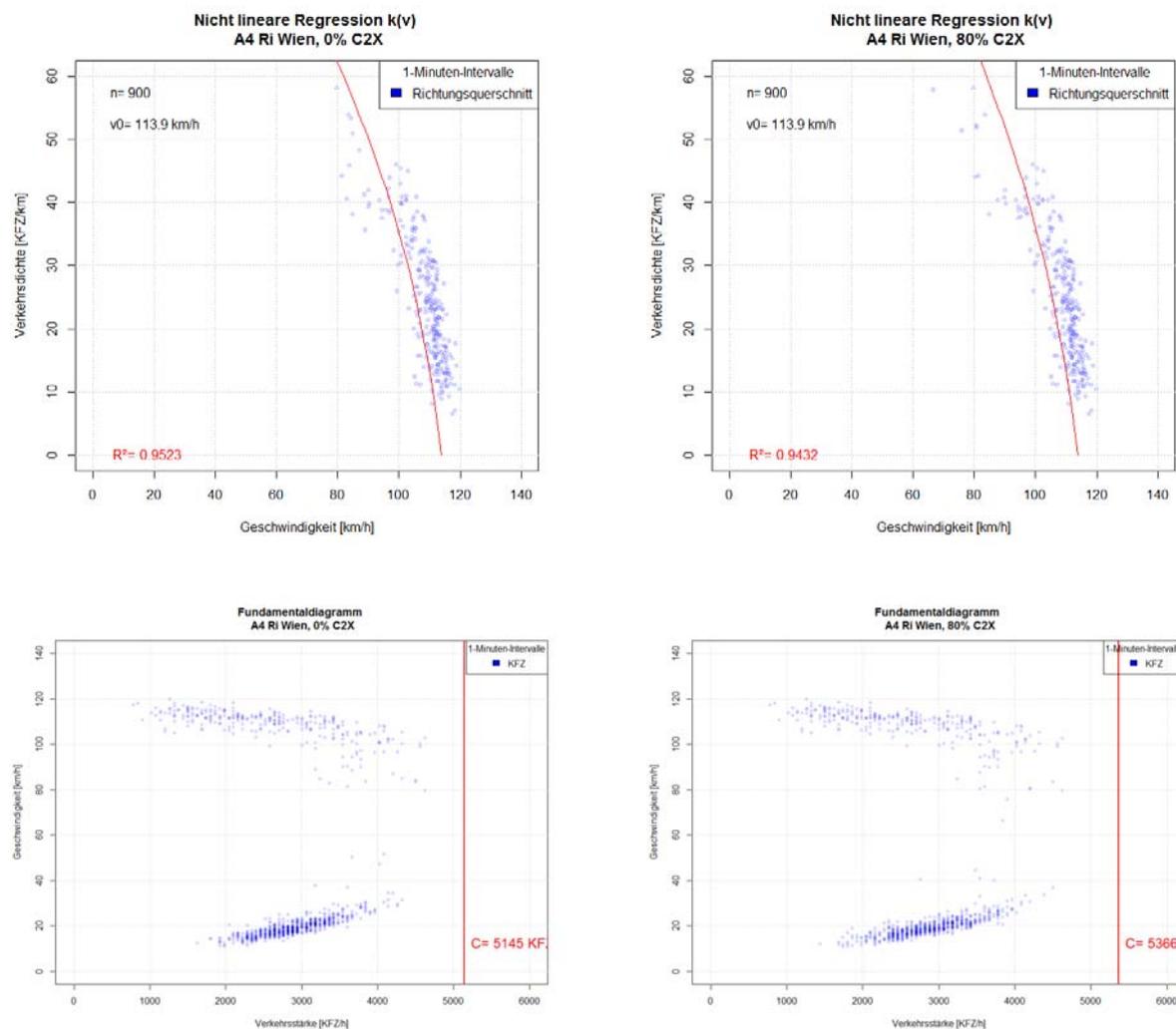


Abbildung 118: Ergebnisse der Kapazitätsanalyse am hochrangigen Netz bei 0 % und 80 % C2X, dargestellt im k-v-Diagramm mit Regressionskurve und im q-v-Diagramm mit der Kapazität

Das Bestimmtheitsmaß (R^2) bei der nicht linearen Regression ist hier höher (ca. 0,95) als zuvor beim innerstädtischen Messquerschnitt (ca. 0,71). Auch hier sind im Fundamentaldiagramm die abgegrenzten Bereiche zwischen stabilem und instabilem Verkehrsfluss erkennbar. Die Kapazität beträgt 5145 Kfz/h bei 0 % C2X und 5366 Kfz/h bei 80% C2X. Dies entspricht einer Kapazitätssteigerung von 4,3 % auf dem hochrangigen Straßennetz bei einem Anteil von 80 % an kooperativen Fahrzeugen.

Das deutsche Handbuch zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen [HBS 2009] gibt Kapazitätswerte von 5100 Kfz/h innerhalb bzw. 5400 Kfz/h außerhalb von Ballungsräumen für 3-streifige Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung bei einem Schwerverkehrsanteil von 10 % und Längsneigungen kleiner 2 % an. Das heißt die berechneten Kapazitäten passen gut zu den Werten aus dem HBS.

Netzwerkung hinsichtlich Verkehrseffizienz aufgrund höherer Kapazitäten

Die Kapazitätsanalyse brachte als Ergebnis eine Kapazitätssteigerung von 2,2 % auf Strecken bei einer VLSA bzw. 4,3 % auf dem hochrangigen Straßennetz hervor. Diese höheren Kapazitäten (=geringerer Streckenwiderstand) werden für den 80 % C2X-Fall gemeinsam mit den geringeren Knotenwiderständen (siehe Tabelle 92) in das Modell eingepflegt und der Verkehr für die

jeweilige Stunde umgelegt (13-14 Uhr bzw. 17-18 Uhr). Zur besseren Darstellung wird ein Differenznetz gebildet, das heißt es wird für bestimmte Streckenkenngößen (Auslastung, mittlere Geschwindigkeit) die Differenz gebildet und grafisch dargestellt (siehe Abbildung 119 für die Auslastung bzw. Abbildung 120 für die mittlere Geschwindigkeit). Grüne Strecken bedeuten eine höhere Verkehrseffizienz, braune hingegen sprechen für eine geringere Effizienz bei 80% C2X.

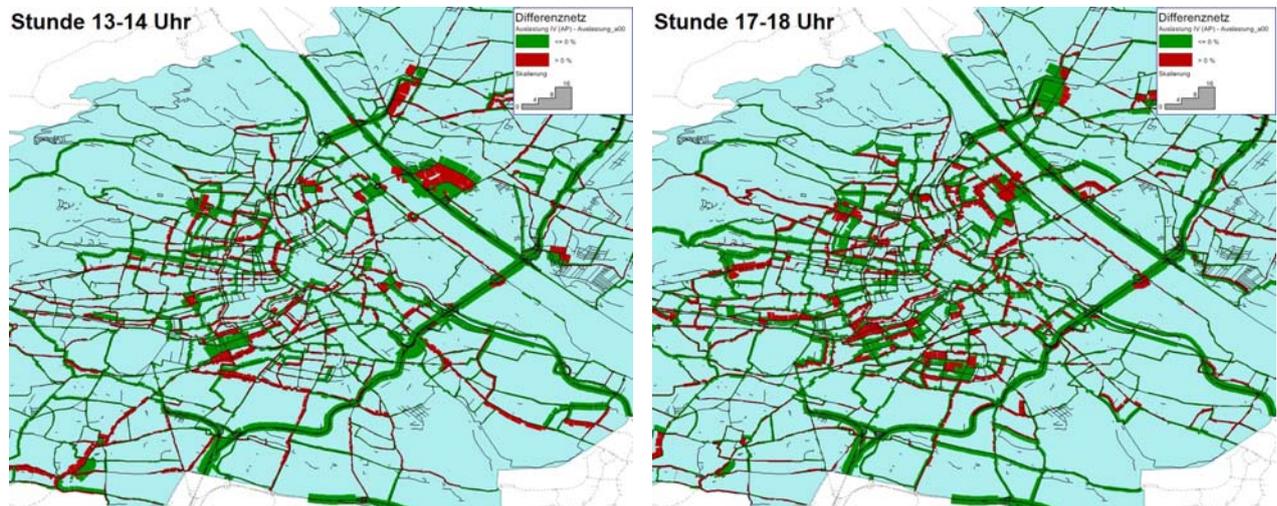


Abbildung 119: Netzauswirkung Streckenauslastung dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr

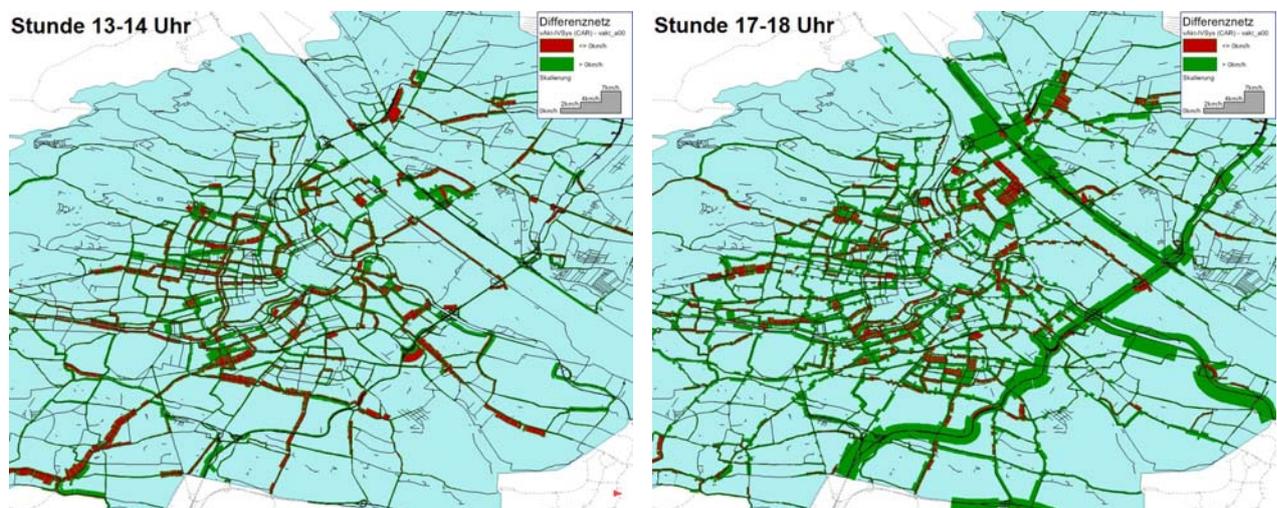


Abbildung 120: Netzauswirkung mittlere Geschwindigkeiten dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr

Es zeigt sich in den Differenznetzdarstellungen, dass ein 80 % Anteil an kooperativen Fahrzeugen unterschiedliche Netzwirkungen hinsichtlich Verkehrseffizienz im städtischen Straßennetz verursacht, ein Teil der Strecken sind grün (höhere Effizienz), ein Teil braun (geringere Effizienz), wobei die positiven Effekte bei der mittleren Geschwindigkeit an mehreren Strecken anzutreffen sind als bei der Auslastung. Im Gegensatz dazu ist die Verkehrseffizienz am hochrangi- gen Straßennetz an beinahe allen Strecken bei 80 % C2X höher als im Nullfall. Der positive Effekt von C2X ist an Autobahn- und Schnellstraßen stärker, die mittleren Streckengeschwindigkeiten sind hier um bis zu 7 km/h größer als im Nullfall.

Um auch quantitativ eine Aussage zu treffen, werden gewisse Netzkenngößen aus der makroskopischen Simulation ausgewertet und miteinander verglichen. Als Indikator wird hier die Reisezeit herangezogen. Tabelle 94 zeigt die Netzwirkung von C2X auf Knoten in Form der Gesamtabbiegezeit aller Fahrzeuge an den VLSA-Kreuzungen. Dabei verringert sich die Gesamtabbiegezeit an VLSA-Knoten bei 80 % C2X um jeweils rund 13 % in den Stunden 13-14 Uhr bzw. 17-18 Uhr im Vergleich zum Nullfall. Dies entspricht einer absoluten Reduktion der Gesamtabbiegezeit um 400-500 [Fz*h] je Zeitscheibe (Auswertestunde).

Tabelle 94: Netzwirkungen von C2X auf Knoten hinsichtlich Verkehrseffizienz (Reisezeit)

Netzwerkung Knoten		Gesamtabbiegezeit
Stunde	Szenario	[Fz*h]
13-14 Uhr	0% C2X	3331
	80% C2X	2908
	vs. 0% C2X	-12.70%
17-18 Uhr	0% C2X	4090
	80% C2X	3562
	vs. 0% C2X	-12.91%

Tabelle 95 stellt die Netzwirkung in Form der Reisezeit auf Strecken sowie auf Strecken und Knoten dar. In der Stunde 17-18 Uhr sind die positiven Effekte stärker ausgeprägt. Die Gesamt-reisezeit verringert sich um 0,6 - 1,0 % auf den Strecken gesamt Wien, bzw. um 1,3 - 2,2 % bezogen auf die Strecken auf denen der Widerstand verändert wurde (entspricht Strecken bei VLSA-Knoten sowie Autobahn- und Schnellstraßenstrecken). Betrachtet man die Gesamt-reisezeit auf Strecken und Knoten, so ergibt sich eine Verringerung um bis zu 4,7 % auf Strecken bei VLSA plus A+S Strecken in der Stunde 17-18 Uhr. Insgesamt ist der positive Effekt von C2X daher bei Knoten stärker als bei Strecken in dieser Auswertung.

Tabelle 95: Netzwirkungen von C2X auf Strecken hinsichtlich Verkehrseffizienz (Reisezeit)

Netzwerkung Strecken [Fz*h]			Nullreisezeit Strecke	Verlustzeit Strecke	Gesamtreisezeit im belasteten Netz	
Stunde	Gebiet	Szenario			Strecke	Strecke + Knoten
13-14 Uhr	Strecken Wien gesamt (2480 km)	0% C2X	15380	5538	20919	24250
		80% C2X	15370	5416	20787	23695
		vs. 0% C2X	-0.07%	-2.20%	-0.63%	-2.29%
	VLSA und A+S Strecken (470 km)	0% C2X	6624	1916	8540	11871
		80% C2X	6633	1794	8427	11335
		vs. 0% C2X	0.14%	-6.37%	-1.32%	-4.52%
17-18 Uhr	Strecken Wien gesamt (2480 km)	0% C2X	19606	12028	31634	35724
		80% C2X	19610	11708	31318	34880
		vs. 0% C2X	0.02%	-2.66%	-1.00%	-2.36%
	VLSA und A+S Strecken (470 km)	0% C2X	8458	4625	13082	17172
		80% C2X	8492	4307	12799	16361
		vs. 0% C2X	0.40%	-6.88%	-2.16%	-4.72%

In einer weiterführenden Analyse werden die Netzwirkungen auf die Straßenkategorien (Streckentypen) im betrachteten Verkehrsnetz bezogen (siehe Tabelle 95). Dabei werden nur die Strecken untersucht an denen der Widerstand verändert wurde (470 km, VLSA und A+S Stre-

cken). Dies entspricht den Strecken an denen kooperative Systeme mit den abgebildeten Szenarien (GLOSA und RWW) direkt wirken. Diese Strecken werden in folgende Kategorien untergliedert, Unterscheidungskriterien sind dabei Verbindungsfunktion, Freifahrtgeschwindigkeit im Modell und Anzahl Fahrstreifen:

- Autobahn und Schnellstraßen (130 km): Netz der ASFINAG (hochrangiges Straßennetz)
- Städtische Hauptverkehrsstrecken (129 km): Freifahrtgeschwindigkeit $v_0 \geq 45$ km/h, mindestens 2 Fahrstreifen pro Richtung
- Städtische Hauptstraßen (35 km): Freifahrtgeschwindigkeit $v_0 \geq 45$ km/h, 1 Fahrstreifen pro Richtung
- Sammelstraßen (176 km): Freifahrtgeschwindigkeit $v_0 < 45$ km/h

Tabelle 96: Streckentypfeine Netzwerke von C2X hinsichtlich Verkehrseffizienz (Reisezeit)

Stunde	Streckentyp und Netzlänge	Szenario	Nullreisezeit Strecke [Fz*h]	Gesamtreisezeit Strecke im belasteten Netz [Fz*h]	Verlustzeit Strecke [Fz*h]	Verlustzeit Strecke pro Kilometer [Fz*h/km]
13-14 Uhr	Autobahn und Schnellstraßen (130 km)	0% C2X	3412	3819	408	3.13
		80% C2X	3391	3732	340	2.61
		vs. 0% C2X	-0.6%	-2.3%	-16.5%	-16.5%
	Städtische Hauptverkehrsstraßen (129 km)	0% C2X	1841	2662	821	6.38
		80% C2X	1863	2657	794	6.17
		vs. 0% C2X	1.2%	-0.2%	-3.4%	-3.4%
	Städtische Hauptstraßen (35 km)	0% C2X	229	353	124	3.60
		80% C2X	232	355	123	3.57
		vs. 0% C2X	1.5%	0.7%	-0.8%	-0.8%
	Sammelstraßen (176 km)	0% C2X	1143	1705	562	3.19
		80% C2X	1147	1684	537	3.05
		vs. 0% C2X	0.4%	-1.3%	-4.5%	-4.5%
17-18 Uhr	Autobahn und Schnellstraßen (130 km)	0% C2X	4475	6029	1554	11.92
		80% C2X	4486	5844	1358	10.42
		vs. 0% C2X	0.2%	-3.1%	-12.6%	-12.6%
	Städtische Hauptverkehrsstraßen (129 km)	0% C2X	2260	3903	1643	12.76
		80% C2X	2279	3862	1583	12.29
		vs. 0% C2X	0.9%	-1.0%	-3.7%	-3.7%
	Städtische Hauptstraßen (35 km)	0% C2X	277	529	252	7.30
		80% C2X	279	525	245	7.11
		vs. 0% C2X	0.8%	-0.8%	-2.6%	-2.6%
	Sammelstraßen (176 km)	0% C2X	1446	2622	1176	6.67
		80% C2X	1448	2569	1121	6.36
		vs. 0% C2X	0.1%	-2.0%	-4.7%	-4.7%

Die streckentypfeine Auswertung zeigt, dass die positiven Wirkungen von C2X bei Autobahnen und Schnellstraßen am größten sind. Die Gesamtreisezeit nimmt an diesen Strecken um 2,3 % (13-14 Uhr) bzw. 3,1 % (17-18 Uhr) im Vergleich zum Nullfall ab. Betrachtet man rein die Verlustzeit (Differenz aus Gesamtreisezeit und Nullreisezeit), so verringert sich diese um 16,5 %

(Stunde 13-14 Uhr) bzw. 12,6 % (Stunde 17-18 Uhr). An den restlichen Straßenkategorien nimmt die Gesamtreisezeit um maximal 2 %, die Verlustreisezeit um maximal 4,7 % im Vergleich zum Nullfall ab (bei Sammelstraßen). Die geringste Wirkung wurde hier bei städtischen Hauptstraßen festgestellt.

5.3 Netzwirkung Umwelt

Mithilfe des Verkehrsmodells der ITS-VR vom Großraum Wien werden die Umweltwirkungen (Schadstoffemissionen) von kooperativen Fahrzeugen auf Netzebene (Gemeindegebiet der Stadt Wien) hochgerechnet. Dies geschieht mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) [Infras GmbH 2010] welches direkt als Version HBEFA 3.1 in die Verkehrsplanungssoftware VISUM Version 12 der PTV AG implementiert ist.

HBEFA stellt Emissionsfaktoren je nach Bezugsjahr für eine Reihe von Schadstoffen differenziert nach Fahrzeugtypen, Emissionskonzepten (Schadstoffklassen Euro 0 bis VI) und Verkehrssituationen zur Verfügung. Bei den Fahrzeugtypen unterscheidet HBEFA zwischen schweren (SNF) und leichten Nutzfahrzeugen (LNF), Pkw, Motorrädern, Linien- und Reisebussen. Aufgrund länderspezifischer Zulassungsstatistiken ist die Flottenzusammensetzung jahresweise bereits gut bekannt. Daher können in HBEFA die Schadstoffe über die Emissionskonzepte bereits aggregiert für jedes Bezugsjahr bestimmt werden.

Wesentliche Verbesserungen in der Aussagequalität von HBEFA 3.1 gegenüber früheren Versionen wurden durch eine Trennung von Straßenkategorie und Verkehrsqualitätsstufe erzielt. Die Straßenkategorie gibt den Typ einer Straße (z. B. Hauptverkehrsstraße mit zulässiger Geschwindigkeit 50 km/h in einer Agglomeration) wider. Der Verkehrsfluss wird durch eine 4-teilige Verkehrsqualitätsstufe (flüssig, dicht, gesättigt, stop&go) abgebildet. Die Verkehrssituation stellt das Kreuzprodukt aus Straßenkategorie und Verkehrsqualitätsstufe dar. Für jede Verkehrssituation und Fahrzeugtyp mit festgelegter Zusammensetzung der Schadstoffklassen werden die Emissionen tabellarisch ermittelt, siehe Tabelle 97 exemplarisch für österreichische Stadtstraßen.

Tabelle 97: Emissionsfaktoren Warm auf Stadtstraßen (Hauptverkehrsstraße 50 km/h und Sammelstraße 50 km/h) für Österreich für Pkw und schwere Nutzfahrzeuge nach HBEFA 3.1

Emissionsfaktoren Warm [g/Fz*km] auf Stadtstraßen für Österreich Bezugsjahr 2010	CO ₂			NO _x		
	Pkw		SNF	Pkw		SNF
	Benzin	Diesel	Diesel	Benzin	Diesel	Diesel
Verkehrssituation						
Agglo/HVS/50/fluessig	152,7	127,4	566,0	0,2140	0,4872	5,5352
Agglo/HVS/50/dicht	177,9	158,4	656,6	0,2696	0,6490	6,5186
Agglo/HVS/50/gesaettigt	183,0	153,6	681,5	0,2689	0,5925	6,8063
Agglo/HVS/50/stop+go	315,5	250,2	1195,9	0,4053	1,0044	12,6918
Agglo/Sammel/50/fluessig	146,7	128,6	561,5	0,2153	0,5004	5,4298
Agglo/Sammel/50/dicht	179,6	159,7	662,3	0,2706	0,6537	6,6099
Agglo/Sammel/50/gesaettigt	190,7	158,5	699,5	0,2773	0,6078	7,0877
Agglo/Sammel/50/stop+go	315,5	250,2	1195,9	0,4053	1,0044	12,6918

HBEFA berechnet die Emissionen für eine homogene Strecke; eine manuelle Berechnung der Emissionen über alle Strecken eines Verkehrsmodells verbietet sich daher aus Aufwandsgründen. In der Verkehrsplanungssoftware VISUM 12 sind die Emissionsfaktoren aus HBEFA 3.1 implementiert [PTV AG 2011]. Jeder Strecke des Verkehrsmodells wurde vorab eine entsprechende Straßenkategorie (z. B. Agglo/HVS/50) zugeordnet. Wie die Emissionswerte aus Tabelle

97 zeigen, verdoppeln sich die Emissionen ungefähr von der besten zur schlechtesten Verkehrsqualitätsstufe. Besonders stark ist der Anstieg vom gesättigten Verkehrsfluss zum Stop&Go. Aufgrund des hohen Einflusses der Verkehrsqualitätsstufe auf die Emissionen muss die vorherrschende Verkehrssituation für jede Strecke des Verkehrsmodells möglichst realistisch identifiziert werden.

Bei der Kopplung eines Verkehrsmodells mit einer Emissionsberechnung nach HBEFA besteht eine Grundaufgabe in einer automatisierten Auswahl der Verkehrsqualitätsstufe aus dem Umlegungsergebnis. In dieser Untersuchung wurde der Streckenauslastungsgrad (Verhältnis Verkehrsstärke zu Kapazität) als Kriterium für die Festlegung der Verkehrsqualität verwendet. Dabei wurden die Standardschwellenwerte in VISUM 12 für die Unterteilung in die Verkehrsqualitätsstufe gewählt:

- Schwelle zwischen freien und dichten Verkehr: 65 % Auslastung
- Schwelle zwischen dichten und gesättigten Verkehr: 85 % Auslastung
- Schwelle zwischen gesättigten und stop&go Verkehr: 100 % Auslastung

Die HBEFA-Implementierung in VISUM 12 erlaubt es auch Kaltstartzuschläge zu berechnen und anschließend zu addieren. Kaltstartemissionen sind höher als Emissionen von Fahrzeugen mit warmem Motor. Für diese Auswertungen wurden jedoch nur warme Emissionen bestimmt, da einerseits die Differenzdarstellung zwischen Nullfall (0 % C2X) und sehr hohem Anteil an kooperativen Fahrzeugen (80 % C2X-Ausstattungsgrad) entscheidend ist (der Kaltstartanteil würde hier keinen Einfluss haben) und andererseits Stundenmodelle dazu neigen den Kaltstartzuschlag zu überschätzen (vgl. [Neuhold et al. 2011]). Als Bezugsjahr für die Emissionsberechnungen wird das Jahr 2013 herangezogen. Folgende Emissionskenngrößen werden mit HBEFA im Verkehrsmodell ermittelt:

- Kraftstoffverbrauch (FC)
- Stickoxide (NO_x)
- Stickstoffmonoxid (NO)
- Kohlendioxid (CO₂)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Kohlenwasserstoffe (HC)
- Feinstaub (PM)
- Partikelanzahl (PN)
- Schwefeldioxid (SO₂)

Die Emissionsberechnungen werden für die beiden Betrachtungszeiträume 13-14 Uhr und 17-18 Uhr für die beiden Szenarien 0 % und 80 % C2X durchgeführt. Abbildung 121 zeigt die Differenznetzdarstellung (8 0% C2X-Fall minus 0 % C2X-Fall) für Kohlendioxidemissionen (CO₂), Abbildung 122 dasselbe für Stickoxide (NO_x).

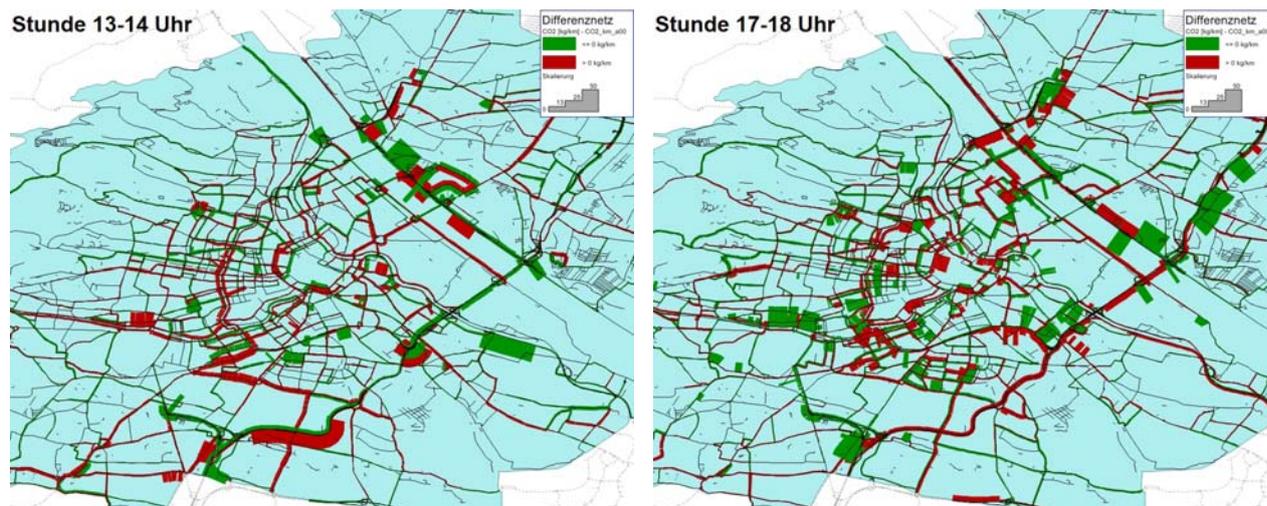


Abbildung 121: Netzauswirkung CO₂-Emissionen dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr

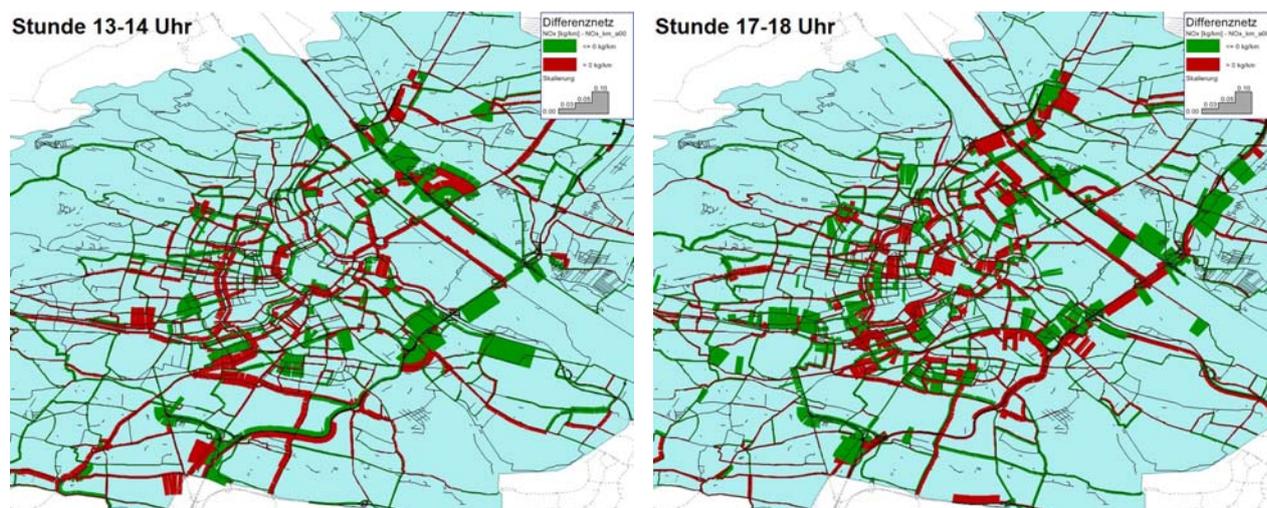


Abbildung 122: Netzauswirkung NO_x-Emissionen dargestellt als Differenznetz (80 % zu 0 % C2X) für die Stunde 13-14 Uhr und 17-18 Uhr

Die Differenznetzdarstellungen zeigen kein einheitliches Bild. Manche Strecken weisen weniger, manche mehr Emissionen bei 80 % C2X auf. Hier ist kein bestimmtes Muster erkennbar. Die größten Abweichungen zwischen 80 % und 0 % C2X-Fall sind auf den Strecken auf der Donauuferautobahn A22, Südosttangente A23 und am Gürtel erkennbar.

Tabelle 98: Netzwirkungen von C2X hinsichtlich Umwelt (Emissionen)

Netzwerkumwelt			CO ₂	NO _x	CO	FC	HC	NO ₂	PM	PN	SO ₂
Stunde	Gebiet	Szenario	[t]	[kg]	[kg]	[t]	[kg]	[kg]	[kg]	*10 ⁻¹⁵	[g]
13-14 Uhr	Strecken Wien gesamt (2480 km)	0% C2X	146.3	429.3	382.3	46.3	32.0	67.5	10.78	11774	741
		80% C2X	146.1	428.0	381.4	46.3	31.8	67.4	10.78	11744	740
		vs. 0% C2X	-0.1%	-0.3%	-0.2%	-0.1%	-0.5%	-0.2%	-0.0%	-0.3%	-0.1%
	VLSA und A+S Strecken (470 km)	0% C2X	80.6	228.1	210.3	25.5	16.3	37.2	6.02	6265	409
		80% C2X	80.3	225.8	209.6	25.4	16.1	37.0	6.00	6210	407
		vs. 0% C2X	-0.4%	-1.0%	-0.4%	-0.4%	-1.7%	-0.6%	-0.3%	-0.9%	-0.4%
17-18 Uhr	Strecken Wien gesamt (2480 km)	0% C2X	190.1	524.5	513.5	60.2	43.7	87.7	13.46	14935	964
		80% C2X	188.7	519.1	509.5	59.8	43.1	86.9	13.36	14805	957
		vs. 0% C2X	-0.7%	-1.0%	-0.8%	-0.7%	-1.4%	-0.8%	-0.7%	-0.9%	-0.7%
	VLSA und A+S Strecken (470 km)	0% C2X	107.6	292.1	287.9	34.1	24.1	49.6	7.67	8320	546
		80% C2X	106.4	287.2	284.3	33.7	23.5	48.9	7.58	8202	539
		vs. 0% C2X	-1.1%	-1.7%	-1.2%	-1.1%	-2.3%	-1.3%	-1.1%	-1.4%	-1.1%

Die tabellarische Auswertung der absoluten Emissionen im Betrachtungsgebiet (Tabelle 98) zeigt bei allen Schadstoffen keine Verschlechterung und nur minimale Verbesserung der Umweltwirkungen aufgrund kooperativer Fahrzeuge. Die Einsparung an Emissionen durch 80% C2X ist in der Stunde 17-18 Uhr stärker ausgeprägt als in der Stunden 13-14 Uhr. Betrachtet man das gesamte Modellnetz in Wien (2480 km) so beträgt die Emissionsreduktion 0,7 % bis 1,4 % (Stunde 17-18 Uhr) bzw. 0,0 % bis 0,5 % (Stunde 13-14 Uhr). Betrachtet man nur die Strecken an denen der Widerstand im Verkehrsmodell aufgrund der kooperativen Fahrzeuge verändert wurde, dann beträgt die Emissionsreduktion 1,1 % bis 2,3 % (Stunde 17-18 Uhr) bzw. 0,3 % bis 1,7 % (Stunde 13-14 Uhr). Das größte Einsparpotential ist bei den Kohlenwasserstoffen (HC) zu beobachten (bis zu 2,3 %).

