



Graz University of Technology

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Untersuchung der Verkehrssicherheit an Anschlussstellen mittels Mikrosimulation und SSAM

MASTERARBEIT

vorgelegt von

Mag.iur. Alexandra Ibler, BSc.

bei

Univ. Prof. Dr. Ing. Martin Fellendorf

Technische Universität Graz

Institut für Straßen- und Verkehrswesen

Graz, 22. März 2015

Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senats am 01.12.2008

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, _____

Mag.iur. Alexandra Ibler, BSc.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, _____

Mag.iur. Alexandra Ibler, BSc.

Aufgabenstellung für die Masterarbeit

von Alexandra Ibler

Graz, 10. April 2014

Untersuchung der Verkehrssicherheit an Anschlussstellen mittels Mikrosimulation und SSAM

Problemstellung

Anschlussstellen stellen die Verbindung zum nachgeordneten Straßennetz dar und sind ein wichtiges Element in der Straßenverkehrsinfrastruktur. Da (Voll-)Anschlussstellen aus einer Auf-, Abfahrt und Hauptfahrbahn je Richtung bestehen, kommt es oftmals zu komplexen Verkehrsvorgängen. Ein- und Ausfädelungsvorgänge, aber auch häufige Spurwechsel, vor allem bei unübersichtlichen Anschlussstellen, sind Konfliktpunkte im Bereich der Hauptfahrbahn. Der Anschluss an das untergeordnete Straßennetz erfordert meist einen Halt und bildet einen weiteren sicherheitskritischen Punkt. Durch diese Vorgänge ist an Anschlussstellen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko gegeben.

Um Verkehrsunfällen auf Anschlussstellen vorzubeugen, ist die Analyse von Beobachtungen vor Ort nicht zielführend, da dies eine nachträgliche Methode darstellt. Es wäre sinnvoller, erhöhtes Sicherheitsrisiko schon während der Planungsphase festzustellen und in den Variantenentscheid miteinzubeziehen. Kritische Elemente sollten bereits vor dem Bau auf sicherheitsrelevante Faktoren untersucht werden. Es geht dabei einerseits um die Untersuchung des Fahrbahndesigns, andererseits haben auch verschiedene Verkehrsflussregelungen Einfluss auf die Sicherheit an Anschlussstellen.

In der Diplomarbeit soll die Verkehrssicherheit an Anschlussstellen unterstützt durch das vom U.S. Department of Transportation entwickelte Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) überprüft werden. SSAM zielt auf die Auswertung von Mikrosimulationsdaten ab. Konflikte werden hinsichtlich sicherheitsrelevanter Parameter wie der „Time to Collision“, der maximalen Geschwindigkeit oder Geschwindigkeitsdifferenzen bewertet und einem von drei Konflikttypen zugeordnet. Darüber hinaus wird die Möglichkeit geboten, verschiedene Entwürfe von Anschlussstellen anhand statistischer Tests zu vergleichen. Mithilfe von SSAM soll eine automatisierte Bewertung von Straßeninfrastrukturelementen schon vor Inbetriebnahme geprüft und somit eine Optimierung in Bezug auf die Verkehrssicherheit erreicht werden.

Aufgabenstellung

Die folgende Liste enthält wesentliche Bearbeitungspunkte der Diplomarbeit; Abweichungen mit fortschreitendem Erkenntnisstand während der Bearbeitung sind möglich:

- Literaturrecherche zur Straßenverkehrssicherheit am Beispiel der Konflikttechnik und der Anwendung an Anschlussstellen (Ermittlung sicherheitsrelevanter Faktoren in SSAM, andere Modelle, Richtlinien, derzeitige Abbildung/Bewertung/Bestimmung der Verkehrssicherheit,...)
- Untersuchung einer in VISSIM simulierten Zuflussdosierungsanlage durch Anwendung von SSAM, um die Möglichkeiten dieser Methode aufzuzeigen
- Modellierung dreier Anschlussstellen in der Mikrosimulation und Analyse durch SSAM:
 - Einfache Anschlussstelle mit einer Ausfahrt
 - Anschlussstelle inklusive nachgeordnetem Straßennetz bei vorfahrtsgeregeltem Knoten
 - Anschlussstelle mit mehrstreifigen Abfahrten und komplizierter Wegweisung mit häufigen Fahrstreifenwechseln
- Abstrahierung der Ergebnisse und Untersuchung der Auswirkung der Parametervariation von Elementen der Anschlussstellen

Für die Anfertigung der Diplomarbeit werden die Verkehrsfluss-Simulationssoftware VISSIM sowie Verkehrsflussmodelldaten der IKK Kaufmann-Kriebnegg ZT-GmbH zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wird mit der Software „Surrogate Safety Assessment Model“ gearbeitet, welche frei zugänglich ist. Die bereitgestellten Daten dürfen ausschließlich zur Anfertigung der Diplomarbeit genutzt werden, Datenschutzrichtlinien sind einzuhalten.

Die Arbeit ist zweifach mit allen Anlagen in DIN A4 gebunden einzureichen. Ein Datenträger mit dem Diplomarbeitstext, Präsentationen sowie allen Analyse- und Simulationsdaten ist beizulegen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fellendorf

Tel. 0316 873 6220,

martin.fellendorf@tugraz.at

Betreuer

Dipl.-Ing. Cornelia Hebenstreit

Tel.: +43 (0)316 873-6723

E-Mail: cornelia.hebenstreit@tugraz.at

Mitbetreuende Assistentin

Dipl.-Ing. Michael Cik

Tel.: +43 (0)316873-6224

E-Mail: michael.cik@tugraz.at

Mitbetreuender Assistent

Kurzfassung

Untersuchung der Verkehrssicherheit an Anschlussstellen mittels Mikrosimulation und SSAM

172 Seiten, 112 Abbildungen, 61 Tabellen

Durch das ständig steigende Verkehrsaufkommen gewinnt der Aspekt der Verkehrssicherheit insbesondere an Knotenpunkten wie Anschlussstellen immer mehr an Bedeutung. Bisher bestanden Methoden zur Verbesserung der Verkehrssicherheit hauptsächlich aus nachträglichen Bewertungen bereits vorhandener Infrastruktur. Ziel dieser Arbeit ist die Überprüfung, inwieweit mit dem „Surrogate Safety Assessment Model“ (SSAM), welches der sicherheitstechnischen Auswertung von mittels Verkehrsflussmodellierung erhaltenen Daten dient, plausible Ergebnisse zur Bewertung der Verkehrssicherheit erlangt werden, sodass eine solche mithilfe dieser Software künftig bereits in der Planungsphase vorgenommen werden kann. Dazu werden zunächst allgemeine Aspekte der Verkehrssicherheit besprochen sowie die methodische Vorgehensweise zur Auswertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM vorgestellt. Es folgt eine Betrachtung zweier Fallbeispiele, anhand derer die Evidenz der mit SSAM berechneten Ergebnisse durch einen Vergleich mit historischen Unfalldaten untersucht sowie ein statistischer Vergleich zwischen zwei Modellierungsvarianten einer Anschlussstelle durchgeführt wird. Die für die Auswertung benötigten Daten werden mittels der Mikrosimulationssoftware VISSIM erlangt. Die Ergebnisse der Analysen zeigen, dass überwiegend nachvollziehbare Resultate erlangt werden, SSAM sich jedoch vorwiegend für einen relativen Verkehrssicherheitsvergleich eignet. Dies lässt den Schluss zu, dass SSAM Potential hat, eine automatisierte Bewertung der Sicherheit von Straßeninfrastrukturelementen schon vor Inbetriebnahme zu gewährleisten.

Abstract

Analysis of road safety at interchanges using microsimulation of traffic and SSAM

172 pages, 112 figures, 61 tables

Due to the continuously increasing volume of traffic, the aspect of road safety is gaining more and more importance. This applies particularly to interchanges. So far, methods to improve road safety consist mainly of post evaluation of existing infrastructure. The aim of this thesis is to investigate, if the "Surrogate Safety Assessment Model" (SSAM), which serves the safety-related analysis of data obtained through traffic assignment modelling, delivers reasonable results to evaluate the transport safety of road construction schemes. To this end, general aspects of road safety are first discussed as the methodological approach used to evaluate trajectory data gained from microsimulation with SSAM is presented. This is followed by an examination of two case studies to verify the plausibility of the results calculated with SSAM by comparing them to historical accident data. In addition, a statistical comparison between two different modelling types of an interchange is performed; the data required for the evaluation are obtained from the microsimulation software VISSIM. The results of the analyses show that predominantly traceable results are acquired, although SSAM is mainly suitable for a relative comparison concerning road safety. This suggests that SSAM has potential to allow an automated evaluation of road infrastructure safety even before commissioning.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungen	x
1 Einleitung	1
2 Verkehrssicherheit	2
2.1 Verkehrssicherheit an Anschlussstellen	3
2.2 Methoden zur Bestimmung der Verkehrssicherheit	6
2.2.1 Grundlegende konzeptionelle Ansätze	6
2.2.2 Verkehrssicherheitsuntersuchung	7
2.2.3 Problematik betreffend Unfalldaten.....	9
2.2.4 Verkehrskonflikttechnik	10
2.2.5 Verkehrsflussmodellierung	18
2.2.5.1 Anwendung der Software VISSIM	19
2.3 Reaktionszeiten	22
2.3.1 Bremsreaktionszeit.....	22
3 Methodische Auswertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM	25
3.1 Erstellung des Simulationsmodells in VISSIM.....	27
3.1.1 Querverkehrsstörungen	27
3.1.2 Modellieren von Abbiegefahrstreifen.....	28
3.1.3 Berechnungsfrequenz	30
3.2 Generierung der Trajektoriendaten aus VISSIM	30
3.3 Verarbeitung der Trajektoriendaten mit SSAM.....	30
3.3.1 Ersatzgrößen	31
3.3.1.1 Time to Collision	32
3.3.1.2 Post-Encroachment-Time	33
3.3.1.3 Initial Deceleration Rate	33
3.3.1.4 Maximum Deceleration.....	34
3.3.1.5 Maximum Speed.....	34
3.3.1.6 Speed Difference	35
3.3.1.7 Maximum Speed Difference.....	35

3.3.2	Begriffe und Definitionen.....	36
3.3.3	Konflikttypen.....	40
3.3.3.1	Zuordnung nach Conflict Angle	40
3.3.3.2	Zuordnung bei bekannten Fahrstreifen	40
3.3.4	Algorithmen zur Identifikation von Konflikten.....	43
3.3.5	Erforderliche Eingaben vor Durchführung der Berechnungen	47
3.3.6	Spezifikation	48
3.3.7	Statistischer Vergleich der Ergebnisse	49
4	Fallstudien	51
4.1	Praktische Erfahrung mit SSAM.....	51
4.2	Anschlussstelle Handelskai.....	52
4.2.1	Ziel.....	52
4.2.2	Annahmen in VISSIM.....	54
4.2.3	Untersuchungsbereich	61
4.2.4	Konfliktanalyse des Gesamtbereichs	63
4.2.5	Einschätzungen und Konfliktanalyse von VLSA-gesteuerten Knotenpunkten.....	67
4.2.5.1	Einschätzung und Einzeltrajektorienauswertung Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	67
4.2.5.2	Einschätzung und Einzeltrajektorienauswertung Kreuzung Handelskai – Johann- Böhm-Platz	80
4.2.5.3	Auswertung der SSAM-Ergebnisse mittels Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel.....	89
4.2.6	Einschätzungen und Konfliktanalyse Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten.....	91
4.2.7	Einschätzungen und Analyse von Fußgängerkonflikten.....	99
4.3	Anschlussstelle Franzosenhausweg.....	104
4.3.1	Modellierung der Anschlussstelle Franzosenhausweg	106
4.3.1.1	Beschreibung der Varianten.....	106
4.3.1.2	Untersuchungsbereich – Modellierter Bereich.....	107
4.3.1.3	Eigens getroffene Annahmen in VISSIM.....	110
4.3.2	Analyse mit SSAM.....	116
4.3.2.1	Gesamtergebnisse aller Trajektorien-dateien (Konfliktanzahl).....	116
4.3.2.2	Auswertung der Konfliktanzahl und –typen.....	119
4.3.2.3	Statistischer Variantenvergleich nach Konfliktanzahl und –typen (ausgenommen Strecke 6).....	133

4.3.2.4 Vergleich der Ersatzgrößen (ausgenommen Strecke 6)	137
5 Interpretation der Ergebnisse	141
5.1.1 Identifizierung von Konflikttypen nach der RVS 02.02.22 mit SSAM am Beispiel der Anschlussstelle Handelskai.....	141
5.1.2 Statistischer Variantenvergleich mit SSAM am Beispiel der Anschlussstelle Franzosenhausweg.....	153
5.1.3 Allgemeine Erkenntnisse zur Konfliktanalyse mit SSAM.....	154
6 Zusammenfassung und Ausblick.....	157
Literaturverzeichnis.....	159
Anhang	165