Ergänzend werden die netzweiten Umweltwirkungen auf den VLSA und A+S Strecken weiterhin nach verschiedenen Straßenkategorien gegliedert (Tabelle 99).

Tabelle 99: Streckentypfeine Netzwirkung von C2X hinsichtlich Umwelt (Emissionen)

Std.	Streckentyp und Netzlänge	Szenario	CO2 [kg/km]	NOX [g/km]	CO [g/km]	FC [kg/km]	HC [g/km]	NO2 [g/km]	PM [g/km]	SO2 [mg/km]
13-14 Uhr	Autobahn und Schnellstraßen (130 km)	0% C2X	372	1007	945	118	69.2	171	28.16	1885
		80% C2X	367	984	934	116	66.6	168	27.88	1862
		vs. 0% C2X	-1.2%	-2.3%	-1.1%	-1.2%	-3.7%	-1.4%	-1.0%	-1.2%
	Städtische Hauptverkehrsstraßen (129 km)	0% C2X	158	468	424	50.1	35.2	72.3	11.47	802
		80% C2X	160	472	427	50.6	35.5	73.0	11.58	810
		vs. 0% C2X	1.0%	0.9%	0.8%	1.0%	0.9%	0.9%	0.9%	1.0%
	Städtische Hauptstraßen (35 km)	0% C2X	76	237	210	24.2	18.1	36.2	5.62	388
		80% C2X	78	240	213	24.6	18.4	36.7	5.69	393
		vs. 0% C2X	1.4%	1.3%	1.3%	1.4%	1.3%	1.3%	1.3%	1.4%
	Sammelstraßen (176 km)	0% C2X	52	161	145	16.4	12.3	24.9	3.84	263
		80% C2X	52	162	145	16.5	12.3	25.0	3.85	264
		vs. 0% C2X	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.3%
17-18 Uhr	Autobahn und Schnellstraßen (130 km)	0% C2X	521	1390	1377	165	113.7	240	37.31	2640
		80% C2X	512	1359	1352	162	110.2	235	36.76	2598
		vs. 0% C2X	-1.6%	-2.3%	-1.8%	-1.6%	-3.1%	-1.7%	-1.5%	-1.6%
	Städtische Hauptverkehrsstraßen (129 km)	0% C2X	194	534	518	61.6	44.5	88.0	13.60	985
		80% C2X	194	530	517	61.3	44.0	87.5	13.52	981
		vs. 0% C2X	-0.4%	-0.8%	-0.3%	-0.4%	-1.1%	-0.6%	-0.5%	-0.4%
	Städtische Hauptstraßen (35 km)	0% C2X	95	271	267	30.0	22.8	44.9	6.73	481
		80% C2X	95	273	268	30.2	22.9	45.1	6.77	483
		vs. 0% C2X	0.5%	0.5%	0.6%	0.5%	0.3%	0.5%	0.6%	0.5%
	Sammelstraßen (176 km)	0% C2X	65	186	185	20.7	15.4	31.0	4.66	331
		80% C2X	65	184	184	20.5	15.3	30.8	4.63	329
		vs. 0% C2X	-0.6%	-0.8%	-0.5%	-0.6%	-0.9%	-0.7%	-0.7%	-0.6%

Der Streckenklassifizierung ist zu entnehmen, dass die Umweltwirkung auf Autobahnen und Schnellstraßen am größten sind. Die Reduktion an Emissionen durch 80 % C2X beträgt hier 1,5 % bis 3,1 % in der Stunde 17-18 Uhr bzw. 1,0 % bis 3,7 % in der Stunde 13-14 Uhr. Bei den restlichen Streckentypen sind in der Stunde 13-14 Uhr die Emissionen sogar minimal höher bei 80 % C2X-Ausstattungsgrad (um 0,2 % bis 1,0 %). In der Stunde 17-18 Uhr ist dies auch bei städtischen Hauptstraßen der Fall (um 0,3 % bis 0,6 % höhere Emissionen bei 80 % C2X-Anteil), während bei städtischen Hauptverkehrsstraßen und Sammelstraßen eine Reduktion um 0,3 % bis 1,1 % bei 80 % Anteil an kooperativen Fahrzeugen zu verzeichnen ist.

5.4 Ausblick: Potential an Kapazitätssteigerung durch künftige Fahrzeugtechnologien

Bei der Kapazitätsanalyse konnten unter den gegebenen Umständen mit den Use Cases „GLOSA“ und „RWW“ lediglich Steigerungen der Kapazität von 2,2 % auf urbanen Strecken (vor einer Lichtsignalanlage) und 4,3 % auf Autobahnstrecken mit der Simulation nachgewiesen werden. Dies liegt zum einen am eingeschränkten Informationsvorsprung kooperativer Fahrzeuge bei den betrachteten Use Cases und zum anderen daran, dass sich die Fahrzeuge bereits innerhalb beeinflusster Netzabschnitte bewegen.

Im städtischen Bereich wird der Verkehrsfluss stark von der Steuerung und Koordination der Lichtsignalanlagen beeinflusst. Am hochrangigen Straßennetz sind die Strecken im Betrachtungsgebiet zur Gänze mit einer Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA) ausgestattet, das heißt der FahrerInnen wird durch die VBA schon über verkehrliche Ereignisse (z. B. Baustellen) informiert, dadurch ist der Informationsvorsprung zwischen kooperativen und nicht kooperativen Fahrzeugen hier nicht so stark ausgeprägt. Aus diesem Grund ist auf Strecken ohne VBA eine höhere Kapazitätssteigerung durch kooperative Fahrzeuge zu erwarten.

Ein weiterer Aspekt betrifft die fahrzeuginternen Steuerungstechniken (Fahrerassistenzsysteme) die künftig vermehrt zum Einsatz in marktüblichen Fahrzeugen kommen werden. Aufgrund eines unterschiedlichen Fahrverhaltens (z. B. geringere Fahrzeugfolgelücken durch automatische Abstandsregelung, ACC) sind mit diesen Systemen weitere Kapazitätssteigerungen zu erwarten. Das Endstadium dieser künftigen Fahrerassistenzsysteme sind autonome Fahrzeuge die sich völlig automatisch (fahrerlos) im Verkehrsnetz bewegen. Schematisch ist das mögliche Potential der Kapazitätssteigerung durch künftige Entwicklungen in der Fahrzeug- und V2I-Technologie in Abbildung 123 dargestellt.

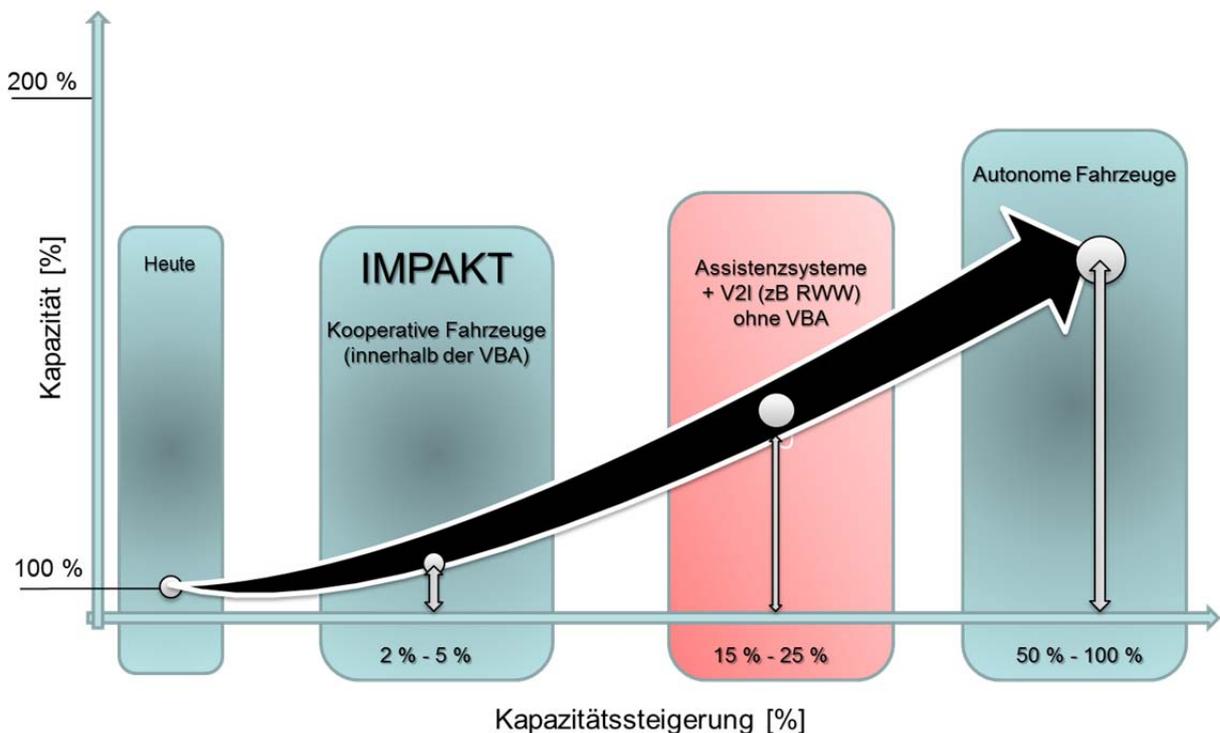


Abbildung 123: Potential der Kapazitätssteigerung durch künftige Fahrzeugtechnologien

Das Potential autonomer Fahrzeuge wird gerade in dem laufenden Forschungsprojekt AVESTRA (Analyse von autonomen Verkehrssystemen im städtischen Raum) von der TU Graz in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum ViF (Das virtuelle Fahrzeug) untersucht. Erste Simulationen ergaben hier eine Kapazitätssteigerung über 50 % auf freier Strecke. Eine Markteinführung von autonomen Fahrzeugen ist jedoch in näherer Zukunft zumindest im mitteleuropäischen Raum nicht abzusehen, vor allem aufgrund vieler offener juristischer Fragestellungen die das fahrerlose Fahren mit sich bringt.

Ein Zukunftsszenario welches durchaus schneller in das Fahrzeugkollektiv integriert werden könnte, sind Fahrerassistenzsysteme in Kombination mit Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Kommunikation. Daher wird dieser Fall (rot markiert in Abbildung 123) als Ergänzung hier näher betrachtet und auch versuchsweise simuliert. Dazu wird das Simulationsszenario „RWW“ herangezogen. Für das Fahrverhalten der kooperativen Fahrzeuge mit Fahrerassistenzsystemen werden folgende Annahmen getroffen:

- Änderung des Fahrzeugfolgeverhalten (dabei wurde z. B. der Folgeabstand auf 0,5 s reduziert sowie weitere Folgeparameter angepasst)
- Änderung des Spurwechselverhaltens (dabei wurde z. B. die minimale Nettoweglücke auf 0,3 m reduziert sowie weitere Spurwechselfparameter angepasst)

Für die Kapazitätsanalyse wird die gleiche Methodik mit derselben Verkehrsnachfrage aus Kapitel 5.2 angewendet. Es wird dabei der 3-streifige Querschnitt MQ_A04_2_008.700 nach der Baustelle betrachtet, da gerade stromabwärts durch die effizientere Verflechtung vor dem Baustellenbereich (Verengung von 3 auf 2 Fahrstreifen) eine höhere Kapazitätssteigerung zu erwarten ist. Tabelle 100 zeigt die errechnete Kapazität im Vergleich zum Nullfall (0 % kooperative Fahrzeuge, keine Fahrerassistenzsysteme) für den Querschnitt MQ_A04_2_008.700.

Tabelle 100: Simulierte Kapazitätssteigerung durch 80% C2X mit Fahrerassistenzsystemen

Kapazität am Messquerschnitt [Kfz/h]	MQ_A04_2_008.700
Nullfall: 0% C2X, keine Fahrerassistenzsysteme	3996
Planfall: 80% C2X + Fahrerassistenzsysteme	5231
Kapazitätssteigerung zum Nullfall	31 %

Die versuchsweise Simulation des Planfalles 80 % kooperative Fahrzeuge in Kombination mit Fahrerassistenzsystemen ergab hier eine Kapazitätssteigerung von 31 % am stromabwärts liegenden Querschnitt (nach der simulierten Baustelle) im Vergleich zum Nullfall. Zu berücksichtigen ist, dass diese Steigerung auf starke Annahmen hinsichtlich des Fahrverhaltens durch Fahrerassistenzsysteme beruht, dennoch zeigt es das Potential dieses Planfalles auf.

6 Evaluierung der Usability – Benutzerakzeptanz

Intelligente Transport- und Informationssysteme zielen darauf ab, die VerkehrsteilnehmerInnen in den Verkehrsmanagementprozess so einzubinden, um insgesamt einen effizienten, sicheren und umweltfreundlichen Verkehrsablauf gestalten zu können. Der entscheidende Punkt dabei ist, den VerkehrsteilnehmerInnen jene Informationen zur Verfügung zu stellen, die deren Verhalten so beeinflussen, dass dieses Verhalten mit den Erfordernissen des Verkehrsmanagements übereinstimmt. Das ist aber jene Information, die aus den vorherigen Kapiteln generiert werden kann. Die andere Seite ist, wie der VerkehrsteilnehmerInnen diese Information aufnimmt und wie sie oder er sich auf Grund dieser Information verhält. Dass dieses Akzeptanz- und Usability-Verhalten nicht nur logisch-rational bedingt ist, erhöht die Komplexität dieses Informationsprozesses entsprechend, denn es stellt sich hier schon die erste Frage, ob die Verkehrsinformation alleine die gewünschte Verhaltensänderung hervorrufen kann.

Abbildung 124 zeigt die Komplexität der menschlichen Informationsverarbeitung auch im Schema eines Regelkreises. Diese beginnt mit der Sinneserfassung und deren Kurzzeitspeicherung, gefolgt von der Wahrnehmung. Diese teilt sich dann auf in das Langzeitgedächtnis und das Kurzzeitgedächtnis mit dem bewussten Erkennen. Daraus ergeben sich die Reaktionsauswahl und die Reaktionsausführung. Dieser ganze Prozess ist aber noch vom Grad der Aufmerksamkeit und von der Umgebung abhängig.

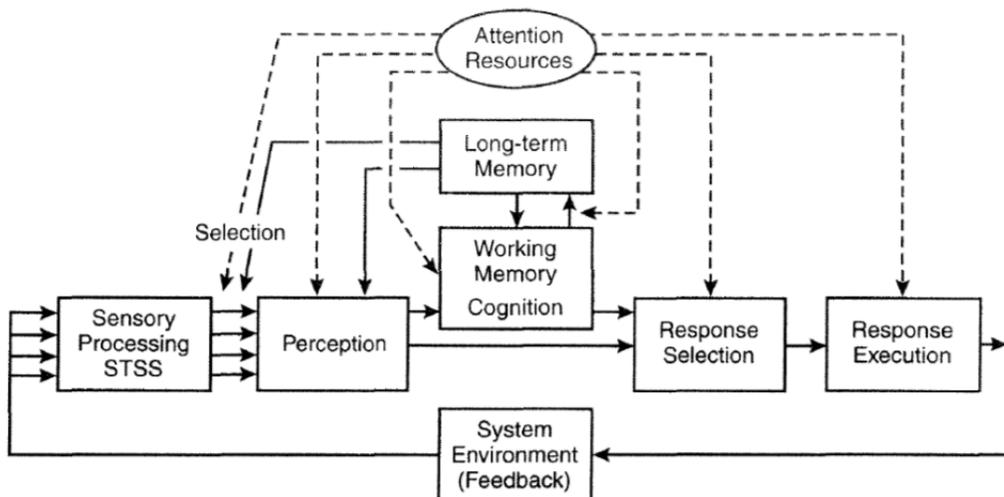


Abbildung 124: Ein Modell für die verschiedenen Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung (STSS: Short-Term-Sensory Store, Quelle: Wickens Ch., Hollands J. 2000, Engineering Psychology and Human Performance, 3rd Edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey.)

Auf Grund der Komplexität dieses Informationsapparates, wurde die Analyse auf die „bewusste Informationsverarbeitung“ und deren „Reaktion“ gelegt. Die bewusste Informationsverarbeitung und die Reaktion bedeutet für Testfeld Telematik Austria und IMPAKT:

- die Informationsbereitstellung via Tablet oder Smartphone,
- die Erfassung des Fahrerverhaltens via GPS-Messungen und späterer Integration in die Verkehrssimulation, und
- die Erfassung der Qualität der Information via Fragebogen.

Die Erfassung dieser Bereiche lassen sich dann zur Usability oder Benutzerakzeptanz zusammenfassen, womit die Auswirkungen der ITS auf das Fahrerverhalten quantitativ abgeschätzt werden kann.

6.1 Versuchsdesign

Ein Ziel von IMPAKT war die Untersuchung und der Nachweis der Benutzerakzeptanz und Gewöhnungseffekte der Informationstechnologien und –dienste (services) im Fahrer- und Mobilitätsverhalten und deren technisch-wirtschaftliche Nutzung. Bezugnehmend auf die IMPAKT-Methodik lassen sich hier die Einordnung der Information / Akzeptanz / Verkehrsverhalten auf den drei Ebenen wie folgt treffen (siehe Tabelle 101): Die Informationsdienste zu den sog. Incidences, oder Zwischen- bzw. Unfällen finden sich auf der mikroskopischen Ebene und die eine unmittelbare Reaktion fordern. Diese umfassen auch die meisten Dienste wie Hazardous location notification, Traffic jam ahead warning oder Road works warning. Auf der mesoskopischen Ebene finden sich z. B. der Use Case Traffic information and recommended itinerary (alternative routes), der eine mittelbare und nicht zwingende Reaktion bedingt. Auf der makroskopischen Ebene finden sich dann Weather Warning oder Information on flight delays oder Traffic situation, die eine Reaktion auch bezüglich der Verkehrsmittelwahl zulässt. Diese verschiedenen Anforderungen bedingen aber auch verschiedene Erhebungsmethoden, die im Folgenden beschrieben werden.

Tabelle 101: Information, Akzeptanz, Verkehrsverhalten hierarchisch aufgeteilt.

	Information / Akzeptanz	Verkehrsmäßiges Verhalten
Makro	Pre-trip oder Post-trip Information mit einer langfristiger Akzeptanz	Veränderung des Wegeverhaltens oder der Verkehrsmittelwahl
Meso	On-Route Information mit mittelfristiger, optionaler Akzeptanz	Routenänderung oder Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel während einer Fahrt
Mikro	On-Route Information mit kurzfristiger, unmittelbarer Akzeptanz	Reaktion auf einen stromaufwärts stattgefundenen Vorfall, der eine Änderung der Fahrgeschwindigkeit oder Fahrstreifenwechsel früher als ohne ein kooperatives System bewirkt

6.1.1 Nutzerakzeptanz und Befragungsmethodik

Nutzerakzeptanz kann auf verschiedenen Arten erhoben werden. Die wichtigsten Ansätze beziehen sich auf die statischen Methoden für das Auswahl bzw. Entscheidungsverhalten entsprechend der „revealed“ oder „stated preference“. Die „revealed preference“ wird anhand der erhobenen Fahrverhaltensdaten und des Fragebogens mittels Erfahrungswerten abgedeckt. Die „stated preference“ wird zusätzlich mit Hilfe von Fragebögen und den Erwartungen oder Einschätzungen erhoben.

Von der inhaltlichen Befragung kann die technologisch-wirtschaftliche Nutzerakzeptanz mit dem UTAUT-Modell (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology) analysiert werden, das eines der meist verwendeten Ansätze in der Verwendungsbeurteilung der Informationssysteme ist (Abbildung 125).

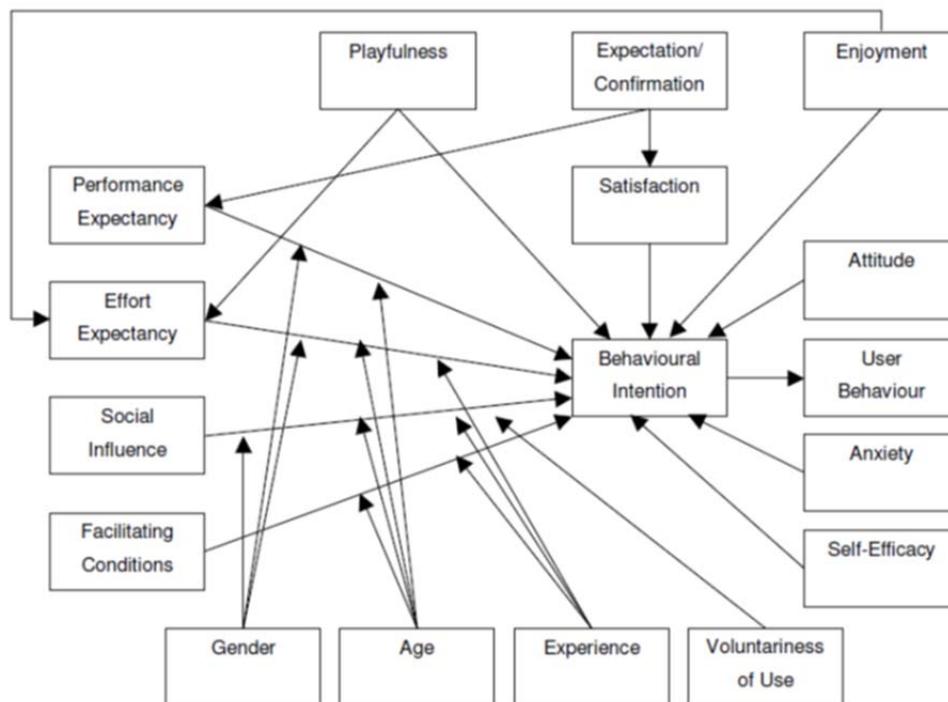


Abbildung 125: Adaptiertes Akzeptanzmodell - UTAUT (Quelle: In Anlehnung an Venkatesh/Morris/Davis/Davis 2003)

Venkatesh/Morris/Davis/Davis entwickelten das UTAUT Modell aus dem TAM Konzept (Technology-Acceptance-Model) und in Kombination mit anderen Modellen, die Verhaltensabsicht (Intention) bzw. das Verhalten (Behaviour) selbst zu erklären versuchen (vgl. Venkatesh/Morris/Davis/Davis 2003). Gender, Age, Experience und Voluntariness Of Use werden als unabhängige Variablen oder als sog. Moderatoren betrachtet. Speziell mit Voluntariness Of Use zeigt sich eine prinzipielle Anforderung, dass die Versuchsteilnehmer in keiner Weise voreingenommen sein sollten, eine Bedingung, die z. B. in Zusammenhang mit einer Versuchsaufwandentschädigung oder mit „Friendly User Tests“ schwierig zu vereinbaren ist. Daher wird diese Variable meist von den Untersuchungen sehr tolerant behandelt.

Die vier Hauptindikatoren der Benutzerakzeptanz sind:

- Performance Expectancy
- Effort Expectancy
- Social Influence
- Facilitating Conditions

Diese resultieren aus einer Reihe von vordefinierten und validierten Befragungsvariablen und werden daher auch als Konstrukte bezeichnet. Diese vier Hauptfaktoren ergeben zusammen die Behavioural Intention oder die Verhaltensabsicht bzw. das tatsächliche User Behaviour oder Nutzerverhalten. Damit gibt es eine prinzipielle Übereinstimmung mit dem Wickens/Holland-Modell (Wickens, et. al. 2000) von Response Selection und Response Execution (Abbildung 124). Es ließen sich noch mehr Parallelen mit anderen Variablen, wie Attitude, Anxiety oder Expectation, die Teile des Longterm Memory sind, ziehen, aber diese Nebeneinanderstellung soll zeigen, wie beide Modelle sich ergänzen: UTAUT behandelt hauptsächlich die bewußten und rationalen Faktoren, während Wickens/Holland den Informationsprozess auch mit den unbewußten und physiologischen Faktoren darstellt.

Die technologische Interaktion wird im UTAUT-Modell mit den folgenden Konstrukten beschrieben:

- Playfulness
- Expectation/Confirmation
- Satisfaction
- Enjoyment

Da das In-Vehicle-Informationssystem ausschließlich zur Verkehrsinformation dient, ist keine unmittelbare Interaktion notwendig, d. h. das Konstrukt Playfulness, als eine individuelle, spontane Interaktion, wird in seiner Ausprägung beschränkt. Von größerer Aussagekraft in IMPAKT sind in diesem Zusammenhang, Satisfaction und Enjoyment, welche sich bei einer ansprechenden Anwendung des Informationssystem positiv auswirken.

Expectation (Erwartung)/Confirmation (Bestätigung) bzw. Satisfaction, die eine emotionalen Reaktion nach der Verwendung beschreibt, werden zeitlich unterschiedlich mit einen Vorher- und Nachher-Fragebogen erhoben. Dies stellt eine Grundbedingung an die Testmethodik, d. h. es muss gewährleistet werden, dass beide Fragebögen bei denselben Personen durchgeführt werden.

6.1.1.1 Fragebogenerstellung

Wie schon oben erwähnt, sind die Fragen in UTAUT vordefiniert und validiert und daher ist der Spielraum für die Fragengestaltung limitiert. Andererseits haben aber die Projektpartner, und die Industriepartner, zusätzliche Anforderungen. Daher wurde versucht, einen Zusammenhang zwischen Nutzerevaluierungsindikatoren, Forschungsfragen und Fragebogen herzustellen. Beispiele für die Indikatoren, Forschungsfragen und daraus ableitend die Fragen an die TestfahrerInnen sind in Anhang A5 aufgelistet. Wie bei der Fahrerauswahl, sind verschiedene Anforderungen, die der Fragenkatalog erfüllen muss, d. h. methodisch-wissenschaftliche Fragen, verkehrssicherheitsrelevante Fragen und Fragen, die für die TT-Industriepartner von Bedeutung für die Weiterentwicklung sind. Diese Aspekte waren entscheidend für die endgültige Zusammenstellung der Fragebögen.

6.1.1.2 Unmittelbares Feedback (Satisfaction/Confirmation)

Um eine unmittelbares Feedback nach einer Fahrt zu erhalten, wurde ein sehr kurzer Fragebogen entworfen, der innerhalb von 15 bis 30 sek beantwortet werden konnte und der daher nur wenige Fragen umfasste. Dieser Fragebogen wird aber nach jeder Fahrt gestellt und daher ergibt sich ein wesentlich genaueres Bild und damit eine höhere Aussagekraft für die Qualität der Informationsdienste und deren zeitlicher und räumlicher Relevanz. Außerdem bekommt man qualitative Informationen, wie der Zweck der Fahrt, die sonst sehr schwer zu erfassen sind. Die einzelnen Fragen werden im Kapitel 6.2 gelistet und ausgewertet.

6.1.1.3 ÖV-Daten und P+R-Daten

In Wien werden alljährlich eine Haushalts- bzw. eine Fahrgastbefragung durch die Wiener Linien durchgeführt. Diese Erhebung dient als Grundlage für das allgemeinen Mobilitätsverhalten in der Stadt und in deren näheren Umgebung. Sie umfasst allen Verkehrsmodi, also nicht nur dem Öffentlichen Verkehr und gibt somit einen allgemeinen Überblick und einen übergeordneten Bezug zum Verkehrsverhalten.

Der Fokus im Projekt IMPAKT liegt auf Grund der Vorgaben im Testfeld Telematik Austria vorrangig auf dem motorisierten Individualverkehr. Ein Ziel von IMPAKT ist aber, eine Wirkungsanalyse des komodalen Konzeptes der Verkehrsdienste und deren verkehrsübergreifende Wirkung auf die Nutzerakzeptanz zu erstellen. Eine derartige Analyse sollte daher eine Potentialabschätzung liefern, die sich einerseits auf das tatsächliche Verkehrsverhalten und andererseits auf die Nutzerbefragungen stützt. Für die Darstellung des tatsächlichen Verkehrsverhaltens werden daher Daten der Haushaltsbefragung benötigt. Mit der Gegenüberstellung der Nutzbefragung können somit die Potentiale für einen Umstieg von MIV auf ÖV ermittelt werden, bzw. Faktoren bestimmt werden, die für eine detaillierte Beurteilung erforderlich sind.

In IMPAKT ergibt sich auf Grund der hierarchischen Gliederung der Analysemethoden noch ein zusätzlicher Aspekt: So könnten die individuelle, subjektive, also mikroskopische Einschätzung der stated preference mit den tatsächlich gegebenen Alternativen, also der „revealed alternatives“, die als individueller Wert zu spezifischen Zeitpunkt aus dem makroskopischen Verkehrsmodellen abgeleitet wird, verglichen werden. Damit ließen sich Aussagen z. B. zur Selbsteinschätzung oder zum Zustand oder Möglichkeiten der Verkehrsinformationen, treffen. Aber damit ist eine entsprechende Befragung des täglichen Mobilitätsverhaltens auch verbunden. Generell könnten auch Mobilitätsdaten aus Haushaltsbefragungen dafür herangezogen werden, wie sie z. B. bei den Wiener Linien oder Land Niederösterreich durchgeführt werden. Der Erhebungsfragebogen der Haushaltsbefragung wurde IMPAKT seitens der Wiener Linien zur Verfügung gestellt, aber die Daten wurden dann aus betriebsinternen Gründen nicht bereitgestellt und daher konnten diese Ansätze nicht weiter verfolgt werden.

6.1.2 Auswahl der Nutzergruppen

Um Effekte auf allen drei Ebenen der Tabelle 105 feststellen zu können, bedarf es einer umfangreichen Stichprobengröße und eines entsprechend langen Versuchszeitraumes. In Abstimmung mit dem TTA wurde eine Versuchsmethodik für mehr als 2000 Test-User entwickelt. Die Anforderungen an die Stichprobenauswahl waren einerseits, dass sie der Bevölkerung entsprechen und andererseits gab es noch verschiedene Anforderungen der TT-Industriepartner, wobei spezielle Fragestellungen beantwortet werden sollten.

Die Auswahl der Nutzergruppen ergibt sich aus den der unabhängigen Variablen von UTAUT: Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung mit tatsächliches Fahren im Testgebiet. Um eine einfache Zuordnung treffen zu können, ergibt sich vier Altersgruppen: 18 - 29, 30 – 45, 46 – 59 und 60+ (siehe Tabelle 102). Weitere Gründe für diese Verteilung ergeben sich aus der Sicht der Verkehrssicherheit, wo die Risikogruppen jene unter 30 und über 60 sind bzw. aus praktischen Gründen, wo nur eine bestimmte Anzahl an Informationsgeräten zur Verfügung stand.

Tabelle 102: Bevölkerungsverteilung nach Alter und Geschlecht (STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus 2010).

Altersverteilung	18 - 29	30 - 45	46 - 59	60+
gesamt	19 %	29 %	24 %	28 %
Nach Geschlecht				
männlich	20 %	30 %	25 %	25 %
weiblich	18 %	28 %	23 %	31 %

Um die Lenkerverteilung bzw. die Fahrerfahrung in die Stichprobenauswahl einzubeziehen, müsste die tatsächliche Verteilung der LenkerInnen bekannt sein. Nachdem aber diese Daten bei der Statistik Austria nicht vorliegen, wird die Verteilung der Verkehrsmittelwahl aus LenkerInnen

und MitfahrerIn (Tabelle 103) verwendet. In Tabelle 103 sind auch die BenutzerInnen öffentlicher Verkehrsmittel enthalten, denn es sollte ja auch ein Park&Ride-Use Case evaluiert werden und daher war es notwendig, eine Größenordnung dieser Personengruppe zu haben. Unter Berücksichtigung der Alters- und Geschlechterverteilung ergeben sich die Prozentanteile von Tabelle 103.

Tabelle 103: Verkehrsmittelwahl nach Alter und Geschlecht (Q: STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus Umweltbedingungen - Umweltverhalten 4. Quartal 2007. Erstellt am: 20.04.2009.)

Gliederungsmerkmale	Personen über 15 Jahre insgesamt	Wie häufig nutzen Sie bei Ihren täglichen Wegen die folgenden Verkehrsmittel?											
		Bahn, Bus, Straßenbahnen, U-Bahn						Benutzung des Autos (LenkerIn oder MitfahrerIn)					
		täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	seltener	nie	weiß nicht/keine Angabe	täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	seltener	nie	weiß nicht/keine Angabe
		in Prozent											
Gesamt	6.948.650	16,9	11,1	7,7	22,0	41,9	0,3	38,6	31,5	13,2	9,0	7,5	0,3
Geschlecht													
Männlich	3.360.364	15,9	9,6	6,6	22,5	45,2	0,4	47,9	28,1	9,7	7,1	6,9	0,3
Weiblich	3.588.286	17,9	12,6	8,7	21,6	38,9	0,3	29,8	34,6	16,5	10,8	8,1	0,2
Alter													
Bis unter 20 Jahre	496.933	53,6	14,8	4,1	10,3	16,7	0,5	26,5	42,0	11,9	8,0	11,5	0,1
20 bis unter 30 Jahre	1.051.119	25,0	10,5	6,5	18,9	39,0	0,1	45,1	27,3	11,5	7,7	8,3	0,1
30 bis unter 40 Jahre	1.202.334	14,7	10,1	6,2	20,4	48,4	0,2	53,1	26,5	9,4	6,1	4,7	0,2
40 bis unter 50 Jahre	1.365.894	15,9	7,7	6,2	21,6	48,3	0,3	53,1	26,3	8,7	6,0	5,6	0,3
50 bis unter 60 Jahre	1.035.860	13,1	9,4	6,6	24,4	46,1	0,4	42,7	30,8	11,8	7,8	6,5	0,4
60 bis unter 70 Jahre	894.040	6,0	13,9	11,6	28,3	39,9	0,4	22,1	44,7	16,7	10,1	6,1	0,4
70 und mehr Jahre	902.470	7,0	15,7	12,8	25,8	38,2	0,5	7,6	32,6	26,0	19,8	13,5	0,4

6.1.3 Versuchsplan für das Testfeld Telematik Austria

Für die praktische Versuchsdurchführung sind noch andere Faktoren maßgebend, die den endgültigen Versuchsplan bestimmen. Einer dieser Faktoren ist die Art des Informationsgerätes:

- ein Standard-Navigationsgerät oder ein Tablet,
- ein Smartphone mit einer App.

Diese Auswahl umfasst die derzeit üblichen Informationssysteme. Die Standard-Navigationsgeräte werden seitens TTA den TestfahrerInnen zur Verfügung gestellt, während bei der Smartphone-Variante nur die App als Download zur Verfügung gestellt werden muss, und daher kein zusätzlicher Geräteaufwand entsteht. Die einzige Einschränkung dabei ist, dass das Smartphone des Nutzers oder der Nutzerin die technischen Voraussetzungen für die App erfüllen muss.

Ein weiterer Unterschied für die Versuchsdurchführung ergibt sich durch die Kenntnis der Fahrerperson:

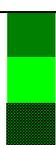
- Bei den Navi-NutzerInnen muss das Gerät ins Auto eingebaut werden und daher kann angenommen werden, dass das Gerät fast immer funktioniert. Die Versuchszeit ist mit der Bereitstellungszeit des Gerätes begrenzt. Mit der Bereitstellung des Fahrzeugs ist damit die Person und deren Daten bekannt und diese werden auch auf die Richtigkeit überprüft. Außerdem wird diese Person vollständig am Versuch teilnehmen und alle Stufen des Versuchs durchlaufen. Ob nur immer diese Person mit dem Fahrzeug fährt, und es daher durch eine andere Person zu unterschiedlichen Fahrverhalten kommt, ist eine weitere Frage, aber durch den persönlichen Kontakt kann angenommen werden, dass auch hier korrekte Angaben gegeben werden. Daher ergibt sich ein hohes Maß der Korrektheit der Ausgangsdaten, welche eine Grundvoraussetzung für die Analysen sind.
- App-NutzerInnen müssen sich für den Download der App registrieren, und sie oder er kann die Services über die ganze Projektdauer nutzen, daher ist eine umfassende Langzeitdatenerhebung möglich. Es fehlt aber die Überprüfbarkeit der korrekten Information zur Person. Das Gleiche gilt auch für das Durchlaufen der verschiedenen Versuchsstufen, d. h. das Ausfüllen der Fragebogen. Ähnliches gilt auch für die Funktionstüchtigkeit des Smartphones, das nicht immer die entsprechende Energieversorgung hat bzw. es muss das App nicht immer gestartet sein. Das Smartphone ist aber ein sehr persönliches Gerät und daher kann angenommen werden, dass z. B. die GPS-Aufzeichnungen immer von derselben Person getätigt werden, obwohl vielleicht unterschiedliche Fahrzeuge verwendet werden können. Insgesamt ergibt sich ein niedriges Maß der Korrektheit der Ausgangsdaten und somit statistisch gesehen ein systematischer Fehler, der auf der individuellen Ebene nicht oder nur sehr schwer korrigiert werden kann.

Auf Grund dieser Überlegungen wurde die Versuchsdurchführung wie in Tabelle 104 entworfen. Laut Evaluierungsmethodik ergibt sich grundsätzlich aus UTAUT mit Expectation / Confirmation, dass zuerst der sog. Null-Zustand erhoben werden muss, der als Referenz dient, und das nicht nur für die Fragebogenabfrage, sondern auch für das Fahrverhalten. Daher werden die Tests im ersten Versuchsabschnitt ohne Informationsdienste und im zweiten mit Informationsdienst durchgeführt. Im späteren Verlauf können dann die Dienste je nach Erfordernissen geschaltet werden. Z. B. um Gewöhnungseffekte festzustellen, könnten die Informationsdienste für eine Zeit abgestellt werden und dann wieder eingeschaltet werden.

Für eine erfolgreiche Versuchsdurchführung ist ein umfassendes Pre-Testing notwendig (siehe Tabelle 104). Dieses sollte mit Friendly User Tests durchgeführt werden, d. h. MitarbeiterInnen des Projektteams oder der beteiligten Partner durchlaufen alle Versuchsstufen. Dies war mit mindestens 10 Testpersonen vorgesehen. Damit ergibt sich eine Rückmeldung auf die ganze Prozesskette inklusive der Datenerhebung und der Informationsbereitstellung. Nach einer erfolgreichen Pretestphase konnte der Versuch für die weiteren NutzerInnen beginnen.

Tabelle 104: IMPAKT-Testplan für das Testfeld Telematik Austria

IMPAKT	Projektstart	1. Workshop Erfahrung anderer Testfelder		Pretest		Bestätigung der Versuchsmethodik		Testdaten und Datenstruktur		Erste Testdaten	Evaluiierung der Testmethodik	Bestätigung des Feldtestes											Spätestes Ende des FOTs	Projektende
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10 Testfahrzeuge		mit Diensten	mit Diensten	mit Diensten	mit Diensten	mit Diensten	mit Diensten	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste			
Applet-User				mit Diensten	mit Diensten	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste			
300 TestfahrerInnen					mit Diensten	mit Diensten	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste	mit/ohne Dienste			



- mit Diensten
- ohne Dienste
- mit/ohne Dienste

6.1.4 Matrix zur Nutzeranalyse

Methodisch lassen sich jetzt die verschiedenen Teilbereiche wieder zur IMPAKT-Matrix (Tabelle 105) zusammenfügen, und geben damit einen Überblick über die verschiedenen Anforderungen an die Daten, Tools und Modelle und deren möglichen Aussagen in Form der Indikatoren. Im Folgenden wird der aktuelle Versuch im TTA analysiert und dargestellt.

Tabelle 105: IMPAKT -Matrix der Nutzeranalyse

	Ziele	Daten	Tools, Modelle	Indikatoren
Makro	Ermittlung des modal shift-Potentials	Mobilitätsdaten, ITS-Vienna Region	Statistische Analyse, Verkehrsmodelle	Reisezeit-Potentialanalyse mit Vergleich MIV vs MIV+ÖV, ÖV
Meso	Bestimmung der Ziel- & Usergruppen	Gruppierung der Fragen	UTAUT – Fragebogenanalyse – Fahrerverhaltensanalyse auf aggregierter Basis	Mittelbare Performance Erwartung Erfahrung Einstellung Sozialer Einfluss – Verhaltens-einschätzung
Mikro	Nutzerverhalten, -akzeptanz, Gewöhnungseffekte	Fragen aus Online-/App-Fragebogen, GPS-Tracks,	Nutzerakzeptanzanalyse auf Basis der Einzelperson	Un-/Mittelbare Performance Erwartung Erfahrung Einstellung Sozialer Einfluss Verhaltenseinschätzung Selbsteinschätzung

6.2 Testfeldversuchsauswertung

6.2.1 Daten und Datenstruktur

Die Testfahrversuche wurden von Testfeld Telematik Austria durchgeführt und geleitet. Aus zeitlichen, entwicklungstechnischen Gründen konnten nur erweiterte Friendly User Tests durchgeführt werden, und zwar mit einem erweiterten Pool von 10 Frauen und 67 Männern, die 513 Fahrten absolvierten. Bei den Tests wurden die App und eine von der App abgeleitete Version bei den Tablets eingesetzt, die es ermöglichen, beiden Gruppen für die Ausarbeitung als eine zu betrachten.

Die finale Entscheidung über die Fragebogenformulierung und -gestaltung, die Datenerfassung und Datenaufbereitung lag beim TTA. IMPAKT hat nach der Versuchsdurchführung diese Datenfiles zur Verfügung gestellt bekommen.

Die Daten umfassten:

- Die Fragebögen:
 - Fragebogen zum Mobilitätsverhalten in der APP- und Tabletversion
 - Fragebogen zu Ihren Erfahrungen in der APP- und Tabletversion
 - Der nach jeder Fahrt gestellte Pop-up-Fragebogen
- Die Datensätze
 - Die Datensätze zu den Mobilitätsverhalten von App und Tablet
 - Die Datensätze zum Nutzerfeedback von App und Tablet
 - Den Datensatz zu den Pop-up-Fragen
 - Den Datensatz zu den durchgeführten Fahrten

Die Datenstruktur war so aufgebaut, dass über die folgenden drei Identifikationsnummern oder sog. Identifikationsschlüssel alle Daten eindeutig und konsistent miteinander verbunden werden konnten:

- Die FahrerInnenidentifikationsnummer
- Die Identifikationsnummer des verwendeten Tablet oder Smartphones
- Die laufenden Fahrtennummer

Mindestens eine oder zwei dieser Identifikationsnummern mussten in den jeweiligen Datensätzen enthalten sein. Tabelle 106 zeigt eine Analyse der erhobenen Daten, deren Übereinstimmung zwischen Mobilitäts- und Nutzerfragebogen und die Aufteilung bezüglich Geschlecht und das Durchschnittsalter. In den Fragebögen sind insgesamt 98 Einträge, d. h. im Vergleich zu den 77 Testpersonen, gibt es hier zusätzliche Einträge, die z. B. aus dem mehrmaligen Aufruf der Fragebögen beim Ausfüllen entstanden sein könnten. Wenn man die Übereinstimmung der Fahreridentifikationsnummern überprüft, so kommt man insgesamt auf 23 Übereinstimmungen, 4 Frauen und 19 Männer, die in dem Mobilitäts- und Nutzerfeedbackfragebögen und in 382 Pop-up-Fragebögen aufscheinen.

Der Datensatz zu den Fahrten oder Tracks (Tabelle 107) enthält 514 Einträge und ausschließlich Nachrichten zur Roadworks und zum In-Vehicle-Signing (IVS). Es kommt natürlich in der Pretesting-Phase vor, dass das System gestartet wird und dass dann keine Fahrt durchgeführt

wurde. Daher wurde als Plausibilisierungsmaß die Durchschnittsgeschwindigkeit genommen, wobei als realistisches Maß die Geschwindigkeit zwischen 10 km/h und 90 km/h genommen wurde. Unter Berücksichtigung dieses Kriteriums ergeben sich 286 realistische Fahrten, mit ungefähr ein bis zwei Warnungen zu Straßenarbeiten und durchschnittlich 15 Anzeigen zu Verkehrszeichen, wie Geschwindigkeitsbeschränkungen.

Tabelle 106: Analyse der Fragebögen

Fragebogen		Anzahl Einträge	Übereinstimmungen	Frau / Mann	Ø-Alter von Frau / Mann
Tablet	Nutzerfeedback	24	8	2 / 6	24,75 / 43,3
	Mobilitätsverhalten	14	8	2 / 6	24,75 / 43,3
APP	Nutzerfeedback	18	15	2 / 13	45 / 36
	Mobilitätsverhalten	42	15	2 / 13	45 / 36
Pop-up	Gesamt	514	382		

Tabelle 107: Analyse der Anzahl der Fahrten und Nachrichten, ausgewertet nach v – Geschwindigkeit, ave – Durchschnitt, std – Standardabweichung, entsprechend der drei Aufteilungen: Gesamt (514), Null-Geschwindigkeit (33) und der Aufteilung von <10 (194), 0<10<90 (286) und >90 (34).

v_ave	Number of Tracks	Use Cases									
		Roadworks		IVS		Flight	Test-message	unknown	SPAT	TJA_HLN	WEA
		ave	std	ave	std	ave	ave	ave	ave	ave	ave
	514	1,01	1,51	16,16	15,99	0	0	0	0	0	0
0	33	0,12	0,48	0,94	2,96	0	0	0	0	0	0
<10	194	1,28	2,19	20,38	21,52	0	0	0	0	0	0
>90	34	1,07	0,50	17,05	4,25	0	0	0	0	0	0
10< v <90	286	0,92	0,83	14,79	10,56	0	0	0	0	0	0

Als Fazit ist dabei grundsätzlich anzumerken, dass diese Friendly-User-Tests in der Pre-Testing Phase durchgeführt wurden, sodass diese Auswertung eigentlich dazu dient, Inkonsistenzen festzustellen und zu identifizieren. Der zweite Punkt dieser Analyse ist, dass hier das Potential der Tests aufgezeigt werden soll, um einen ersten Überblick über die Fragestellungen zu erhalten und um im Anschluss entsprechende Adaptierungen z. B. für die eigentliche Testphase vornehmen zu können.

Auf Grund der relativ geringen Übereinstimmungen werden hier keine detaillierten statischen Analysen durchgeführt. Voraussetzung für diese statistischen Überlegungen ist normalerweise die Anzahl der Beobachtungen oder die Stichprobengröße. Diese sollte entsprechend der „statistical power“ über 30 liegen. Diese Zahl ist zwar ein ungefähres Maß, wird aber üblicherweise angeführt, um eine kleine Stichprobe von einer großen zu unterscheiden. Dies ist ein weiterer Grund, warum die Daten der Tablet- und der App-Fragebögen zusammengefasst wurden.

Um die Deutlichkeit dieser Überlegungen zu unterstreichen, wurde folgende statistische Analyse gemacht. Die Frage „Wie viele Kilometer fahren Sie selbst als FahrerIn pro Jahr?“ wurde in beiden Fragebögen, dem Mobilitäts- und dem Nutzerfeedbackfragenbogen gestellt. Eigentlich sollten die Befragten in beiden Fällen die gleiche Antwort geben. Grundsätzlich tun sie das auch, wie Abbildung 126 zeigt. Wenn alle Probanden dieselben Antworten gegeben hätten, wäre die Regressionsgerade $y = x$ mit einem Korrelationskoeffizienten $R^2 = 1$. Wie Abbildung 126 a zeigt

geht die Regressionsgerade nicht durch den Ursprung und das $R^2 = 0.34$. Wenn man die Regressionsgerade durch den Ursprung zwingen würde, dann sinkt das R^2 auf 0.19 (Abbildung 126 b). Jetzt ist aber ein Wert von 36, der beim Mobilitätsfragebogen „unter 2.500 km“ Jahresfahrkilometer angegeben hat, beim Nutzerfeedbackfragebogen, aber mit „weiß ich nicht“. Wenn man also diesen aus der Stichprobe herausnimmt, geht die Regressionsgerade noch immer nicht durch 0/0, aber das $R^2 = 0.7351$ (Abbildung 126 c). Und auch beim Zwang durch den Ursprung ist das $R^2 = 0.66$ (Abbildung 126 d), also ähnlich.

An diesem Beispiel könnte man jetzt noch anmerken, wie z. B. die Bewertung die Zahl 7 für „weiß ich nicht“ noch durch den Wert 0 angepasst werden könnte, um den Einfluss in der Auswertung zu limitieren. Damit müssten auch die Bewertungen für die Datenbankwerte allgemein angepasst werden. Für die statische Aussage aber sieht man die Variabilität der Ergebnisse und deren Einfluss bei kleinen Stichproben. Auch stellt sich die Frage, ob man fehlerhafte Werte, wie z. B. zwei Einträge für den oder die selben FahrerIn oder für dieselbe Fahrt korrigieren soll. Daher kommt man bei kleinen Stichproben sehr schnell an die Grenzen der Auswertbarkeit und an die Interpretierbarkeit.

Aus diesen Überlegungen werden für die folgenden Analysen nur die absoluten Zahlen, bzw. bei Zahlenbewertungen das arithmetische Mittel und Standardabweichung genommen, wo derartige Einflüsse nur geringe Auswirkungen haben, und außerdem können damit nur Tendenzen bzw. Potentiale basierend auf diesen Friendly-User-Test gezeigt werden.

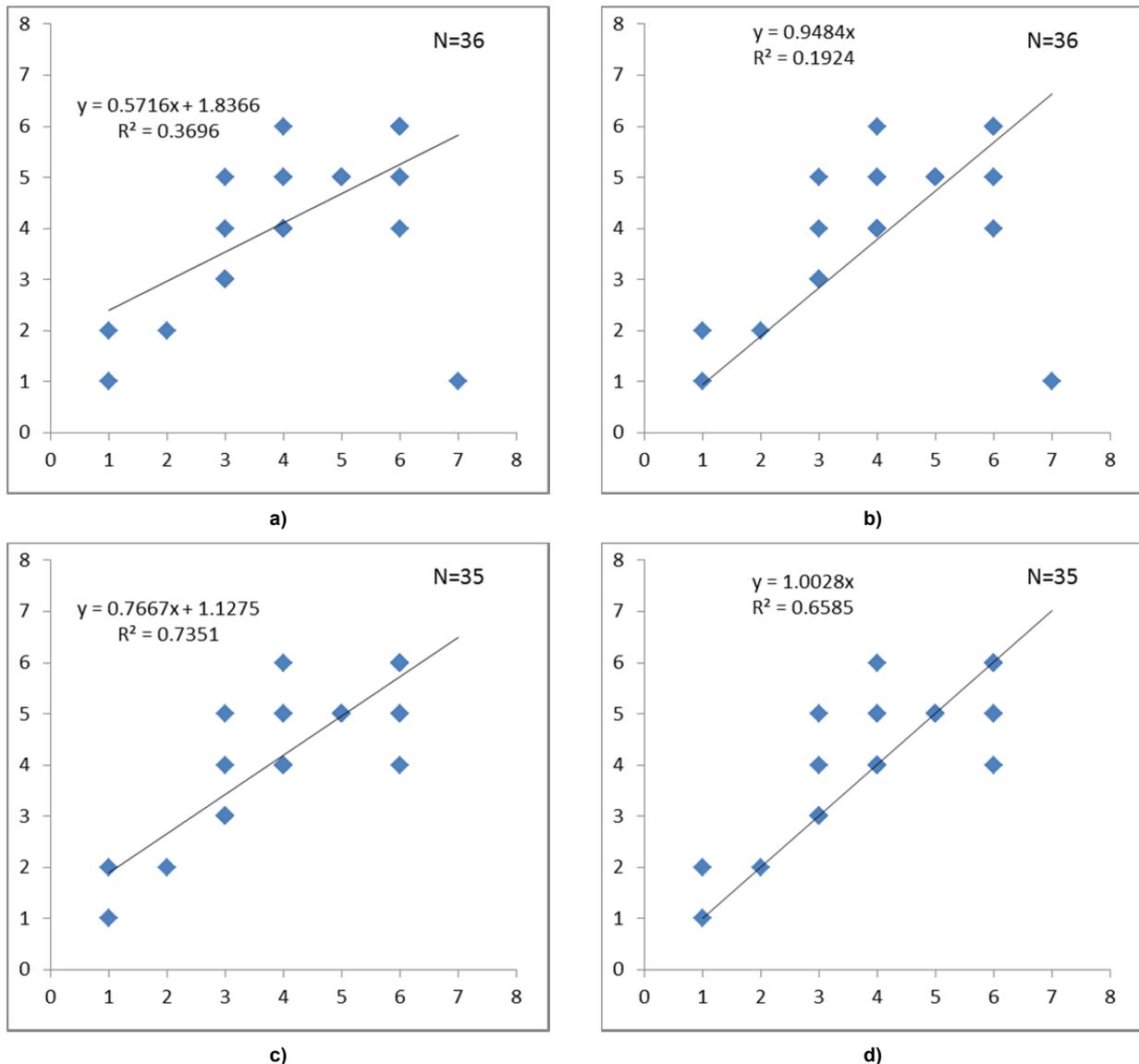


Abbildung 126: Statistischer Vergleich des Vorher- und Nachherfragebogens zur selben Frage „Wie viele Kilometer fahren Sie selbst als FahrerIn pro Jahr?“.. a) mit allen Daten inkl. „Ausreiser“ und Regression ohne Ursprungsbedingung (d.h. Gerade muss nicht durch den Ursprung gehen). b) allen Daten inkl. „Ausreiser“ und Regression mit Ursprungsbedingung. c) allen Daten excl. „Ausreiser“ und Regression ohne Ursprungsbedingung und d) allen Daten excl. „Ausreiser“ und Regression mit Ursprungsbedingung.

6.2.2 Analyse des Mobilitätsfragebogens

Der Mobilitätsfragebogen umfasste insgesamt 57 Fragen und daraus werden im Folgenden diejenigen Fragen zusammengefasst und dargestellt, an denen sich ein Ausmaß für einen Potentialanalyse ableiten lässt. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass auf Grund der geringen Stichprobe nur eine eingeschränkte Auswertung und Interpretation möglich ist. Die angegebenen Zahlwerte können daher nur als indikativ angesehen werden.

Aus der UTAUT-Methode ergeben sich als die unabhängigen Variablen das Geschlecht, das Alter, die Fahrerfahrung und die Freiwilligkeit. Letzteres ist, wie schon erwähnt, durch die Art des Tests nicht gegeben und daher wird diese Variable ignoriert. Die Verteilung des Ge-

schlechts ist mit 1:7 auch nicht gegeben und das Alter kann mit fast 70 % aller Teilnehmer zwischen 30 und 50 Jahren auch nicht als ausgewogen betrachtet werden. Daher wird die Fahrerfahrung, gemessen als Fahrerkilometer pro Jahr verwendet. Dabei könnten sich z. B. noch Rückschlüsse auf die BerufsfahrerIn/Nicht-BerufsfahrerIn ziehen lassen. Außerdem war das auch ein Kriterium für einen Industriepartner, der speziell diese Zielgruppe im Fokus hat.

6.2.2.1 FahrerIn, MitfahrerIn und Verkehrsmittelwahl

Tabelle 108 zeigt, dass 23 von 37 FahrerInnen mehrmals pro Woche im Autobahndreieck A4, A23, S1, A2 (Südautobahn, Südosttangente, Ostautobahn – Flughafenautobahn), also im TT-Testgebiet, unterwegs sind. Diese FahrerInnen weisen auch eine relativ hohe Kilometerfahrleistung pro Jahr auf. Diese Angabe ist auch plausibel, denn die VielfahrerInnen, die in und um Wien leben, müssen zwangsläufig immer wieder die Autobahn benützen und so können die Angaben auch als korrekt angenommen werden.

Tabelle 108: Häufigkeit der Benutzung des Autobahndreiecks A4, A23, S1, A2

[Anzahl der FahrerInnen]	Benutzung des Autobahndreiecks A4, A23, S1, A2					
gefährdete Kilometer pro Jahr	täglich / fast täglich	ein oder mehrmals pro Woche	nur an Wochenenden / freien Tagen	seltener	überhaupt nicht	weiß ich nicht
bis 2.500 km		1		1		
2.500 - 5.000 km			1			
5.000 - 10.000 km	1		1	3	1	
10.000 - 15.000 km	3	2		2	1	
15.000 - 25.000 km	6	2	1	1		
mehr als 25.000 km	6	2				
weiß ich nicht				2		
gesamt	16	7	3	9	2	0

Die nächsten Fragen behandelten, ob die FahrerIn ein Firmenfahrzeug fahren. Wie Tabelle 109 und Tabelle 110 zeigen, sind die VielfahrerInnen meist mit Firmenauto unterwegs und das nutzen sie meist alleine. Auch Fahrgemeinschaften sind eher die Ausnahme. Das könnte auch mit einem üblichen Besetzungsgrad von 1,4 Personen per Pkw übereinstimmen. Daher können diese Zahlen als Bestätigung dafür genommen werden, dass das Auto wirklich ein motorisiertes individuelles Verkehrsmittel ist, und dass erhebliche Schritte dafür gesetzt werden müssen, falls dies geändert werden sollte, z. B. hin zu mehr Fahrgemeinschaften. Dies zeigt sich bei den nächsten beiden Fragen bzgl. des täglichen Wegs zur Arbeit: Welches Verkehrsmittel wird verwendet (Tabelle 111) und was ist wichtiger dabei: Zeit oder Kosten (Tabelle 112). Da Zeit bei der Wichtigkeit bei weitem überwiegt, sind die Folgen auch für die Verkehrsmittelwahl und damit auch für Fahrgemeinschaften (Tabelle 111) ganz klar erkennbar. Die Probanden geben an, erst bei täglichen Staus zwischen 30 min und einer Stunde einen Umstieg auf ein öffentliches Verkehrsmittel in Betracht zu ziehen (Tabelle 113). Und ein Umstieg während der Pkw-Fahrt ist für mache überhaupt kein Thema. Das könnte auch ein Grund dafür sehr, dass die Erfahrung der Probanden mit Park & Ride oder mit Carsharing gering ist.

Abgesehen davon, muss das auch in Relation zum Zeitaufwand für den täglichen Weg zur Arbeit gesehen werden: ungefähr 60 % benötigen weniger als 30 min und weitere 30 % benötigen weniger als 45 min. D. h. wenn der Stau ungefähr genauso lang dauert wie die Fahrt, dann wäre ein Umstieg auf den ÖV ein Thema. Jetzt müsste man noch die ÖV-Zeit für den Arbeitsweg kennen, aber nach diesen Angaben dürfte die Fahrzeiten so lange wie die Pkw-Fahrt plus den

angegeben Stauzeiten sein. Daher sind auch in der ÖV-Beschleunigung und Verfügbarkeit erhebliche Maßnahmen notwendig, um als reale Alternative für den MIV reüssieren zu können.

Tabelle 109: Angaben zu Fahrzeugbesitz und Fahrzeugnutzung

Firmenfahrzeug	Fahrzeugnutzung	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Ja	Alleine nicht alleine			1	1	2	5	
Nein	Alleine nicht alleine	2	1	2	4	1	1	2

Tabelle 110: Angaben zu Fahrzeugbesitz und Fahrgemeinschaft

Firmenfahrzeug	Fahrgemeinschaft	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Ja	ja, immer manchmal nein, nie			1	1	3	3	
Nein	ja, immer manchmal nein, nie	1	1	5	4	5	2	2

Tabelle 111: Angaben zur Verkehrsmittelbenutzung für den täglichen Arbeitsweg

Täglich zur Arbeit	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
	bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Mit dem eigenen Pkw			2	4	8	6	
Mit öffentlichen Verkehrsmitteln (ÖV)	2		2	2	1		2
In einer Fahrgemeinschaft							
Kombination aus beidem (Auto, ÖV)			1	1	1		
Das ist nicht immer gleich			1	1			
Sonstiges		1				2	

Tabelle 112: Einschätzung der Wichtigkeit: Kosten oder Zeit für den tägliche Arbeitsweg

Wichtigkeit für den täglichen Weg zur Arbeit	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
	bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Kosten	1				1		1
Zeit	1		6	7	8	7	1
Weder noch.		1		1	1	1	

Tabelle 113: Einschätzung des Umstieges auf ÖV durch Stau

Ab welchem Ausmaß an Zeitverlust durch den Stau würden Sie vom Auto auf den ÖV umsteigen, um zur Arbeit zu kommen?	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
	bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
1-30 Minuten			2	1	1	1	
31 Minuten bis 1 Stunde	1	1	3	2	2	2	1
1 bis 2 Stunden	1			1	1	2	1
Über 2 Stunden						1	
Ich würde nie von meinem Pkw auf den ÖV im Falle eines Staus umsteigen, wenn ich die Fahrt schon mit dem Pkw begonnen habe.			1	2	5		
Sonstiges							
Kann ich nicht beurteilen				2	1	2	

6.2.2.2 Der Fahrstil

Bei der Frage nach dem Fahrstil waren Mehrfachnennungen möglich, d.h. es konnten mehrer Kategorien angegeben werden (Tabelle 114). Es zeigt sich ein durchaus konsistentes Bild, denn die meisten ordnen sich als aktive FahrerInnen ein, das thematisch zu VielfahrerInnen auch passen könnte. Umweltbewusstes Fahren korreliert eher mit jener Fahrweise wie defensiv oder gemütlich, wo es relativ wenig Nennungen in Tabelle 114 gibt. Im Vergleich zu Tabelle 115 scheint es doch ein Umweltbewusstsein bei den Probanden zu geben, wo die meisten Nennungen vorliegen. Daraus könnte man schließen, dass ein Umweltbewusstsein der FahrerInnen vorliegt, das sich aber nicht direkt im Fahrstil auswirkt. Überraschend ist, dass auch die WenigfahrerInnen sich genau im sportlich-aktiven Bereich einschätzen.

Tabelle 114: Angaben zum Fahrstil

Fahrstil	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
	bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
sportlich	2			1	1	1	
aktiv	2	1	5	5	9	6	2
defensive			1	1			
umweltbewusst	1		3	3	3	3	
gemütlich				1			2
anders						1	

Tabelle 115: Angaben zum Umweltbewusstsein

Umweltbewusstes Mobilitätsverhalten	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
	bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Sehr umweltbewusst			2	1			
Eher umweltbewusst	1	1	4	5	7	5	2
Wenig umweltbewusst	1			2	3	2	
Nicht umweltbewusst						1	
Können oder wollen Sie nicht sagen							

Wenn man nun alle FahrerInnen nimmt und aktiver Fahrstil mit Spurwechselverhalten vergleicht, dann zeigt sich, dass aktive FahrerInnen auch aktiv mehr Spurwechsel machen (Tabelle 116). Interessanterweise sind das meist auch jene FahrerInnen, die dabei auch Aggression zeigen und das auch zugeben (Tabelle 117). Entscheiden ist, dass das Autofahren immer mit Emotionen verbunden ist und diese in Stresssituationen, speziell wenn das Vorankommen durch erhöhtes Verkehrsaufkommen scheinbar behindert wird, zeigt. Speziell, „notorische Links- und MittelspurfahrerInnen, drängelnde und rücksichtslos FahrerIn“ scheinen ein besonderes Ärgernis hervorzurufen, das auch „manchmal zu Aggressionen“ führt. Selber Drängeln scheint bei den Probanden ein no-go zu sein.

Tabelle 116: Angaben zum aktiven Fahrstil und Spurwechselverhalten (n.a. - nicht angegeben)

Fahrstil	Spurwechsel	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
aktiv - n.a.	ja				1			
	manchmal			1	1		2	
	nein				1	1		
aktiv	ja			2	3	2	1	
	manchmal	1	1	3	1	6	4	2
	nein	1			1	1	1	

Tabelle 117: Angaben zum aktiven Fahrstil, Ärgeris und Aggression (n.a. - nicht angegeben)

Fahrstil	Aggression, Schreien	FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
aktiv - n.a.	ja							
	manchmal				1	1		
	nein			1	2		2	
aktiv	ja				1			
	manchmal	2	1	4	2	6	5	2
	nein			1	2	3	1	
Ärgernisse	nein, ärgert mich nicht. Bleibe meist sehr ruhig			1		4	3	
	ja. Was ärgert Sie am meisten?	2		4	7	6	5	2
	weiß ich nicht		1	1	1			
Aggression bei LangsamfahrerInnen	ja	1					1	
	nein			2	7	6	4	1
	manchmal	1	1	4	1	4	3	1
Aggression Drängeln	ja							
	nein	1	1	5	7	10	5	2
	manchmal	1		1	1		3	

6.2.2.3 Wichtigkeiten oder der Stellenwert in der subjektiven Einschätzung

Bei Fragen nach den Assoziationen, wo die Testpersonen einen Frage ankreuzen können oder nicht, ist das Verhältnis von beiden, d. h. vom gewählten zum nicht gewählten, das ausschlaggebende. Das macht sich speziell bei schwierigen oder gesellschaftlich nicht akzeptierten Fragestellungen bemerkbar.

Sicherheit scheint ein größeres Bedürfnis zu sein, denn es wurde von den meisten angekreuzt (Tabelle 118). Im Gegensatz dazu werden Geschwindigkeit oder die Marke als unwichtig eingestuft, und das obwohl die Autowerbung gerade auf diesen beiden Aspekte aufbaut. Wenn man das mit Aussehen vergleicht, welches bedeutend mehr gewählt wird, dann könnte man darauf schließen, dass „Aussehen“ als neutralerer Begriff gesellschaftlich akzeptabler ist als „Marke“. Platz und Geräumigkeit scheinen wieder wichtig zu sein genauso wie ein geringer Treibstoffverbrauch, der als Begriff implizit einerseits auf die Kosten und vielleicht auch auf das Umweltbewusstsein anspricht.