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aspekte und Umfeld des Verkehrs [Schnieder; Schnieder, 2013]	3
Abbildung 2: Zu Konflikten führende Bewegungsvorgänge	4
Abbildung 3: Typen von Rampenfahrbahnen nach RVS 03.05.13 [FSV, 2001]	4
Abbildung 4: Konfliktpunkte Kreuzung [FSV, 2006]	5
Abbildung 5: Verkehrsbegegnungen und ihre Indikatoren [Schnabel; Lohse, 2011].....	12
Abbildung 6: Schematische Darstellung von Verhalten und Folgen im Straßenverkehr [FSV, 2014]	14
Abbildung 7: Konflikterhebungsdatenblatt – Allgemeine Daten nach RVS 02.02.22 [FSV, 2014]	16
Abbildung 8: Konflikterhebungsdatenblatt – Konfliktrelevante Daten nach RVS 02.02.22 [FSV, 2014]	17
Abbildung 9: Trajektorie der Fahrzeugbewegung in der Zustandsebene für einen Bremsvorgang mit einer Verzögerung von 5 m/s^2 [Schnieder; Schnieder, 2013].....	19
Abbildung 10: Beispiel für ein Fahrzeugprotokoll [PTV, 2012]	20
Abbildung 11: Bereiche des Fahrzeugfolgmodells nach Wiedemann 74 (Wiedemann, 1974; Leutzbach, 1972; PTV, 2012)	21
Abbildung 12: Systemskizze für die Auswertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM.....	26
Abbildung 13: Definition Weg- und Zeitlücke [PTV, 2012].....	28
Abbildung 14: Abbiegefahrstreifen – (links) erste und (rechts) zweite Modellierungsvariante.....	28
Abbildung 15: Problem beim Einordnen bei der ersten Modellierungsvariante des Abbiegefahrstreifens	29
Abbildung 16: Diagramm zur Darstellung von Konfliktpunkten und Ersatzgrößen [FHWA; Siemens, 2006].....	35
Abbildung 17: Conflict Angle [Gettman et al., 2008]	37
Abbildung 18: Clock Angle [Gettman et al., 2008]	37
Abbildung 19: Situation für eine Einteilung als Rear-End-Konflikt.....	41
Abbildung 20: Situationen für eine Einteilung als Lane-Change-Konflikt	41
Abbildung 21: Situationen für eine Einteilung als Lane-Change- bzw. Rear-End-Konflikte (Konfliktwinkel maßgebend)	42
Abbildung 22: Schwellenwertdiagramm [Gettman et al., 2008]	43
Abbildung 23: Darstellung des Zonenrasters (Zone Grid) [Gettman et al., 2008]	44
Abbildung 24: Darstellung des Fahrzeugweges [Gettman et al., 2008]	44
Abbildung 25: Darstellung von DIS_1 und DIS_2 [Gettman et al., 2008].....	45
Abbildung 26: Überprüfung, ob ein Konflikt der beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt $MaxTTC$ vorliegt [Gettman et al., 2008]	46
Abbildung 27: Überprüfung, ob ein Konflikt der beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt $TTC = 1,3$ vorliegt [Gettman et al., 2008]	46
Abbildung 28: Default-Schwellenwerte für Konflikte	48
Abbildung 29: Ausschnitt aus einer Konflikttabelle in SSAM	49
Abbildung 30: Eingaben und Ergebnisse eines statistischen Variantenvergleichs mit SSAM	50
Abbildung 31: Unfalldaten Anschlussstelle Handelskai	53
Abbildung 32: Schematische Darstellung des simulierten Bereichs der ASt Handelskai	55
Abbildung 33: Ausfädelungsbereich Richtung Hirschstetten mit einer Entfernung für die Routenentscheidung von 200 m	60

Abbildung 34: Ausfädelungsbereich Richtung Hirschstetten mit einer Entfernung für die Routenentscheidung von 800 m (verbesserte Version).....	61
Abbildung 35: Knotendaten Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz.....	62
Abbildung 36: Knotendaten Handelskai – Johann-Böhm-Platz.....	63
Abbildung 37: Fußgängerübergang im Simulationsmodell.....	63
Abbildung 38: Mögliche Konflikte auf den Rampen aus Konflikttypenobergruppe 1	65
Abbildung 39: Konfliktlageplan für den gesamten Untersuchungsbereich	66
Abbildung 40: Phase 4 des Signalprogramms Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	67
Abbildung 41: Konfliktpunkte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz.....	68
Abbildung 42: Mögliche Konflikte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 4 [FSV, 2014]	68
Abbildung 43: Mögliche Konflikte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 3 [FSV, 2014]	69
Abbildung 44: Mögliche Konflikte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 1 [FSV, 2014]	70
Abbildung 45: Mögliche Konflikte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 5 [FSV, 2014]	70
Abbildung 46: Konfliktlageplan Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz: alle Konflikttypen	71
Abbildung 47: Beispiel 1 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	73
Abbildung 48: Beispiel 2 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	73
Abbildung 49: Beispiel 3 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	74
Abbildung 50: Beispiel 4 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	74
Abbildung 51: Beispiel 1 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	75
Abbildung 52: Beispiel 2 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	76
Abbildung 53: Beispiel 3 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	76
Abbildung 54: Beispiel 4 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	77
Abbildung 55: Beispiel 5 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	78
Abbildung 56: Beispiel 6 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	78
Abbildung 57: Beispiel 7 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	79
Abbildung 58: Beispiel 1 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	79
Abbildung 59: Beispiel 2 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz	80
Abbildung 60: Handelskai – Johann-Böhm-Platz – keine Möglichkeit für Konflikte der Untergruppe 43 ..	81

Abbildung 61: Mögliche Konflikte Handelskai – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 4 [FSV, 2014]	81
Abbildung 62: Mögliche Konflikte Handelskai – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 1 [FSV, 2014]	82
Abbildung 63: Mögliche Konflikte Handelskai – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 3 [FSV, 2014]	83
Abbildung 64: Konfliktlageplan Handelskai – Johann-Böhm-Platz: alle Konflikttypen	83
Abbildung 65: Beispiel 1 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	84
Abbildung 66: Beispiel 2 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	85
Abbildung 67: Beispiel 1 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	85
Abbildung 68: Beispiel 2 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	86
Abbildung 69: Beispiel 1 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	87
Abbildung 70: Beispiel 2 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	87
Abbildung 71: Beispiel 3 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	88
Abbildung 72: Beispiel 4 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz	89
Abbildung 73: Untersuchungsbereich zur beispielhaften Konfliktidentifizierung zwischen zwei Fahrzeugströmen	90
Abbildung 74: Mögliche Konflikte Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten aus Konflikttypenobergruppe 1 [FSV, 2014]	93
Abbildung 75: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: alle Konflikttypen	94
Abbildung 76: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: Crossing-Konflikte	95
Abbildung 77: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: Rear-End-Konflikte	96
Abbildung 78: Beispiel 1 für einen Rear-End-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten	96
Abbildung 79: Beispiel 2 für einen Rear-End-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten	97
Abbildung 80: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: Lane-Change-Konflikte	98
Abbildung 81: Beispiel 1 für einen Lane-Change-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten	98
Abbildung 82: Beispiel 2 für einen Lane-Change-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten	99
Abbildung 83: Knotenpunkt Wehlistraße – Unbenannte Gasse 4	99

Abbildung 84: Mögliche Fußgängerkonflikte Handelskai – Unbenannte Gasse 4 aus Konflikttypenobergruppe 8	100
Abbildung 85: Konfliktlageplan Fußgängerübergang	101
Abbildung 86: Rear-End-Konflikt zwischen zwei Fußgängern zum Zeitpunkt t_{MinTTC}	102
Abbildung 87: Crossing-Konflikt zum Zeitpunkt t_{MinTTC} (TTC = 1,3 Sekunden)	102
Abbildung 88: Lane-Change-Konflikt zum Zeitpunkt t_{MinTTC}	103
Abbildung 89: Schematische Darstellung der ZRA Franzosenhausweg [Land Oberösterreich; Stadt Linz; ASFINAG Service GmbH, 2014]	105
Abbildung 90: Graphische Darstellung des ALINEA-Verfahrens [Waldherr, 2004]	106
Abbildung 91: Schematische Darstellung der Anschlussstelle Franzosenhausweg samt Darstellung des Untersuchungsbereichs.....	107
Abbildung 92: Untersuchungsbereich Anschlussstelle Franzosenhausweg mit Streckennummerierung	109
Abbildung 93: Belastungsganglinien Variante 1.....	111
Abbildung 94: Einfahrttyp E 1 und Bezeichnung der Fahrzeugströme [FGSV, 2001].....	113
Abbildung 95: QSV des Verkehrsablaufs für den Einfädeltvorgang für den Einfahrttyp E 1 an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen [FGSV, 2001]	114
Abbildung 96: Legende aus SSAM zu den Konfliktlageplänen in Abbildung 97 bis Abbildung 100	120
Abbildung 97: Konfliktlageplan Realfall_mit für den gesamten Simulationszeitraum	121
Abbildung 98: Konfliktlageplan Realfall_ohne für den gesamten Simulationszeitraum.....	121
Abbildung 99: Konfliktlageplan Erhöht_mit für den gesamten Simulationszeitraum	122
Abbildung 100: Konfliktlageplan Erhöht_ohne für den gesamten Simulationszeitraum.....	122
Abbildung 101: Realfall: Spinnendarstellung, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe	125
Abbildung 102: Erhöht: Spinnendarstellung, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe.....	126
Abbildung 103: Konfliktsituation auf Strecke 10 bei Variante Erhöht_mit.....	128
Abbildung 104: Realfall: Spinnendarstellung Strecke 9, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe.....	130
Abbildung 105: Erhöht: Spinnendarstellung Strecke 9, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe.....	131
Abbildung 106: Als Rear-End-Konflikt klassifizierter Einfädeltkonflikt auf Strecke 9	132
Abbildung 107: Fahrzeugtrajektorien der Konfliktfahrzeuge aus Abbildung 106.....	132
Abbildung 108: Erhöht_mit: Konfliktlageplan für Strecke 9	133
Abbildung 109: Signalprogramm Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz [Magistrat der Stadt Wien, MA33]	165
Abbildung 110: Signalprogramm Kreuzung Wehlistraße – Unbenannte Gasse 4 [Magistrat der Stadt Wien, MA33]	165
Abbildung 111: Signalprogramm Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz [Magistrat der Stadt Wien, MA33]	166
Abbildung 112. Signalprogramm Kreuzung Handelskai – Unbenannte-Gasse-4 [Magistrat der Stadt Wien, MA33]	166

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele von Konflikttypen im Innenbereich von Knotenpunkten [Schnabel; Lohse, 2011]	11
Tabelle 2: Konflikttypenobergruppen nach der RVS 02.02.22 [FSV, 2014].....	14
Tabelle 3: Überblick über die in der Literatur dokumentierten erweiterten Reaktionszeiten [Breuer; Bill, 2012].....	24
Tabelle 4: Basisvorschlag für eine Definition von Konfliktschwerestufen unter Verwendung von DR [Hupfer, 1997]	34
Tabelle 5: Folgeparameter Hauptfahrbahn [ODIMAK, 2014]	57
Tabelle 6: Fahrstreifenwechselformparameter Hauptfahrbahn [ODIMAK, 2014]	58
Tabelle 7: Verkehrsstärken Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten	59
Tabelle 8: Verkehrsstärken Hauptfahrbahn Richtung Inzersdorf.....	59
Tabelle 9: Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz: Konflikttanzahl und –typen der einzelnen Simulationsläufe.....	72
Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konflikttanzahlen	72
Tabelle 11: Ausschnitt aus Konflikttabelle	91
Tabelle 12: Zusammenfassung Konflikttypen Fußgängerübergang	100
Tabelle 13: Variantenübersicht Beispiel Anschlussstelle Franzosenhausweg	107
Tabelle 14: Strecken im Untersuchungsbereich mit dazugehörigen Verhaltenstypen.....	110
Tabelle 15: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs [FGSV, 2001].....	112
Tabelle 16: Zulässige Verkehrsstärken für Autobahnabschnitte außerhalb von Knotenpunkten [FGSV, 2001].....	113
Tabelle 17: Zulässige Einfädelungsverkehrsstärken für den Einfahrtstyp E 1 [FGSV, 2001].....	114
Tabelle 18: Kapazitäten der durchgehenden Hauptfahrbahn mit Geschwindigkeitsbeschränkung unterhalb des planfreien Knotenpunkts (für Ebene, Gefälle oder Steigung bis 2%) [FGSV, 2001].....	114
Tabelle 19: Belastungen Variante 2.....	115
Tabelle 20: Fahrverhaltenstypen.....	115
Tabelle 21: Realfall: Konflikttanzahl und –typen der einzelnen Simulationsläufe	117
Tabelle 22: Erhöht: Konflikttanzahl und -typen der einzelnen Simulationsläufe.....	117
Tabelle 23: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konflikttanzahlen: Realfall_mit.....	118
Tabelle 24: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konflikttanzahlen: Realfall_ohne	118
Tabelle 25: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konflikttanzahlen: Erhöht_mit.....	118
Tabelle 26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konflikttanzahlen: Erhöht_ohne.....	118
Tabelle 27: Konflikttanzahl der einzelnen Varianten (aller Trajektorien-dateien)	120
Tabelle 28: Realfall: Konflikte je Strecke für den gesamten Simulationszeitraum	123
Tabelle 29: Erhöht: Konflikte je Strecke für den gesamten Simulationszeitraum	124
Tabelle 30: Realfall: Konflikte auf Strecke 9 (Einfädelungsbereich) für den gesamten Simulationszeitraum.....	129
Tabelle 31: Erhöht: Konflikte auf Strecke 9 (Einfädelungsbereich) für den gesamten Simulationszeitraum.....	130
Tabelle 32: Realfall: Vergleichsergebnisse für sämtliche Konflikttypen (10 Simulationsläufe)	134
Tabelle 33: Erhöht: Vergleichsergebnisse für sämtliche Konflikttypen (10 Simulationsläufe)	134
Tabelle 34: Realfall: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Rear End (10 Simulationsläufe).....	135
Tabelle 35: Erhöht: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Rear End (10 Simulationsläufe).....	135

Tabelle 36: Realfall: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Lane Change (10 Simulationsläufe)....	135
Tabelle 37: Erhöht: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Lane Change (10 Simulationsläufe).....	135
Tabelle 38: Realfall: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Einfädelung (10 Simulationsläufe)	136
Tabelle 39: Erhöht: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Einfädelung (10 Simulationsläufe)	136
Tabelle 40: Realfall: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen (10 Simulationsläufe).	137
Tabelle 41: Erhöht: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen (10 Simulationsläufe)..	138
Tabelle 42: Realfall: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen für Konflikte des Typs Einfädelung (10 Simulationsläufe)	139
Tabelle 43: Erhöht: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen für Konflikte des Typs Einfädelung (10 Simulationsläufe)	140
Tabelle 44: Legende zu Tabelle 45 bis Tabelle 54	141
Tabelle 45: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 0	142
Tabelle 46: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 1	143
Tabelle 47: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 2	144
Tabelle 48: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 3	145
Tabelle 49: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 4	146
Tabelle 50: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 5	146
Tabelle 51: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 6	148
Tabelle 52: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 7	149
Tabelle 53: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 8	150
Tabelle 54: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 9	152
Tabelle 55: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Hirschstetten - Hauptfahrbahn vor ASt Handelskai	167
Tabelle 56: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Hirschstetten - Ausfahrtsrampe ASt Handelskai.	168
Tabelle 57: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Hirschstetten - Einfahrtsrampe ASt Handelskai..	168
Tabelle 58: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Inzersdorf - Hauptfahrbahn vor ASt Handelskai .	169
Tabelle 59: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Inzersdorf - Ausfahrtsrampe ASt Handelskai	170
Tabelle 60: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Inzersdorf - Einfahrtsrampe ASt Handelskai	171
Tabelle 61: Fahrzeugzustände in VISSIM nach Farben [PTV, 2012]	172