Tabelle 118: Einschätzungen der Wichtigkeiten bei einem neuen Auto

Wichtig bei einem neuen Auto		FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Sicherheit	nicht gewählt		1	1	1		1	2
	gewählt	2		5	7	10	7	
Geschwindigkeit	nicht gewählt		1	5	8	10	8	2
	gewählt	2		1				
Aussehen	nicht gewählt		1	2	5	6	4	2
	gewählt	2		4	3	4	4	
Marke	nicht gewählt		1	4	8	7	8	2
	gewählt	2		2		3		
Platz, Geräumigkeit	nicht gewählt	1		2	1	1	1	
	gewählt	1	1	4	7	9	7	2
Geringer Treibstoff-Verbrauch	nicht gewählt		1	1	1	3	4	
	gewählt	2		5	7	7	4	2

6.2.2.1 Informationsgeräte, Nutzung und Befolgung

Generell scheint die Ausstattung mit Navigationsgeräten bei den TestfahrerInnen gegeben zu sein, obwohl sie es dann nicht immer nützen (Tabelle 119). Das ist umso erstaunlicher, da diese Navis mit der Funktionalität von aktuellen Verkehrsmeldungen ausgestattet sein sollen. In Bezug zur Nutzungshäufigkeit könnte daher geschlossen werden, dass die Nachrichtenqualität doch nicht gegeben ist, denn dann gäbe es eine häufigere Anwendung bzw. einen höheren Grad der Akzeptanz. Ein anderer Grund könnte noch sein, dass die Nachrichten keine zusätzliche Information zu den schon gewohnten und bekannten Verkehrszuständen geben.

Wenn man sich im Vergleich dazu Tabelle 120 ansieht, dann haben die meisten immer den Radioverkehrsfunk eingeschaltet. Aus dem Nutzungsvergleich von Navi und Verkehrsfunk lässt sich vielleicht ableiten, dass es zum Verkehrsfunk auch ein Vertrauensverhältnis zu geben scheint, denn wenn die Umfahrungsstrecke bekannt ist, sollte die Verkehrsmeldung auch befolgt werden; im Gegensatz zum Navi, dort werden auch die Empfehlungen nicht beachtet.

Dies zeigt sich auch im direkten Empfehlungsvergleich von Navi, Verkehrsfunk und Überkopfanzeiger (Tabelle 121). Der Akzeptanzgrad könnte hier aus den gewählten bzw. nichtgewählten Häufigkeiten abgeleitet werden, so dass man eine Interpretation auch aus den nichtangegebenen Feldern ableiten kann, denn eine Nennung war nicht zwingend notwendig. Entsprechend dieser Handhabung steigt der Akzeptanzgrad kontinuierlich vom Navi über den Verkehrsfunk bis zum Überkopfanzeiger an. Der Überkopfanzeiger hat natürlich den Vorteil, dass dieser auch als Verkehrsschild und damit bei verschiedenen Meldungen verpflichtend ist.

Zusammenfassend zeigt sich aber, dass die derzeitigen Navigationsgeräte, auch wenn sie die Funktion von aktuellen Verkehrsnachrichten haben, keinen hohen Vertrauensstatus im Vergleich zu traditionellen Informationsdiensten wie Verkehrsfunk oder Überkopfanzeiger haben.

Tabelle 119: Angaben zur Navi-Nutzung und schon vorhandene Informationsdienste

		FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Nutzung Navi	ja, immer				1	1		
	ja, oftmals	1		1	3	4	4	
	manchmal	1	1	5	4	4	2	2
	nein, ich habe zwar ein Navigationsgerät, aber ich nutze es nicht							
	nein, ich habe kein Navigationsgerät					1	2	
	weiß ich nicht							
Navi mit aktuellen Verkehrsmeldungen	ja	2	1	2	7	6	5	2
	nein			3		3	1	
	nein, ich habe kein Navigationsgerät						2	
	weiß ich nicht			1	1	1		

6.2.2.1 Analyse des Benutzerfeedbackfragebogen

Der Nutzerfragebogen hat im Unterschied zum Mobilitätsfragebogen, wo Einstellungen und Verhaltensmuster erhoben wurden, Bewertungen der Informationsdienste und ihre Darstellungen zum Ziel. Diese Bewertungen wurden in einer 7 Punkteskala ausgewiesen, von 1 „nicht entsprochen“ bis zu 7 „sehr entsprochen“. Um hier eine einigermaßen aussagefähige Bewertung vorzunehmen, lagen 45 Einträge der FahrerInnen der Auswertung zu Grunde. Entsprechend der Moderatorenvariable Fahrerfahrung wurden die FahrerInnen in zwei Gruppen eingeteilt und zwar in die WenigfahrerInnen, d. h. die FahrerInnen unter 15.000 km Jahresfahrleistung (21 Einträge), und VielfahrerInnen über 15.000 km Jahresfahrleistung (24 Einträge). Weiterhin wurden die Durchschnittswerte und die Standardabweichungen berechnet, um die Bewertungen in ihrer Streuung einschätzen zu können

6.2.2.2 TT-App und Design

Das Design der TT-APP scheint generell einen guten Anklang gefunden zu haben. Das zeigt sich nicht nur beim Design und der Lesbarkeit, sondern auch bei der Anzeige der Information und der Verständlichkeit (Tabelle 122). In UTAUT werden diese Punkte unter Facilitating Conditions, Performance und Effort eingeordnet. Von den Bewertungswerten her scheinen die VielfahrerInnen (>15 kkm) strenger zu bewerten, d. h. um ungefähr 0,5 bis 1 Punkte weniger, als die WenigfahrerInnen (<15 kkm). (Zur Klarstellung, die Einheit 1 kkm entspricht 1000 km.) Das könnte auf die höhere Erfahrung mit derartigen Systemen zurückzuführen sein, die dadurch auch höhere Ansprüche stellt. Die WenigfahrerInnen streuen aber weniger als die VielfahrerInnen, d. h. sie sind sich einiger in ihrer Einschätzung.

Tabelle 120: Angaben zu Verkehrsfunk und Akzeptanz

Fragen zum Verkehrsfunk und Akzeptanz		FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Verkehrsfunk über Radio eingeschaltet	ja, immer	2		4	3	7	5	
	ja, oftmals			2	4	3	2	2
	manchmal				1		1	
	nein		1					
Reaktion auf Staumeldung	ich fahre zu einer Raststation ich ändere meine Route nicht					2	1	1
	ich fahre von der Autobahn ab und umfahre den Stau					2	1	
	das hängt davon ab, ob ich Umfahrungsstrecken kenne anderes	2	1	6	8	5	5	1
Akzeptanz von Empfeh- lungen	Ich halte mich an die Empfeh- lung und fahre ab		1	2	3	4	5	2
	Abhängig von meiner Kenntnis der üblichen Verkehrssituation an dieser Stelle werde ich abfahren oder nicht	2		4	5	6	2	
	Ich fahre so wie es mein Navi- gationsgerät anzeigt						1	
	Ich fahre unverändert meine ursprüngliche Route							

Tabelle 121: Befolgungsvergleich unterschiedlicher Empfehlungen

Fragen zur Befolgung welcher Empfehlung		FahrerIn mit einer jährlichen Fahrkilometerleistung von						
		bis 2.500 km	2.500 - 5.000 km	5.000 - 10.000 km	10.000 - 15.000 km	15.000 - 25.000 km	mehr als 25.000 km	weiß ich nicht
Empfehlungen des Navigationsgerätes	nicht gewählt	2	1	6	6	7	6	2
	gewählt				2	3	2	
Empfehlungen des Verkehrsfunks	nicht gewählt			3	4	5	4	1
	gewählt	2	1	3	4	5	4	1
Empfehlungen auf Überkopfanzeigen	nicht gewählt		1		2	4	3	
	gewählt	2		6	6	6	5	2

Ein wichtiger Punkt bei IT-Anwendungen ist immer Enjoyment, also Vergnügen und Playfulness, welches als ‚Spaß machen‘ im Fragebogen definiert wurde. Da das System keine Interaktion zulässt, um nicht von der eigentlichen Fahrt abzulenken, sind diese Optionen eingeschränkt bewertbar. Daher sind auch die Bewertungen um ungefähr einem Punkt schlechter als noch vorher (Tabelle 123). Noch deutlicher zeigt sich das bei der Frage nach dem „Spaß“, welche nur 3,4 bzw. 2,9 Punkte bekommen hat. Die Frage nach der zukünftigen Verwendung oder der „behavioural intention“ zeigt auch ähnliche Werte und widerspiegelt vielleicht den fehlenden Spaß. Ein weiterer Grund könnte sein, dass die Wichtigkeit der Verkehrssicherheitswarnungen noch

nicht bei den Testpersonen ankommen ist, weil auch die wiederholte Erfahrung in der ständigen Nutzung fehlt. Aber diese Punkte werden im nächsten Abschnitt angesprochen.

Tabelle 122: Einschätzung der TT-APP, Design und Verständlichkeit

Fragen zu	<15 kkm		>15 kkm	
	ave	std	ave	std
Graphisches Design	4.6	1.9	3.9	2.5
Design von Audiosignalen und Ansagen	3.2	2.2	2.4	2.4
Angezeigten Information	4.6	1.9	3.2	2.1
Leistung des Systems	4.8	2.0	2.8	2.4
den Umgang mit dem System klar und verständlich	5.4	1.9	4.4	2.8
das System ist einfach zu verstehen	5.7	2.0	4.5	2.8
die Nutzung des Systems einfach	5.4	2.0	3.9	3.9
die Zeichen am Bildschirm gut verständlich	5.0	1.9	3.8	3.9
die Zeichen am Bildschirm leicht lesbar	4.5	2.1	3.7	3.9

Tabelle 123: Einschätzung der TT-APP und Enjoyment

Fragen zu	<15 kkm		<15 kkm	
	ave	std	ave	std
das System das Fahren wirklich interessanter macht	4.0	2.0	2.9	2.2
das Fahren mit dem System wirklich Spaß macht	3.4	1.9	2.9	2.3
Ich mag das Fahren mit dem System	4.3	1.8	3.0	2.3
Ich werde das System auch in Zukunft verwenden	4.1	1.9	2.8	2.1

6.2.2.3 Nutzen und Erfahrungen

Zufriedenheit (Satisfaction) und die Erwartung und Erfahrung (Expectation und Confirmation) könnten auch unter den Begriff Nutzen oder Akzeptanz zusammengefasst werden. Dass die Fragen in dieser Hinsicht noch nicht die vollste Zufriedenheit finden (Tabelle 124), kann vielleicht auf die wenigen angewendeten Dienste zurückgeführt werden. Das Potential können aber die Probanden erkennen, denn die Fragen nach „Verkehrsregeln besser befolgen“ oder „bessere Informationen über Straßenverhältnisse habe“ sind wieder mit höheren Werten bewertet worden (siehe auch Tabelle 125). Beachtenswert ist aber ein Vergleich der beiden Bewertungsverläufe von Wenig- und VielfahrerInnen in Tabelle 124, die insgesamt sehr konsistent ist und in ähnlicher Weise variieren.

Tabelle 124: Einschätzung der TT-APP und des Nutzens

Fragen zu	<15 kkm		>15 kkm	
	ave	std	ave	std
das System nützlich während der Fahrt	4.7	2.1	3.2	2.2
dass ich mit Hilfe des Systems Fahrsituationen schneller bewerkstellige	3.7	1.8	2.7	2.1
dass das System meine Fahrsicherheit erhöht	3.8	2.1	2.7	2.1
dass ich durch die Nutzung des Systems mein Fahren effizienter planen kann	3.4	2.0	2.4	2.1
dass ich durch die Nutzung des Systems treibstoffsparender fahren kann	3.2	2.2	2.6	2.2
dass ich mit Hilfe des Systems schneller von A nach B komme	3.7	2.0	2.4	2.3
dass ich durch das System Verkehrsregeln besser befolgen kann	5.0	2.2	3.6	2.5
dass mein Fahrkomfort durch das System erhöht wird	3.6	1.9	2.8	2.2
dass ich durch das System bessere Informationen über Straßenverhältnisse habe	5.2	2.2	3.4	2.5

Tabelle 125: Einschätzung der TT-APP und der Erfahrung

Fragen zu	<15 kkm		>15 kkm	
	ave	std	ave	std
Meine Erfahrungen mit dem System waren besser als ich erwartet habe	4.4	2.0	2.7	2.1
Die Qualität der Systemdienste war besser als erwartet	4.5	2.1	3.3	2.4
Insgesamt wurden die meisten meiner Erwartungen an das System erfüllt	4.8	2.1	3.0	2.3

6.2.2.4 APP als das einzige Informationssystem

Als Ausblick in die Zukunft wurde die Frage gestellt, ob sich die Probanden die APP als einziges Verkehrsinformationssystem vorstellen können. Generell fand ein Nein die Mehrheit. Die Bedenken dabei sind vorrangig bezüglich der Funktionssicherheit des Systems bzw. die Problematik bei einem Ausfall: was passiert dann? Hier scheint ein gewisses kritisches Bewusstsein gegenüber der technischen Machbarkeit gegeben zu sein. Weitere Punkte sind die Ablenkung der APP durch die ständige Beobachtung und auch die rechtliche Situation, die entsprechend geklärt sein müsste. Die gleichen Punkte werden bei der Befürwortung in der umgekehrten Formulierung angeführt, wie z. B. es muss deren Zuverlässigkeit gegeben sein.

Tabelle 126: Angaben zu IVS im Auto als einzige Informationsquelle

Frage:	<15 kkm Anzahl	>15 kkm Anzahl
Können Sie sich vorstellen sich nur auf die Verkehrsinformationen im Fahrzeug zu verlassen, das heißt keine zusätzlichen Verkehrsschilder und Überkopfanzeigen mehr zu beachten?		
nicht beantwortet	2	7
Ja	5	5
Nein	12	8
Kann ich nicht beurteilen	2	4

6.2.3 Analyse des Pop-up-Fragebogens

Der Pop-up-Fragebogen wurde, wie schon oben erwähnt, nach jeder Fahrt gestellt. Es wurden insgesamt 6 Fragen gestellt, wobei die ersten fünf ausgewertet werden. Die letzte Frage behandelte den Zweck der Fahrt, aber nachdem die Fahrten im Rahmen der Friendly-User-Tests gemacht wurden, erübrigte sich diese Fragestellung.

Wie schon in Tabelle 107 ausgeführt, bezieht sich diese Auswertung auf die 286 plausiblen Fahrten, da hier angenommen werden kann, dass damit auch die Fahrerfahrung mit der Information übereinstimmt. Da es sich aber nur um eine begrenzte Anzahl von FahrerInnen handelt, mussten diese den Fragebogen mehrmals ausgefüllt haben. Nach Abbildung 126 kann aber angenommen werden, dass sich die FahrerInnen nicht jedes Mal an ihre vorhergehenden Antworten erinnern konnten und daher können diese Einträge als separat oder statisch-unabhängig angesehen werden. Mit der größeren Stichprobe lassen sich daher auch weitere Unterteilungen wie Geschlecht und Alter, die nach UTAUT vorgeschlagen werden, vornehmen und daher werden diese in den folgenden Auswertungen auch angeführt.

In der folgenden Analyse werden die fünf Fragen und die Ergebnisse einander gegenübergestellt:

Frage 1) Waren die während der soeben beendeten Fahrt angezeigten Informationen hilfreich?

Trotz der eingeschränkten Dienste (nur Roadworks und IVS) gaben ungefähr 60% der Testpersonen an, dass die angezeigten Informationen hilfreich waren (Abbildung 127). Die weiblichen Testpersonen lagen dabei im allgemeinen Trend, so auch die Männer als Gesamtgruppe. Wenn man aber die Unterteilung in Viel- und WenigfahrerInnen macht, dann fanden speziell die WenigfahrerInnen (<15 kkm pro Jahr) die Informationen besonders hilfreich. Diese Aussage ist konsistent mit den Erfahrungsfragebogenergebnissen, wo die VielfahrerInnen (>15 kkm pro Jahr) kritischer waren als die WenigfahrerInnen (z. B. vgl. Tabelle 124).

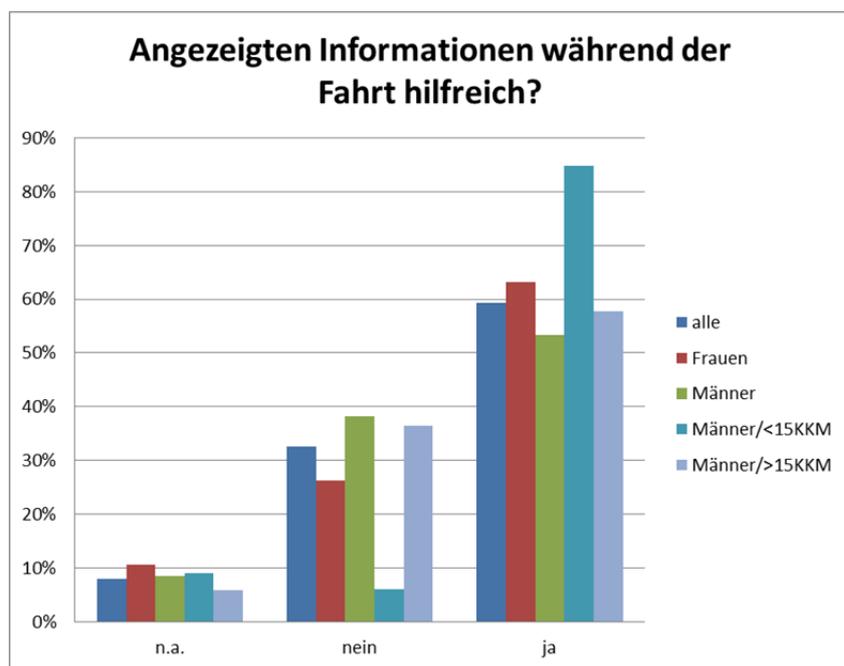


Abbildung 127: Information und Nutzen

Frage 2) Haben Sie aufgrund der angezeigten Informationen Ihr Fahrverhalten geändert?

Diese Frage stellt den Zusammenhang zwischen der Performance und User Behaviour her (Tabelle 127). Die NutzerInnen konnten außer ‚nein – Keine Änderung‘ drei verschiedene Reaktionen angeben:

- Ja, Geschwindigkeit reduziert
- Ja, Route geändert
- Ja, auf öffentlichen Verkehr umgestiegen

Auf Grund der eingeschränkten Dienste haben ungefähr 70% der Probanden ihr Verhalten nicht geändert (Tabelle 127). Der Routendienst stand für die Testfahrten nicht zur Verfügung und daher liegen keine Daten zur Routenänderung vor. Eine Geschwindigkeitsreduktion haben ungefähr 20% der Probanden angegeben, wobei die Reaktion bei den weiblichen WenigfahrerInnen sich stärker auswirkt als bei den männlichen. Der allgemeine Trend, dass WenigfahrerInnen mehr reagieren als VielfahrerInnen, findet sich auch in dieser Statistik. Ein paar Männer haben auch angegeben, dass sie auf den ÖV umgestiegen sind bzw. gehören die auch zu jenen, die die Geschwindigkeit reduziert haben.

Tabelle 127: Einschätzung der Information und Nutzerreaktion

Haben Sie aufgrund der angezeigten Informationen Ihr Fahrverhalten geändert?	Geschlecht	15 kkm pro Jahr	Einzel	Gesamt
Nein	Frau	kleiner größer	4.86% 10.42%	15.28%
	Mann	kleiner größer	16.67% 39.58%	56.25%
Ja, Geschwindigkeit reduziert	Frau	kleiner größer	6.25% 1.39%	8.33%
	Mann	kleiner größer	7.64% 4.17%	11.81%
Öffentliches Verkehrsmittel umgestiegen	Mann			2.08%
Geschw. Redu. & ÖV	Mann			5.56%

Frage 3) Haben Sie die angezeigten Informationen zeitgerecht bekommen?

Diese Frage betrifft einerseits die Bereitstellung der Information und andererseits die bewusste Erkennung der Information bei den FahrerInnen, denn diese bewerten dann nur die Erkennung und diesen konnten sie in fünf Kategorien einteilen, von ‚viel zu spät‘ bis ‚viel zu früh‘. Bei einer optimalen Bereitstellung der Informationen sollte Abbildung 128 einer Normalverteilung entsprechen. Generell haben die Mehrheit der Teilnehmer die Informationen zum richtigen Zeitpunkt erhalten. Im Test hatte es aber eine Regelung geben, wonach die IVS genau mit den Anzeigetafeln zeitlich und örtlich übereinstimmen sollten. Dieser Umstand konnte auch in der Reaktion gezeigt werden, obwohl für eine Optimierung eine frühere Anzeige, speziell von Frauen gewünscht wird. Aus der Stichprobe zeigen jüngere (unter 40), männliche Vielfahrer (>15 kkm pro Jahr), dass sie die Informationen zu früh erhalten haben. Das könnte auch physiologische Gründe haben, denn jüngere Personen haben allgemein eine schnellere Reaktionsfähigkeit als ältere. Da aber besser „zu früh“ also „zu spät“ ist, sollte das eher eine untergeordnete Rolle für die Informationsbereitstellung sein.

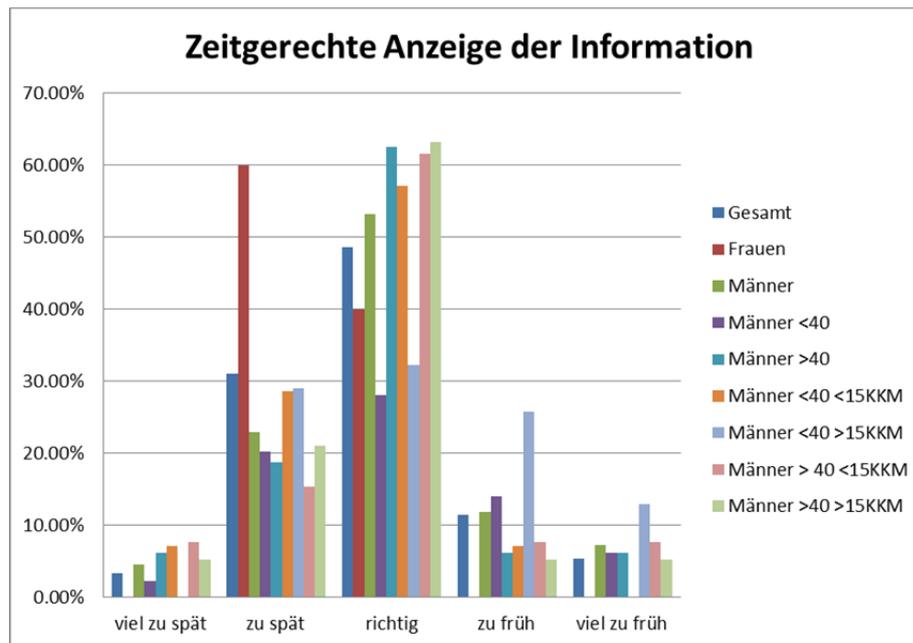


Abbildung 128: zeitliche Genauigkeit der Information

Frage 4) Werden Sie dieses Service aufgrund der heutigen Erfahrung auch in Zukunft verwenden?

Die zukünftige Verwendung der Dienste wird hier positiv um 60% angegeben. Die beiden auffallenden Gruppen sind Frauen, die relativ entschlossen waren (fast keine n.a.) und relativ hohe ‚eher nein‘ angegeben haben. Eine ähnliche Entschlossenheit zeigen auch die älteren, wenig-fahrenden Männer, die aber bei der Bewertung ‚eher ja‘ angegeben haben. Wenn man dieses Ergebnis mit jenen aus den Erfahrungsfragebogen vergleicht (Tabelle 123), dann erhält man eine Einschätzung bzgl. der Punkteverteilung. Aber die Grundtendenz der mehr positiven WenigfahrerInnen und der kritischen VielfahrerInnen stimmt in beiden Fragebögen überein.

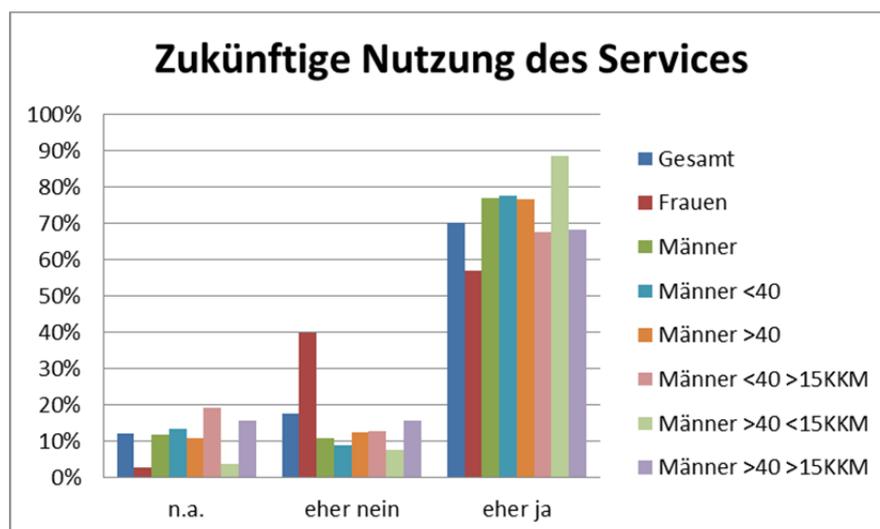


Abbildung 129: Zukünftige Nutzung der Services

Frage 5) Waren die während der Fahrt angezeigten Informationen aus Ihrer Sicht inhaltlich korrekt?

Die Korrektheit der Information ist für eine zukünftige Weiterentwicklung, speziell wenn die Informationssysteme die straßenseitigen ersetzen sollten, von entscheidender Bedeutung (Tabelle 126). Daher geht es nicht nur darum, dass man von Seiten des Straßen- und Verkehrsdienstbetreibers die Korrektheit sicherstellt, sondern, dass diese auch von den NutzerInnen so empfunden wird. Und das ist viel schwieriger, denn es kann natürlich so sein, dass die Information tatsächlich korrekt war, nur der NutzerInnen hatte trotzdem eine andere Wahrnehmung. Und daher wäre auch interessant zu wissen, wie groß dieser Anteil ist und wie dieser bei den NutzerInnen ausgeglichen werden kann.

Abbildung 130 gibt ein sehr übereinstimmendes Bild, auch bei den Untergruppen. Was die ungefähr 20% der unrichtigen Informationen ausmachte, müsste in einem separaten Versuch eruiert werden. Erstaunlicherweise haben junge Männer und Frauen die höchste Zustimmung. Dies könnte ein Hinweis sein, dass die Informationen tatsächlich korrekt waren und nur die persönliche Warnung hatte zum Zeitpunkt des Erkennens eine andere Erwartung.

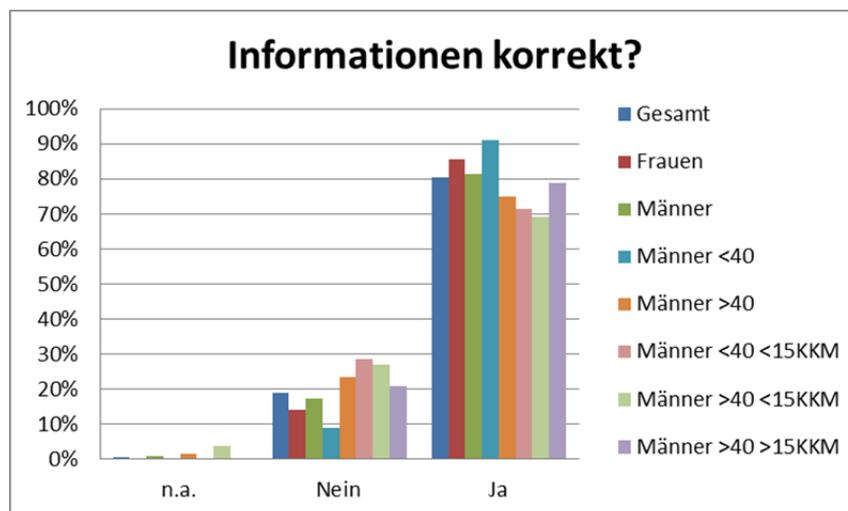


Abbildung 130: Korrektheit der Informationen

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem abschließenden Abschnitt wird ein Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf gegeben, nachdem die Ziele von IMPAKT mit dem Erreichten gespiegelt werden.

IMPAKT war als Begleitstudie zum Testfeld Telematik Austria (TTA) konzipiert, wobei die Erkenntnisse zwar unter Nutzung des TTA, aber nicht ausschließlich auf den Daten des TTA aufbauen sollten. Die Erkenntnisse aus dem Zusammenspiel entwickelter Wirksamkeitsindikatoren, Datenauswertung des TTA und eigenen Simulationsuntersuchungen sollten Aufschluss über die Wirksamkeit kooperativer Dienste geben. Drei Hauptziele wurden zu Projektbeginn formuliert:

1. Methodenentwicklung zur Beurteilung der Wirksamkeit kooperativer Systeme mittels quantitativ nachweisbarer Indikatoren
2. Wissenschaftliche Begleitung des „Testfelds Telematik Austria“ zur Wirkungsanalyse der dort implementierten kooperativen Dienste, die im Gegensatz zu den bisherigen fahrzeugorientierten Systemen aufgrund der ko-modalen Konzeption der Verkehrsauskunft auch verkehrsträgerübergreifend wirken sollen
3. Ermittlung der Nutzerakzeptanz und Wirkung kooperativer Dienste auf Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss und Energieeffizienz

An diesen drei Zielen wurde intensiv gearbeitet. Das erste Ziel wurde umfassend erledigt. Mit den Kenngrößen der Tabellen 1 bis 4 (S.46 ff) und dem Anhang A2 wurde eine umfassende Liste von Kenngrößen zusammengestellt, mit denen der Verkehrsablauf hinsichtlich Effizienz, Sicherheit und Umwelt quantitativ beschreibbar ist. Die Überprüfbarkeit der Kenngrößen, auch Indikatoren genannt, aus Nutzersicht wurde ebenfalls umfassend und erfolgreich abgehandelt. Aufgrund der vollständigen Datenverfügbarkeit in Rechenmodellen konnte ein Teil der Daten nur in mikroskopischen Verkehrsflussmodellen ermittelt werden. Dies ist aber nicht ein Spezifikum von IMPAKT, sondern liegt darin begründet, dass im realen Verkehrsablauf bisher nicht alle fahrzeugspezifischen und fahrerrelevanten Daten zu jedem Zeitpunkt vollständig und fehlerfrei gemessen, protokolliert und zur anschließenden Datenauswertung zur Verfügung stehen. Problematisch erwiesen sich erwartungsgemäß die Indikatoren zur Verkehrssicherheit. Gerade hier hat IMPAKT neue Wege beschritten und Methoden und Verfahren entwickelt, um aus den verfügbaren GNSS-Tracks / Floating-Car-Data (FCD) ein Maximum an Informationen zu extrahieren. Konsequenterweise lag ein Projektschwerpunkt auf der zuverlässigen Auswertung der TTA-Daten, um die entwickelte Methodik für weitere Field Operational Tests (FOTs) anwenden und Rückschlüsse auf typische Bewegungskennwerte (Geschwindigkeit, Beschleunigungen, Drehraten) und Verhaltensmuster für die automatisierte Erkennung des Fahrverhaltens (Stau, Stop-and-Go, Fahrstreifenwechsel, ggf. weitere aus den Diensten des TTA) geben zu können.

Eine wesentliche Grundlage für die Wirkungsermittlungen basierte auf dem im Projekt erstellten, fahrstreifengenauen Straßengraph. Das bislang am Markt verfügbare digitale Kartenmaterial kommerzieller Anbieter bildet ausschließlich eine Fahrbahnachse des Straßennetzes als geografisches Objekt ab und reichte daher für diese Aufgabe nicht aus. Der fahrstreifengenaue Straßengraph wurde durch hochgenaue Referenztrajektorien mit einem speziellen Concept Car ermittelt und mittels exakten Orthophotos auf mehrere Spuren erweitert.

Parallel zur Erstellung des fahrstreifengenauen Straßengraphen wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem eine fahrstreifenfeine Verortung der Fahrzeugtrajektorien ermöglicht wurde. Dieses Verfahren bildet die Basis für fahrstreifenfeine Floating-Car-Daten-Analysen. In Abstimmung mit dem TTA wurden die GNSS/FC-Daten inklusive sämtlicher Anzeigen und Interaktionen im Fahr-

zeug aus den OnBoard-Units im TTA so aufbereitet, dass darauf aufbauend Analysen des Verkehrsflusses, Verkehrsverhaltens und der Verkehrssicherheit durchgeführt werden konnten. Dementsprechend wurden alle Fahrten einem fahstreifenfeinem Mapmatching unter Verwendung verschiedener Fehlerfilter unterzogen.

In der Simulation wurde mit Ersatzkenngrößen aus der Verkehrskonfliktforschung (Time-to-Collision und andere) gearbeitet. In der Unfallforschung werden üblicherweise über mehrere Jahre Unfalldaten erhoben und Unfallhäufungen vor und nach Einführung von Maßnahmen miteinander verglichen. Aufgrund der sehr geringen Fallzahl konnte der Einfluss kooperativer Dienste auf die Verkehrssicherheit, wie bereits im Antrag vorgesehen, nur modelltechnisch ermittelt werden. Insgesamt konnten gegenüber dem FESTA-Handbuch weitere Indikatoren zur Beschreibung des Verkehrsablaufs gefunden und später auch ermittelt und ausgewertet werden.

Zwischen dem TTA und dem Bearbeiterteam von IMPAKT wurden Szenarien und Anwendungsfälle (Use Cases) festgelegt. Der ursprünglich vom TTA vorgesehene Umfang von Testfahrten konnte aus verschiedenen Gründen nicht realisiert werden. Eine weitere Einschränkung war die gesetzlichen Vorgaben bei der Geschwindigkeitsinformation: Beim Realtest im TTA hatten die Fahrer mit ausgestatteten Fahrzeugen während der Feldtests auf den Autobahnabschnitten keinen Informationsvorsprung gegenüber Fahrern, die nur die Information auf den fest installierten Verkehrsbeeinflussungsanlagen nutzen konnten. Das bedeutet, dass nur Änderungen gegenüber der Art der Informationsdarstellung, nicht aber Fahrerreaktionen aufgrund eines früheren Informationszeitpunktes überprüft werden konnte. Diese Information zur Fahrerreaktionen wären hilfreich gewesen, um die Simulationsmodelle besser kalibrieren zu können. Technisch bedingt konnten nicht alle der wünschenswerten Messdaten im TTA ermittelt werden. Insbesondere wäre eine genauere Aufzeichnung der Fahrzeugtrajektorien für die Auswertung in IMPAKT wünschenswert gewesen. Hier verfügt das IMPAKT-Team über die notwendige Expertise, um zu wissen, dass diese gerechtfertigte technische Anforderung mit wirtschaftlichen Mitteln in den kommenden Jahren nicht realisierbar sein wird. Einzelne Spezialfahrzeuge können mit hochwertigen Navigationssensoren ausgestattet werden, aber für einen umfangreichen Feldtest, wie er im Rahmen des TTA anvisiert wurde, steht diese Option nicht offen.

In IMPAKT sind einerseits Fortschritte bezüglich eines fahstreifenfeinen Graphen erzielt worden, als auch passend dazu ein statistischer Ansatz entwickelt worden, der die Tendenz von erfolgten Fahrstreifenwechsel im gesamten FahrerInnenkollektiv mit einem recht genauen Konfidenzintervall bestimmen kann. Es wäre gut, wenn die Fahrzeugpositionierung einzelner Fahrzeuge ebenfalls fahstreifenfein erfolgen könnte, um individuelles Spurwechselverhalten (Lateralebewegung) zu analysieren. Mit dieser Zielrichtung sollten die entwickelten Ansätze aus IMPAKT weitergeführt werden. Ebenfalls von großem Interesse sind die Gründe für Fahrzeugbeschleunigungen und Verzögerungen (Longitudinalbewegungen) von Fahrzeugen, die z. B. aus Abstandssensoren des Fahrzeugs gewonnen werden können. Während die CAN-Schnittstelle im Fahrzeug oft aus rechtlichen Gründen nicht genutzt werden kann, bietet hier ggf. das CAM-Protokoll neue Übertragungswege, um diese Daten zu erheben. (Entsprechende Tests laufen derzeit im Rahmen des EcoAT.) Eine weitere Möglichkeit, um auf diese Daten zuzugreifen, kann sich durch aktuelle Entwicklungen für ein Automotive-Ethernet eröffnen, wie es im fast-Projekt5 in Deutschland realisiert werden soll.

⁵ fast actuators sensors & transceivers (www.fast-zwanzig20.de)

Zur Nutzerakzeptanz und der Wirkung kooperativer Dienste konnten wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden; ein abschließendes Urteil für ein derart umfassendes Thema kann jedoch aufgrund einer einzelnen Studie mit begrenztem empirischem Material aus dem TTA nicht gegeben werden. Dennoch konnten einige neue Erkenntnisse gewonnen werden, wie im Folgenden gezeigt wird.

Die Untersuchung der Akzeptanz der Nutzer wurde anhand eines zweistufigen Fragebogens durchgeführt. Insgesamt wurden 77 Testpersonen bezüglich ihres Mobilitätsverhaltens und der Sinnhaftigkeit der kooperativen Dienste befragt; 37 Testpersonen haben die Befragung vollständig absolviert. Es wurden nur Personen befragt, die während des Testzeitraums die kooperativen Dienste nutzen konnten. Die Mehrzahl der Testpersonen ist in dem Autobahndreieck A4, A23, S1 und A2 häufig unterwegs, wobei insgesamt zwischen VielfahrerInnen (mehr als 15.000 Pkw-km/Jahr) und weniger häufigen Pkw-NutzerInnen unterschieden wurde (siehe Abschnitt 6.2, S. 233 ff). Gemäß einer persönlichen Selbsteinschätzung verfügten die Testpersonen über unterschiedliche Fahrstile, ohne eine signifikante Ausprägung zwischen gemütlich bis sportlich. Der Fahrstil ist bezüglich der Akzeptanz kooperativer Systeme relevant.

Nach jeder Fahrt wurden die Testpersonen hinsichtlich des Nutzens der Hinweise befragt. Die Mehrheit der Befragten zeigte sich positiv gegenüber den dargestellten Informationen und dem Nutzen der Dienste, wobei der Nutzen für WenigfahrerInnen größer ist als für VielfahrerInnen, deren Befolgungsgrad der gezeigten Informationen auch geringer war. Einschränkend bleibt jedoch festzuhalten, dass die Testpersonen sich bisher nicht ausschließlich auf die in der App dargestellten Informationen verlassen wollen, weil die technische Machbarkeit einer zuverlässigen Informationsbereitstellung von den Probanden noch kritisch gesehen wird.

Die verkehrliche (Verkehrsfluss) und umweltrelevante (Energieeffizienz) Wirkung kooperativer Dienste wurde mittels mikroskopischer und makroskopischer Verkehrsmodelle untersucht. Die Messdaten aus dem TTA stellen eine wertvolle und notwendige Datenquelle zur Kalibrierung der Simulationsmodelle dar. Aufgrund der geringen Anzahl ausgerüsteter Fahrzeuge konnte die Wirkung der kooperativen Dienste auf den Verkehrsfluss nicht aus den Realdaten direkt ermittelt werden. Nachdem die Wirkung kooperativer Dienste auf den Verkehrsablauf aus den Einzelfahrten im Detail gemessen und analysiert wurden, konnten die Fahrverhaltensparameter des mikroskopischen Verkehrsflussmodells adaptiert werden, um die Wirkung kooperativer Dienste auch bei höherer Ausstattungsrate zu berechnen. Diese Methodik hat sich als zielführend erwiesen, wobei ein größeres Spektrum an Anwendungsfällen kooperativer Dienste wünschenswert gewesen wäre. Aufgrund der Ähnlichkeit der Use Cases wurden in der Simulation je ein Fall für Autobahnen (Road Works Warning (RWW) – Warnung bei Baustellen mit Fahrstreifenreduktion) und Stadtverkehr (Green Light Optimal Speed Advisory (GLOSA) – Geschwindigkeitsanzeige für bei der Annäherung auf Lichtsignalanlagen) umfassend untersucht. Bei der Kapazitätsanalyse konnten unter den gegebenen Umständen mit den Use Cases „GLOSA“ und „RWW“ im Vergleich zum derzeitigen Ausgangszustand ohne jegliche C2X-Anwendungen lediglich Steigerungen der Kapazität von 2,2 % auf urbanen Strecken (vor einer Lichtsignalanlage) und 4,3 % auf Autobahnstrecken mit der Simulation nachgewiesen werden. Dies liegt zum einen am fehlenden Informationsvorsprung kooperativer Fahrzeuge in den betrachteten Use Cases und zum anderen daran, dass sich die Fahrzeuge bereits innerhalb beeinflusster Netzabschnitte bewegen. Diese Daten wurden mittels des mikroskopischen Modells ermittelt. Eine anschließende netzweite Wirkungsanalyse bei einer Ausstattungsrate von 80 % bezogen auf das gesamte Wiener Straßennetz zeigte, dass die durchschnittlichen Reisezeiten auf den Stadtautobahnen während der Hauptverkehrszeiten um 3,1 % und im restlichen Straßennetz um 2 % reduziert werden können. Auch dieses geringe Verbesserungspotential beruht auf dem ursprünglichen Realtest, der für den Use Case RWW keinen Informationsvorsprung gegenüber den im

Testgebiet sehr gut verfügbaren VBA erlaubte. Die Lichtsignalanlagen im Testgebiet verfügten über eine gute Koordinierung, die nur in geringem Maße verkehrsabhängig geschaltet wurden. Damit haben ortskundige FahrerInnen nur geringe Zusatzinformationen erhalten können. Es ist daher umso erstaunlicher, dass selbst bei diesen geringen Zusatzinformationen überhaupt positive Veränderungen feststellbar waren.

Das Sicherheitspotential wurde aufgrund einer mikroskopischen Berechnung durchgeführt, indem eine C2X-Ausstattung von 0 %, 3 %, 15 %, 30 % und 80 % angenommen wurde. Aufgrund der Nutzung von C2X wurde vermutet, dass sich das Abstandsverhalten der Fahrzeuge mit Auswirkungen auf die Fahrsicherheit (hierunter wird die Änderung der Sicherheit einzelner, mit C2X ausgestatteter FahrerInnen im Vergleich zu anderen FahrerInnen ohne Nutzung der C2X-Anwendungen verstanden) ändert. Für den Use Case GLOSA konnten jedoch keine signifikanten Veränderungen in der Anzahl kritischer Verkehrssituationen oder Fahrzustände selbst bei unterschiedlichen Ausstattungsraten nachgewiesen werden. Bei hohen Ausstattungsraten kann der Use Case GLOSA jedoch zur Harmonisierung des Verkehrsflusses (nachgewiesen anhand einer reduzierten Streuung der Einzelfahrzeuggeschwindigkeiten) führen und damit auch zur Verbesserung der Verkehrssicherheit (Änderung der Sicherheit des gesamten Fahrzeugkollektives mit entsprechender Teilmenge an Fahrzeugen mit C2X im Vergleich zum Fahrzeugkollektiv ohne C2X) beitragen. Auch auf der Autobahn waren für den Use Case RWW keine signifikanten Änderungen kritischer Fahrzustände nachweisbar, so dass aus der IMPAKT-Studie insgesamt keine wesentlichen Änderungen in der Fahr- und Verkehrssicherheit durch C2X ableitbar sind. Aufgrund der begrenzten Anzahl untersuchter Use Cases ist damit jedoch nicht automatisch gesagt, dass C2X-Anwendungen keine Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit haben.

Die Umweltauswirkungen von C2X wurden mit Hilfe des makroskopischen Netzmodells der ITS-Vienna Region untersucht. Aufgrund der Änderungen im Verkehrsfluss ändert sich der Auslastungsgrad einzelner Strecken. Diese Änderungen bewirken Veränderungen im Fahrzustand, der wiederum für die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs und verkehrsbedingter Luftschadstoffe nach HBEFA herangezogen wird. Eine Auswertung nach Streckentyp hat gezeigt, dass die Umweltwirkung auf Autobahnen und Schnellstraßen am größten ist. Ähnlich wie für die Verkehrseffizienz ist mit einer Schadstoffreduktion von bis knapp 4 % bei einer C2X-Ausstattungsrate von 80 % zu rechnen. Auf den städtischen Straßen liegt das Potential bei etwa 1 %.

Die Ergebnisse zum Verbesserungspotential kooperativer Systeme fallen mit einstelligen prozentualen Verbesserungen insgesamt sehr gering aus. Diese Aussagen stützen sich jedoch ausschließlich auf die Messdaten aus dem TTA und den daraus generierten umfangreichen Simulationsmodellen. Im TTA sind die betrachteten Autobahnen bereits zur Gänze mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) ausgestattet, das heißt die FahrerInnen wurden bereits über verkehrliche Ereignisse informiert. Zusammen mit der rechtlichen Einschränkung, dass zwischen den mit C2X-ausgestatteten und den restlichen Fahrzeugen keine unterschiedlichen Informationen angezeigt werden durften, war auch kein echter Informationsvorsprung gegeben. Dies begründet die sehr geringen nachgewiesenen Veränderungen.

Dass auch wesentlich höhere Potentiale in Bezug auf den Verkehrsfluss möglich sind, zeigen die ersten Ergebnisse des Forschungsprojekts „Analyse von autonomen Verkehrssystemen im städtischen Raum“ (AVESTRA), bei dem die Wirkung automatischer Abstandsregelung messtechnisch erfasst und methodisch ähnlich im Simulationsmodell mit einem veränderten Fahrzeugfolgmodell umgesetzt wurde. Wenn Regler aktiv in das Fahrzeugverhalten eingreifen, sind wesentlich höhere Potentiale erzielbar als bei dem eingeschränkten Test kooperativer Systeme nachweisbar sind.

Trotz der bisher geringen Verbesserungspotentiale ergeben sich noch folgende Forschungsfragen.

- Insgesamt hat sich die Methodik von IMPAKT bewährt; d. h. das Messen künftiger Verkehrssituationen, das Übertragen der Messdaten in Simulationsmodelle für den Test weiterer Szenarien und die parallel durchgeführte Nutzerbefragung. Allerdings ist es wünschenswert, eine größere Bandbreite von Anwendungsfällen zu testen. Angebracht sind hierbei spezifische Testläufe, in denen die Wirkung einzelner Anwendungsfälle unter kontrollierten Randbedingungen analysiert werden können, ohne dass es zur Überlagerung mehrerer Effekte kommt. Dabei sollten auch Tests außerhalb des regulären Straßenverkehrs durchgeführt werden, um auch empirische Daten für Extremsituationen zu erhalten, die aufgrund der StVO derzeit nicht ermittelbar sind.
- Bisher wurden zur Analyse der Wirkung von C2X-Anwendungen lediglich FCD (GNSS-Position und Geschwindigkeit der Fahrzeuge) verwendet. Es ist zu untersuchen, in wie weit präzisere Daten aus den Fahrzeugen (xFCD, Verbrauchswerte, Daten zur genaueren Position innerhalb des Fahrstreifens anhand von Fahrzeugsensoren, ...) zusätzliche Informationen über die Effekte von C2X bieten können.
- Mit Blick auf die Entscheidungsträger hat sich gezeigt, dass die geplanten umfangreichen Realtests mit bis zu 3.000 angestrebten Testnutzern über einen mehrmonatigen Testzeitraum (inkl. Vorher- Nachher-Vergleich) in die richtige Richtung weisen. Zusammen mit einer abgestimmten Datenerfassung zwischen Pilot- und Begleitstudie, sowie den entwickelten Filterverfahren zur Extraktion relevanter Indikatoren, können belastbare Ergebnisse generiert werden. Das in IMPAKT entwickelte Verfahren mit einer fahrstreifenfeinen Modellierung des Straßengraphen und einem fahrstreifenfeinen MapMatching-Verfahren kann zukünftig einen Beitrag für verbesserte kooperative Services leisten und werden zur Weiterentwicklung z.B. im „Cooperative ITS Corridor“ empfohlen. Generell sind die Verfahren auch auf andere Feldtests leicht zu übertragen
- Im TTA und damit in IMPAKT wurden nur rein Kfz-bezogene C2X-Anwendungen betrachtet. Verhaltensänderungen, die zu einer veränderten Verkehrsmittelwahl führen, wurden nicht analysiert. In künftigen Untersuchungen sollten auch Verknüpfungen zwischen C2X und multimodalen Verkehrsauskunftssystemen wie der Verkehrsauskunft Österreich VAO betrachtet und deren Wirkungen genauer analysiert werden. Es wäre interessant, auch bei der VAO eine Evaluierung durch eine Kombination aus Nutzerbefragung und tatsächlich realisiertem Verhalten durchzuführen. Dabei sollte geprüft werden, inwieweit bisherige Kfz-Nutzer aufgrund einer aktuellen Verkehrsinformation zu intermodalen Wegekettens wechseln. Während ein vollständiger Wechsel vom Kfz zu Verkehrsmitteln des Umweltverbundes durch andere Maßnahmen als C2X bewirkt wird, sind insbesondere die P+R-Nutzung und die multimodalen Verhaltensweisen, d.h. der gelegentliche Wechsel von Kfz auf ÖV, mit Mitteln von C2X zu prüfen und einer Potentialanalyse zu unterziehen.
- Österreich übernimmt seit Jahren eine Führungsposition in Europa bei der staatlich unterstützten Erstellung von Verkehrsinformationsdiensten (nationale Projekte VAO, smile oder Mitarbeit an EU-Initiativen wie easyway). Auch in der Nutzung von GIS (graphische Informationssysteme) in den öffentlichen Verwaltungen ist Österreich recht weit. Um diesen Vorsprung zu halten, sollte auch weiterhin in den Aufbau der GIP investiert werden. In IMPAKT hat sich gezeigt, dass es für verkehrstelematische Anwendungen wie C2X sehr sinnvoll wäre, wenn fahrstreifenfeine Straßengraphen vorliegen würden. Die Erstellung weiterer Netzmerkmale und die Qualitätssicherung von GIS-Daten sollte weiterhin beforscht werden.

- Für die Analyse der Verkehrssicherheit wurde in IMPAKT das Konzept der Verkehrskonfliktforschung (Analyse von Ersatzkenngrößen wie Time-to-Collision, Time Headway u.a.) angewendet. An dieser Stelle bietet sich eine detaillierte Untersuchung an, in wie weit eine Erweiterung der Verkehrssicherheitsforschung ausgehend von der derzeitigen Unfalluntersuchung auf die Untersuchung von sicherheitskritischen Verkehrssituationen vorgenommen werden kann. Hierbei spielt vor allem auch die Verfügbarkeit neuartiger hochgenauer Fahrzeug- und Verkehrsinformationen eine entscheidende Rolle.
- Es ist in weiteren Untersuchungen zu prüfen, ob dieses Konzept eine sinnvolle Ergänzung zu den bisherigen Verkehrssicherheitsaudits darstellt. Zwar können mittels Verkehrsflusssimulationen und der Auswertung von Fahrzeugtrajektorien nur gefährliche Situationen mit mehreren Fahrzeugen erkannt werden, doch bleibt zu prüfen, ob diese Methodik beim Neu- und Umbau von Verkehrsanlagen ebenso wie bei der Analyse eines neuen Fahrverhaltens herangezogen werden kann.
- Kooperative Systeme sind nur ein Teil einer Kette vom traditionellen Fahren bis hin zum voll-automatischen Fahren. In der österreichischen Industrielandschaft mit starken, international orientierten Automobilzulieferern und Firmen der Verkehrstelematik sollten auch wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet werden, um die gesellschaftlichen, verkehrlichen sowie sicherheits- und umweltrelevanten Wirkungen verschiedener Grade der Automatisierung von Individualmobilität zu untersuchen. Auch bei großen Projekten zu kooperativen Systemen wie dem Cooperative ITS Corridor (Joint deployment Rotterdam – Frankfurt – Wien) sollte eine Evaluierung und weitestgehende Datenbereitstellung für wissenschaftliche Analysen möglich sein.
- Zahlreiche kooperative Dienste sind ausgelegt auf fahrstreifen-spezifische Dienste (z.B. lokale Gefahrenwarnungen, Spurhalte- und Wechselassistenten) benötigen entweder eine fahrstreifenfeine Lokalisierung von Ereignissen oder liefern fahrstreifenfeine Informationen. Diese Dienste sind noch in der Entwicklung. Ein fahrstreifenfeines Wegenetz würde eine präzisere Service-Entwicklung ermöglichen. In diesem Kontext ergeben sich vielfältige Forschungsbereiche, ausgehend von der Identifizierung der relevanten Services bis hin zur Implementierung.
- Ein fahrstreifenfeiner Netzgraph ist eine wichtige Basis für hochautomatisiertes bzw. autonomes Fahren. Basierend auf den fahrlinienspezifischen Eigenschaften wie z.B. Bahnkrümmung, Weglängen oder auch Fahrbahnsteigung werden Trajektorien berechnet. Diese dienen der längs- und querdynamischen Fahrzeugführung. Neben den GNSS-Positionierungen können weitere Betriebsdaten der Fahrzeuge erfasst und übertragen werden. Diese können zum einen die Fahrzeugpositionierung bei unzureichender GNSS-Daten unterstützen, zum anderen kann durch xFCD-Fahrzeuge (extended Floating Car Data) situationsbedingt auf die Verkehrssteuerung und / oder Fahrzeugführung eingegriffen werden (z.B. Anpassung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Überschreitung zulässiger Emissionswerten). Auch bereits am Markt erhältliche Fahrerassistenzsysteme (z.B. Ausweichassistent oder intelligenter Geschwindigkeitsassistent) würden von der zentimetergenauen Positionsbestimmung durch fahrstreifengenaue Straßenkarten mit dynamischen Streckeninformationen profitieren.

8 Literatur

- Beyer, O.; Hackel, H.; Pieper, V.; Tiedge, J. (1999): *Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik*, 8. Auflage. B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig
- BMVIT (2011) *Der nationale IVS-Aktionsplan 2011*, bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- BMVIT (2012) *Gesamtverkehrsplan für Österreich*, bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- BMVIT (2014) *IVS-Maßnahmenkatalog 2014*, bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- Detering, S. (2011): *Kalibrierung und Validierung von Verkehrssimulationsmodellen zur Untersuchung von Verkehrsassistenzsystemen*. Dissertation, Braunschweig
- EcoMove (2013): Fahrverhaltensparameter für die Simulation von innerstädtischen Verkehrsszenarien, projektinternes Arbeitspapier.
- Fellendorf, M.; Vortisch, P. (2010): *Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM*. in: Barcelo (Hrsg) *Fundamentals of Traffic Simulation*, Springer Verlag S. 63 - 94.
- FESTA (2011): *FESTA Handbook*. Version 4.
- FGSV (2009): *Handbuch zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen – HBS*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Ausgabe 2001 Fassung 2009, Köln.
- Geistefeldt, J. (2007): *Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen*. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 30.
- Hausberger, S.; Rexeis, M.; Luz, R. (2012): *PHEM – Passenger car and heavy duty Emission Model*, User Guide for Version 11, Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik.
- Hausberger, S. (2003): *Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions*. VKM-THD Notes, Technische Universität Graz. Vol. 82.
- Infras GmbH (2010): *Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)*. Version 3.1, Bern, Jänner 2010.
- Kölbl, R., Niegl, M. & Knoflacher, H. (2008) *A strategic planning methodology*. Transport Policy, 15, 273-282.
- Kropfitsch, B. (2013): *Mikrosimulation von Verkehrsströmen auf Verflechtungsstrecken*. Masterarbeit, Technische Universität Graz, Institut für Straßen- und Verkehrswesen.
- Neubauer, W.; Bellgardt, E.; Behr, A. (2002): *Statistische Methoden*, 2. Auflage. Vahlen, München.
- Neuhold, R.; Cik, M.; Fellendorf, M. (2011): *Typisierte Verkehrsbelastungsganglinien in der Emissionsberechnung*. In Zeitschrift: Straßenverkehrstechnik, Heft 12/2011, Kirschbaum Verlag, Bonn.

- Otterstätter, T.; Friedrich, M. (2011): Ermittlung des erforderlichen Stichprobenumfangs für Fahrzeitmessungen im Straßenverkehr. In Zeitschrift: Straßenverkehrstechnik, Heft 11/2011, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- Ponzlet, M. (1996): *Dynamik der Leistungsfähigkeiten von Autobahnen, Auswirkungen von systematischen und umfeldbedingten Schwankungen des Geschwindigkeitsverhaltens und deren Beschreibung in Verkehrsflussmodellen*. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum.
- PTV AG (2011): *Visum 12 Benutzerhandbuch*. Karlsruhe, November 2011.
- simTD (2012): *Working Document W41.2b Nicht-technisches Auswertungskonzept*, unveröffentlichtes Arbeitspapier.
- simTD (2012): *Working Document W43.3 Verkehrssimulation – Allgemeines*, unveröffentlichtes Arbeitspapier.
- STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus Umweltbedingungen - Umweltverhalten 4. Quartal 2007. Erstellt am: 20.04.2009
- Testfeld Telematik Austria (2013): *AP 6000 Assessment Methodology*. Version 2.1, projektinternes Arbeitspapier.
- van Aerde, M. (1995): *A Single Regime Speed-Flow-Density Relationship for Freeways and Arterials*. Proceedings of the 74th TRB Annual Meeting. Washington D.C.
- van der Horst, R. & Hogema, J. (1993): *Time to collision and collision avoidance systems*. Proceedings of the 6th ICTCT Workshop (pp. 291-296). Salzburg: Austrian Road Safety Board.
- Venkatesh, V., Morris, M.I G., Davis, G. B., Davis F. D. (2003) User Acceptance Of Information Technology: Towards A Unified View. *MIS Quarterly*, 27 (3), p425-478.
- Vogel, K. (2002): *What characterizes a „free vehicle“ in an urban area?* Transportation Research Part F5, S. 15 – 29.
- Wickens Ch., Hollands J. 2000, *Engineering Psychology and Human Performance*, 3rd Edition, Prentice-Hall Inc, New Jersey

Impressum



Herausgeber und Programmverantwortung IV2Splus

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2, A-1030 Wien
Ansprechpartnerin I2V: DI (FH) Sarah Krautsack
Tel.: +43 (0)1 7116265 - 3211
E-Mail: Sarah.Krautsack@bmvit.gv.at
www.bmvit.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

rk-communication mobility e.U.
Kleine Neugasse 7/16
1050 Wien
AnsprechpartnerIN: Dr. Robert Kölbl
T: +43 699 1205 1111
E-Mail: r.koelbl@rk-cm.com
www.rk-cm.com



Technische Universität Graz
Institut für Straßen- und Verkehrswesen
Rechbauerstraße 12/II
A-8010 Graz
AnsprechpartnerIN:
T: +43 (0)316 873-6221
F: +43 (0)316 873-4199
E-Mail: isv@tugraz.at
www.tugraz.at



Technische Universität München
Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Arcisstraße 21
80333 München
AnsprechpartnerIN:
Telefon: +49 89 289 22438
Fax: +49 89 289 22333
E-Mail: info@vt.bgu.tum.de
www.vt.bgu.tum.de



TraffiCon – Traffic Consultants GmbH
Strubergasse 26
A-5020 Salzburg
AnsprechpartnerIN:
Tel: +43 (0) 662 – 461102-0
Fax: +43 (0) 662 – 461102-1
E-Mail: krampe@trafficon.eu
www.trafficon.eu



Programmmanagement IV2Splus

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
1090 Wien, Sensengasse 1
Ansprechpartnerin I2V: Mag.(FH) Nicole Prikoszovits
Tel.: +43 (0) 57755 5063
E-Mail: nicole.prikoszovits@ffg.at
www.ffg.at

Mitglieder des Beirats

Alexander Frötscher – Schnittstelle zum TTA
AustriaTech

Werner Ablinger
Wiener Linien, K35 Angebotsplanung

Thomas Feßl
Wirtschaftskammer Österreich, Stabsabteilung Wirtschaftspolitik

Helge Molin
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Sekt. II, Abt. Infra 4 - Gesamtverkehr und Infrastrukturfinanzierung

Reinhard Pfliegl
A3PS

Franz Schwammhöfer
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Sekt. II, Abt. Infra 4 - Gesamtverkehr und Infrastrukturfinanzierung

Anhang

Anhang A1: Kenngrößen FESTA Handbook	A 1
Anhang A2: Kenngrößen IMPAKT	A 25
Anhang A3: Datenkatalog IMPAKT	A 31
Anhang A4: Testfeld Telematik Dokument „Assessment Methodology“	A 36
Anhang A5: Zusammenhänge bei der Fragebogenerstellung	A 53
Anhang B1: Simulationsergebnisse Fahr- und Verkehrssicherheit - Visualisierung ..	B1 - I
Anhang B2: Simulationsergebnisse Fahr- und Verkehrssicherheit - Tabellen	B2 - I
Anhang C: Realdatenauswertung.....	C - I

Anhang A1 – Kenngrößen FESTA Handbook

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P01	speed	Mean speed	Mean speed of the vehicle	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P02	speed	SD speed	Standard deviation of vehicle speed	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P03	speed	Maximum speed	Max speed recorded over event/scenario	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P04	speed	Minimum speed	Mix speed recorded over event/scenario	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P05	speed	85th %ile speed	85th percentile speed	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P06	speed	Median speed	median speed	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P07	speed	Spot speed	measured speed in a certain spot (defined location)	m/s (kph or mph)	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance AND GPS_Longitude AND GPS_Latitude
P08	speed	Percentage speed limit violation	time and/or distance (or proportion of) spend exceeding posted speed limit	s or m (%) (count)	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) (AND SpeedLimit_ISA OR SpeedLimit_RoadDatabase OR SpeedLimit_SignRecognition)

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P09	speed	number of speed limit violations	the number of times the speed limit was exceeded (count transitions from below speed limit to above speed limit)		objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) (AND SpeedLimit_ISA OR SpeedLimit_RoadDatabase OR SpeedLimit_SignRecognition)
P10	speed	approach speed to events	speed at xxx seconds or xxx meters before an event	m/s	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND [event time or location]
P11	acceleration	maximum acceleration	peak level of longitudinal or lateral acceleration achieved during a scenario	m/s ²	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance OR Acc_Long OR AccLat
P12	acceleration	maximum jerk	peak level of rate of change of longitudinal or lateral acceleration	m/s ³	objective	quantitative	Jerk_Long OR Jerk_Lat
P13	acceleration	max brake force					Brake_Force
P14	acceleration	number of times brake force > xxx	the number of times the brake force exceeds xxx per time or distance or another appropriate variable		objective	quantitative	Brake_Force
P15	distance	Mean time headway (THW)	* The mean value of the time gap to a object, e.g., a lead vehicle (bumper to bumper) or pedestrian, which is travelling in the vehicle's path of travel.	s	objective	quantitative	THW

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P16	distance	Mean of time headway (THW) local minima	<ul style="list-style-type: none"> * Defined as the mean of the local THW minima. * A local THW minima is determined within a THW waveform * Reflects a safety margin to a lead vehicle, pedestrian or other object 	s	objective	quantitative	THW
P17	distance	Standard deviation of time headway (THW)	<ul style="list-style-type: none"> * Defined as the standard deviation of the THW 	s	objective	quantitative	THW
P18	distance	Standard deviation of the local time headway (THW) minima	<ul style="list-style-type: none"> * Defined as the standard deviation of the local THW minima. 	s	objective	quantitative	THW
P19	distance	The proportion of time headway (THW) local minima less than 1s	<ul style="list-style-type: none"> * The proportion of THW local minima less than 1 seconds * Reflects a percentage of extremities in the longitudinal control task 	-	objective	quantitative	THW
P20	distance	The probability of time headway (THW) less than 1s during following	<ul style="list-style-type: none"> * The probability that the THW is less than a 1s during following. * Reflects a percentage of extremities in the longitudinal control task 	-	objective	quantitative	THW
P21	driver behaviour	The probability of following	<ul style="list-style-type: none"> * The probability of following * Reflects the traffic density 	-	objective	1	THW

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P22	distance	Mean of time-to-collision (TTC) local minima	<p>* The mean time required for two vehicles (or a vehicle and a object) to collide if they continue at their present speed and on the same path.</p> <p>* Measures a longitudinal margin to lead vehicles or objects.</p>	s	objective	quantitative	TTC
P23	distance	The proportion of time-to-collision (TTC) local minima less than 4 seconds	<p>* The proportion of TTC local minima less than 4 seconds</p> <p>* Reflects the proportion of safety critical values of the longitudinal control task</p>	-	objective	quantitative	TTC
P24	distance	Time exposed time-to-collision (TET) probability	<p>* Proportion of time of which the TTC is less than 4s</p> <p>* The duration of exposition to safety-critical time-to-collision values over a specified time duration</p>	-	objective	quantitative	TTC
P25	distance	Time integrated time-to-collision (TIT) probability indicator	<p>* Time-to-collision (TIT) performance indicator weighted by the duration and amplitude of safety critical TTC values.</p> <p>* Reflects the exposition time to duration-weighted unsafe TTC-values, which is negative for road safety.</p>	-	objective	quantitative	TTC

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P26	distance	Mean (Median) value of the minima time-line-crossing (TLC) values (sometimes called the mean TLC)	<p>* TLC is defined as the time to reach the lane marking assuming a fixed heading angle and a constant speed.</p> <p>* Mean (Median) TLC is defined as the mean (median) of the local minima.</p> <p>* Reflects the percentage of extremities in the lateral control task</p>	s	objective	quantitative	TLC
P27	distance	The proportion of time-to-line-crossing (TLC) min values < 1 s	<p>* Time to reach the lane marking assuming a fixed heading angle and a constant speed.</p> <p>* The ratio # local minima smaller than one second divided by total # local minima.</p> <p>* Reflects the percentage of extremities in the lateral control task</p>	-	objective	quantitative	TLC
P28	distance	PET (Post Encroachment Time)		s			Own_Position AND (Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND Route_Actual
P29	lane change	Frequency of performed left and right lane changes	Time frequency of performed lane changes, either time or distance based	Number of lane changes made per hour or per kilometre	Objective	Quantitative	LaneChange
P30	lane change	Deviation from desired lane	Number of lanes from the current lane to the desired lane (0 if driving in the desired lane)			Quantitative	Video_ForwardView AND Position_Lat AND DriverIntention_Lane (AND GPS_Longitude AND GPS_Latitude)