Abkürzungen

ASt	Anschlussstelle
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
DR	Deceleration Rate
FGSV	Deutsche Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr
FHWA	Federal Highway Administration
FSV	Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
Kfz	Kraftfahrzeug
LC	Lane Change
Lkw	Lastkraftwagen
ODIMAK	Optimiertes Dimensionierungsverfahren für Autobahnknoten
ODIMAST	Optimierung von Anschlussstellen im Hinblick auf Kapazität und Verkehrssicherheit
PET	Post-Encroachment-Time
Pkw	Personenkraftwagen
Pkw-E	Pkw-Einheiten
QSV	Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs
RE	Rear End
RL	Richtlinie
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
SSAM	Surrogate Safety Assessment Model
StVO	Straßenverkehrsordnung
TTC	Time to Collision
VBA	Visual Basic for Applications
ZRA	Zuflussregelungsanlage

1 Einleitung

Mit zunehmendem Verkehrsaufkommen wird die Verkehrssicherheit immer wichtiger. Insbesondere im Bereich von Anschlussstellen nimmt die abzuwickelnde Verkehrsmenge ständig zu. Bislang hatte die Verkehrssicherheit bei der Planung und Optimierung von Infrastruktur nicht die höchste Priorität. Im Vordergrund standen vielmehr Reisezeiten, Luftqualität oder Erreichbarkeit. Es ist in Zukunft jedoch notwendig, vorausschauend zu planen und den Aspekt der Verkehrssicherheit bereits bei der Dimensionierung neuer verkehrlicher Infrastruktur zu berücksichtigen und somit der Verkehrssicherheit die höchste Priorität einzuräumen. [PTV, 2014]

Der Begriff der Verkehrssicherheit im Straßenverkehr mag zwar auf den ersten Blick als leicht abgrenzbarer Bereich erscheinen, die Erklärung für Ursachen, welche die Verkehrssicherheit gefährden können, sowie das Erkennen von Möglichkeiten, diese positiv zu beeinflussen, stehen allerdings in komplexen Wechselwirkungen zueinander. Dies stellt eine Herausforderung dar, auf diesem Gebiet gesicherte Erkenntnisse zu erlangen und so eine gezielte Verbesserung der Verkehrssicherheit erwirken zu können. [Schnieder; Schnieder, 2013]

Beim „Surrogate Safety Assessment Model“ (SSAM) handelt es sich um eine Software zur statistischen Bewertung der Verkehrssicherheit. Die Intention der Entwickler von SSAM war es, ein Programm zu schaffen, mit welchem unabhängig von bereits vorhandener Infrastruktur bzw. von Unfallaufzeichnungen bereits in der Planungsphase bewertet werden kann, welche Dimensionierungsvariante sich am positivsten auf die Verkehrssicherheit auswirkt. [Gettman et al., 2008] In der vorliegenden Arbeit wird SSAM vorgestellt und überprüft, ob die Verkehrssicherheit an Anschlussstellen mithilfe von SSAM in Verbindung mit der Mikrosimulationssoftware „VISSIM“ realitätsgetreu abgebildet werden kann (für die Erstellung dieser Arbeit wurde die Version VISSIM 7 verwendet). VISSIM ist ein mikroskopisches, zeitschrittorientiertes und verhaltensbasiertes Simulationsmodell zur Nachbildung von Stadt- und Außerortsverkehr sowie von Fußgängerverkehr. [PTV, 2012] Es soll festgestellt werden, ob plausible Ergebnisse erlangt werden und wie aussagekräftig diese sind.

Zum Einstieg in die Materie wird zunächst auf den Begriff der Verkehrssicherheit allgemein eingegangen, wobei auch herkömmliche Methoden zur Bewertung dieser aufgezeigt werden. Es folgt eine Darstellung der in dieser Arbeit gewählten methodischen Vorgangsweise für die Auwertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM. Im Hauptteil der Arbeit erfolgt die Analyse zweier Fallbeispiele, für welche vorab die gemeinsamen Simulationsgrundlagen dargelegt werden. Anhand der beiden Beispiele soll einerseits der Auswertungsvorgang mit SSAM und die dadurch erlangten Resultate dargestellt werden, andererseits werden die Resultate auf Stichhaltigkeit überprüft. Dazu dienen die Einzelauswertung des ersten Beispiels einer Anschlussstelle sowie ein statistischer Vergleich von zwei Modellierungsvarianten einer weiteren Anschlussstelle. Das abschließende Kapitel stellt die Conclusio der Arbeit dar. Dabei werden auch Verbesserungsvorschläge für die SSAM-Software gegeben.

2 Verkehrssicherheit

Das Verkehrssystem birgt seiner Natur nach Gefahren und Risiken, welche das menschliche Leben sowie Sachgüter betreffen können. Diese Güter müssen vom Staat geschützt werden. Sowohl auf nationaler Ebene als auch auf übernationaler Ebene gibt es Zielsetzungen, die Verkehrssicherheit immer weiter zu erhöhen und somit die Anzahl an Verkehrsopfern zu senken. So hat beispielsweise die Kommission der Europäischen Union im Jahr 2001 das Weißbuch „Verkehr“ veröffentlicht. Dieses verfolgte das Ziel, die Zahl der Verkehrstoten innerhalb von zehn Jahren zu halbieren. 2011 wurde ein weiteres Weißbuch publiziert, welches die Senkung der Anzahl der Verkehrstoten bis 2050 auf nahe Null anstrebt. Darüber hinaus wurde von der Europäischen Kommission die Europäische Charta für Straßenverkehrssicherheit ins Leben gerufen. Die Unterzeichnung dieser Charta basiert auf Freiwilligkeit und führt zu einer Selbstverpflichtung zur Mitwirkung an der Reduktion der Verkehrsunfallzahlen. [Schnieder; Schnieder, 2013] 2014 zählten zu den Unterzeichnern bereits mehr als 2300 öffentliche und private Einrichtungen, welche für die Zivilgesellschaft Aktionen und Initiativen durchführten. [Europäische Kommission, 2015] Auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) setzt sich für die Erhöhung der Verkehrssicherheit ein. Nach der ersten Woche der Verkehrssicherheit der Vereinten Nationen im Jahr 2007 und der ersten Ministerkonferenz zum Thema Straßenverkehrssicherheit im Jahr 2009 rief sie die Jahre 2010 bis 2020 als „Jahrzehnt der Verkehrssicherheit“ aus. Auf nationaler Ebene ist es essentiell, dass Erlangung von Informationen betreffend Straßenverkehrssicherheit öffentlich zugänglich ist. So muss die Dokumentation von tatsächlichen Unfallzahlen sowie die Erstellung von Unfallberichten auf transparente Weise durchgeführt werden. [Schnieder; Schnieder, 2013]

Verkehrssicherheit ist ein Maß für die Zuverlässigkeit von Verkehrsmitteln und -anlagen in Bezug auf Störungen im Verkehrsablauf wie Gefährdungen und Unfälle. Sie wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Diese Faktoren betreffen verschiedene Bereiche, welche oft nicht miteinander in Zusammenhang stehen und deren Regelung daher durch unterschiedliche Maßnahmen erfolgt. Die wichtigsten Faktoren sind die Eigenschaften der Verkehrsmittel und der Verkehrswege, der Einfluss der Naturbedingungen, die Verkehrsdichte sowie das Verhalten der Verkehrsteilnehmer. Die Maßnahmen, um solchen Faktoren, die sich verschlechternd auf die Verkehrssicherheit auswirken, entgegenzuwirken, reichen von gesetzlichen und polizeilichen Maßnahmen über Verkehrserziehung bis zu ingenieurmäßigen Maßnahmen. Abbildung 1 veranschaulicht, welche Aspekte auf den Verkehr und somit seine Sicherheit einwirken und wie sich dabei sein Umfeld zusammensetzt.

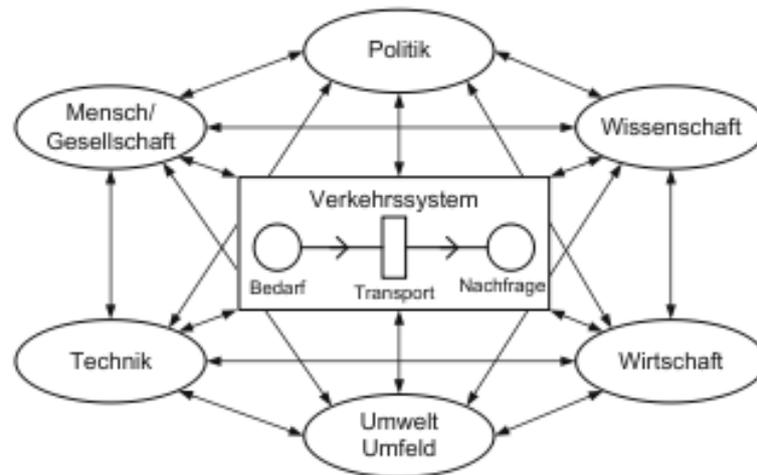


Abbildung 1: Aspekte und Umfeld des Verkehrs [Schnieder; Schnieder, 2013]

Die vorliegende Masterarbeit lässt Komponenten wie die Eigenschaften der Fahrzeuge und äußere Einwirkungen wie Witterung außer Acht. Mithilfe der Fahrverhaltensparameter im Simulationsmodell soll zwar das menschliche Verhalten wiedergespiegelt werden, „menschliches Versagen“ oder „Fehlverhalten“ kann jedoch nicht realitätsgetreu nachgebildet werden. Der Fokus wird stattdessen auf bestimmte Eigenschaften der Verkehrswege (so z.B. die Geometrie von Anschlussstellen) und den Einfluss der Verkehrsstärke gelegt. Somit stehen ingenieurmäßige Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit im Vordergrund, zu welchen auch die Untersuchung der Verkehrssicherheit mittels Mikrosimulation und SSAM zählt.

2.1 Verkehrssicherheit an Anschlussstellen

Der Begriff Anschlussstelle bezeichnet einen Knotenpunkt, welcher der Verbindung von höherrangigen Straßen wie Autobahnen oder Schnellstraßen mit dem nachgeordneten Straßennetz dient. Solche Knotenpunkte sind mindestens zur Autobahn planfrei, meist teilplanfrei ausgestaltet. (Voll-)Anschlussstellen bestehen aus einer Auf- und Abfahrt an beiden Richtungsfahrbahnen sowie einem Beschleunigungstreifen, der zur Einordnung der einfahrenden Fahrzeuge in den fließenden Verkehr auf der höherrangigen Straße dient, und einem Verzögerungstreifen, welcher den abfahrenden Fahrzeugen den Raum geben soll, ihre Geschwindigkeit zu reduzieren, um somit sicher auszufahren zu können. [PIARC, 2014]

Dadurch kommt es zu verschiedenen Verkehrsvorgängen. Ein- und Ausfädelungsvorgänge, aber auch häufige Spurwechsel, vor allem bei unübersichtlichen Anschlussstellen, führen zu Konfliktpunkten im Bereich der Hauptfahrbahn. Der Anschluss an das untergeordnete Straßennetz erfordert meist einen Halt und bildet einen weiteren sicherheitskritischen Punkt. Durch diese Vorgänge ist an Anschlussstellen ein erhöhtes Sicherheitsrisiko gegeben. Sie können zu unangepassten Geschwindigkeiten, aber auch zu geringen Sicherheitsabständen und Schwierigkeiten beim Ein- und Ausfädeln führen. Hinzu kommt die Schwierigkeit der Gewährleistung eines flüssigen und sicheren Verkehrsablaufs aufgrund von dessen Heterogenität an Anschlussstellen mit hohem Schwerverkehrsanteil. Dies betrifft insbesondere Bereiche, in denen viele Anschlussstellen knapp aufeinander folgen. [Lemmer et al., 2010]

Die Bewegungsvorgänge, aus denen sich Konfliktpunkte und Konfliktsflächen ergeben, sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Bei Anschlussstellen werden Ströme nicht nur zusammen- und auseinandergeführt, sondern sie durchdringen sich auch (Kreuzungs- und Verflechtungsbereiche).

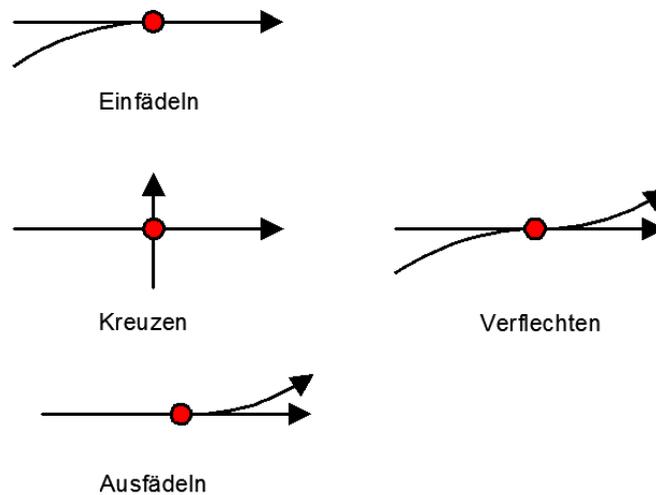


Abbildung 2: Zu Konflikten führende Bewegungsvorgänge

Abbildung 3 zeigt die verschiedenen Typen von Rampenfahrbahnen, welche bei Anschlussstellen auftreten können.

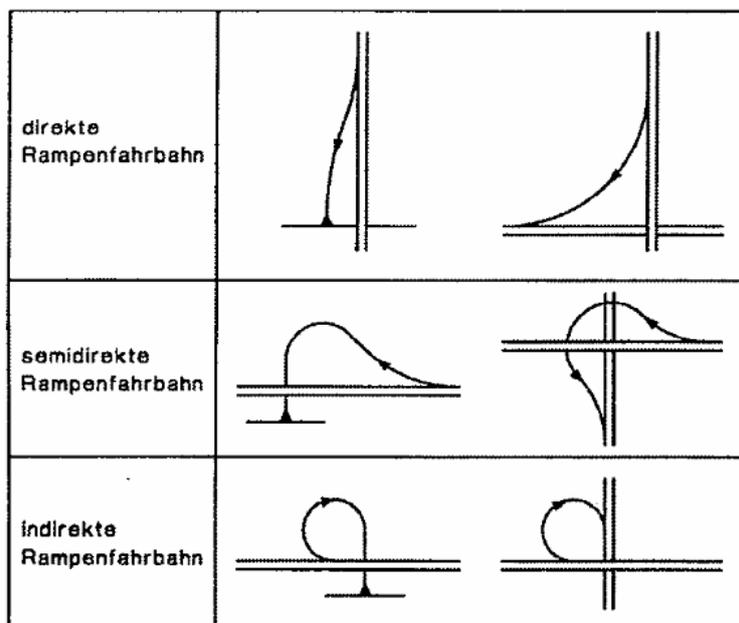


Abbildung 3: Typen von Rampenfahrbahnen nach RVS 03.05.13 [FSV, 2001]

Gerade Rampen werden aufgrund von Sicherheitsüberlegungen möglichst vermieden. Lange und schnelle Fahrten auf Autobahnen führen nämlich dazu, dass der Fahrer sein Geschwindigkeitsgefühl

verliert. Zusätzlich täuscht der Blick auf die gegenüberliegende Rampe einen Streckenverlauf vor. Kurven helfen dabei, die Verkehrsteilnehmer wieder darauf aufmerksam zu machen, mit welcher Geschwindigkeit sie sich tatsächlich fortbewegen. Dies ist im Bereich von Anschlussstellen äußerst wichtig, da für die Straßenkategorien, welche hier aufeinandertreffen, meist unterschiedliche Geschwindigkeitsbegrenzungen vorgegeben sind.