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P31	lane change	Frequency of active overtaking	Time frequency of active overtaking (i.e. overtaking conducted by the subject vehicle), either time or distance based	Number of active overtaking manoeuvres per hour or per kilometre		Quantitative	LaneChange
P32	lane change	Frequency of passive overtaking	Time frequency of passive overtaking (i.e. overtaking in which the subject vehicle is overtaken), either time or distance based	Number of passive overtaking manoeuvres per hour or per kilometre		Quantitative	LaneChange
P33	lane change	Frequency of route changes	Time or distance frequency of route changes	Number of route changes per hour or per kilometre		Quantitative	Route_Intended AND Route_Actual
P34	travel time	Travel time uncertainty	The variation in travel time over a certain distance at a specific time	seconds		Quantitative	Own_Time AND Traffic_Density AND Traffic_Flow
P35	travel time	Delay	Extra travel time due to negative deviation from the intended speed profile	seconds		Quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND DriverIntention_Speed
P36	travel time	Frequency in congestion	driving time or distance spent in congestion relative to total travel time or distance	%	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND Traffic_Flow AND Traffic_Density (AND Video_ForwardView)
P37	driver behaviour	Following/free state profile	Following/free state profile of vehicle	metres (and seconds?)		Quantitative	THW AND Space_DistanceLeadVehicle
P38	user behaviour	Ex-ante usefulness	Level of usefulness perceived by the user prior to usage	N/A	subjective	quantitative qualitative	XXX questionnaire generic questionnaire focus group interview

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P39	user behaviour	Ex-post usefulness	Level of usefulness perceived by the user after practice with the system	N/A	subjective objective	quantitative qualitative	XXX questionnaire generic questionnaire focus group interview
P40	user behaviour	Perceived system consequences	Perception of positive or negative consequences of system's use	N/A	subjective objective	quantitative qualitative	
P41	user behaviour	Motivation	Level of motivation (impetus) to use system	N/A	subjective	quantitative qualitative	
P42	user behaviour	Behavioural intention	Level of intention to use system	N/A	subjective	quantitative qualitative	
P43	user behaviour	response to perceived social control / response to perceived societal expectations	impact of perceived social control on adaptive behaviour	N/A	subjective	qualitative	
P44	user behaviour	Usability	level of perceived usability	N/A	subjective objective	quantitative qualitative	
P45	user behaviour	Rate of use	Percentage (or frequency) of use of the system	% (of time spent driving)	subjective objective	quantitative qualitative	SystemON_OFF AND GPS_Longitude AND GPS_Latitude (AND Set_Level AND Set_WarningRelated) (AND Accelerator_Operation AND Clutch_Operation AND Brake_Force AND Stw_Angle AND Direction_Indicator AND Gear_Selected AND KickDown_Activation)

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/Objective	Qualitative/Quantitative	Required measures
P46	user behaviour	Frequency of activation/deactivation	Describes how often the system is activated or deactivated, either directly via the system controls, or indirectly via the vehicle commands	Number (per time or distance or event ...)	objective	quantitative	SystemON_OFF AND GPS_Longitude AND GPS_Latitude (AND Set_Level AND Set_WarningRelated) (AND Accelerator_Operation AND Clutch_Operation AND Brake_Force AND Stw_Angle AND Direction_Indicator AND Gear_Selected AND KickDown_Activation) (AND Video_DriverHands)
P47	user behaviour	Ease of use	Judgement how easy it is to use the system	N/A	subjective	quantitative qualitative	Acquired through questionnaire items and/or verbal protocol analysis (focus groups, interviews, etc.) Can be compared (for validation) to rate of errors
P48	user behaviour	Rate of errors	Number (or frequency) of errors encountered when using the system	Number per hours of usage	objective/subjective	qualitative, quantitative (combination)	SystemON_OFF AND Set_Level AND Set_WarningRelated AND DriverIntention_System (AND Video_DriverHands) (OR IA_Correct AND IA_Erroneous)
P49	user behaviour	Comfort of use	Degree to which it is pleasant (in terms of comfort as opposed to painful) to interact and use the system	N/A	subjective	qualitative	Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique
P50	user behaviour	Learnability	Quality of the system reflecting how easy and quick it is to understand and get used to the system	N/A	subjective	qualitative	Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P51	user behaviour	Aesthetics	Perceptual quality of the system making it pleasant to see and interact with.	N/A	subjective	qualitative	Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique
P52	user behaviour	Compatibility with driving tasks	Degree to which the system usage was possible while driving without disturbing the driving tasks	N/A	subjective	qualitative	Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique
P53	user behaviour	Perceived effectiveness	Degree to which the system achieved its goal (e.g. limit speed, brake when needed)	N/A	subjective	qualitative	Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique
P54	user behaviour	Perceived efficiency	Quality of the goal achievement (e.g. accuracy of the speed maintained, reaction time, ...)	N/A	subjective	qualitative	Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique
P55	user behaviour	Usage	Indicator of how, when and why the system is used (e.g. values selected, simultaneous usage of other system) Selecting and adjusting system thresholds either intervention by using the system commands or via vehicle controls)	Depends on system	subjective objective	qualitative quantitative	SystemON_OFF AND Set_Level AND Set_WarningRelated (AND Accelerator_Operation AND Clutch_Operation AND Brake_Force AND Stw_Angle AND Direction_Indicator AND Gear_Selected AND KickDown_Activation) (AND Video_DriverHands) (AND DriverIntention_System) Questionnaire items Focus group & Interview guidelines Verbal protocol analysis technique
P56	work load	Mental Workload (RSME) (Rating Scale Mental Effort)	Unidimensional measure of mental workload expressed in terms of invested effort on a rating scale ranging from 0 to 150	mm	subjective	quantitative	RSME scale

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P57	work load	Mental Workload (HR) (Heart Rate)	Time interval between two R-peaks in the ElectroCardioGram (ECG)	Beat per minute (BPM)	objective measure (correlation to mental workload?)	quantitative	ECG
P58	work load	Mental Workload (HRV) (Heart Rate Variability)	Mean square of differences between successive intervals		objective measure (correlation to mental workload?)	quantitative	ECG
P59	system performance	Warning frequency system	Frequency of warnings emitted by the system	Number	objective	quantitative	Warning_OnOff
P60	system performance	Driver response distribution	A description of the range of different driver responses to the warning	Type, number, time (between the warning and drivers' action)	objective	quantitative	Driver_ResponseSystemIA OR Driver_ResponseDrivingBehav OR RT_Warning
P61	system performance	Intrinsic system performance	Reliability and precision of the system	Type and number of false alarms, misses etc.	Objective	quantitative	Warning_OnOff AND System_InternalState AND System_GroundTruth
P62	system performance	Availability of system	the availability of the system (in working order and active) in different situations	%	objective	quantitative	System_OnOff AND System_GroundTruth
P63	system usage	Exposure Vehicles	total kilometrage per day or trip or road type etc. per vehicle	km	objective	quantitative	Own_Distance
P158	system usage	Exposure People	total kilometrage per day or trip or road type etc. per person	km	objective	quantitative	Travel_Diary (AND Own_Distance)
P159	system usage	Exposure Goods	total kilometrage per day or trip or road type etc. per kg goods	km	objective	quantitative	GoodsTravelPath (AND Own_Distance)
P64	system usage	travel pattern	general information about travel pattern	km (/urban/rural), number of trips (>20 km, <20 km)	subjective	qualitative	Own_Distance AND Travel_Diary
P65	system usage	use of other modes	usage frequency of public transport/bicycle/walk/your own car for various trips (commuting leisure trips etc.)	km/mode	subjective	quantitative	Travel_Diary

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P66	system usage	route choice	use of different levels of roads and streets in kilometres	km (/main roads and streets/minor roads and streets)	objective	quantitative	Own_Distance AND GPS_Longitude AND GPS_Latitude (OR Route_Actual)
P67	system usage	distribution of driving time/distance across different situational variables	driving kilometrage in daylight /at night driver's choice to drive in the following conditions: no active precipitation or water/snow/ice on road surface; icy, wet and snowy road; rain/snow fall driver's choice to drive in different traffic densities	km (/in daylight/at night/per weather condition/per traffic condition)	objective and subjective	quantitative	Own_Distance AND Own_Time AND [situational variables]
P68	vehicle data	Steering Wheel Reversal Rate	Reversal rate is defined as the number of changes in steering wheel direction per km [turns/minute].	turns/minute	objective	quantitative	Stw_Angle
P69	vehicle data	Steering Wheel Angle Zero Crossings	can be an indicator for lane changes and the driving style (e.g. smooth or agitated)	it is only a count	objective	quantitative	Stw_Angle
P70	vehicle data	Steering Entropy	The behavioural entropy is calculated on the basis of prediction errors of vehicle signals. The predictions are obtained using some predictive filter as a driver model. For example, in Nakayama et al. (1999), the predictions were obtained by performing a second-order Taylor expansion using the samples at the three previous time steps.				Stw_Angle

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P71	vehicle data	StwAngleVelocity	can be an indicator for the driving style (e.g. smooth or agitated) and the reaction on an event	°/s	objective	quantitative	Stw_Angle
P72	vehicle data	MSA (Mean steering angle)	can be an indicator for the driving style (e.g. smooth or agitated) and the reaction on an event	°	objective	quantitative	Stw_Angle
P73	vehicle data	SDSA (standard deviation of the steering angle)	can be an indicator for the driving style (e.g. smooth or agitated) and the reaction on an event	°	objective	quantitative	Stw_Angle
P74	position data	MDLP (Mean deviation lateral position)		m or cm	objective	quantitative	Position_Lat
P75	position data	SDLP (standard deviation of lateral position)	index of road tracking precision or "weaving"	m or cm	objective	quantitative	Position_Lat
P76	vehicle data	frequency of lane exceedances	The number of times per a certain distance or time the vehicle leaves the own lane boundaries. The lane boundaries are defined as the inner edges of the lane markings. The vehicle boundaries are defined as the outer edges of the front wheels.	count	objective	quantitative	Position_Lat AND (LaneWidth_SensorBased OR LaneWidth_MapBased) (AND DriverIntention_LateralControl)
P77	vehicle data	percentage driven outside of lane	This is defined as the proportion of time any part of the vehicle is outside the lane boundary [%]. The lane boundaries are defined as the inner edges of the lane markings. The vehicle boundaries are defined as the outer edges of the front wheels.	%	objective	quantitative	Position_Lat AND (LaneWidth_SensorBased OR LaneWidth_MapBased) (AND DriverIntention_LateralControl)

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P78	driver behaviour	percentage eyes on road	percentage of time or distance driven during which the driver's glance direction is focused on the road (driving scene)	%	objective (with certain subjective share, depending on measuring device and analysis method)	qualitative (zones), quantitative (gaze coordinates)	(GazeDir_EyeTracker OR GazeDir_VideoBased) AND GazeRelated_ZoneX
P79	driver behaviour	percentage eyes off road	percentage of time or distance driven during which the driver's glance direction is focused off the road (driving scene)	%	objective (with certain subjective share, depending on measuring device and analysis method)	qualitative (zones), quantitative (gaze coordinates)	(GazeDir_EyeTracker OR GazeDir_VideoBased) AND GazeRelated_ZoneX
P80	driver behaviour	percentage glances to zone X	percentage of time or distance driven during which the driver's glance direction is focused on a specific Zone X		objective (with certain subjective share, depending on measuring device and analysis method)	qualitative (zones), quantitative (gaze coordinates)	(GazeDir_EyeTracker OR GazeDir_VideoBased) AND GazeRelated_ZoneX
P81	driver behaviour	glance duration (mean, max) off road	mean and max glance duration off the road for single glances	s	objective (with certain subjective share, depending on measuring device and analysis method)	qualitative (zones), quantitative (gaze coordinates)	(GazeDir_EyeTracker OR GazeDir_VideoBased) AND GazeRelated_ZoneX
P82	driver behaviour	glance frequency into Zone X	number of times a driver glances at a certain Zone X (e. g. mirrors, speedometer, IVIS, etc.) per xxx (time, distance, event, ...)		objective (with certain subjective share, depending on measuring device and analysis method)	qualitative (zones), quantitative (gaze coordinates)	(GazeDir_EyeTracker OR GazeDir_VideoBased) AND GazeRelated_ZoneX

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P83	driver behaviour	glance duration (mean, max) to Zone X	mean and max glance duration to Zone X for single glances	s	objective (with certain subjective share, depending on measuring device and analysis method)	qualitative (zones), quantitative (gaze coordinates)	(GazeDir_EyeTracker OR GazeDir_VideoBased) AND GazeRelated_ZoneX
P84	driver behaviour	drowsiness according to KSS					KSS (Karolinska Sleepiness Scale)
P85	driver behaviour	mean PERCLOS					(EyeClosure_EyeTracker OR EyeClosure_VideoBased)
P86	driver behaviour	mean ELS score					
P87	driver behaviour	frequency of direction indicator use	how often the direction indicator is used per time or distance or other variables		objective	quantitative	Direction_Indicator
P88	distraction	distribution of manual distractions	describes what types of secondary tasks the driver engages in		objective (with certain subjective interpretation)	qualitative	Video_Hands OR Video_OverShoulder (AND Video_Face)
P89	distraction	duration of manual distractions	accumulated duration per xxx of engagement in the secondary tasks		objective	quantitative	Video_Hands OR Video_OverShoulder (AND Video_Face)
P90	incident	number of crashes	number of crashes per time, distance, study phase or another situational variable				Crash
P91	incident	own collision velocity	velocity of vehicle at contact				Crash AND Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P92	incident	relative velocity between own vehicle and collision object	relative velocity between the vehicle and the other object at contact				Crash AND Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance AND (Speed_RelativeLeadVehicle OR Speed_RelativeOtherVehicles OR Speed_RelativeOtherObjects
P93	incident	number of near crashes	number of near-crashes per time, distance, study phase or another situational variable				Crash_Near
P94	incident	number of incidents	number of incidents per time, distance, study phase or another situational variable				Incident
P95	work load	VDT hit rate	Percentage of correct responses to a visual stimulus.	%	objective measure (correlation to visual and mental workload)	quantitative	RT_Stimulus
P96	work load	VDT reaction time	Defined as the time from stimulus onset to response.	ms	objective measure (correlation to visual and mental workload)	quantitative	RT_Stimulus
P97	speed	mean speed for speed > 0	Not including stop time	m/s	objective		Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance
P98	speed	Vehicle driving pattern matrix		% distribution of journey time on V and dV/dT classes	objective	quantitative	Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance (AND Acc_Long)
P99	engine	Average drag force work calculated based on driving pattern	Not including losses in drivetrain and not including	kWh/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND Road_Gradient AND [Vehicle Parameters]

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P100	engine	Engine (1) driving pattern matrix calculated		% distribution of journey time on rps and torque classes	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND Road_Gradient AND [Vehicle Parameters] AND Engine_Speed_1
P101	engine	Average engine (1) work calculated based on engine driving pattern	Including losses in drive train	kWh/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND Road_Gradient AND [Vehicle Parameters] AND Engine_Speed_1
P102	engine	Average engine (1) work based on measured engine pressure and engine speed		kWh/km			Engine_Speed_1 AND Engine_Pressure_1
P103	engine	Average fuel consumption (1), hot engine, calculated		l/km;	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P104	engine	Average fuel consumption (1), hot engine, calculated based on engine driving pattern		l/km;	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND Road_Gradient AND [Vehicle Parameters] AND Engine_Speed_1 AND Engine_MapFuel

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/Objective	Qualitative/Quantitative	Required measures
P105	engine	Average fuel consumption (1) cold start calculated		l/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Time_OfDay AND Date AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN
P106	engine	Average fuel consumption (1) total calculated		l/km	objective	quantitative	P103 (Average hot FC) AND P105 (Average cold start FC) AND P63 (exposure) AND P149 (Engine starts)
P107	engine	Average fuel consumption (1) measured without fuel temp correction		l/km	objective	quantitative	Fuel_Consumption_1
P108	engine	Average fuel consumption (1) measured with fuel temp correction		l/km	objective	quantitative	Fuel_Consumption_1 AND Fuel_Temperature_1
P109	engine	Average HC (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P110	engine	Average HC (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/Objective	Qualitative/Quantitative	Required measures
P111	engine	Average HC (1) total calculated (excl. evap.)		g/km	objective	quantitative	P103 (Average hot FC) AND P105 (Average cold start FC) AND P63 (exposure) AND P149 (Engine starts)
P112	engine	Average HC (1) evap calculated		g/km	objective		Model_Macro AND TemperatureAmbient_CAN AND RVP
P113	engine	Average HC (1) total calculated (incl. evap.)		g/km	objective		P111 (Average HC) AND P63 (Exposure) AND P149 AND Date
P114	engine	Average HC (1) measured (excl. evap)		g/km	objective	quantitative	HC_1
P115	engine	Average CH4 (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P116	engine	Average CH4 (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN
P117	engine	Average CH4 (1) total calculated		g/km	objective		P103 (Average hot FC) AND P105 (Average cold start FC) AND P63 (exposure) AND P149 (Engine starts)
P118	engine	Average CH4 (1) measured		g/km	objective	quantitative	CH4_1

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/Objective	Qualitative/Quantitative	Required measures
P119	engine	Average NMHC (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P120	engine	Average NMHC (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN
P121	engine	Average NMHC (1) total calculated		g/km	objective		P119 (Average hot NMHC) AND P120 AND P63 (Exposure) AND P149 (Engine starts)
P122	engine	Average NMHC (1) measured		g/km	objective	quantitative	NMHC_1
P123	engine	Average CO (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P124	engine	Average CO (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN
P125	engine	Average CO (1) total calculated		g/km	objective	quantitative	P123 (Average hot CO) AND P124 (Average cold start CO) AND P63 (Exposure) AND P149 (Engine starts)

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/Objective	Qualitative/Quantitative	Required measures
P126	engine	Average CO (1) measured		g/km	objective	quantitative	CO_1
P127	engine	Average NOx (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P128	engine	Average NOx (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN
P129	engine	Average NOx (1) total calculated		g/km	objective	quantitative	P127 (Average hot NOx) AND P128 (Average cold start NOx) AND P63 (Exposure) AND P149 (Engine starts)
P130	engine	Average NOx (1) measured		g/km	objective		NOx_1
P131	engine	Average NO (1) measured		g/km	objective		NO_1
P132	engine	Average NO2 (1) measured		g/km	objective		NO2_1
P133	engine	Average CO2 (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	P103 (FC hot calculated) AND Constant_CO2
P134	engine	Average CO2 (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	P105 (FC cold start calculated) AND Constant_CO2
P135	engine	Average CO2 (1) total calculated		g/km	objective	quantitative	P106 (FC average total calculated) AND Constant_CO2

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P136	engine	Average CO2 (1) measured based on measured FC		g/km	objective	quantitative	(P107 OR P108 (FC average measured)) AND Constant_CO2
P137	engine	Average PM (1) hot calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro OR P98 (Driving Matrix) AND Model_Micro
P138	engine	Average PM (1) cold start calculated		g/start	objective	quantitative	Model_Macro AND Own_Distance AND Own_Time AND Engine_Speed_1 AND TemperatureAmbient_CAN
P139	engine	Average PM (1) total calculated		g/km	objective	quantitative	P137 (Average hot PM) AND P138 (Average cold start PM) AND P63 (Exposure) AND P149 (Engine starts)
P140	engine	Average PM (1) measured		g/km	objective	quantitative	PM_1
P141	engine	Average N2O (1) total calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro
P142	engine	Average NH3 (1) total calculated		g/km	objective	quantitative	(Speed_CAN OR Speed_GPS OR Speed_WheelUnitDistance) AND TrafficSituation_Artemis AND Model_Macro
P143	engine	Average SO2 hot calculated					P103 (FC hot calculated) AND Constant_SO2

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P144	engine	Average SO2 cold start calculated					P105 (FC cold start calculated) AND Constant_SO2
P145	engine	Average SO2 (1) total calculated					P106 (FC average total calculated) AND Constant_SO2
P146	engine	Average SO2 (1) measured based on measured FC					(P107 OR P108 (FC average measured)) AND Constant_SO2
P147	engine	Average use of electricity from the power net		kWh/km	objective	quantitative	Electricity_FromNet
P148							
P149	engine	Engine starts		number	objective	quantitative	Engine_Speed_1
P150	engine	Engine average start temp		°C			Temperature_Water_1 AND Temperature_EngineOil_1 AND Temperature_CatConverter_1 AND Temperature_TransmissionOil_1
P151	driver behaviour	Trip length distribution		%/trip length (km) class	objective	quantitative	(Own_Distance AND Own_Time) OR Route_Actual
P152	driver behaviour	Parking time distribution		%/parking time (h) class	objective	quantitative	Own_Time AND Engine_Speed_1
P153	work load	Average load factor		% of max load (weight)	objective	quantitative	Load_DriverPassengers AND Load_Extra
P154	driver behaviour	Average use of trailer		% of mileage	objective	quantitative	Trailer_Connected
P155	driver behaviour	Activation - Deactivation Checklist Adjective Checklist (AD ACLs)	Multidimensional self-rating of momentary activation and arousal stress	Rating of adjectives on scales with four response alternatives	subjective	quantitative	

KEY_PI	Performance group	Performance indicator	Description	Unit	Subjective/ Objective	Qualitative/ Quantitative	Required measures
P156	driver behaviour	Driving Behaviour Questionnaire (DBQ)	Self-report measure of the frequency of lapses, errors, aggressive and "ordinary" violations during normal driving	Six-point rating scale ranging from "never" to "nearly all the time"	subjective	quantitative	
P157	driver behaviour	Driving Quality Scale (DQS)	Self-report measure of the quality of own driving performance ("How well did you drive during the trial, compared to normal?")	Rating scale ranging from -100 ("I drove extremely bad") to +100 ("I drove extremely well")	subjective	quantitative	

Anhang A2 – Kenngrößen IMPAKT

Kenngrößen zur Bewertung der Nutzerakzeptanz von kooperativen Systemen

Fragestellung	Ziel /Objective	Messgrößen	Genauigkeit	Messgrößenerhebung	Analysis Tools, Modelle	Datenvoraussetzung, Input	Indikator / Output	Erwartete Resultate
Macro								
Ermittlung des Modalshift-Potential	Mobilitätsänderungen	Fragen / GPS-Tracks per Testperiode			Statistische Analyse	Daten der Wiener Linien / Fluidtime Daten	Reisezeit-Potentialanalyse mit Vergleich MIV vs MIV+ÖV, ÖV	Ermittlung des Modalshift-Potential
Messo								
Fragen zur Nutzerakzeptanz auf der Gruppenebene	gruppenbezogener Vergleich - Änderungen der Indikatoren über die Testperiode	Appservice-Information / GPS - Tracks / App-Fragen		Akkumulierte APP-Fragebogendaten	UTAUT - Fragebogenanalyse - Fahrerverhaltenanalyse auf Basis der Gruppen, d. h. zuerst die Gruppenaggregationen und dann die Differenzenbildung	APP-Fragebogen / GPS - Daten	Performance - Erwartung - Erfahrung - Einstellung - Sozialer Einfluss - Verhaltenseinschätzung - Selbsteinschätzung über die Testperiode	gruppenbezogener Vergleich - Änderungen der Indikatoren über die Testperiode
Fragen zur Nutzerakzeptanz auf der Gruppenebene	gruppenbezogener Vergleich - Änderungen der Indikatoren über die Testperiode	Onlinefragebogen-Information / GPS - Tracks		Akkumulierte online-Fragebogendaten	UTAUT - Fragebogenanalyse - Fahrerverhaltenanalyse auf Basis der Gruppen, d. h. zuerst die Gruppenaggregationen und dann die Differenzenbildung	Online Fragebogen	Performance - Erwartung - Erfahrung - Einstellung - Sozialer Einfluss - Verhaltenseinschätzung über die Testperiode	gruppenbezogener Vergleich - Änderungen der Indikatoren über die Testperiode
Micro								
Fragen der individuellen Nutzung (siehe Liste der Fragen aus Key successfactors)	Vergleich vorher - nachher nach der Fahrt	Appservice-Information / GPS - Tracks / App-Fragen		nach der Fahrt - 4 x pro Woche (Hin und Rückfahrt)	UTAUT - Fragebogenanalyse - Fahrerverhaltenanalyse auf Basis der Einzelperson, d. h. zuerst Differenz auf Personenebene und dann die Aggregation	APP-Fragebogen / GPS - Daten	<i>Unmittelbare</i> Performance - Erwartung - Erfahrung - Einstellung - Sozialer Einfluss - Verhaltenseinschätzung - Selbsteinschätzung	personenbezogener Vergleich - Reaktion auf Fahrt
Fragen der individuellen Nutzung (siehe Liste der Fragen aus Key successfactors)	Vergleich vorher - nachher: Während der Testperiode	Onlinefragebogen-Information / GPS - Tracks		zu Beginn, während des Versuchs, nach der Versuchsperiode	UTAUT - Fragebogenanalyse - Fahrerverhaltenanalyse auf Basis der Einzelperson, d. h. zuerst Differenz auf Personenebene und dann die Aggregation	Online Fragebogen	<i>Mittelbare</i> Performance - Erwartung - Erfahrung - Einstellung - Sozialer Einfluss - Verhaltenseinschätzung - Selbsteinschätzung	personenbezogener Vergleich -

Kenngrößen zur Bewertung der Verkehrs- und Umwelteffizienz von kooperativen Systemen

Fragestellung	Rückmeldung	Ziel /Objective	Messgrößen	Genauigkeit	Messgrößenerhebung	Analysis Tools, Modelle	Datenvoraussetzung, Input	Indikator / Output	Erwartete Resultate
Macro									
Effizienz des Verkehrsflusses Umwelteffekte	Reisezeit (System)	Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	online makroskopisches Verkehrsnachfragemodell (ITS Vienna Region)	makroskopisches Verkehrsnachfragemodell	Verkehrslage aus Nachfragemodell	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
Effizienz des Verkehrsflusses	Verlustzeit (System)	Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	online makroskopisches Verkehrsnachfragemodell (ITS Vienna Region)	makroskopisches Verkehrsnachfragemodell	Verkehrslage aus Nachfragemodell	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
Meso									
Effizienz des Verkehrsflusses Umwelteffekte	Reisezeit (Abschnitt)	Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
Effizienz des Verkehrsflusses	Kapazität (Abschnitt)	Differenz der Strecken- und Knotenkapazität	Fahrzeuge/Stunde	hoch	Daten von Asfinag und Stadt Wien	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien	Kapazitätsdifferenz	Erhöhung der Strecken und Knotenpunktkapazität
		Differenz der Strecken- und Knotenkapazität	Fahrzeuge/Stunde	hoch	Daten von Asfinag und Stadt Wien	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Kapazitätsdifferenz	Erhöhung der Strecken und Knotenpunktkapazität
Effizienz des Verkehrsflusses	Fahstreifen-verteilung (Abschnitt)	Differenz der Fahstreifen-aufteilung	Fahrzeuge/Stunde	hoch	Daten von Asfinag	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	Stationäre Daten von Asfinag	Prozentuelles Verkehrsaufkommen je Fahstreifen	Bessere Auslastung der Fahstreifen
Effizienz des Verkehrsflusses	Zeitlücke	Veränderung des Abstandes zum Vorderfahrzeug	Sekunde	hoch	Daten von Asfinag und Stadt Wien	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien	Zeitlückendifferenz Standardabweichung	
		Veränderung des Abstandes zum Vorderfahrzeug	Sekunde	hoch	Daten von Asfinag und Stadt Wien	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien	Zeitlückendifferenz Standardabweichung	

Fragestellung	Rückmeldung	Ziel /Objective	Messgrößen	Genauigkeit	Messgrößenerhebung	Analysis Tools, Modelle	Datenvoraussetzung, Input	Indikator / Output	Erwartete Resultate
Micro									
Effizienz des Verkehrsflusses Umwelteffekte	Reisezeit (individuell)	Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
		Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
Effizienz des Verkehrsflusses	Verlustzeit (individuell)	Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
		Reisezeitdifferenz	Zeit in Stunden, Minuten, Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Reisezeitdifferenz	Reisezeitverkürzung
Effizienz des Verkehrsflusses Umwelteffekte	Anzahl der Halte	Veränderung der Haltevorgänge	Anzahl	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Anzahl der Halte	Reduktion der Haltevorgänge
		Veränderung der Haltevorgänge	Anzahl	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Anzahl der Halte	Reduktion der Haltevorgänge
Effizienz des Verkehrsflusses Umwelteffekte	Geschwindigkeit	Veränderung des Geschwindigkeitsverlauf	Kilometer pro Stunde	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	mittlere Geschwindigkeit Standardabweichung maximale/minimale Geschwindigkeit	Verringerung der Standardabweichung und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
		Veränderung des Geschwindigkeitsverlauf	Kilometer pro Stunde	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	mittlere Geschwindigkeit Standardabweichung maximale/minimale Geschwindigkeit	Verringerung der Standardabweichung und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
Effizienz des Verkehrsflusses Umwelteffekte	Beschleunigung	Veränderung des Beschleunigungsverlauf	Meter pro Sekunde ²	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	mittlere Beschleunigung Standardabweichung Zeitanteil am Gesamtfahrverlauf positive/negative Beschleunigung	Verringerung der Standardabweichung und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
		Veränderung des Beschleunigungsverlauf	Meter pro Sekunde ²	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	mittlere Beschleunigung Standardabweichung Zeitanteil am Gesamtfahrverlauf positive/negative Beschleunigung	Verringerung der Standardabweichung und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
Effizienz des Verkehrsflusses	Anfahrzeit an LSA	Veränderung des Zeitbedarfs zwischen Grünsignal und Anfahrprozess	Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	Signalzeiten von Stadt Wien und GPS-Daten	Anfahrzeit an LSA	Verringerung der Anfahrzeit
		Veränderung des Zeitbedarfs zwischen Grünsignal und Anfahrprozess	Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsflosssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Signalzeiten von Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Anfahrzeit an LSA Änderung der Sättigungsverkehrsstärke	Verringerung der Anfahrzeit pro LSA und somit Erhöhung der Knotenkapazität
Umwelteffekt	Umsteigehäufigkeit auf Öffentlichen Verkehr	Nutzung der P&R-Anlagen	Anzahl	mittel	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Veränderung der Nutzung von P&R-Anlagen und somit Benutzung der Öffentlichen Verkehrsmittel	Erhöhung der Nutzung von Öffentlichen Verkehrsmitteln

Kenngroßen zur Bewertung der Fahr- und Verkehrssicherheit von kooperativen Systemen

Fragestellung	Rückmeldung	Ziel /Objective	Messgrößen	Genauigkeit	Messgrößenerhebung	Analysis Tools, Modelle	Datenvoraussetzung, Input	Indikator / Output	Erwartete Resultate
---------------	-------------	-----------------	------------	-------------	--------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------	---------------------

Meso									
Effizienz des Fahrzeuges Verkehrssicherheit des Verkehrsflusses	Geschwindigkeit	Lokale Geschwindigkeiten aller Fahrzeuge einer Gruppe für alle Querschnitte zwischen zwei Punkten	Kilometer pro Stunde	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	lokale Geschwindigkeiten, Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
Effizienz des Fahrzeuges Verkehrssicherheit des Verkehrsflusses		Lokale Geschwindigkeiten aller Fahrzeuge einer Gruppe für alle Querschnitte zwischen zwei Punkten	Kilometer pro Stunde	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	lokale Geschwindigkeiten, Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
Verkehrssicherheit des Verkehrsflusses	Harmonisierung des Verkehrsablaufs	Standardabweichung der lokalen Geschwindigkeiten		hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Standardabweichung der lokalen Geschwindigkeiten,Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
		Standardabweichung der lokalen Geschwindigkeiten		hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Standardabweichung der lokalen Geschwindigkeiten,Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
Verkehrssicherheit des Verkehrsflusses	Harmonisierung des Verkehrsablaufs	Standardabweichung der momentanen Geschwindigkeiten		hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Standardabweichung der momentanen Geschwindigkeiten,Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
		Standardabweichung der momentanen Geschwindigkeiten		hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Standardabweichung der momentanen Geschwindigkeiten,Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
Verkehrssicherheit des Verkehrsflusses	Harmonisierung des Verkehrsablaufs	Differenz der mittleren lokalen Geschwindigkeiten zwischen den Fahrstreifen an einem Querschnitt		hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Differenz der mittleren lokalen Geschwindigkeiten zwischen den Fahrstreifen an einem Querschnitt, Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
		Differenz der mittleren lokalen Geschwindigkeiten zwischen den Fahrstreifen an einem Querschnitt		hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Differenz der mittleren lokalen Geschwindigkeiten zwischen den Fahrstreifen an einem Querschnitt, Median/Mittelwert/Minimum/Maximum/(Quantile)	
Micro									
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Abstandsverhalten	Mittlere Nettozeitlücke	Zeit in Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	mittlere NettozeitlückeMedian/Mittelwert/Standardabweichung/Quantile/...	
		Minimale Nettozeitlücke	Zeit in Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	minimale NettozeitlückeMedian/Mittelwert/Standardabweichung/Quantile/...	
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges		Mittlere Nettozeitlücke	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	mittlere NettozeitlückeMedian/Mittelwert/Standardabweichung/Quantile/...	
		Minimale Nettozeitlücke	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	minimale NettozeitlückeMedian/Mittelwert/Standardabweichung/Quantile/...	
Fragestellung	Rückmeldung	Ziel /Objective	Messgrößen	Genauigkeit	Messgrößenerhebung	Analysis Tools, Modelle	Datenvoraussetzung, Input	Indikator / Output	Erwartete Resultate

Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Beschleunigungsverhalten	Maximale Längsbeschleunigung	Zeit in Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	maximale Längsbeschleunigung, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
		Minimale Längsbeschleunigung	Zeit in Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	minimale Längsbeschleunigung, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
		Maximale Querbeschleunigung	Zeit in Sekunden	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	maximale Querbeschleunigung, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges		Maximale Längsbeschleunigung	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	maximale Längsbeschleunigung, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
		Minimale Längsbeschleunigung	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	minimale Längsbeschleunigung, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
		Maximale Querbeschleunigung	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	maximale Querbeschleunigung, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Minimale time to collision TTC	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Minimun, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Mittlerer Anteil THW < 0.8s	Anteil	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Mittelwert, Median/Standardabweichung/Quartile/...
		Mittlerer Anteil THW < 0.8s	Anteil	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Mittelwert, Median/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Mittlerer Anteil der Dauer time to collision TTC < 4s	Anteil	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Mittelwert, Median/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Mittlerer Anteil der Geschwindigkeitsübertretungen	Anteil	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Mittelwert, Median/Standardabweichung/Quartile/...
		Mittlerer Anteil der Geschwindigkeitsübertretungen	Anteil	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Mittelwert, Median/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Anzahl der Überschreitung einer kritischen Längsbeschleunigungsschwelle	Anzahl	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Summe, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
		Anzahl der Überschreitung einer kritischen Längsbeschleunigungsschwelle	Anzahl	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Summe, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Anzahl der Überschreitungen kritischer Querbeschleunigungsschwellen	Anzahl	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Summe, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
		Anzahl der Überschreitungen kritischer Querbeschleunigungsschwellen	Anzahl	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Summe, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Anzahl an Kollisionen	Anzahl	hoch	mikroskopische Verkehrsfurssimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfinag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Summe, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...