Direkt am Ende bzw. Beginn einer Rampe befinden sich bei Anschlussstellen oftmals Kreuzungen als Übergang zum untergeordneten Straßennetz. Grundsätzlich weist eine klassische unregelmäßige vierarmige Kreuzung insgesamt 32 Konfliktpunkte auf. Das sind jene Punkte, bei denen es zu einer Kreuzung der Trajektorien der Fahrzeuge kommt. Die 32 Konfliktpunkte setzen sich aus acht Einfädelungs- bzw. Ausfädelungspunkten sowie 16 Kreuzungspunkten (siehe Abbildung 4) zusammen. [Mensebach, 2004]

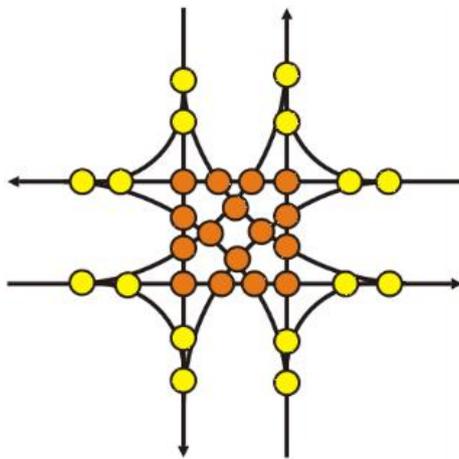


Abbildung 4: Konfliktpunkte Kreuzung [FSV, 2006]

Ist eine Kreuzung lichtsignalgesteuert, so reduzieren sich diese Konfliktpunkte, da die meisten Ströme, die zueinander in einem Konflikt stehen können, nicht dieselben Freigabezeiten haben. Hinzu kommt, dass Konfliktflächen modelliert wurden, die den Vorrang zwischen Fahrzeugströmen, welche sich trotz der Lichtsignalsteuerung kreuzen könnten, festlegen.

Verschiedene Merkmale von Anschlussstellen können sich unterschiedlich auf die Verkehrssicherheit auswirken. Der Begriff „Merkmale einer Anschlussstelle“ bezeichnet zahlreiche ihrer Eigenschaften, wie ihre Form, die Elemente, aus denen sie sich zusammensetzt, und die Verhältnisse ihrer Anlagen. Aber auch Bodenmarkierungen und Wegweisungen sowie äußere Einflüsse wie die Lage der Anschlussstelle im Raum und Fahrbahn- oder Witterungsbedingungen können maßgeblich für den Grad der Verkehrssicherheit sein. [Forschungsförderungsgesellschaft, 2012] In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit die Verkehrssicherheit an Anschlussstellen mit der Software SSAM abgebildet werden kann und anhand einiger Merkmale überprüft werden, welche Auswirkungen diese auf die Verkehrssicherheit haben.

2.2 Methoden zur Bestimmung der Verkehrssicherheit

In diesem Abschnitt werden verschiedene Ansätze zur Bestimmung und Verbesserung der Verkehrssicherheit dargelegt, wobei die in Österreich übliche Methode der Verkehrskonflikttechnik besonders hervorgehoben wird. Darüber hinaus wird auf Probleme aufmerksam gemacht, welche durch herkömmliche Herangehensweisen zur Abschätzung der Verkehrssicherheit auftreten können.

2.2.1 Grundlegende konzeptionelle Ansätze

Für die Auseinandersetzung mit der Verkehrssicherheit aus wissenschaftlicher Perspektive, mit dem Ziel, eine Erhöhung dieser zu erreichen, stehen verschiedene grundlegende konzeptionelle Ansätze zur Verfügung. Dabei kann zwischen dem zeitlichen und dem verkehrlichen Betrachtungskonzept unterschieden werden.

Die Ansätze des zeitlichen Betrachtungskonzepts sind voneinander hinsichtlich ihrer Methodik abzugrenzen und lauten wie folgt:

- analytisch-retrospektive Vorgehensweise
- synthetisch-prospektive Vorgehensweise

Bei der analytisch-retrospektiven Vorgehensweise werden zunächst sicherheitsrelevante Belange anhand von wissenschaftlichen Bestandsaufnahmen und Fallstudien klassifiziert und ihre Häufigkeit analysiert. Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, welche aus dieser Methode folgen, sind überwiegend Ursachen- oder Symptomvermeidung, Regularien oder auch passive Schutz Einrichtungen (z.B. Schutzplanken aus Stahl, Gleitwände und Anpralldämpfer vor Gefahrenschwerpunkten oder an Ausfahrten [Dekra, 2015]). [Schnieder; Schnieder, 2013]

Die synthetisch-prospektive Vorgehensweise zielt hingegen darauf ab, die verkehrliche Infrastruktur bereits vor ihrer Errichtung sicherheitstechnisch zu optimieren. Darüber hinausgehend soll der sichere Verkehrsablauf durch aktive Planung und Steuerung mittels leistungsfähiger Informationsverarbeitung gewährleistet werden. [Schnieder; Schnieder, 2013]

Im Gegensatz dazu erfolgt innerhalb des verkehrlichen Betrachtungskonzepts eine Abgrenzung zwischen

- autonomen Ansätzen und
- kooperativen Ansätzen.

Autonome Ansätze streben eine Verbesserung der Verkehrssicherheit durch fahrzeugeitige Einrichtungen an. Zu solchen Einrichtung zählen zunehmend Fahrerassistenzsysteme. Diese sind bei den Systemen der aktiven Sicherheit einzuordnen, welche das Eintreten eines Unfalls verhindern. [Winner; Hakuli; Wolf, 2012]. Es handelt sich hierbei um ein System, bei welchem die Autonomie des Einzelfahrzeuges im Vordergrund steht. [Schnieder; Schnieder, 2013]

Anders stellt sich die Situation bei den kooperativen Ansätzen dar. Diese haben die Interaktion des Menschen mit dem Fahrzeug zum Gegenstand. Im Verkehrsgeschehen erfolgt eine Verbindung der Fahrzeugaktoren mit der hochkomplexen Sensorik und der intelligenten Informationsverarbeitung des Menschen. Ein Problem hierbei ist, dass der Mensch ein kritisches Element für die Verkehrssicherheit darstellt, was dessen Zuverlässigkeit betrifft. Daher muss versucht werden, dieses Risiko entweder

durch technisch hochredundante Multisensorik und Informationsverarbeitung fahrzeugseitig zu verringern oder einen Austausch lokaler Verkehrszustandsinformationen, welche durch die Fahrzeuge ermittelt wurden, zwischen Fahrzeugen zu erlauben. Dazu werden dezentrale Ad-hoc-Kommunikationsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Fahrzeugen benötigt. [Schnieder; Schnieder, 2013]

2.2.2 Verkehrssicherheitsuntersuchung

Neben nationalen Vorgaben hat auch die europäische Verkehrspolitik einen maßgeblichen Einfluss auf die Ausgestaltung von Verkehrssicherheitsuntersuchungen in Österreich. 2010 erfolgte die Umsetzung der EU-Richtlinie über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur in Österreich. Der Fokus liegt bei der Richtlinie 2008/96/EG neben Mensch und Fahrzeug insbesondere auf der Infrastruktur. Sie legt mehrere technische Instrumente fest, die zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit eingesetzt werden können:

- **Folgenabschätzung hinsichtlich der Verkehrssicherheit (Road Safety Impact Assessment, RIA)**

Hierbei handelt es sich um eine strategisch orientierte vergleichende Analyse der Auswirkungen einer neuen Bundesstraße oder wesentlicher Änderungen auf die Sicherheit im Straßennetz. Die RIA beeinflusst die Trassenwahl und muss spätestens mit dem Einreichprojekt dem BMVIT vorgelegt werden.

- **Straßenverkehrssicherheitsaudit (Road Safety Audit, RSA)**

Das RSA ist eine unabhängige, eingehende, systematische und technische Prüfung der Entwurfsmerkmale einer Straße unter dem Sicherheitsaspekt, welche von einem zertifizierten Sicherheitsgutachter durchgeführt werden muss. Nach der RVS 02.02.33 [FSV, 2012] bezieht sich das Road Safety Audit auf das Vorprojekt, das Einreichprojekt, das Bauprojekt und die Bauphase (Endkontrolle).

- **Straßenverkehrssicherheitsüberprüfung (Road Safety Inspection, RSI)**

Die RSI bezeichnen periodisch wiederkehrende Überprüfungen der in Betrieb befindlichen Bundesstraßen. Einfache Straßenverkehrssicherheitsüberprüfungen müssen einmal im Jahr durchgeführt werden, alle zehn Jahre ist eine vertiefte RSI vorzunehmen. Auch für diese Überprüfung muss ein zertifizierter Straßenverkehrssicherheitsgutachter herangezogen werden.

- **Straßenverkehrssicherheitsanalyse**

Im Rahmen der Straßenverkehrssicherheitsanalyse wird das gesamte Straßennetz untersucht, wobei eine Unterteilung in Abschnitte von mindestens 3 km Länge vorgenommen wird. Der Bund setzt anschließend Maßnahmen unter Berücksichtigung des

Kosten-Nutzen-Verhältnisses bezüglich der Abschnitte mit dem größten Potential für die Senkung von Unfallkosten. Diese Abschnitte werden von einem Expertenteam und mindestens einem Gutachter im Zuge eines Lokalaugenscheins ermittelt.

- **Unfalldatenerfassung**

Dabei handelt es sich um ein Instrument, das in Österreich schon seit mehreren Jahren zur Untersuchung und Bewertung der Verkehrssicherheit eingesetzt wird. Es sind Unfallberichte zu erstellen und an die Statistik Austria zu übermitteln, woraus diese dann einen Unfalldatenbestand erstellt.

- **Veröffentlichung von Straßenabschnitten mit hoher Unfallhäufigkeit** [Rose; Eichinger-Vill, 2010]

Schon länger gibt es die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS), welche sich mit der Verkehrssicherheit befassen und unter den in der EU-Richtlinie verwendeten Begriff der „Leitlinien“ subsumiert werden können. Dies sind beispielsweise die RVS 02.02.33 (Verkehrssicherheitsaudit) [FSV, 2012], die RVS 02.02.34 (Sicherheitsüberprüfung) und die RVS 02.02.35 (Zertifizierung von Gutachtern) [FSV, 2012]. [Rose; Eichinger-Vill, 2010] Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die RVS 02.02.21 [FSV, 2014], welche die Verkehrssicherheitsuntersuchungen beschreibt, durch welche in Österreich die Verkehrssicherheit unter anderem sichergestellt werden soll. Diese bestehen in der lokalen Unfallforschung, welche die systematische Lokalisierung und Sanierung von Unfallstellen im gesamten Straßennetz sowie die sicherheitstechnische Begutachtung aller Neu- und Umplanungen zur Vermeidung zukünftiger Unfallstellen zur Aufgabe hat. Sie haben fundierte Unfalluntersuchungen zu enthalten und Sanierungsvorschläge aufzuzeigen. Die Grundlage der Verkehrssicherheit liegt demnach gemäß RVS in der Sanierung von Straßenstellen mit gleichen Unfalltypen. Die Kriterien der Verkehrssicherheit sollen jedoch bereits in der Gesamtplanung der Flächenwidmung berücksichtigt werden.

Es ist gemäß der StVO gesetzlich vorgeschrieben, dass die Behörde bei wiederholten Unfällen mit Personen- oder Sachschaden an einer Straßenstelle zur Verhütung weiterer Unfälle einschreiten muss. Dazu ist unter anderem eine Verkehrssicherheitsstatistik zu führen und unter Berücksichtigung der Betrachtung des Unfallgeschehens über längere Beobachtungszeiträume auszuwerten. Des Weiteren sind Auswertungen von Unfalltypenstatistiken durchzuführen.

Die RVS gibt diesbezüglich Informationen hinsichtlich Unfalldaten (insbesondere wird die Einteilung der Unfalltypen festgelegt) und bestimmt, wie die Unfallstatistiken und die Detailauswertungen auszusehen haben. Sie legt fest, welche verkehrsrelevanten Daten und Erhebungen zum Straßenumfeld in diesem Zusammenhang aufzuzeichnen sind und definiert das Ablaufschema einer Unfalluntersuchung.

Zusätzlich wird die Durchführung von Sicherheitsprüfungen zur Vermeidung von potentiellen Unfallstellen bei allen Straßenplanungen von Personen mit besonderem Fachwissen auf dem Gebiet der Verkehrssicherheit vorgeschrieben.

2.2.3 Problematik betreffend Unfalldaten

Traditionelle Ansätze zur Abschätzung der Verkehrssicherheit basieren auf aktuellen Unfalldaten und umfassen Vorher-Nachher-Analysen sowie Unfallvorhersagemodelle. Beide Ansätze weisen im Zusammenhang mit der Komplexität von für die Verkehrssicherheit maßgeblichen Faktoren und der oft schlechten Qualität der Unfalldaten starke Beschränkungen auf:

- Im Vergleich zu anderen Verkehrseignissen sind Unfälle das Ergebnis der Verkettung einer Vielzahl unglücklicher Ereignisse, welche allesamt sehr kleine Wahrscheinlichkeiten aufweisen.
- Unfälle treten selten auf, was es schwierig gestaltet, Verkehrssicherheitsanalysen an einzelnen Punkten lediglich auf Unfalldaten zu stützen.
- Nicht alle Unfälle werden gemeldet und aufgezeichnet, was wiederum im Zusammenhang mit der Unfallschwere und den involvierten Verkehrsteilnehmern steht.
- Informationen über Verhaltensweisen, welche den Unfällen vorausgehen, sind selten verfügbar. [Laureshyn et al., 2010; Vasconcelos; Silva; Seco, 2013]

Üblicherweise werden Modelle, die die Verkehrssicherheit an Verkehrsanlagen vorhersagen sollen, so gestaltet, dass die erwartete Anzahl an Unfällen pro Jahr geschätzt wird. Die Grundlage für eine solche Abschätzung bilden bestimmte Verkehrsfaktoren (wie beispielsweise die tägliche durchschnittliche Verkehrsstärke), die Geometrie der Verkehrsanlage sowie Anlagen zur Verkehrssteuerung. Die Zuverlässigkeit und Genauigkeit solcher Modelle untereinander kann allerdings stark variieren. Oft weicht die tatsächliche auftretende Unfallrate von der zuvor vorausgesagten stark ab. Darüber hinaus weist die Genauigkeit auch Schwankungen in Abhängigkeit der betrachteten Kreuzungsart auf. Eine weitere Herausforderung ist, dass das Auftreten von Verkehrsunfällen und somit die jährlichen Unfallzahlen sehr stark variieren und es daher Jahre dauern würde, um die tatsächliche Unfallrate an einem Punkt zuverlässig zu ermitteln. Letztere Problematik im Zusammenhang mit Unfallstatistiken soll im Folgenden anhand von Beispielen dargestellt werden: [Gettman et al., 2008]

Jährliche Unfallzählungen lassen sich (ähnlich wie die stündliche Verkehrsstärke) relativ gut durch eine Poisson-Verteilung darstellen. Aus dieser Darstellung ergibt sich, dass die Varianz σ^2 gleich groß ist wie der Mittelwert μ . Dies bedeutet, dass die Standardabweichung mit der Wurzel des Mittelwertes gleichzusetzen ist. Ist der Mittelwert größer als 6, so kann die Poisson-Verteilung durch eine Normalverteilung angenähert werden. In einer Normalverteilung fallen ca. 95 Prozent aller Ergebnisse in den Bereich eines Wertes von zwei Standardabweichungen vom Mittelwert. Werden diese Annahmen auf Kreuzungspunkte angewendet, bei welchen es in einem bestimmten Zeitraum zu 100 Unfällen kommt, so kann die Aussage getätigt werden, dass ca. 95 Prozent dieser Kreuzungspunkte innerhalb dieses Zeitraumes Unfallzahlen aufweisen, die innerhalb von zwei Standardabweichungen vom Mittelwert liegen. Im vorliegenden Fall würde eine Standardabweichung den Wert 10 aufweisen und die meisten Unfallzahlen würden daher innerhalb von 20 Unfällen um den Mittelwert liegen. Die Anzahl der Unfälle würde also in den meisten Fällen zwischen 80 und 120 liegen. Das Ergebnis ist, dass in einem Zeitraum, der notwendig ist, um 100 Unfälle zu verzeichnen, alle bis auf 5 Prozent der betrachteten Kreuzungspunkte Unfallzahlen im Bereich vom Mittelwert +/- 20 Prozent aufweisen würden.

Die Problematik liegt darin, dass Unfallhäufigkeiten meist jährlich betrachtet werden und die tatsächlichen Unfallzahlen an Kreuzungspunkten weit unter dem Wert von 100 Unfällen pro Jahr liegen. Es wäre daher ein jahrelanger Beobachtungszeitraum vonnöten, um bei Betrachtung verschiedener Kreuzungspunkte einen Mittelwert von 100 zu erlangen und so zuverlässige statistische Aussagen treffen zu können. In einer von Vogt [1999] durchgeführten Untersuchung, im Zuge derer 49 Kreuzungspunkte beobachtet wurden, stellte sich heraus, dass es 25 Jahre dauern würde, um einen Mittelwert in der Höhe von 100 Unfällen zu verzeichnen. Dass ein solch langer Zeitraum zur Analyse der Verkehrssicherheit höchst unpraktisch ist, ist selbstredend. Hinzu kommt, dass sich die der Untersuchung zugrunde gelegten Verkehrsbedingungen über 25 Jahre hinweg entscheidend verändern. Ein Beobachtungszeitraum von einigen wenigen Jahren reicht jedoch nicht dazu aus, um zuverlässige Aussagen über das statistische Auftreten von Unfällen zu tätigen. Noch schwieriger gestaltet sich diese Vorgehensweise in ländlichen Gebieten, da hier durch die niedrigere Verkehrsstärke in einem bestimmten Zeitraum naturgemäß weniger Unfälle auftreten als im städtischen Raum. [Gettman et al., 2008] Darüber hinaus lassen sich solche Modelle oft nicht auf andere Gebiete übertragen, da das in ihnen berücksichtigte Fahrverhalten von Land zu Land variiert. [Vasconcelos; Silva; Seco, 2013]

2.2.4 Verkehrskonflikttechnik

Die Verkehrskonflikttechnik ist ein Ansatz, mit welchem die unter 2.2.3 geschilderten Probleme, die sich durch das Fehlen guter und verlässlicher Unfallaufzeichnungen ergeben, umgangen werden. [Vasconcelos; Silva; Seco, 2013] Nicht Unfälle, sondern Konflikte stehen hier im Vordergrund. Ein Verkehrskonflikt beschreibt eine Situation, in der die Verkehrsteilnehmer einander oder Hindernissen in einer Weise nahekommen, dass die ursprünglich gewählte Bewegungsart (Geschwindigkeit, Richtung, Verzögerung, Beschleunigung) abrupt verändert werden muss, damit eine wahrscheinliche Kollision vermieden wird. Ein Verkehrskonflikt könne aber auch in einem „Beinaheunfall“ bestehen. Ein solcher liegt vor, wenn keiner der Verkehrsteilnehmer eine Reaktion setzte, eine geringfügige Änderung der Bewegungsart jedoch zur Kollision geführt hätte. Diese Definition ist in ihren Grundsätzen auf Cooper [1977] zurückzuführen.

Mithilfe dieser Methode, welche von S. Perkins und J. Harris im Jahre 1968 entwickelt wurde, werden auf systematische und standardisierte Weise Verkehrsbeobachtungen durchgeführt. Ziel ist es, Gefährdungssituationen im Verkehrsablauf auf Straßenverkehrsanlagen zu identifizieren und somit die Verkehrssicherheit bewerten zu können. Die Verkehrskonflikttechnik dient einerseits der Erfolgsabschätzung durchgeführter Maßnahmen im Rahmen von Vorher-Nachher-Untersuchungen, andererseits wird sie angewandt, um Gefährdungen festzustellen und Gegenmaßnahmen abzuleiten. Damit zählt die Verkehrskonflikttechnik zu den analytisch-retrospektiven Vorgehensweisen zur Bestimmung und Verbesserung der Verkehrssicherheit. Es handelt sich darüber hinaus um eine ingenieurmäßige Maßnahme zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. [Schnabel; Lohse, 2011]

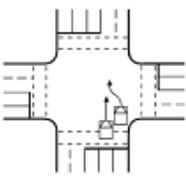
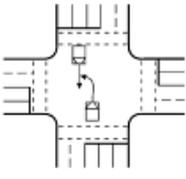
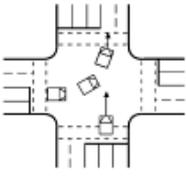
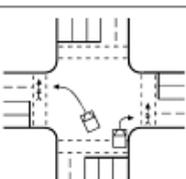
Konflikte werden nach folgenden Eigenschaften erfasst:

- Konflikttypen
- beteiligte Verkehrsteilnehmer
- Konfliktschwere

- Beobachtungsräume
- Zeitintervalle [Schnabel; Lohse, 2011]

Die folgende Tabelle zeigt Beispiele für einzelne Konflikttypen im Bereich eines Straßenknotens:

Tabelle 1: Beispiele von Konflikttypen im Innenbereich von Knotenpunkten [Schnabel; Lohse, 2011]

Bezeichnung des Konflikts/ Kurzbezeichnung	Situations- darstellung	Erläuterung des Konflikts/Symbolik	Erläuterung der zu- gehörigen sicheren Begegnung
Spurwechsel- konflikt SPW		kritisches Fahrmanöver infolge Spurwechsel mit gegenseitiger Behinderung 	parallel abfließende Fahrzeuge
Linksabbieger- konflikt LAB-GER		kritisches Fahrmanöver infolge Nichtbeachtung der Vorfahrt entgegenkommender Gerade- ausfahrer durch ein nach links abbiegenderes Fz 	aufeinanderfolgende Befahrung der Kon- fliktfläche durch Ge- radeausfahrer und Linksabbieger
Räumkonflikt RÄUM		kritisches Fahrmanöver durch in den Knoten einfahrende Fahr- zeuge, in dem sich noch räu- mende Fahrzeuge der bisher freigegebenen Richtung befinden 	aufeinanderfolgende Befahrung der Kon- fliktfläche durch Fahr- zeuge zweier ‚feind- licher‘ Richtungen
Fußgängerkonflikt mit links- bzw. rechtsabbiegenden Fahrzeugen auf der Fußgängerfurt FFurt		kritische Reaktionen infolge falschen Verhaltens von Fahr- zeugen gegenüber Fußgängern an Fußgängerfurten 	Befahrung der Kon- fliktfläche durch Fahr- zeuge, die sich beim Queren in unmittelba- rer Sichtbeziehung zum Fußgänger be- finden

Mögliche kritische Situationen beim Aufeinandertreffen zweier Verkehrsteilnehmer und die durch deren Verhalten resultierenden Verkehrsbegegnungen werden in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt:

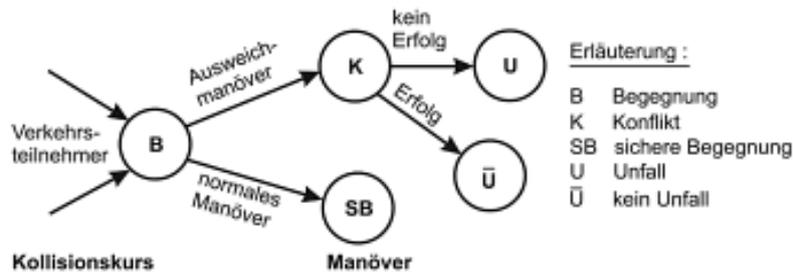


Abbildung 5: Verkehrsbegegnungen und ihre Indikatoren [Schnabel; Lohse, 2011]

Betreffend die **Konfliktschwere** werden vier verschiedene Schweregrade unterschieden:

Schweregrad 0: Folgenlose Rechtspflichtverletzung, d.h. bewusstes oder unbewusstes Missachten von verkehrsrechtlichen Bestimmungen ohne Folgekonflikte.

Schweregrad 1: Kontrolliertes Bremsen oder Beschleunigen und/oder Ausweichen, um eine Kollision zu vermeiden. Zeit für ein kritisches Fahrmanöver ist vorhanden.

Schweregrad 2: Starkes Bremsen oder Beschleunigen und/oder Ausweichen, um eine Kollision zu verhindern. Das Fahrmanöver wird nicht angezeigt. Es erfolgt eine Notreaktion (Beinaheunfall).

Schweregrad 3: Unfall.

Der **Beobachtungsraum** muss so gewählt werden, dass es dem Beobachter möglich ist, die Konflikte gut zu erfassen. Betreffend **Zeitraum** ist mit einer Dauer von 12 Stunden in den meisten Fällen ein hinreichendes Ergebnis zu erzielen.

Ein erheblicher **Nachteil** dieser Methode im Vergleich zu Verfahren, welche die Verkehrssicherheit mithilfe bestimmter sicherheitsrelevanter Parameter automatisiert bewerten, ist, dass die menschliche Komponente hier eine entscheidende Rolle spielt. Da die Aufzeichnung der Konflikte händisch erfolgt, indem alle beobachteten Konfliktsituationen in ein individuell angefertigtes Beobachtungsformular eingetragen werden, ist es wichtig, dass sämtliche Personen, welche die Erhebungen durchführen, ein einheitliches Beurteilungsniveau erreichen. Dies verlangt eine gute Schulung des Personals. Die Eintragung in das Beobachtungsformular erfolgt mittels der semantischen Technik. Dies bedeutet, dass die gemachten Beobachtungen von Verkehrskonflikten basierend auf dem persönlichen Eindruck erläutert werden. [RVS 02.02.22] Ein **Vorteil**, der zu nennen ist, ist jener, dass der Zeitaufwand, um mit der VKT bereits umgesetzte bauliche und verkehrsorganisatorische Maßnahmen zu bewerten, relativ gering ist. Dadurch entsteht auch nicht wie bei längerfristigen Unfallaufzeichnungen das Problem, dass sich die Bedingungen wie z.B. Verkehrsstärken oder Fahrbahnzustand, die der Beobachtung zugrunde liegen, ändern. [Gettman et al., 2008]

Am Ende der Untersuchung steht die Ermittlung der **Konflikttrate KR**. Die Formel zur Berechnung dieser lautet

$$KR = \frac{K_t}{B_t}$$

wobei K_t die Anzahl der Konflikte in der Beobachtungszeit t und B_t die Anzahl der Begegnungen in demselben Zeitraum darstellen. Zusätzlich müssen die zu den einzelnen Zeiträumen gehörigen

Verkehrsstärken gezählt werden. Darüber hinaus sind die Konflikte nach Anzahl und Schwere in einem Lageplan darzustellen, um bestimmte Punkte zu identifizieren, an denen Konflikte gehäuft auftreten. [Schnabel; Lohse, 2011]

Zeigen die Ergebnisse, dass vermehrt Konflikte auftreten und ist Verbesserungspotential vorhanden, so sind Maßnahmen zu setzen, um die Verkehrssicherheit in einem Bereich nachträglich zu erhöhen. Diese können an einem Knoten z.B. die Veränderung der Straßenmarkierung, die Änderung von Phasenablauf oder dem Phasensystem der Lichtsignalsteuerung oder die Einführung von Geschwindigkeitsbeschränkungen sein. [Schnabel; Lohse, 2011]

Verkehrskonflikttechnik nach RVS 02.02.22

In **Österreich** wurde die Verkehrskonflikttechnik systematisch weiterverfolgt und ist nun fester Bestandteil der Untersuchungen zur Verkehrssicherheit. [Hupfer, 1997] Es gibt in Österreich eine eigene Richtlinie – die **RVS 02.02.22** [FSV, 2014] – welche die Rahmenbedingungen und Vorgangsweise für die Verkehrskonflikttechnik festlegt und auf das gesamte Straßennetz anzuwenden ist. Diese Richtlinie bezeichnet die Verkehrskonflikttechnik als wichtige ergänzende Erhebungsmethode der örtlichen Unfallforschung. Sie ist somit ein Teil der Verkehrssicherheitsuntersuchung gemäß RVS 02.02.21 [FSV, 2014]. Im Vergleich zu Unfällen treten Verkehrskonflikte nämlich in wesentlich größerer Zahl auf. Ihre Analyse ermögliche daher eine aktuelle und genaue Mängelanalyse.