Fragestellung	Rückmeldung	Ziel /Objective	Messgrößen	Genauigkeit	Messgrößenerhebung	Analysis Tools, Modelle	Datenvoraussetzung, Input	Indikator / Output	Erwartete Resultate
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Zeit bis zur Kollision	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Mini-mum,Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Häufigkeit kritischer Fahrsituationen	Maximum der benötigten Bremsverzögerung	Zeit in Sekunden	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Maximum,Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Reaktionsverhaltens	Absoluter Bremspunkt	Zeitpunkt t	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Absoluter Bremspunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
		Absoluter Bremspunkt	Zeitpunkt t	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Absoluter Bremspunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Reaktionsverhaltens	Relativer Bremszeitpunkt	Zeitpunkt t	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Relativer Bremszeitpunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
		Relativer Bremszeitpunkt	Zeitpunkt t	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Relativer Bremszeitpunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Reaktionsverhaltens	Absoluter Fahrstreifenwechselzeitpunkt	Zeitpunkt t	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Absoluter Fahrstreifenwechselzeitpunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
		Absoluter Fahrstreifenwechselzeitpunkt	Zeitpunkt t	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Absoluter Fahrstreifenwechselzeitpunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
Verkehrssicherheit des Fahrzeuges	Reaktionsverhaltens	Relativer Fahrstreifenwechselzeitpunkt	Zeitpunkt t	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Relativer Fahrstreifenwechselzeitpunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
		Relativer Fahrstreifenwechselzeitpunkt	Zeitpunkt t	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Relativer Fahrstreifenwechselzeitpunkt, Median/Mittelwert/Standardabweichung/Quartile/...	
Effizienz des Fahrzeuges Verkehrsicherheit des Fahrzeuges	Geschwindigkeit	Veränderung des Geschwindigkeitsverlauf (Mittelwert der Einzelfahrgeschwindigkeiten (über eine definierte Route)	Kilometer pro Stunde	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Mittelwert der Einzelfahrgeschwindigkeiten maximale/minimale Geschwindigkeit	Verringerung des Mittelwertes und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
		Veränderung des Geschwindigkeitsverlauf (Standardabweichung der Einzelfahrgeschwindigkeiten (über eine definierte Route)	Kilometer pro Stunde	hoch	Daten aus GPS-Fahrverlauf	Mathematische Berechnung aus empirischen Daten	GPS-Daten	Standardabweichung der Einzelfahrgeschwindigkeiten maximale/minimale Geschwindigkeit	Verringerung der Standardabweichung und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
		Veränderung des Geschwindigkeitsverlauf (Mittelwert der Einzelfahrgeschwindigkeiten (über eine definierte Route)	Kilometer pro Stunde	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Mittelwert der Einzelfahrgeschwindigkeiten maximale/minimale Geschwindigkeit	Verringerung des Mittelwertes und Reduktion von positiven und negativen Spitzen
		Veränderung des Geschwindigkeitsverlauf (Standardabweichung der Einzelfahrgeschwindigkeiten (über eine definierte Route)	Kilometer pro Stunde	hoch	mikroskopische Verkehrsflussimulation	Mathematische Berechnung aus Simulation	Stationäre Daten von Asfi-nag/Stadt Wien und GPS-Daten für Simulationsaufbau	Standardabweichung der Einzelfahrgeschwindigkeiten maximale/minimale Geschwindigkeit	Verringerung der Standardabweichung und Reduktion von positiven und negativen Spitzen

Anhang A3 – Datenkatalog IMPAKT

Beschreibung	Zuständigkeit	Erhebungszeitraum	Info	ID	Zu erhebende Daten
Generierung von GPS-Daten während des Betriebes der kooperativen Services von TT; Diese Ansprüche gelten für die Datenerfassung mit allen Geräten, welche zum Einsatz kommen (Smartphones, On-Board-Units verschiedener Hersteller).	Abstimmung Trafficon (PWP) - Fluidtime - Audio Mobil	ab Juni 2012 (Start der kooperativen Systeme von TT)	GPS generell	R.01	On-board-units/Smartphones; GPS
					Aufzeichnungsrate 1-10 Hz (möglichst 5-10 Hz)
				R.01.01	Zeitstempel GPS-Aufzeichnung
				R.01.02	Koordinaten long/lat
				R.01.03	Geschwindigkeit
				R.01.04	Satellitenabdeckung (Anzahl Sats)
				R.01.05	Fahrbahnzustand (nur ASG)
				R.01.06	Beschleunigung longitudinal (nur ASG)
			R.01.07	Beschleunigung lateral (nur ASG)	
			R.01.08	Gierrate (nur ASG)	
			Auszug aus NMEA-Format	R.01.09	Location-Provider (Sensorquelle: GPS, WLAN, GSM/UMTS, etc.)
				R.01.10	HDOP
				R.01.11	VDOP
				R.01.12	Fix-Status (1 = normal; 2 = EGNOS; 6 = Dead Reckoning)
				R.01.13	Gültigkeit der Positionsbestimmung (valid flag: 0 = ungültig und 1 = gültig)
				R.01.14	Sichtbarkeit der EGNOS-Satelliten
				R.01.15	Sichtbare Satelliten (PRN je Satellit und in 300 Sekunden-Intervallen)
				R.01.16	Signal-Rausch-Verhältnis (S2N je Satellit und in 300 Sekunden-Intervallen)
				R.01.17	Azimuth (je Satellit und in 300 Sekunden-Intervallen)
				R.01.18	Elevation (je Satellit und in 300 Sekunden-Intervallen)
				R.01.19	Type/Identifier des GPS-Moduls (z. B. ist es EGNOS fähig)
				R.01.20	PRN komprimiert als 32-bit-word
				R.01.21	S2N komprimiert als 32-bit-word
			Betrifft nur App/OBU	R.01.22	ID der Nachricht
				R.01.23	ID des Fahrzeugs/NutzerIn/Geräts
				R.01.24	Zeitstempel Nachricht generiert (Information mit Nachricht mitsenden)
				R.01.25	Zeitstempel Nachricht am Gerät empfangen
				R.01.26	Zeitstempel Nachricht angezeigt
R.01.27	POP-UP bei Fahrtantritt: Registrierter FahrerIn/anderer FahrerIn				
R.01.28	POP-UP bei Fahrtende: Anweisung befolgt JA/NEIN				

Beschreibung	Zuständigkeit	Erhebungszeitraum	Info	ID	Zu erhebende Daten
Erhebung des "Null"-Zustandes vor der Aktivierung der kooperativen Systeme (TT); GPS-Datenlogger werden von TUG zur Verfügung gestellt	Abstimmung der benötigten Daten: TUG - Trafficon (PWP) Geräte werden von TUG zur Verfügung gestellt; AustriaTech ist zuständig für die Verteilung der Geräte	Mitte April 2012 bis Juni 2012		R.02	GPS-Datenlogging
					Xtreme Recorder von QSTARZ; Aufzeichnungsrate 1 Hz
				R.02.01	ID Trackpoint: "INDEX"
				R.02.02	"TRACK ID"
				R.02.03	Validitätsprüfung: "VALID"
				R.02.04	Zeitstempel 1: Datum in Weltzeit (UTC DATE) [JJJJ/MM/TT]
				R.02.05	Zeitstempel 2: Uhrzeit in Weltzeit (UTC TIME) [hh:mm:ss]
				R.02.06	Zeitstempel 3: LOCAL DATE [JJJJ/MM/TT]
				R.02.07	Zeitstempel 4: LOCAL TIME [hh:mm:ss]
				R.02.08	Zeitstempel 5: Millisekunde "MS"
				R.02.09	Koordinaten lateral LATITUDE (Grad)
				R.02.10	Koordinatendefinition Nord/Süd "N/S"
				R.02.11	Koordinaten longitudinal LONGITUDE (Grad)
				R.02.12	Koordinatendefinition Ost/West "E/W"
				R.02.14	Geschwindigkeit "SPEED" [km/h]
				R.02.15	Richtung "HEADING"
				R.02.16	Nummer der DGPS-Station: "DSTA"
				R.02.17	Zeit seit dem letzten DGPS-Update: "DAGE"
				R.02.18	gesamte Genauigkeit: "PDOP"
				R.02.19	horizontale Genauigkeit "HDOP"
				R.02.20	vertikale Genauigkeit "VDOP"
				R.02.21	Anzahl der Satelliten (sichtbar, genutzt): "NSAT"
				R.02.22	Satelliten-ID: "SID"
				R.02.23	Höhe des jeweiligen Satelliten: "Elevation"
				R.02.24	Azimuth des jeweiligen Satelliten: "Azimuth"
				R.02.25	Signal-Rausch-Verhältnis "SNR"
R.02.26	"Distance"				
Referenzfahrten: Verortung von Haltelinien, Zu- u. Abfahrten, VBA-Sichtbereich, Test der Fahrstreifen-detektion	Abstimmung TUG - Trafficon (PWP)	März 2012		R.03	GPS-Datenlogging mit Video
					VideoVBox Pro von Racelogic; Aufzeichnungsrate 10 Hz
				R.03.01	Anzahl Satelliten "sats"
				R.03.02	Zeitstempel in GPS-Zeit "time" [hhmmss.0]
				R.03.03	Koordinaten lateral (Minuten) "lat"
				R.03.04	Koordinaten longitudinal (Minuten) "long"
				R.03.05	Geschwindigkeit in km/h "velocity"
R.03.06	Richtung "heading"				

Beschreibung	Zuständigkeit	Erhebungs- zeitraum	Info	ID	Zu erhebende Daten		
stationäre Daten	Abstimmung TU Graz - ASFINAG	ab Mitte März 2012		R.04	Einzelfahrzeugdaten (übergeordnetes Straßennetz)		
					von ausgewählten VBA-Standorten		
					Der zugehörige Querschnitt wird im Dateinamen angegeben		
				R.04.01	ID der Messung (fortlaufende Zahl)		
				R.04.02	Datum: lokale Zeit (Sommer-/Winterzeit) [TT.MM.JJJJ hh:mm]		
				R.04.03	Interne Spalte (z. B. "A-ID4-Job0")		
				R.04.04	Zeitstempel: lokale Zeit (Sommer-/Winterzeit) [hh:mm:ss]		
				R.04.05	Lange DE-Block [11]		
				R.04.06	Daten-Endgeräte-Kanal [1...254]		
				R.04.07	Typ der DE-Daten [63]		
				R.04.08	Status des Datensatzes [0;1...255]		
				R.04.09	Fahrzeugklassencode		
				R.04.10	Geschwindigkeit Kfz low Byte [km/h]		
				R.04.11	Geschwindigkeit Kfz high Byte [km/h]		
				R.04.12	Belegzeit low Byte [0...65534 ms, 65535]		
				R.04.13	Belegzeit high Byte		
		R.04.14	Nettozeitlücke low Byte [0...655,34 s, 65535]				
		R.04.15	Nettozeitlücke high Byte				
		R.04.16	Fahrzeu glänge [0...254 dm, 255]				
				ab Mitte März 2012		R.05	Querschnittsdaten (übergeordnetes Straßennetz): 1-min- Intervall
							von allen verfügbaren Querschnittsmessungen im Bereich des Testfelds TT
							Format: *.csv, Trennzeichen: Semikolon
							+ Katalog zur Identifizierung eaid
						R.05.01	eaid
						R.05.02	lanetxt: Ortsbezug von Messquerschnitt, Identifizierung des Fahrstreifens
						R.05.03	time_: Zeitstempel: lokale Zeit (Sommer-/Winterzeit) [JJJJ- MM-TT hh:mm:ss.000]
						R.05.04	qkfw: Verkehrsmenge aller Kfz
						R.05.05	qlkw: Verkehrsmenge aller Lkw
						R.05.06	vpkw: mittlere Geschwindigkeit aller Pkw
						R.05.07	vlkw: mittlere Geschwindigkeit aller Lkw
						R.05.08	vkfzmittel: mittlere Geschwindigkeit aller Kfz
						R.05.09	s: Standardabweichung der mittleren Geschwindigkeit aller Kfz
		R.05.10	tnetto: mittlere Netto-Zeitlücke aller Kfz				
		R.05.11	beleg: Belegungsgrad / Belegungszeit (in Prozent bezogen auf 1-min-Intervall)				

Beschreibung	Zuständigkeit	Erhebungszeitraum	Info	ID	Zu erhebende Daten		
stationäre Daten+A119:F177	Abstimmung TU Graz - ASFINAG	ab Mitte März 2012		R.06	Daten aus Maut-Gantries (übergeordnetes Straßennetz): 15-min-Intervall		
					für alle Bereiche zwischen je 2 Mautbrücken im Bereich des Testfelds TT		
					+ Katalog zur Identifizierung Isid		
				R.06.01	IsidVon		
				R.06.02	IsidBis		
				R.06.03	start_time: lokale Zeit (Sommer/Winterzeit) [JJJJ-MM-TT hh:mm:ss.sss]		
				R.06.04	end_time: lokale Zeit (Sommer/Winterzeit) [JJJJ-MM-TT hh:mm:ss.sss]		
				R.06.05	v_mittel		
				R.06.06	v_bus		
				R.06.07	v_lkw2		
				R.06.08	v_lkw3		
				R.06.09	v_lkw4		
				R.06.10	q_mittel		
				R.06.11	q_bus		
				R.06.12	q_lkw2		
		R.06.13	q_lkw3				
		R.06.14	q_lkw4				
				ab Mitte März 2012		R.07	Umfelddaten
						PVIS-Server der ASFINAG	
			R.07.01			Q-Traffic	
			R.07.02			Roadworks	
			R.07.03			Trafficmessage	
			R.07.04			Traveltime	
			R.07.05			Variable Direction Sign	
			R.07.06			Variable Message Sign	
			R.07.07			Variable Text Panel	
			R.07.08	weatherforecast default			
			R.07.09	weatherforecast niederschlag			
				ab Mitte März 2012		R.08	Verkehrsmeldungen
			R.08.01			Meldungsnummer	
			R.08.02			Versionsnummer der Meldung	
			R.08.03			Status der Meldungsversion	
			R.08.04			Meldungstext	
			R.08.05			Updatetime	
			R.08.06			Expirytime	
			R.08.07			TMC-Code	
			R.08.08			Straßennummer	
			R.08.09			Location Code	
			R.08.10	Liste Location Codes			

Beschreibung	Zuständigkeit	Erhebungszeitraum	Info	ID	Zu erhebende Daten	
stationäre Daten+A119:F177	Abstimmung TU Graz - AS- FINAG	ab Mitte März 2012		R.09	Information Überkopfanzeigen (VBA)	
				R.09.01	ID der VBA (Lage hinterlegt)	
				R.09.02	ID dynamische Information	
				R.09.03	Zeitstempel Anzeigenänderung	
	Abstimmung TU Graz - Stadt Wien (MA 33)	ab Mitte März 2012		R.10	Daten aus VLSA (urbaner Bereich)	
				R.10.01	Zeitstempel der Grünbänder	
				R.10.02	Dauer der Grünbänder	
				R.10.03	ID der VLSA (Lage hinterlegt)	
		ab Mitte März 2012		R.11	Zählraten (Induktionsschleifen etc.)	
				R.11.01	ID Detektor (mit Information zugehörige LSA)	
				R.11.02	Zeitstempel	
				R.11.03	Zählraten (Aggregationsintervall <<)	
				R.11.04	Fahrzeugkategorie	
				R.11.05	Belegungsgrad (s/Zeiteinheit)	
	R.11.06	Geschwindigkeit				
	TUG - ITSVR				R.12	Makroskopische Verkehrsflussdaten basierend auf Zählraten und FCD
						ITS Vienna Region

**Anhang A4 – Testfeld Telematik – Auszug des Dokuments „AP
6000 Assessment Methodology Version 2.1“**



Assessment Methodology

(Version V2.1)

04.03.2013

db@hitec.at

4. Assessment context

The assessment context gives an overview on the time frame and assessment procedure, test route, test driver sample and assessment data.

4.1 Time frame and assessment procedure

The current time frame foresees:

Month	Task	Responsible Partner
2012		
May, June	Test driver recruiting with predefined characteristics	Hitec
June	Sampling of test drivers and contacting	Hitec
June, October November	Reference test drives with GPS tracker (10 devices distributed for 10 days)	Austriatech
May - August	Preparation of online questionnaires and on-route pop-ups	Hitec(lead)/ IMPAKT/Fluidtime
May - October	Pre-testing of methodological approach, data collection devices and data storing	Hitec/Austriatech/ Fluidtime/ IMPAKT
October- December	Testing of services (TOMTOM in-car devices for 3 months and Fluidtime Application)	Hitec/IMPAKT/ Austriatech
June 2012 – May 2013	Data monitoring and assessment of the test drivers	IMPAKT / Hitec
2012/2013		
January-March	Testing of services (TOMTOM in-car devices for 3 months)	Hitec/IMPAKT/ Austriatech
October-May	Analysis of test drives	IMPAKT/ Hitec (UA)

Table 1: Testfeld Telematik: Assessment time frame

4.2 Test route

The main test route is located in the eastern part of Austria in the area of the motorway intersection A2/A23-A4-S1 and has a length of about 45 km. Along this test stretch various types of transmission and reception facilities will be installed, including a selected stretch of the secondary road network with a traffic light system.

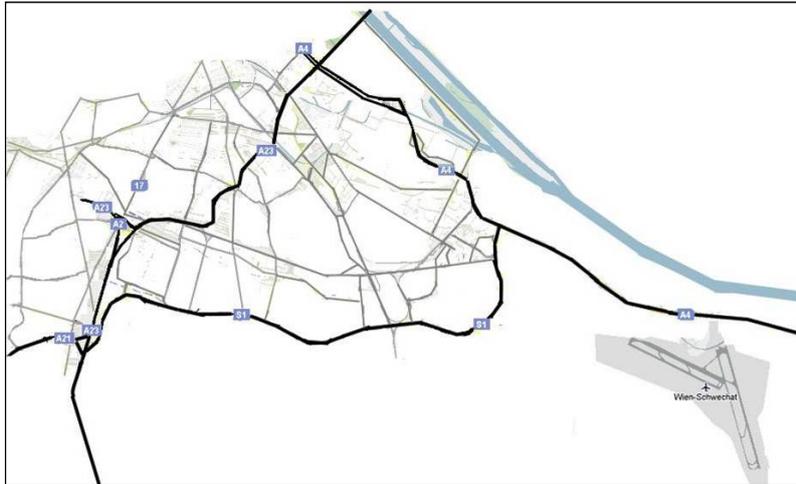


Figure 1: Testfeld Telematik test route

To ensure crosstechnology architecture, the cooperative services will be transmitted using various different technologies. The traffic control centre selects the wide variety of information and converts it into cooperative services before transmitting it straight to the vehicles. The test drives will continue from summer 2012 onwards over a period of approximately one year to obtain results of all seasons.

4.3 Test driver sample

Testfeld Telematik has different test environments (in-car navigation device users (TOMTOM users) and Smartphone app-users (Fluidtime). In these test environments following test users samples are included.

1) In-car navigation device users: 100 test drivers (2x50 TOMTOM devices)

Due to the fact that the number of in-car navigation devices is limited to 50 devices these systems have to be provided intelligently. It is planned to have a pool of 500 from which 100 relevant drivers (corresponding to criteria) can be selected. Due to the limited number of drivers it is useful to distribute the devices to members of user groups that are of high interest. These users will also receive gateways in order to receive messages from the roadside units. Necessary equipment distribution (power distribution, cable and support) and in car installation needs to be considered.

- a) **User acceptance:** Users, who are technology-affine. Due to the fact that innovations are firstly used by users that are technology affine, this user group is considered important from a market entry perspective.
- b) **Traffic safety:** Risk driver groups (young and elderly drivers) – focus on the opinion and on the driver behaviour of high risk drivers to analyse the effects of cooperative services.
- c) **An Austrian-wide roll-out of cooperative services:** It is of importance how Austrian motorway users evaluate the Testfeld Telematik services. For this reason the 2 main ASFiNAG network core user groups are focused (drivers, who rarely use the motorway, and drivers, who use the motorway in a professional context). These two groups have been already classified by criteria.
- d) **The effect of cooperative services:** It is necessary to have users that react to the service information. These users have already been categorised based on driver behaviour analysis from the former project COOPERS. This analysis showed that women from the age of 45 to 60 show the strongest changes in driver behaviour due to cooperative ser-

VICES. This was evaluated by test drives with and without cooperative services.

- e) **IMPAKT requirements:** The results in IMPAKT should be representative and statistically valid. There are therefore different requirements:
- a. The same test groups should be driving with the GPS-Tracker (i.e. without the services) and with the TomTom devices (i.e. with the services). It is not necessary that the same persons drive with GPS trackers and the TomTom device.
 - b. They should drive in the test area on the test routes during the time of lively period of service information. These times are usually during the peak hours, which are 6:00 to 10:00 and 14:30 to 20:30. Nevertheless, some test drives should also take place at off-peak hours, e.g. for free-flow analysis, or during the time between 10:00 and 14:30.
 - c. Regarding validity, there is usually a risk of gaining not sufficient test data, as it is the case with young and old people and especially with female. Thus, there have to be weighting precautions in the sampling to ensure, that these groups are adequately represented.
 - d. A distinction of aggressive, eco-drivers, average drivers should be made for the risk potential and safety analysis.

Furthermore, these requirements have then to be combined and integrated with the above from the TT. In order to obtain a first overview of required numbers of test drivers, Table 2 and Table 3 contain some background on the possible test driver distribution. Table 2 contains the percentages regarding four age groups and gender. The percentages refer to the possible share of the test driver pool. Table 3 provides in addition the information regarding modal choice and daily frequency of modal usage. These percentages can be used for additional weighting of the required test drivers. From both tables required numbers of test drivers according to the above criteria can be selected.

Altersverteilung	18 - 30	31 - 45	46 - 60	60+
Gesamt	19%	29%	24%	28%
Nach Geschlecht				
Männlich	20%	30%	25%	25%
Weiblich	18%	28%	23%	31%

Table 2: Population Distribution regarding Age and Gender (STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus 2010)

Gliederungsmerkmale		Wie häufig nutzen Sie bei Ihren täglichen Wegen die folgenden Verkehrsmittel?												
		Bahn, Bus, Straßenbahnen, U-Bahn						Benutzung des Autos (LenkerIn oder MitfahrerIn)						
		täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	seltener	nie	weiß nicht/keine Angabe	täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	seltener	nie	weiß nicht/keine Angabe	
		in Prozent												
Gesamt		6.948.650	16,9	11,1	7,7	22,0	41,9	0,3	38,6	31,5	13,2	9,0	7,5	0,3
Geschlecht														
Männlich		3.360.364	15,9	9,6	6,6	22,5	45,2	0,4	47,9	28,1	9,7	7,1	6,9	0,3
Weiblich		3.588.286	17,9	12,6	8,7	21,6	38,9	0,3	29,8	34,6	16,5	10,8	8,1	0,2
Alter														
Bis unter 20 Jahre		496.933	53,6	14,8	4,1	10,3	16,7	0,5	26,5	42,0	11,9	8,0	11,5	0,1
20 bis unter 30 Jahre		1.051.119	25,0	10,5	6,5	18,9	39,0	0,1	45,1	27,3	11,5	7,7	8,3	0,1
30 bis unter 40 Jahre		1.202.334	14,7	10,1	6,2	20,4	48,4	0,2	53,1	26,5	9,4	6,1	4,7	0,2
40 bis unter 50 Jahre		1.365.894	15,9	7,7	6,2	21,6	48,3	0,3	53,1	26,3	8,7	6,0	5,6	0,3
50 bis unter 60 Jahre		1.035.860	13,1	9,4	6,6	24,4	46,1	0,4	42,7	30,8	11,8	7,8	6,5	0,4
60 bis unter 70 Jahre		894.040	6,0	13,9	11,6	28,3	39,9	0,4	22,1	44,7	16,7	10,1	6,1	0,4
70 und mehr Jahre		902.470	7,0	15,7	12,8	25,8	38,2	0,5	7,6	32,6	26,0	19,8	13,5	0,4
		Q: STATISTIK AUSTRIA, Mikrozensus Umweltbedingungen - Umweltverhalten 4. Quartal 2007. Erstellt am: 20.04.2009.												

Table 3: Modal Choice over Gender and Age

Recruiting:

The TOMTOM test drivers will be recruited by Hitec. Interested test drivers register at the Testfeld Telematik homepage with their e-mail (and phone number). In this registration process test drivers should answer in addition a set of questions to enable a first categorisation of them. These questions and related answers need to be stored in a database for enabling a selection process. 100 test drivers representing the mentioned characteristics will be provided with the TOMTOM in-car device. Some of them or representatives of the test driver groups (about 30) will be provided earlier with a GPS tracker.

2) App users:

At the moment it cannot be predicted which users will download and use the smart phone application. In accordance with an estimation of IMPAKT, Testfeld Telematik estimates having approximately 3000 test users, who should use the application regularly in the mentioned field test section. By the means of an online questionnaire and an early analysis of driver behaviour, relevant (and regular (more than 5 services in two drives received)) test users can be identified. These test users can then be analysed by an in-depth way (option). These users will usually not have any additional equipment and as a result will not be able to receive messages from the roadside units, but only receive TPEG messages via the HTTP interface (no SPAT messages).

Recruiting:

In autumn 2012 the Smartphone App will be available for download. Test drivers can download it from the website and register with e-mail address and age/gender data at the first start of the application.

The number of test drivers in “Testfeld Telematik”, an intelligent distribution of navigation devices, pre-testing of the methodological mixture and continuous analysis of data avoid having a small and useless data set in the end.

4.4 Assessment data / features

Following subsection focuses on the data collected during the assessment process. For each individual test drive log-files of about 1-5MB are generated depending on the lengths of the respective test drive.

The data logged is going to be stored in a database and is now presented chronologically:

1) User data

TOMTOM: Driver identification and self- classification data (e-mail, telephone number, characteristics) – The test drivers are identified based on their e-mail address and the Device ID. This link (matching of e-mail address and device ID) is created during device distribution.

Smartphone App: Linking client ID and email address at first start of the application

(Client Id, SmartphoneType, Email, age, sex)

2) Track data:

Start and end time of the recorded track.

3) Message data received/displayed:

Data concerning received TPEG (TOMTOM and smartphone app) / SPAT (TOMTOM) messages

4) Raw GPS data (GPS Trackers, TOMTOM, Fluidtime):

To collect driver behaviour data it is necessary to collect GPS data and data about received/displayed messages. These GPS positions are used to collect data on: speed, breaking, accelerating, use of P&R facilities and Public Transport, etc.

As far as possible the used GPS-modules should refer to new technologies available on the market. In this regard the following aspects should receive attention:

	TOMTOM	FLUIDTIME
The GPS antenna should be installed on top of the vehicle roof and the location reference point of the antenna relative to the vehicle should be logged in a data base.	GPS is inside device.	Not applicable for smartphones as they normally do not have an external antenna.
The GPS module shall have high sensitivity values for the reception of the satellite signals and support fast time to first fix (TTFF) and fast reacquisition after outages.	We will use A-GPS to get quick fixes, we have to rely on the GPS chip inside the tablet.	Depends on smartphone used
The GPS module should be able to receive and process EGNOS information received directly from EGNOS satellites.	We are NOT running EGNOS.	Not supported by most smartphones – Suggested Free EGNOS SDK only working with external receivers
GPS-Data logging shall only be executed, if the TT-device is connected to an external power supply (otherwise the App would lead to fast empty times of the smartphone).	We will always log GPS data. Device should always be connected to power supply.	We will always log GPS data – Power supply question: First tests showed that it is 4-5 hours max. most power (70%) used by display
The logged data content shall be transmitted to a central TT-server. (not the TMC from Mizar)	OK	possible
For the execution of the assessment the IMPAKT-team may receive direct access to this TT-server.	As long as a privacy restriction has been signed.	possible

Table 4: General requirements from IMPAKT and their fulfilment by TT

Following assessment data should be provided by the TOMTOM device and Fluidtime APP. As general requirements the following information needs to be logged:

	TOMTOM	FLUIDTIME
Logging of vehicle-ID, user/driver-ID and device-ID	We only have a device ID. Device-ID will be linked to test drivers at the distribution of device.	Client_id generated after first start of application/Installation
Logging of date and time (UTC) at the start of each logging procedure as part of the filename (see below).	File name will contain the time. TOMTOM will support what the Android library can deliver for NMEA0183. Solution: to log systems times at the beginning of the trip for verification.	Some Android devices suffer from a Hardware / Leap year Bug that leads to sometimes receiving the wrong day/time (e.g. tomorrow + 31 seconds, tomorrow +38 seconds) via GPS see e.g. https://plus.google.com/u/0/112215288642007559493/posts/2Ycak2qd8nC Fluidtime sends a list of smartphones types that are subject to this problem. 1) Solution: to log systems times at the beginning of the trip for verification. 2) Smartphone types should be automatically logged.
Determination and Logging of PVT (Position, Velocity und Time) with 1 Hz update rate.	Already implemented via standard logging channels.	possible

Table 5: assessment data logging 1

Logging of the NMEA-Frames provided directly from the GPS module:

	TOMTOM	FLUIDTIME
Logging of the NMEA-Frames RMC, GGA, GSA and GSV (consists of up to 5 rows or sub-frames).	Possible, the tablet will supply the RMC, GGA, GSA, GSV sentence.	possible
These NMEA-Strings have to be logged including the contained chksum from the GPS module	Possible	possible
The sequence of the NMEA-Strings as they are provided from the GPS interface must be maintained.	Possible	possible
The version of the NMEA format is NMEA-0183	possible	Possible

Table 6: Logging of NMEA frames

All data shall be logged in text format, which is specified similar to the NMEA principles (→ logging of additional Information, which is TT/IMPAKT specific, will be logged in a proprietary format) and send to the server so that it can be stored in the assessment database.

Data is stored in one log file per track and uploaded to the server..