Im Gegensatz zu einem Verkehrskonflikt liegt ein Unfall nach der RVS 02.02.22 [FSV, 2014] dann vor, wenn einer oder mehrere der Beteiligten in einer beliebigen konflikträchtigen Situation nicht oder so spät reagieren, dass eine Kollision nicht vermieden werden kann. Hierzu zählen Unfälle mit Sach- oder Personenschäden.

Verkehrskonflikte können viele verschiedene Ursachen haben, sie folgen jedoch beinahe immer auf objektive Fehler im Handeln oder der Interaktion von Verkehrsteilnehmern. Als Ursachen für Konflikte werden laut RVS angesehen:

- Fehlen relevanter Informationen
- nicht oder zu spät wahrgenommene relevante Informationen
- falsch bewertete relevante Informationen
- Mangel an ausreichenden Fähigkeiten
- falsche Erwartungen hinsichtlich Verhalten anderer
- nicht zusammenpassende Aktion bzw. Reaktion
- Fehlleitungen und Täuschungen
- vorsätzliche Handhabung
- technische Mängel

Abbildung 6 zeigt eine schematische Darstellung von Verhalten und Folgen im Straßenverkehr. Dabei bilden Unfälle die kleinste, aber folgenschwerste Gruppe. Fehlverhalten kann entweder ohne konkrete Gefährdung stattfinden (z.B. Missachtung von Geschwindigkeitsbegrenzungen ohne

Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer), oder aber ein gefährliches Verhalten darstellen (z.B. Rotlichtmissachtungen). Zum Fehlverhalten zählen auch unklare, problematische Interaktionen. Dies sind kritische Interaktionen der Verkehrsteilnehmer wie z.B. Interaktionsprobleme beim Einordnen. [FSV, 2014]

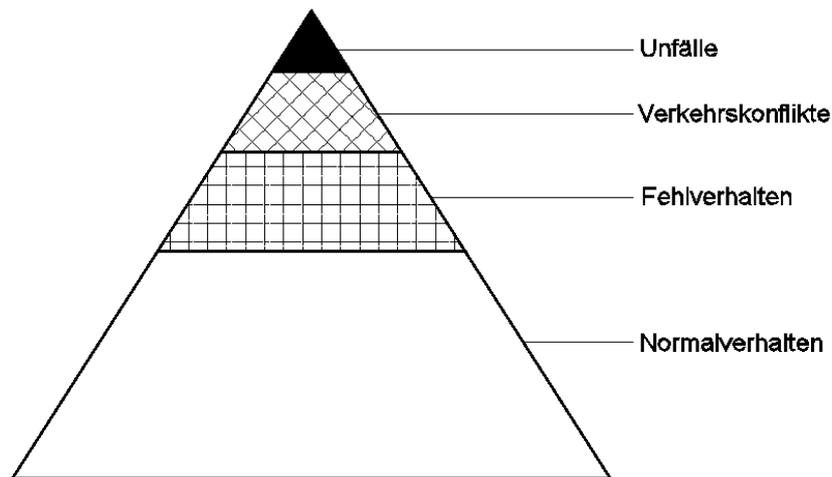


Abbildung 6: Schematische Darstellung von Verhalten und Folgen im Straßenverkehr [FSV, 2014]

Möglichkeiten, die Verkehrskonflikttechnik anzuwenden, sind nach der RVS 02.02.22 [FSV, 2014] beispielsweise ergänzende Untersuchungen bei Unfallhäufungsstellen, der Einsatz bei Gefahrenstellen (Stelle mit häufigen Konflikten und Indizien für gleichartige Risiken oder einzelnen Unfällen), die Einschätzung der Sicherheitsqualität einer Verkehrsanlage und für bestimmte Verkehrsteilnehmergruppen sowie Wirksamkeitsprüfungen nach bereits gesetzten Maßnahmen. Darüber hinaus wird die VKT auch dann eingesetzt, wenn regelkonformes Verhalten der Verkehrsteilnehmer Konflikte auslöst oder solche bei beobachtetem regelwidrigem Verhalten nicht auftreten. [FSV, 1995]

Nach der RVS 02.02.22 [FSV, 2014] werden 10 Konflikttypenobergruppen unterschieden. Die Unterscheidung nach gleichartigen Konflikttypen als Abbild gefährlicher Situationen stellt die Grundlage der Verkehrskonflikttechnik dar. Die Konflikttypenobergruppen lauten wie folgt:

Tabelle 2: Konflikttypenobergruppen nach der RVS 02.02.22 [FSV, 2014]

KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 0	Konflikte mit nur einem Beteiligten (z.B. Abkommenskonflikte)
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 1	Konflikte im Richtungsverkehr (z.B. Fahrstreifenwechselkonflikt, Auffahrkonflikt, Überholkonflikt)
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 2	Konflikte im Begegnungsverkehr (Frontalkonflikte)

KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 3	Konflikte beim Abbiegen – richtungsgleich (Rechtsabbieger, Linksabbieger)
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 4	Konflikte beim Abbiegen – entgegengesetzte Richtung (z.B. Linksabbiegekonflikte)
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 5	Rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Queren (geradeausfahrende Fahrzeuge)
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 6	Rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Einbiegen
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 7	Konflikte mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 8	Konflikte mit Fußgängern (von rechts und links, auf Kreuzungen und in Straßenzügen und sonstiges)
KONFLIKTTYPENOVERGRUPPE 9	Konflikte auf Parkplatz-, Tankstellen-, Haus- oder Grundstücksaus- oder -einfahrten

Die RVS spezifiziert, welche Daten zur Beschreibung der Konflikte festgehalten werden müssen und unterscheidet diese dabei in die zwei Gruppen „Allgemeine Daten“ und „Konfliktbezogene Daten“. Zur Gewinnung dieser Daten bzw. zur Aufklärung und Rekonstruktion von Konflikten sollen, neben der „semantischen Technik“ (Beobachtung und Erläuterung), wenn möglich geeignete technische Hilfsmittel zur Unterstützung verwendet werden.

Unter allgemeinen Daten werden folgende Informationen verstanden:

- Ort
- Straßenstelle
- Erhebungsbereich
- Datum
- Wochentag
- Erhebungszeiten
- Name des Beobachters
- Erhebungsauftrag und Beobachterbereich
- Beobachterposition und Beobachtungsrichtung
- Relevante Verkehrsstärken (bei Bedarf)

Konfliktbezogene Daten sind:

- Uhrzeit
- Witterung
- Lichtverhältnisse
- Fahrbahnzustand
- Niederschläge
- Beteiligte Verkehrsteilnehmer

- Darstellung des Konfliktes in der Skizze
- Beschreibung der Bewegungsabfolge des Verhaltens
- Konfliktrelevanter Verkehr
- Verkehrsablauf, z.B. Pulks

Die folgenden Abbildungen zeigen die Konflikterhebungsblätter, in welche diese Daten einzutragen sind:

PROJEKT:
Ort:.....
Straßenstelle:.....
Erhebungsbereich:
Datum / Wochentag.....
Erhebungszeiten:.....
Namen d. Beobachter:
Erhebungsaufträge:
relevante Verkehrsstärken (bei Bedarf) :
Lageskizze :
räumliche Beobachtungsbereiche mit <input type="checkbox"/> eingrenzen, Beobachterpositionen und Beobachtungsrichtung mit <input type="radio"/> → kennzeichnen Fahrbahnbelag angeben


Abbildung 7: Konflikterhebungsdatenblatt – Allgemeine Daten nach RVS 02.02.22 [FSV, 2014]

PROJEKT :			Seite :		
Beobachter :			Beobacht.pos. u. -richt.		
Nr.	Uhrzeit :	Konflikttyp :			
Witterung :		Lichtverhältnisse :			
Fahrbahnzustand :		Niederschläge :			
konfliktrel. Verk. :		Verkehrsablauf :			
Beteiligte :		Beschreibung d. Bewegungsabfolge / d. Verhaltens:			
1 :	m w				
2 :	m w				
3 :	m w				
Sonstiges :					
Nr.	Uhrzeit :	Konflikttyp :			
Witterung :		Lichtverhältnisse :			
Fahrbahnzustand :		Niederschläge :			
konfliktrel. Verk. :		Verkehrsablauf :			
Beteiligte :		Beschreibung d. Bewegungsabfolge / d. Verhaltens:			
1 :	m w				
2 :	m w				
3 :	m w				
Sonstiges :					
Nr.	Uhrzeit :	Konflikttyp :			
Witterung :		Lichtverhältnisse :			
Fahrbahnzustand :		Niederschläge :			
konfliktrel. Verk. :		Verkehrsablauf :			
Beteiligte :		Beschreibung d. Bewegungsabfolge / d. Verhaltens:			
1 :	m w				
2 :	m w				
3 :	m w				
Sonstiges :					

Abbildung 8: Konflikterhebungsdatenblatt – Konfliktrelevante Daten nach RVS 02.02.22 [FSV, 2014]

Am Ende jeder Verkehrskonfliktuntersuchung stehen Schlussfolgerungen, welche die Zusammenführung und Interpretation der angefertigten Konfliktstatistik, der Auswertung der verkehrsrelevanten Daten und Erhebungen zum Straßenumfeld umfassen. Es wird möglich, dadurch

Rückschlüsse auf Mängel der Verkehrstechnik, der Anlageverhältnisse oder des Fahrverhaltens zu schließen. Da die Verkehrskonfliktuntersuchung Teil einer Verkehrssicherheitsuntersuchung ist, werden diese Schlussfolgerungen in das Verkehrssicherheitsgutachten aufgenommen und dienen somit als Grundlage für Sanierungsvorschläge.

2.2.5 Verkehrsflussmodellierung

Bei der Verkehrsflussmodellierung handelt es sich um ein technisch-physikalisches Modell zur Abbildung der Verkehrssicherheit. Es werden zwei Arten von Verkehrsflussmodellierung unterschieden - makroskopische sowie mikroskopische Modelle. Bei mikroskopischen Modellen werden die physikalischen Fahrzeugbewegungen betrachtet, makroskopische Modelle hingegen fassen die einzelnen Fahrzeuge zu Verkehrsströmen bzw. Verkehrsflüssen zusammen und bilden diese mittels der Werte der Verkehrsstärke und der Verkehrsdichte ab (ein Beispiel einer solchen Betrachtung ist das Fundamentaldiagramm). [Schnieder; Schnieder, 2013] Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der mikroskopischen Modellierungsweise, mit welcher auch die Software VISSIM arbeitet. Es handelt sich dabei um ein Verkehrsflussmodell, welches von der PTV Planung Transport Verkehr AG entwickelt wurde. Makroskopische Modelle werden eher selten zur Bewertung der Verkehrssicherheit eingesetzt, da die meisten dieser Modelle Unfallsituationen nicht einmal berücksichtigen. Der labile kritische Bereich des Fundamentaldiagramms, in dem sich der Verkehrszustand bei Unfallsituationen häufig befindet, ist nur schwer darzustellen.

Ob es zu Unfällen bzw. Konflikten kommt, hängt bei mikroskopischen Modellen allerdings stark davon ab, wie die einzelnen Parameter- und Variablenwerte gewählt und kombiniert werden, wobei es hier eine beträchtliche Vielfalt an Möglichkeiten gibt. Für die Parameter und Variablen werden meist bekannte statistische Verteilungen angenommen, allerdings kann die Wirklichkeit nicht immer exakt abgebildet werden. So besteht etwa die Möglichkeit, dass die Parameter und Variablen statistische Abhängigkeiten aufweisen können. Existiert beispielsweise ein Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und jungen Fahrzeugkernern oder auch alten Fahrzeugen, so kann dieser mittels Mikrosimulation nicht eruiert werden. Darüber hinaus kann auch das Modell für die gesteuerte Bewegung der Fahrzeuge Ungenauigkeiten aufweisen. [Schnieder; Schnieder, 2013]

Für die Beurteilung der Verkehrssicherheit eines Simulationsmodells werden die Fahrzeugtrajektorien herangezogen. Eine Trajektorie dient der Beschränkung des Zustandsraums, welcher durch die Koordinaten des Zustandsvektors aufgespannt wird und eine hohe Anzahl von Komponenten aufweist. Sie ist in diesem Fall der Weg und die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs und bezeichnet die Gesamtheit der Zustandsfolge des zeitlichen Verlaufs des Zustands im Zustandsraum. [Schnieder; Schnieder, 2013] Abbildung 9 gibt ein Beispiel für die Trajektorie einer einfachen Längsbewegung in der x-Richtung, wobei der Bewegungszustand nur noch aus den beiden Komponenten Geschwindigkeit und Position in Längsrichtung mit dem Straßenverlauf besteht.

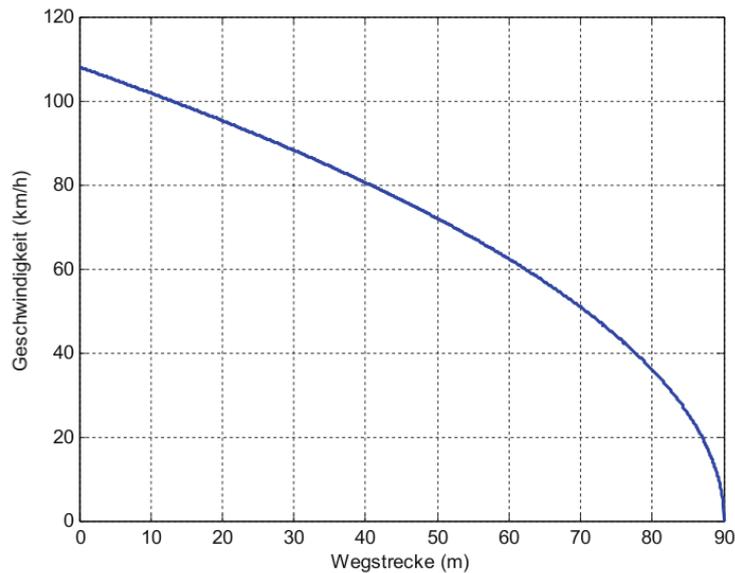


Abbildung 9: Trajektorie der Fahrzeugbewegung in der Zustandsebene für einen Bremsvorgang mit einer Verzögerung von 5 m/s^2 [Schnieder; Schnieder, 2013]

2.2.5.1 Anwendung der Software VISSIM

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Fahrzeugtrajektorien können in VISSIM in eigenen Dateien mit der Dateiendung .trj ausgegeben werden. Diese enthalten neben dem Weg und der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs noch weitere für die Lokalisierung der Fahrzeuge relevante Informationen und folgen der Theorie eines Fahrzeugprotokolls. Ein Fahrzeugprotokoll gibt für jedes Fahrzeug eine Datenzeile je Zeitschritt aus. Diese Datenzeilen beinhalten Informationen zu den einzelnen Fahrzeugen, wie die Routennummer eines Fahrzeugs oder den Fahrzeugtyp. Abbildung 10 zeigt ein Beispiel für den Aufbau eines Fahrzeugprotokolls.

Datei: C:\Program Files\PTV_Vision\VISSIM_530\Examples\Demo\Manual\lux3_10.inp
 Kennung: **mit Filter-Option Fahrzeugnummer**
 Datum: Dienstag, 19. Juli 2011 17:45:34
 VISSIM: 5.40-00* [29439]

FzNr : Nummer des Fahrzeugs
 Typ : Nummer des Fahrzeugtyps
 tGes : Gesamtzeit im Netz [s]
 tachx : Gesamte bisher zurückgelegte Wegstrecke [m]
 v : Geschwindigkeit [km/h] am Ende des Zeitschritts
 Route : Routennr.
 RoutEnt : Routenentscheidungsnr.

FzNr;	Typ;	tGes;	tachx;	v;	Route;	RoutEnt;
1;	32;	0;	204;	24.88;	1110;	10009;
33;	17;	0;	129;	0.00;	0;	0;
25;	18;	0;	251;	0.00;	84;	82;
1;	32;	0;	207;	23.93;	1110;	10009;
33;	17;	0;	129;	0.00;	0;	0;
25;	18;	0;	251;	0.00;	84;	82;
1;	32;	0;	211;	23.99;	1110;	10009;

Abbildung 10: Beispiel für ein Fahrzeugprotokoll [PTV, 2012]

Mikroskopischen Verkehrsflussmodellen liegen sowohl für die Fahrzeugfolge als auch für die Fahrstreifenwechsel unterschiedliche Modelle zugrunde. Diese können innerhalb des Simulationsmodells durch Einstellung von Parametern und Variablen angepasst werden. Im Folgenden sollen die Modelle erläutert werden, welche in VISSIM für die Fahrzeugfolge sowie die Fahrstreifenwechsel eingesetzt werden.

Fahrzeugfolgemodell in VISSIM

VISSIM verwendet zur Modellierung des menschlichen Fahrverhaltens das Fahrzeugfolgemodell Wiedemann [1974]. Dieses basiert auf psycho-physischen Daten und sieht Fahrer und Fahrzeug als elementare Einheit. Wiedemann nimmt bei seinem Modell an, dass es beim Menschen untere Grenzen seines Wahrnehmungsvermögens gibt. Er bezieht diese Grenze auf den Zusammenhang, der zwischen der psychologischen Empfindung und einem ausgeübten physikalischen Reiz besteht. Dabei unterscheidet Wiedemann vier Bereiche für das Fahrzeugfolgeverhalten: „Unbeeinflusstes Fahren“ (Freier Fahrbereich), „Bewusst beeinflusstes Fahren“ (Annäherungsbereich), „Unbewusst beeinflusstes Fahren“ (Folgefahrt) und „Abwenden einer Gefährdungssituation“ (Bremsbereich). Diese Bereiche des Fahrzeugfolgemodells nach Wiedemann sind in der folgenden Abbildung graphisch dargestellt.

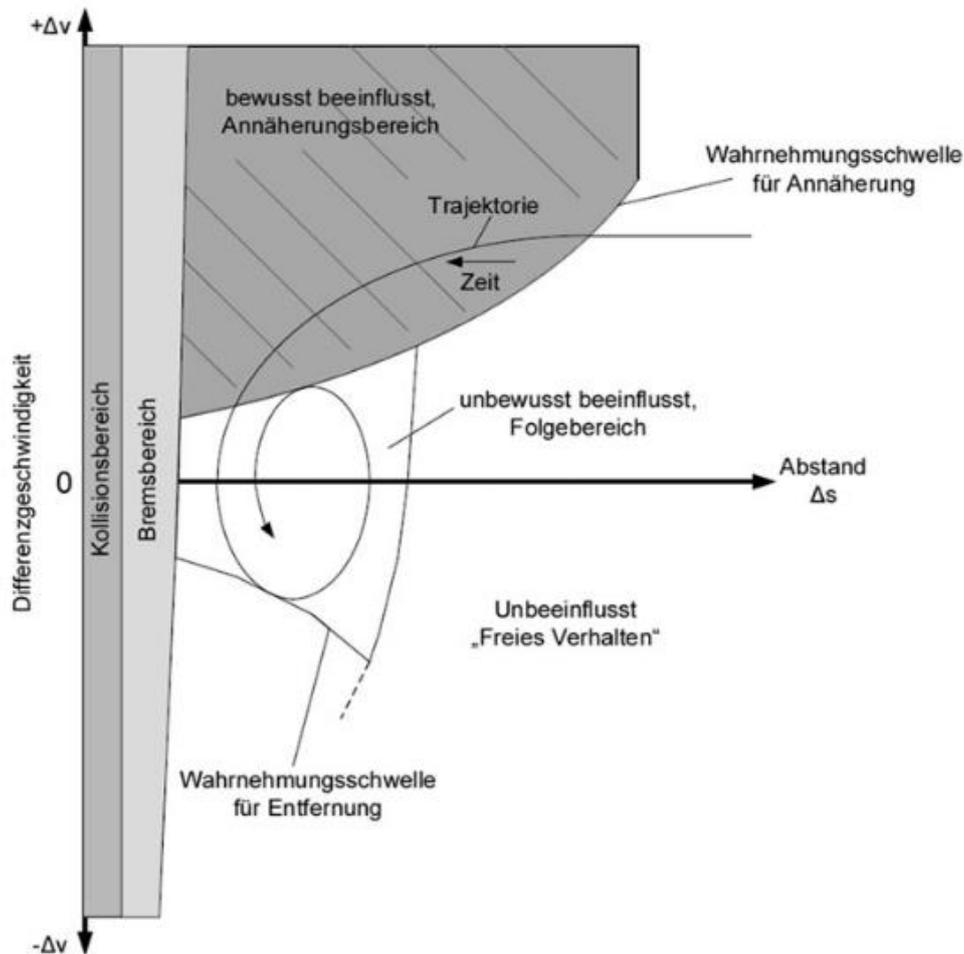


Abbildung 11: Bereiche des Fahrzeugfolgemedells nach Wiedemann 74 (Wiedemann, 1974; Leutzbach, 1972; PTV, 2012)

Fahrstreifenwechselmodell in VISSIM

Der Modellierung von Fahrstreifenwechseln liegt in VISSIM das Fahrstreifenwechselmodell nach Sparmann [1987] zugrunde. Grundlage für dieses Modell sind Analysen empirischer als auch theoretischer Art. Dabei werden lediglich Fahrstreifenwechsel auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen „aus verkehrlichen Gründen“ berücksichtigt, welche Fahrstreifenwechsel aus taktischen Gründen auf Bahnführungsebene beschreiben. Das Verhalten der Fahrer wird hier bei der Modellierung stark durch das Rechtsfahrgebot der StVO beeinflusst. Daraus folgt eine Differenzierung des Fahrstreifenwechselverhaltens, welche davon abhängt, auf welchen Fahrstreifen sich ein Fahrzeug aktuell befindet. Es wird zwischen der „Überholspur“ (linker Fahrstreifen) und der „Fahrspur“ (rechter Fahrstreifen) unterschieden.

- Wechselt ein Fahrer auf die „Überholspur“, so entscheidet er sich bereits frühzeitig zu diesem Überholvorgang, da er anstrebt, seine Wunschgeschwindigkeit zu erreichen und bei diesem Vorgang nicht von einem langsameren vorausfahrenden Fahrzeug beeinflusst werden will. Erlaubt der nachfolgende Verkehr auf dem Nebenfahrstreifen den Fahrstreifenwechsel, so wird dieser vorgenommen. Ist ein Fahrstreifenwechsel ohne Sicherheitsgefährdung nicht möglich, so muss der Fahrer seine Geschwindigkeit an die des vorausfahrenden Fahrzeugs anpassen.

- Wechselt ein Fahrzeug auf die „Fahrspur“, so wird diese Entscheidung bereits während des Überholvorganges getroffen. Ein solcher Wechsel erfolgt aufgrund des Rechtsfahrgebotes und aufgrund der Tatsache, dass der Fahrer andere Fahrzeuge möglichst wenig behindern will. Er wird dann durchgeführt, wenn die Verkehrssituation auf der „Fahrspur“ zulässt, dass sich der Fahrer eine gewisse Zeit lang mit seiner Wunschgeschwindigkeit fortbewegen kann bzw. er die Möglichkeit hat, auf die Überholspur zurückzukehren, bevor er durch ein vorausfahrendes langsames Fahrzeug in seiner Geschwindigkeitswahl beeinflusst wird. Nachfolgende schnellere Fahrzeuge auf der „Überholspur“ beeinflussen das Wechselvorhaben auf die „Fahrspur“. [Detering, 2010]

2.3 Reaktionszeiten

Entscheidend dafür, ob eine Situation im Straßenverkehr als kritisch für die Verkehrssicherheit zu beurteilen ist, sind in erster Linie die Reaktionszeiten. Ob ein Konflikt zu einer Kollision führt, hängt nämlich davon ab, wie schnell die Fahrer der Konfliktfahrzeuge diesen erkennen und dagegen steuern können, also reagieren. Dabei müssen stets die Umstände berücksichtigt werden. In Kreuzungsbereichen wird davon ausgegangen, dass automatisch eine höhere Aufmerksamkeit der Fahrer gegeben ist, als auf langen eher geradlinigen Autobahnstrecken. Darüber hinaus bewegen sich Fahrzeuge im Bereich von Knotenpunkten üblicherweise langsamer fort als auf freien Strecken, wodurch im Regelfall ein erkannter Konflikt bei langsamen Geschwindigkeiten mehr Zeit zum Reagieren zulässt. Höhere Fahrgeschwindigkeiten erfordern somit auch schnellere Reaktionszeiten von Seiten des Fahrers. [Winner; Hakuli; Wolf, 2012]

Bei der Reaktionszeit können drei Phasen unterschieden werden:

- Die Dauer der geistigen Verarbeitung der Information (= Wahrnehmungszeit + Erkennungszeit + Entscheidungszeit)
- Die Dauer der motorischen Reaktion
- Die Reaktionszeit des Fahrzeugs

2.3.1 Bremsreaktionszeit

Die ersten beiden Punkte werden zusammengefasst als „**Bremsreaktionszeit**“ oder auch als „**erweiterte Reaktionszeit**“ bezeichnet. Diese reicht bis zu dem Zeitpunkt, an dem sich der Fuß des Fahrers am Bremspedal befindet und das Spiel am Bremspedal überwunden wurde. [Breuer; Bill, 2012] Es handelt sich also um den Zeitraum von der Wahrnehmung einer kritischen Situation bis zum Beginn der zur Abwehr dieser gesetzten Handlung. Die Werte, die im Folgenden genannt werden, beziehen sich lediglich auf die Bremsreaktionszeit.

Wie bereits eingangs erwähnt, ist zu beachten, dass die Reaktionszeiten situationsabhängig sind. Hat ein Fahrer bereits die Erwartungshaltung, dass sich eine kritische Situation ereignen könnte, so verkürzt dies seine Reaktionszeit deutlich im Vergleich zu einer überraschenden Konfliktsituation. Dies ist auch der Grund dafür, dass bei simulierten Untersuchungen in der Regel kürzere Reaktionszeiten festgestellt werden, als bei Untersuchungen des realen Verkehrsgeschehens. [Beratungsstelle für Unfallverhütung, 2008]

Im Folgenden sollen ungefähre Zahlenwerte für die Reaktionszeiten unter verschiedenen Umständen angegeben werden. So beträgt die Reaktionszeit bei einer

- **erwarteten Situation**, wie beispielsweise einer Annäherungsfahrt, **0,7 Sekunden**
- **unerwarteten, aber gewöhnlichen Situation** bis zu **1,25 Sekunden**
 - z.B. das Bremsen des vorausfahrenden Fahrzeuges
- **überraschenden Situation** bis zu **1,5 Sekunden**.

Diese Reaktionszeiten variieren abhängig von der Fahrsituation und der Aufmerksamkeit des Fahrers. Hier spielen wiederum Faktoren wie die körperliche Verfassung, die geistige Disposition und das Konzentrationsvermögen des Fahrers eine Rolle. Faktoren, die sich negativ auf die Reaktionszeit auswirken können, sind Fahrten mit einem fremden Fahrzeug, der Konsum von Alkohol, höheres Alter sowie Handybenutzung. Überschlagsmäßig kann daher gesagt werden, dass **Reaktionszeiten von 0,5 Sekunden bis zu 2 Sekunden** betragen können. Als Orientierungswert unter normalen Umständen kann etwa eine Sekunde („**Schrecksekunde**“) angenommen werden. [Breuer; Bill, 2012] Grundsätzlich kann aber gesagt werden, dass die Reaktionszeiten bei Kolonnenfahrt kürzer sind und gleichzeitig kleinere Abstände gewählt werden. [Winner; Hakuli; Wolf, 2012] Tabelle 3 zeigt einen Überblick über die in der Literatur dokumentierten erweiterten Reaktionszeiten des Menschen:

Tabelle 3: Überblick über die in der Literatur dokumentierten erweiterten Reaktionszeiten [Breuer; Bill, 2012]

Untersuchungsgegenstand	Ergebnis	Untersuchung
Erweiterte Reaktionszeit in Notbremsituationen	Mittelwert 0,9 s Streuung 0,3 bis 2,0 s	Johansson und Rumar 1971 [14]
	Mittelwert 0,7 s	ATZ 1983 [15]
	2. Perzentil 0,68 s Median 1,12 s 98. Perzentil 1,33 s	Burckhardt 1985 [2]
	Alle Zeiten < 2,5 s	Koppa et al. 1996 [16]
Erweiterte Reaktionszeit bei akustischer Warnung	Notbremsung bei visueller Ablenkung: Mittelwert 1,08 s Standardabweichung 0,38 s Median 0,96 s Streuung 0,52 bis 2,4 s	Cheng et al. 2002 [17]
	Kein Einfluss von Geschlecht, Witterungs- und Straßenverhältnissen	ATZ 1983 [15]
Einflussfaktoren auf die erweiterte Reaktionszeit	Erhöhung der erweiterten Reaktionszeit um 0,4 s, wenn der Blick des Fahrers nicht auf die Fahrbahn gelenkt ist	ATZ 1983 [15]
	Erweiterte Reaktionszeit ca. 0,4 s kürzer, wenn die Reaktionsaufforderung durch ein aufleuchtendes Licht geschieht im Vergleich zum alleinigen Bremsen eines vorausfahrenden Fahrzeugs	Martin & Holding o. Jg. [18]
	Folgeabstand beeinflusst die erweiterte Reaktionszeit, Fahrgeschwindigkeit nicht	Liebermann et al. 1995 [19]
	Kein eindeutiger Einfluss des Fahreralters, jüngere Fahrer erreichen jedoch in der durchgeführten Untersuchung die kürzesten erweiterten Reaktionszeiten	Lerner et al. 1995 [20]
	Ältere Fahrer benötigen längere erweiterte Reaktionszeiten bzw. Reaktionszeiten als jüngere	Wierwille 1990 [21]; Broen und Chiang 1996 [22]; Warshawsky-Livne und Shinar 2002 [23]; Bilban et al. 2009 [24]
	Frauen weisen in allen Altersklassen (außer über 65 Jahre) eine höhere erweiterte Reaktionszeit auf	Bilban et al. 2009 [24]
	Deutlich erhöhte erweiterte Reaktionszeiten, wenn der Blick des Fahrers im Moment der Reaktionsaufforderung nicht auf die Fahrbahn gelenkt ist	Summala et al. 1998 [25]
	Fahrtzweck, mentale Beanspruchung, Nervenkrankheiten oder Rauschmittelkonsum haben einen Einfluss auf die erweiterte Reaktionszeit	Summala 2000 [26]

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass nur wenige Menschen eine Reaktionszeit von einer Sekunde aufweisen und dafür zusätzlich optimale Bedingungen notwendig sind. Bei Bremsvorgängen ist außerdem stets noch die Reaktionszeit des Fahrzeugs miteinzubeziehen. Reaktionszeiten hängen stark von individuellen und situationsbedingten Faktoren ab. So weisen Personen, deren Reaktion an einem Fahrsimulator getestet wird, kürzere Reaktionszeiten als bei Realfahrten auf. Es ist daher schwierig, diese mit einer Verkehrssimulationssoftware realitätsgetreu nachzubilden.