	TOMTOM	FLUIDTIME
A timestamp (system time, utc) is stored additionally to each NMEA sentence in the first row (1356094902,\$...)		
Each data frame shall be logged in a separate row (that is terminated with newline carriage return.	Possible	possible
The single data field shall be separated by “,” (comma).	Possible	possible
The representation of decimal numbers with a fractional part shall be logged in English notation with “.” (dot) as decimal separator. Each data frame shall start with a unique and known prefix (e.g. “\$TTMSG”)	Possible	possible
The first 3 letters “\$TT” are marking the frame as information from the telematics testing field	Possible	possible
The next 3 letters e.g. “MSG” are specifying the individual sub-frame	Possible	possible
For the data frames “\$TTASG”, “\$TTMSG” and “\$TTPOP”,... the terminating chksum is optional.	No TTASG connection and we will omit chksum on custom log elements.	TTASG not possible as there is no connection to the ASG

Table 7: assessment data logging specification

5) Pop up:

Pop-ups shown on the end user devices ask questions to the driver which can be answered in a simple and fast way, i.e. by choosing between three options from positive to negative on a touch screen or multiple choice questions. These pop-ups should be presented to the driver as quickly as possible after the end of a trip (e.g. after the manual input of the user). Given the assumption that the driver has time to answer questions at the end of a trip offers the possibility to ask 5 questions. The set of pop-ups can be found in the appendix.

The assignment of the corresponding IDs for vehicle, driver, device, message, etc. has to be specified from the telematics testing field. For the current specification a dummy-string has been used: “XXIDXX”, wherever an ID needs to be logged

This is a proposition on how to handle pop-ups used for an assessment on IMPAKT side. All 6 Pop-ups should be treated the same way.

Responsible for setting up the database is Fluidtime. All different data sources (Log files, Pop-ups questionnaires) need to be stored in the database and need to be connected. IMPAKT has the algorithm to separate the NMEA file in single parameters. These parameters have to be included in the database for further analysis.

Following assessment features should to be implemented by TOMTOM devices and Fluidtime App.

Assessment Requirements	Implementation	
audio-signal, when message is displayed	TOMTOM	Fluidtime APP
Acquisition of the users email. (with the first start of the application). Proposal: user database (email, user ID))	Fluidtime APP	
Input to identify users, which have not yet completed the online questionnaire	Fluidtime APP Data needs be stored in single parameters in the database	
POP-UP post-trip: 6 questions	TOMTOM	Fluidtime APP
POI use case: Current version of this use case foresees a traffic condition overview at the beginning of the trip.(see use case document)	TOMTOM	Fluidtime App
comparison of current locations with the position information on P&R-locations (and question towards PT-usage)	TOMTOM,	Only in post processing

Table 8: required assessment features implemented by TOMTOM and Fluidtime

Furthermore with the following tools further data will be gathered.

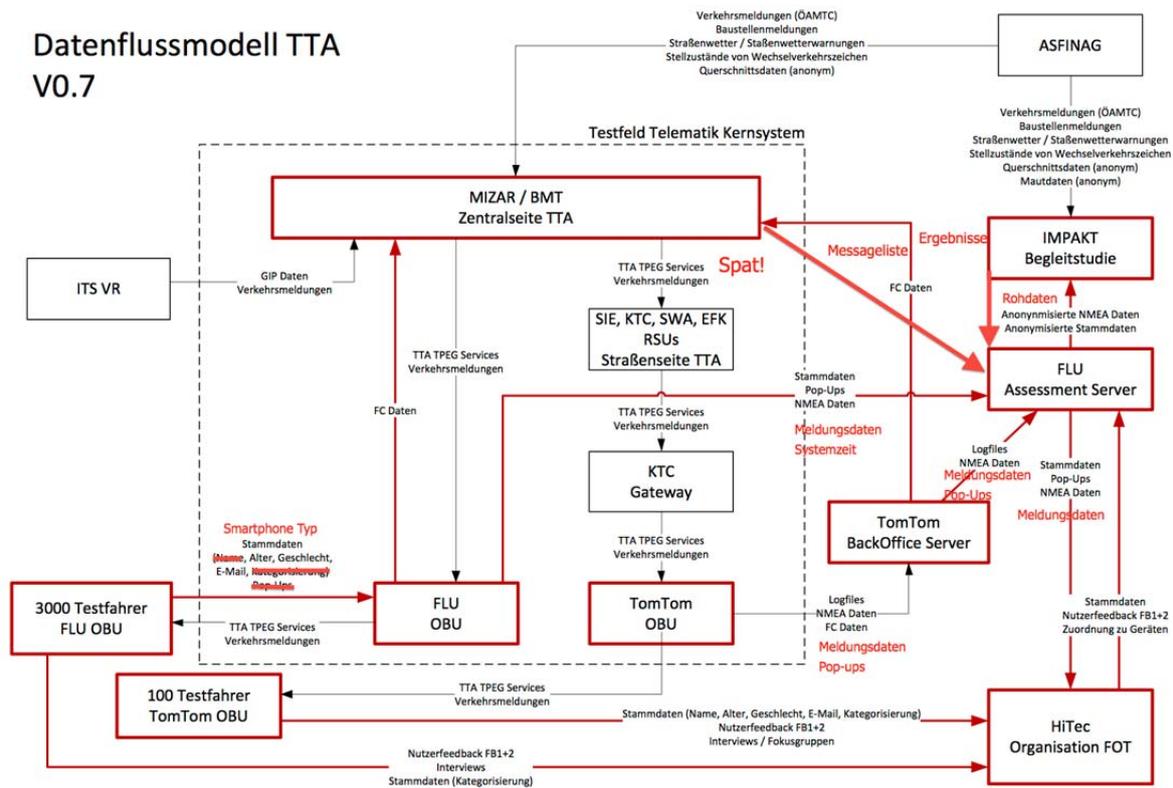
- 1) Online questionnaire data – connected to the email
- 2) Interview data – connected to the email
- 3) Focus group data - connected to email

5. Assessment instruments/measures

User-centred data will be collected through different methods: An important way in Testfeld Telematik is data collecting through in-car devices. Beside this option several other measures will be applied. The following subsection presents different measures.

5.1 Data flow

Datenflussmodell TTA V0.7



5.2 Data collection through in-car devices

5.2.1 Disclaimer for legal and ethical issues

A disclaimer which informs the driver about issues such as data protection, security, (in)accuracy of presented data, non-liability, non-warranty, purpose of the FOT, risks that may incur, costs that may arise and are not covered, whom to contact with open questions, etc. has to be implemented. Other potential ethical and legal issues have to be clarified in order to protect all involved parties from any claims.

- Responsibilities:
- Legal and Ethical clarification: Asfinag, Austriatech
- Implementation in the Applications: Fluidtime, TOMTOM
- Possible Sources: Festa Handbook v2 Chapter 3 Legal and Ethical Issues, Coopers, KLIEN

5.2.2 GPS Tracker

To gather information/data on how drivers behave without cooperative services GPS tracker will be distributed to 30 test drivers from our sample for determining the reference level. 10 drivers will have a GPS tracker at the same time— provided by IMPAKT/TUG - for 10 days. An instruction how to operate the GPS Tracker is provided by the IMPAKT team to AustriaTech. The similar handling procedure of the GPS tracker between TT and the test drivers will be applied to the TomTom devices, and can be regarded as a first test phase for the test methodology. Since IMPAKT does not have any direct legal involvement in TT, TT has to provide all the legal documents regarding the usage of the TomTom devices for the test drivers. TUG will provide a draft

document for the legal usage of GPS-tracker. Austriatech will generally organise and manage the device handling. In case of the GPS-trackers, Austriatech collects them after 10 days, saves the data and clears the data from the GPS tracker. The data will then be handed to the IMPAKT-team for further analysis. Afterwards, a second round can be started with different test drivers. Three rounds are planned at the moment. This number may need to be enhanced if the collected data set does not meet the required standards for the analysis.

Responsibilities:

- Test driver recruiting: Hitec
- Legal Document for GPS Tracker use: IMPAKT (TUG) /Austriatech
- Test driver contacting and ongoing servicing: Hitec/ Austriatech/ IMPAKT (lead)
- GPS Tracker distribution and collection: Austriatech
- GPS Data saving and transfer to IMPAKT: Austriatech
- Data monitoring and analysis: IMPAKT

5.2.3 Smartphone App

It is planned that the Smartphone App presents to the user the already mentioned pop-ups. To assess driver behaviour and user acceptance it is necessary to collect driver behaviour data. For assessment features and data required from Fluidtime, please refer to the tables in section 4.

All data collected by the Smartphone App needs to be transferred to a central database. The data transferred needs to be stored/saved in connection with the clientid / email-address to allow a comparison of subjective data from online-questionnaires and pop-ups with objective measured data on driver behaviour.

Responsibilities:

- Pop-up questions wording: Hitec
- Pop-up question programming: Fluidtime
- Driver behaviour data specification: IMPAKT
- Driver behaviour data collection programming: Fluidtime
- Data management (collection, transfer, storage): Fluidtime
- Data Analysis: Hitec/ IMPAKT

5.2.4 TOMTOM Devices

It is planned that the TOMTOM in-car device presents to the user the already mentioned pop-ups

To assess driver behaviour and user acceptance it is necessary to collect driver behaviour data. For assessment features and data required from TOMTOM, please refer to the tables in section 4.

All data collected by the TOMTOM device needs to be transferred to a central database. The data transferred needs to be stored/saved in connection with the device ID/email adress to allow a comparison of subjective data from online-questionnaires and pop-ups with objective measured data on driver behaviour.

Responsibilities:

- Pop-up questions wording: Hitec
- Pop-up question programming: TOMTOM
- Driver behaviour data specification: IMPAKT
- Driver behaviour data collection programming: TOMTOM
- Data collection and transfer: TOMTOM
- TOMTOM device distribution: Austriatech
- Central data storage: Fluidtime
- Data Analysis: Hitec/ IMPAKT

5.3 Database

Central data storage of all gathered/collected data mentioned in section 0. is necessary. Responsible partner for setting-up and managing the database is Fluidtime. In this database all collected partial data (Austriatech, TomTom, Hitec, IMPAKT) needs to be aggregated and stored in a next step. Access to the database for all assessment teams is needed.

Raw log files are made accessible via FTP for IMPAKT.

5.3.1 Specification of log files

Logging should happen in a log file that are referenced in the filename including ClientId, start time and End time (UnixTimestamp in milliseconds systemtime):

clientID_startTime_endTime.nmea

e.g. 1006_1350650919000_1350650931000.nmea

		TOMTOM	FLUIDTIME
<p align="center">“\$TTMSG”</p> <p>Description: Contains the time stamps of generation, transmission and display of the cooperative TT messages</p> <p>Update rate: logged at end of testdrive (not periodic)</p> <p align="center">Parameter:</p>			
P1	P1: Systemtime in UTC [ms] of MESSAGE displayed	Ok.	
P2	P2: \$TTMSG		
P3	P3: Latitude of last valid GPS-Fix with respect to MESSAGE displayed	Ok.	
P4	P4: Longitude with respect to MESSAGE displayed	Ok.	
P5	P5: Message-ID	As long as available in input data. ID Version, Message-ID must represent the event type.	As far as I understood there may be several versions of a Message. Logging Message and Version ID could make sense. No unique Message ID for traffic light use cases? ID Version, Message-ID must represent the event type.
P6	P6: Message version		
P7	P7: time stamp of message generation in UTC [ms] (has to be provide from the server)	As long as available in input data.	
P8	P8: time stamp of last message reception (before display) at the vehicle in UTC [ms]	Ok.	Could be received multiple times? First, last? Always the first, plus time stamp of new message version.
<p>Example: 1356094902000,\$TTMSG, 48.16,16.02, XXIDXX, XXVersionXX, 1356094802000,1356094901000</p>			

Table 9: “\$TTMSG” data frame specification

Messages that are displayed multiple times should be logged multiple times. Messages that are not displayed are not logged.

<p align="center">“\$TTPOP”</p> <p>Description: Contains the answers of the test person from the POP-UP windows, which are only collected as post-trip information</p> <p>Update rate: once, at end of track</p> <p align="center">Parameter:</p>		
P1	P1: System Time in UTC [ms]	Ok.
P2	P2: “\$TTPOP”	Ok.
P3	P3: Latitude of last valid GPS-Fix with respect to POPUP displayed	
P4	P4: Longitude with respect to POPUP displayed	Ok.
P5	P5: Comma separated list of answercodes	
<p>Example: 1356094902000,\$TTPOP,48.16,16.02,Q1A1,Q2A2,Q2A3,Q3A1,Q4A1,Q5A2,Q6A2,Q6A3</p>		

Table 10: “\$TTPOP” Popups data frame specification

If no Popups are answered, the TTPOP sentence is not logged.

TOMTOM	FLU
1. Manual registration of users and their characteristics. A csv file is send to Fluidtime by Austriatech/HITEC/IMPAKT to add the users to the database	1. Download of TT App from TT Website and first start of Application - The user is queried for his/her email, age and sex at the first start of the app. The user consents to the disclaimer. This data and additional data (i.e. the clientid, the Smartphone Type) is saved in the assessment database (Client Id, SmartphoneType, Email, age, sex)
2. Start of testdrive - Logging starts -- Message Data (displayed Messages) is stored on event -- GPS raw data (nmea) is logged with 1 Hz (no check for power supply)	
3. End of Testdrive -- Pop-Up Questions are logged - Logging ends and logfile is zipped (gzip) - Zipped logfiles are send to the server and stored in the assessment database and as file in file structure (for IMPAKT)	
4. Exit from Application	
5. Next Start of Application - Zipped Logfile is resend to the server if they could not be send successfully at last time.	

5.3.4 Interfaces to the assessment db

Fluidtime provides a REST-API to handle data uploads. Log files will be compressed and up-loaded on event/in certain intervals (to be decided) using this REST-API.

URL	Test: test.webservice.analysis.testfeld-telematik.at/1.0/upload/ Live: webservice.analysis.testfeld-telematik.at/1.0/upload/
Post parameters to be send with each request (optional):	1- clientId: long (optional). 2- startTime : timestamp (long in ms; optional) 3- endTime: timestamp (long in ms; optional)
Body: application/octet-stream gzip file	Gzipped file (byte array). file name: clientId_startTime_endTime.nmea Note: if the parameters are not set, file should be sent as ZIP file and file name should be parsed (preferred as GZIP with parameters).

code example:

```
HttpPost httpPost = new HttpPost(uploadServerUrl + "?startTime=" + startTime +
"&endTime=" + endTime
+ "&clientId=" + clientId); // create httpPost with post parameters
FileManager.gzipFile(nmeaFile, gzipfile); // method to gzip a file
httpPost.setEntity(new FileEntity(gzipfile, "application/octet-stream"));
HttpClient httpClient = new DefaultHttpClient();
```

```
HttpResponse response = httpClient.execute(httpPost);
```

```
HttpEntity httpEntity =response.getEntity();
```

```
...
```

5.3.5 Reports

The following standardised reports will be provided by FLU to HiTec in CSV format on a daily basis:

-) Downloads of App per day + total
-) Registered clients/devices per day + total
-) Received Message per track, client and day + total
-) Number of tracks per client and day + total
-) Type of messages per track, client and day + total
-) Number of Pop-Ups answered per Client and Day + total
-) Clients without recorded tracks/received messages/ answered popups

Additional reports and analyses for the TT assessment will be conducted in 2-3 one-day workshops with HiTec/AustriaTech/Fluidtime.

5.4 Data collection beside in-car devices

5.4.1 Web-based questionnaire

Online questionnaires: online questionnaires will be used to collect subjective user information. The frequency (begin/middle/end) of questionnaires as well as the length of questionnaires to be filled in is not defined at the moment. It has to be considered that most of the test drivers are not willing to answer to several questionnaires. For this reason a well tolerated middle needs to be found.

Responsibilities:

- Questionnaire content set-up: Hitec (lead) and IMPAKT
- Programming: Hitec
- Monitoring and supporting of test drivers: Hitec/ support IMPAKT
- Updates regarding content and programming updates: Hitec
- Data analysis: Hitec/ IMPAKT

5.4.2 Interviews

Interviews will be carried out with test drivers who are willing to participate in telephone or face-to-face interviews. Interviews offer the possibility to ask about details, about special events/situation, attitudes, etc. By using an open interview technique as it is usual for qualitative interviews, interviewees often present relevant unexpected and surprising results.

Responsibilities:

- Hitec

5.4.3 Focus groups

Focus groups: Focus groups are an important option when it comes to evaluate the usability of services/systems. Testfeld Telematik plans to organize several focus groups in different field test stages.

Responsibilities:

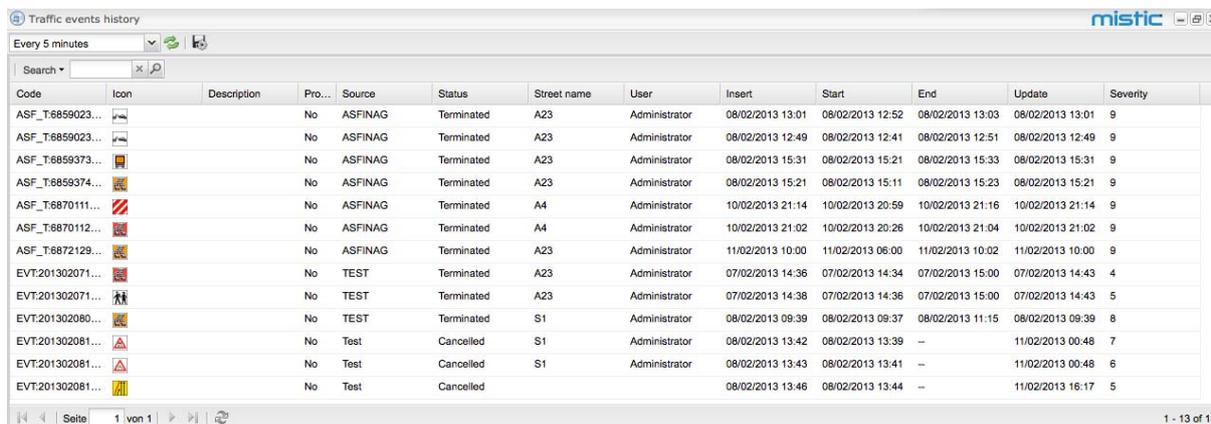
- Hitec

5.4.4 List of Messages from the central side (MIZAR)

A list of messages from the central side is needed to link the logged message IDs to additional attributes for analysis.

The list should at least contain:

Message ID, Version ID, Use Case Type, Generation Time, Expiry Times, Street name..., Effect Codes/Eventcode,...



The screenshot shows a web application window titled 'Traffic events history' with the 'mistic' logo in the top right corner. The window has a search bar and a refresh button. Below is a table with the following columns: Code, Icon, Description, Pro..., Source, Status, Street name, User, Insert, Start, End, Update, and Severity. The table contains 15 rows of data, including events from ASFINAG and TEST sources, with various statuses like 'Terminated' and 'Cancelled'.

Code	Icon	Description	Pro...	Source	Status	Street name	User	Insert	Start	End	Update	Severity
ASF_T:6859023...			No	ASFINAG	Terminated	A23	Administrator	08/02/2013 13:01	08/02/2013 12:52	08/02/2013 13:03	08/02/2013 13:01	9
ASF_T:6859023...			No	ASFINAG	Terminated	A23	Administrator	08/02/2013 12:49	08/02/2013 12:41	08/02/2013 12:51	08/02/2013 12:49	9
ASF_T:6859373...			No	ASFINAG	Terminated	A23	Administrator	08/02/2013 15:31	08/02/2013 15:21	08/02/2013 15:33	08/02/2013 15:31	9
ASF_T:6859374...			No	ASFINAG	Terminated	A23	Administrator	08/02/2013 15:21	08/02/2013 15:11	08/02/2013 15:23	08/02/2013 15:21	9
ASF_T:6870111...			No	ASFINAG	Terminated	A4	Administrator	10/02/2013 21:14	10/02/2013 20:59	10/02/2013 21:16	10/02/2013 21:14	9
ASF_T:6870112...			No	ASFINAG	Terminated	A4	Administrator	10/02/2013 21:02	10/02/2013 20:26	10/02/2013 21:04	10/02/2013 21:02	9
ASF_T:6872129...			No	ASFINAG	Terminated	A23	Administrator	11/02/2013 10:00	11/02/2013 06:00	11/02/2013 10:02	11/02/2013 10:00	9
EVT:201302071...			No	TEST	Terminated	A23	Administrator	07/02/2013 14:38	07/02/2013 14:34	07/02/2013 15:00	07/02/2013 14:43	4
EVT:201302071...			No	TEST	Terminated	A23	Administrator	07/02/2013 14:38	07/02/2013 14:36	07/02/2013 15:00	07/02/2013 14:43	5
EVT:201302080...			No	TEST	Terminated	S1	Administrator	08/02/2013 09:39	08/02/2013 09:37	08/02/2013 11:15	08/02/2013 09:39	8
EVT:201302081...			No	Test	Cancelled	S1	Administrator	08/02/2013 13:42	08/02/2013 13:39	--	11/02/2013 00:48	7
EVT:201302081...			No	Test	Cancelled	S1	Administrator	08/02/2013 13:43	08/02/2013 13:41	--	11/02/2013 00:48	6
EVT:201302081...			No	Test	Cancelled			08/02/2013 13:46	08/02/2013 13:44	--	11/02/2013 16:17	5

And should be provided on a regular basis to IMPAKT and to be included into the assessment database.

It has to be clarified whether IMPAKT can use this data for their analyses. (Match to Information received by Asfinag directly)

Anhang A5 – Zusammenhang zwischen Nutzerevaluierungsindikatoren, Forschungsfragen und Fragebogen

Indikatoren	(Forschungs-)Fragen	Fragen an NutzerIn (Fragebogen, Vorher/Nachher oder Während der Fahrt)
Akzeptanz FahrerIn		
Wahrgenommene Nützlichkeit (perceived usefulness)	Finden die NutzerIn das System sinnvoll?	Empfinden Sie die gebotenen Informationen sinnvoll und unterstützend?
	Finden die NutzerInnen die (alle/ einzelne) Services sinnvoll?	Erhöht das System die Fahrsicherheit?
	Hat das Service etwas genützt?	Erhöht das System die Fahreffizienz?
		Erhöht das System den Fahrkomfort?
Wahrgenommene Einfachheit der Bedienung (perceived ease of use)	Finden die NutzerInnen das Gerät einfach zu bedienen/verstehen?	Sind die gebotenen Informationen klar/eindeutig und verständlich?
	Finden die NutzerIn die (alle/einzelne) Services einfach verstehen?	Sind die gebotenen Informationen einfach zu verstehen?
		Sind die Informationen leicht zu lesen?
		Ist das System leicht zu bedienen?
Einstellung (positiv) zur Nutzung (attitude towards using)	Mögen die NutzerInnen das System?	Mögen sie das Fahren mit System?
	Mögen die NutzerInnen die Services?	Mögen Sie dieses Service?
	etc.	etc.
Nutzungsabsicht (behavioural intention to use)	Würden die NutzerInnen das System weiter nutzen?	Würden Sie das System weaternutzen?
	etc.	
	Werden bereits andere Verkehrsdienste genutzt? (Smartphone APPs, Google Maps, Ö3, RDS, etc.)	Nutzen Sie bereits andere Verkehrsdienste? Smartphone APPs, Google Maps, Ö3, RDS, etc.)
Kaufabsicht	Würden die NutzerInnen das System kaufen?	Würden Sie das System kaufen?
	Würden die NutzerInnen einzelne Services kaufen?	Würden Sie für einzelne Services bezahlen
		Wenn ja welche Services?
Zahlungsbereitschaft	Würden NutzerInnen für die Zusatzgeräte, Services / P&R Dienste zahlen?	Würden Sie für einen P&R Dienste in Form einer Gebühr mit Registrierung zahlen?
	Wie würde der bevorzugte Abrechnungsmodus aussehen?	Wie würden sie gerne bezahlen? Einmalzahlung oder Gebühr?
	Wie viel könnte verlangt werden?	Wenn ja, wie viel würden sie bezahlen?
	Für welche Dienste im Speziellen würde bezahlt werden	Würden Sie für einzelne Services bezahlen
	Ist eine einmalige geringe Gebühr für einen P&R Dienst denkbar, mit einer Registrierung?	

Indikatoren	(Forschungs-)Fragen	Fragen an die NutzerInnen (Fragebogen, Vorher-Nachher oder Während der Fahrt)
Darstellung	Wann soll (Geschwindigkeits) Information eingeblendet werden?	Ab wann sollte die (Geschwindigkeits)Information eingeblendet werden?
	Wie lange soll (Geschwindigkeits) Information eingeblendet werden?	Wie lange soll die Information eingeblendet sein?
	Ab wann wird es dem bzw. der NutzerIn zu viel? Anhand des Beispiels Roadworkinformation	Wurde zu viel Information eingeblendet?
	Ab welchem Qualitätslevel (Zeitpunkt, Information korrekt) wird das Service nicht mehr akzeptiert?	
	Zeichnen sich Akzeptanzunterschied zwischen APP, TomTom, Audiomobil Plattform ab?	
Design	Was wird gewünscht? Verspielt, schlicht, reduziert, umfangreich?	Wie gefällt Ihnen das Design des Systems?
		Was würden sie am Design ändern? (verspielter, schlichter, reduzierter, umfangreicher)
	Wird eine Personalisierung gewünscht? (Design, Funktionalitäten)	Möchten Sie persönliche Einstellungen an Ihrem System vornehmen können? Design und Funktionalität betreffen?
		Wenn ja betreffen diese Änderungen das Design? Wenn ja betreffen diese Änderungen die Funktionalität?
Konsistenz zu anderen Systemen/Diensten	Bieten die Services den gleichen Informationsinhalt wie mit derzeitige Systeme und Dienste? (VMS, Schilder, Ö3, Uniqua Wetter Dienst, etc.)	Bieten andere Informationsdienste einen anderen Informationsgehalt?
	Ist auf allen Kommunikationswegen / Systemen der gleiche Informationsgehalt?	Wurde auf den Überkopfanzeigen und Verkehrsschildern ein anderer Informationsgehalt angezeigt?
	Ist auf allen Kommunikationswegen / Systemen die gleiche Darstellung?	Wurde auf den Überkopfanzeigen und Verkehrsschildern eine andere Information dargestellt?
	Sind die Kommunikationswege / Systeme zeitverzögert?	
	Was wird nicht abgebildet? Was fehlt?	Welche Information fehlt?
	Was bevorzugen Kunden? (VMS, Schilder, OBU?)	Wo liegt Ihre Präferenz? OBU, VMS, Schilder?
		Aus welchem Grund?
Konsistenz zur Realität	Wird die Realität abgebildet?	Wurde auf den Überkopfanzeigen und Verkehrsschildern eine andere Information dargestellt?
	Was wird nicht abgebildet? Was fehlt?	Welche Information fehlte?
	Wird alles zeitgerecht eingeblendet?	War die Information zeitgerecht?
Konsistenz zu Navis	Darstellen der Unterschiede zu den heutigen (Geschwindigkeits) Informationen der Navigationsgeräte. Was wird gewünscht? Geschwindigkeit immer anzeigen oder nur kurz einblenden?	Wie soll Geschwindigkeitsinformation angezeigt werden? Immer dann wenn eine neue Geschwindigkeit gilt, oder dauerhaft?

Indikatoren	(Forschungs-)Fragen	Fragen an die NutzerInnen (Fragebogen, Vorher-Nachher oder Während der Fahrt)
Wunschliste Kunden	Welche Services bevorzugen die Kunden?	Welches Service bevorzugen Sie?
	Welche anderen Services wünschen sich Kunden	Welches andere Service/Information wäre für Sie ebenfalls interessant?
	Sind POI (Einkaufszentren, Öffnungszeiten, etc.) von Interesse für die Kunden?	Soll das System ebenfalls Informationen zu POI geben?
	Welches Service ist bevorzugt?	Welche Services finden Sie am besten?
	Welche Informationen fehlen derzeit bei den Services?	Fehlt Ihnen etwas an Information?
		Wenn ja, welche Information würden Sie gerne zusätzlich haben?
	Soll das System in ganz Österreich angeboten werden?	Soll das System in ganz Österreich angeboten werden?
Verknüpfung mit ÖV (inkl. Verhaltensänderung)	Wurde die Information über ÖV genutzt?	Haben sie die Information über den ÖV genutzt?
	Hat die Information zu einer Verhaltensänderung geführt?	Sind Sie auf den ÖV umgestiegen wegen dem Service?
Mehrwert der TTA Lösung	Wird ein Mehrwert vom Kunden wahrgenommen oder decken bestehende Systeme / Dienste den Bedarf ab? (Vergleich zu Ö3 zumindest gleiche Qualität muss erreicht werden)	Finden Sie die gebotenen Informationen besser als bisherige Verkehrsdienste? Oder reicht Ihnen das bisherige Angebot an Information?
	Gibt es Unterschiede zwischen Navi und TTA Plattform?	
Verhaltensänderung	Fahren NutzerInnen langsamer, gleich, schneller?	Haben Sie durch die Information Ihre Geschwindigkeit geändert?
		Sind Sie durch die Information langsamer gefahren?
	Halten sich NutzerInnen an die Geschwindigkeitsbeschränkungen?	Halten Sie sich durch die Information genauer an das Geschwindigkeitslimit?
	Steigen NutzerInnen auf ÖV um?	Sind sie durch die Information auf den ÖV umgestiegen?
	Wie viele steigen tatsächlich um?	
	Wie viele nützen P&R Anlagen?	Haben Sie aufgrund der Information eine P&R Anlage aufgesucht?
	Bremsen NutzerInnen früher?	Haben Sie durch die Information früher gebremst?
	Ändern NutzerInnen Ihre Route?	Haben Sie aufgrund der Information Ihre ursprüngliche Route verlassen?
	Wie viele ändern tatsächlich die Route?	
	Wollen NutzerInnen Ihre Route ändern?	Sind sie generell bereit Änderungen Ihrer Route zu akzeptieren?
	Unterschiede im Verhalten/ Befolgungsgrad je nach Übertragungskanal (OBU, VMS, Schild)	

Indikatoren	(Forschungs-)Fragen	Fragen an die NutzerInnen (Fragebogen, Vorher-Nachher oder Während der Fahrt)
	Welchen Einfluss hat die Anzeige auf den Spurwechsel?	Haben Sie durch die Information Ihre Spur gewechselt?
	Führt das Service zu homogeneren Verkehrsfluss	
	Einfluss auf Energieverbrauch, Emission von gewarnten FahrerInnen	
	Adaptieren FahrerInnen Ihr Verhalten?	Halten Sie sich an die Anweisungen?
	FahrerInnen haben weniger Stopps	
	FahrerInnen haben weniger Geschwindigkeitsänderungen	Fahren Sie jetzt gleichmäßiger?
	Verkehr fließt wieder schneller nach Durchfahrt des Einsatzfahrzeuges	
	Die Aufenthaltsdauer des Einsatzfahrzeuges in der Kreuzung ist kürzer	
Sicherheitsgefühl	Haben NutzerInnen ein erhöhtes Sicherheitsgefühl?	Fühlen Sie sich durch das System sicherer
	Sind NutzerInnen zufriedener?	
Einbau d. OBU	Akzeptieren NutzerInnen den nachträglichen Einbau der OBU? Oder muss es bereits fix eingebaut sein?	Würden Sie sich nachträglich ein derartiges System einbauen lassen oder sollte es ab Kauf installiert sein?
Zuverlässigkeit	Empfinden die NutzerInnen das System als zuverlässig?	Empfinden Sie das System als zuverlässig?
	Waren die Informationen zeitgerecht?	Waren die Informationen zeitgerecht (subjektiv)?
	Waren die Informationen richtig?	Waren die Informationen richtig (subjektiv)?
	Waren die Informationen vollständig?	Waren die Informationen vollständig (subjektiv)?
Wirkungsgebiet	Sind die Services am täglichen Arbeitsweg oder nur bei Fahrten außerhalb des Arbeitsweges interessant?	Fragebogen danach: Sind die Services am täglichen Arbeitsweg oder nur außerhalb des Arbeitsweges interessant?
	Werden auf dem täglichen Arbeitsweg alternative Routen akzeptiert?	Vorher Fragebogen Frage zum Arbeitsweg dann automatisch durch Routing
Nutzerzahl	Wie hoch ist der Anteil, derjenigen, die die App mehrfach nutzen?	
Rückkanal	Wünschen sich FahrerInnen einen Rückkanal?	Würden Sie gerne persönlich Meldungen verschicken können

Indikatoren	(Forschungs-)Fragen	Fragen an die NutzerInnen (Fragebogen, Vorher-Nachher oder Während der Fahrt)
Akzeptanz Operator		
	Muss für die Informationsverbesserung im TIC/TCC geeignet sein:	Interview
	Zyklus der FCD (wie oft werden diese vom Fahrzeug gesendet) muss optimiert werden	Interview
	Optimierung der manuell generierten (OE3) Meldungen	Interview
	Wahrgenommenes Potential, benefits vom FCD	Interview
	Wie viele Positionen (zB Koordinaten) pro Stunde brauchen wir (FCD)	Interview
	Wie viele FCD Positionen werden tatsächlich korrekt zentral mit der Karte abgeglichen	Interview
	Reicht der Datenteppich aus um auf Störungen reagieren zu können?	Interview
Akzeptanz Verkehrsbetriebe, MA33		
	Empfinden die erhobenen Daten als hilfreich für die Optimierung der Verkehrsplanung und im Monitoring der aktuellen Verkehrslage	Interview
Akzeptanz Emergency driver		
	Bestätigt schnellere Durchfahrt bei Kreuzung	Interview
	Würde eine Ausstattung weiterer Kreuzungen begrüßen?	Interview