3 Methodische Auswertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM

Die im vorigen Kapitel dargestellte Technik der Verkehrskonflikttechnik ist rein beobachtender Art. Die Sicherheit wird nur durch Zählen der auftretenden Konflikte bzw. Unfälle bestimmt. Daher ist es nicht möglich, mit einer solchen Methode noch nicht umgesetzte Verkehrskonzepte zu bewerten. Um eine solche frühzeitige Beurteilung zu erzielen und dadurch in der Planungsphase bereits die Verkehrssicherheit zu maximieren, müssen andere Maßnahmen ergriffen werden. Zielführend ist in diesem Zusammenhang die methodische Modellierung des Verkehrsgeschehens. Diese bildet die Grundlage für eine anschließende Identifizierung von Gefährdungssituationen mithilfe von Risikoanalysen. [Schnieder; Schnieder, 2013]

In diesem Kapitel werden grundlegende Punkte und Einstellungen beschrieben, welche für die Simulation mit VISSIM und die anschließende Auswertung mit SSAM allgemein maßgeblich sind und für die im folgenden Kapitel dargestellte Analyse der Fallbeispiele beachtet wurden. Einige dieser Punkte wurden im Zuge der Bearbeitung der Beispiele erkannt, andere wiederum wurden dem Final Report der Entwickler des SSAM entnommen. Die Untergliederung dieses Kapitels entspricht der methodischen Vorgehensweise bei der Untersuchung der Verkehrssicherheit mittels VISSIM und SSAM. Abbildung 12 zeigt die Systemskizze zum methodischen Ansatz dieser Arbeit. Darin sind unter anderem die Eingabeparameter angeführt, die für beide in Kapitel 4 behandelten Fallbeispiele verwendet wurden.

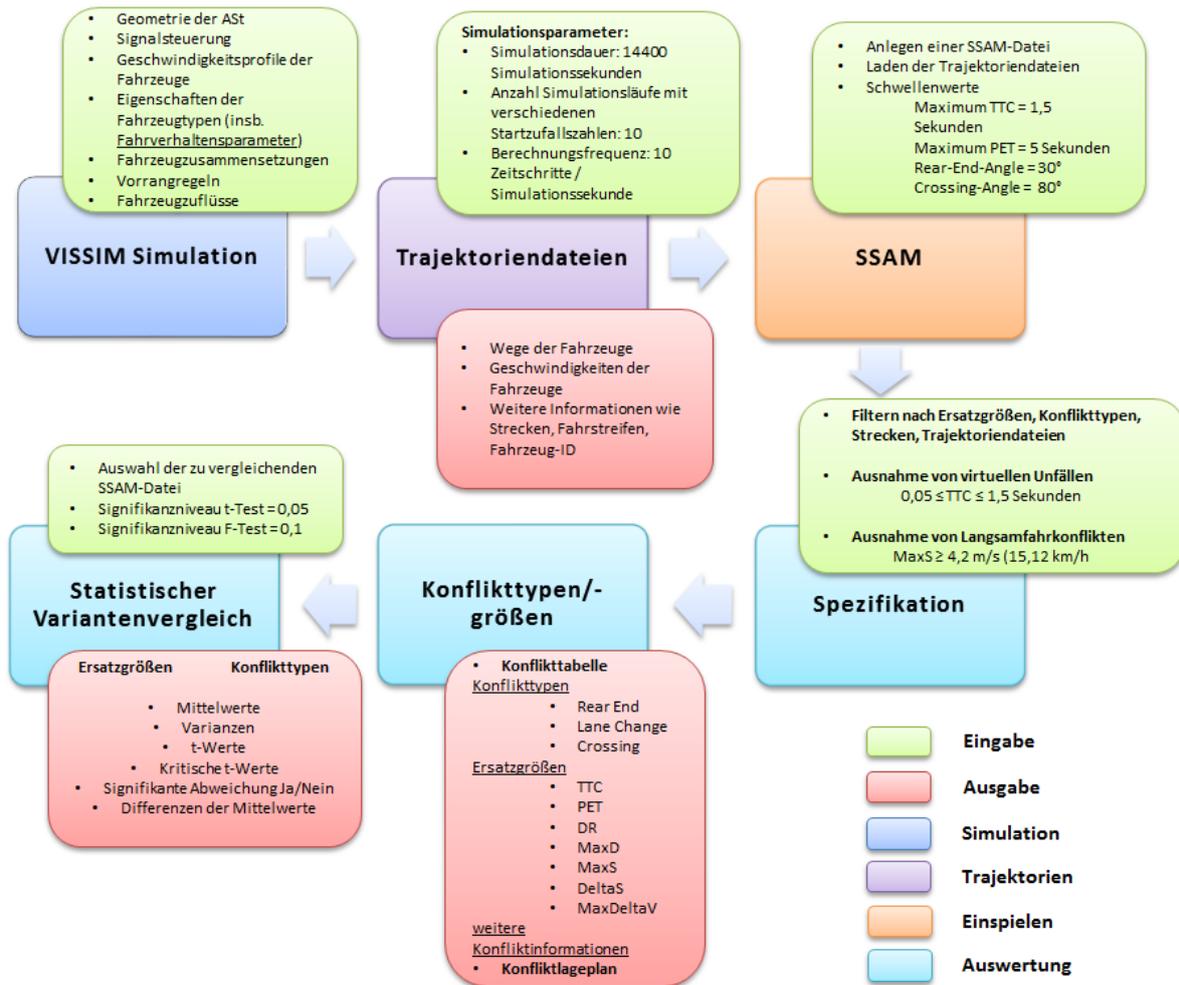


Abbildung 12: Systemskizze für die Auswertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM

Die Funktionsweise der Auswertung von Mikrosimulationstrajektorien mit SSAM gliedert sich wie in der Abbildung ersichtlich in die vier Schritte Simulation, Trajektorien, Einspielen sowie Auswertung. Der erste Schritt besteht darin, dass von Verkehrsingenieuren mithilfe eines Simulationsmodells verschiedene Entwurfsmöglichkeiten für eine Verkehrsanlage festgelegt werden. Das Simulationsmodell liefert für die einzelnen Varianten Trajektoriendateien, welche die Bewegungen der einzelnen Fahrzeuge im Modell exakt wiedergeben. Anschließend müssen diese Dateien mit der Dateierweiterung .trj in SSAM importiert werden, welches dann mit den gelieferten Informationen die Konflikte, die während der Simulationszeit aufgetreten sind und die zuvor festgelegten Randbedingungen erfüllen, identifiziert. Im letzten Schritt erstellt SSAM Zusammenfassungen der konfliktrelevanten Daten, welche in Folge spezifiziert (gefiltert) werden können. Darüber hinaus bietet SSAM auch die Möglichkeit, die erkannten Konflikte in Konfliktlageplänen graphisch darzustellen, wodurch es erleichtert wird, relevante Konfliktpunkte zu ermitteln. Dazu muss gesagt werden, dass sich bei den markierten Konfliktpunkten in den Lageplänen mehr als ein Konflikt ereignen kann und diese Konflikte dann genau übereinander liegen. Die genaue Anzahl der Konflikte an einem Punkt wird erst ersichtlich, wenn die Konfliktpunkte einzeln angeklickt werden.

Zusätzlich können in SSAM mithilfe eines F-Tests sowie eines t-Tests die einzelnen Ersatzgrößen sowie die Häufigkeit von Konflikten für alternative Entwürfe statistisch verglichen werden.

Nachdem die Ergebnisse mit SSAM berechnet wurden, können diese darüber hinaus in dritte Datenverarbeitungsprogramme wie z.B. Microsoft Excel exportiert werden, falls weitere komplexere Analysen der gewonnenen Daten angestrebt werden. Auf den Arbeitsprozess von SSAM und die dabei zu beachtenden Punkte wird in diesem Kapitel unter anderem näher eingegangen. [Gettman et al., 2008]

3.1 Erstellung des Simulationsmodells in VISSIM

Bevor eine Auswertung mit SSAM durchgeführt werden kann, müssen in VISSIM einige Annahmen getroffen werden, mithilfe welcher angestrebt werden muss, die Realität möglichst genau abzubilden. Diese Annahmen betreffen die Geometrie der Anschlussstelle, die Signalsteuerung, Geschwindigkeitsprofile der Fahrzeuge, Eigenschaften der Fahrzeugtypen, Fahrzeugzusammensetzungen sowie Vorrangregeln. [Gettman et. al, 2008] Insbesondere die Wahl der Fahrverhaltensparameter ist entscheidend dafür, welche Ergebnisse mit SSAM berechnet werden, da das Folgeverhalten bzw. Fahrstreifenwechselverhalten der Fahrzeuge maßgeblich für das Entstehen von Konflikten in der Simulation ist.

Allgemein kann gesagt werden, dass, wenn ein Simulationsmodell als Vorlage für eine Analyse mit dem SSAM dienen soll, sehr präzise modelliert werden muss. Beispielsweise muss sehr genau darauf geachtet werden, dass sich einzelne Streckenabschnitte nicht überlagern. Ist dies auch nur auf einem kurzen Abschnitt einer Fahrbahn mit ihrer Gegenfahrbahn der Fall, so berechnet das SSAM laufend Konflikte des Typs Crossing. Naturgemäß werden auch falsch simulierte Kreuzungsbereiche vom SSAM als Punkte mit erhöhtem Sicherheitsrisiko erkannt. Demnach kann die Aussage getätigt werden, dass sich das SSAM neben der Konfliktauswertung auch dazu eignet, auf Fehler im Simulationsmodell hinzuweisen. Dies kann die Streckenmodellierung, Konfliktflächen, Simulationsparameter etc. betreffen. In diesem Kapitel werden einige Punkte beschrieben, die für die Erstellung des Simulationsmodells in Bezug auf die Auswertung mit dem SSAM relevant sein könnten.

3.1.1 Querverkehrsstörungen

Querverkehrsstörungen regeln die Vorfahrt für nicht-signalgesteuerte Ströme, welche zueinander in einem Konflikt stehen. Üblicherweise sind in Simulationsmodellen, welche mit VISSIM aufgebaut werden, Querverkehrsstörungen nur dann notwendig, wenn das Verhalten bedingt verträglich geführter Fahrzeugströme nachgebildet werden soll. Allerdings wurde von den Entwicklern von SSAM festgestellt, dass es sinnvoll bzw. notwendig ist, zusätzliche Vorrangregeln zu implementieren, um die Anzahl der simulierten Unfälle, welche aufgrund der Fahrverhaltenslogik von VISSIM entstehen, zu reduzieren. Eine Querverkehrsstörung definiert sich durch die drei Parameter Mindestweglänge, Mindestzeitlücke sowie die maximale Geschwindigkeit. Die Definition der Begriffe Weglänge und Zeitlücke findet sich in Abbildung 13. Weglänge bezeichnet die Entfernung vom störenden Querschnitt entgegen der Fahrtrichtung bis zum ersten Fahrzeug, das auf diesen zu fährt. Die Zeitlücke ist die benötigte Zeit des ersten Fahrzeugs stromaufwärts, bis es den störenden Querschnitt erreicht. [PTV, 2012] Mit dem Ergänzen weiterer Querverkehrsstörungen und der damit erreichten Reduktion der simulierten Unfälle ging allerdings eine Erhöhung der festgestellten Konflikttanzahl einher. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass einige Konflikte, welche zuvor

eine TTC von 0 aufwiesen und somit Unfälle darstellten, anschließend zu Konflikten mit niedrigen TTC-Werten wurden. [Gettman et al., 2008]

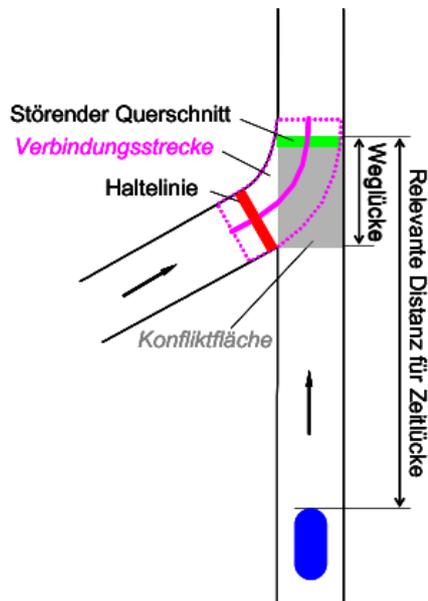


Abbildung 13: Definition Weg- und Zeitlücke [PTV, 2012]

3.1.2 Modellieren von Abbiegefahrstreifen

Es gibt zwei unterschiedliche Arten, um Links- bzw. Rechtsabbiegefahrstreifen in VISSIM zu modellieren. Von den Entwicklern von SSAM wurde bereits erkannt, dass es für die Auswertung mit dieser Software entscheidend ist, welche der beiden Möglichkeiten gewählt wird. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die zwei unterschiedlichen Modellierungsweisen für einen Linksabbiegefahrstreifen:

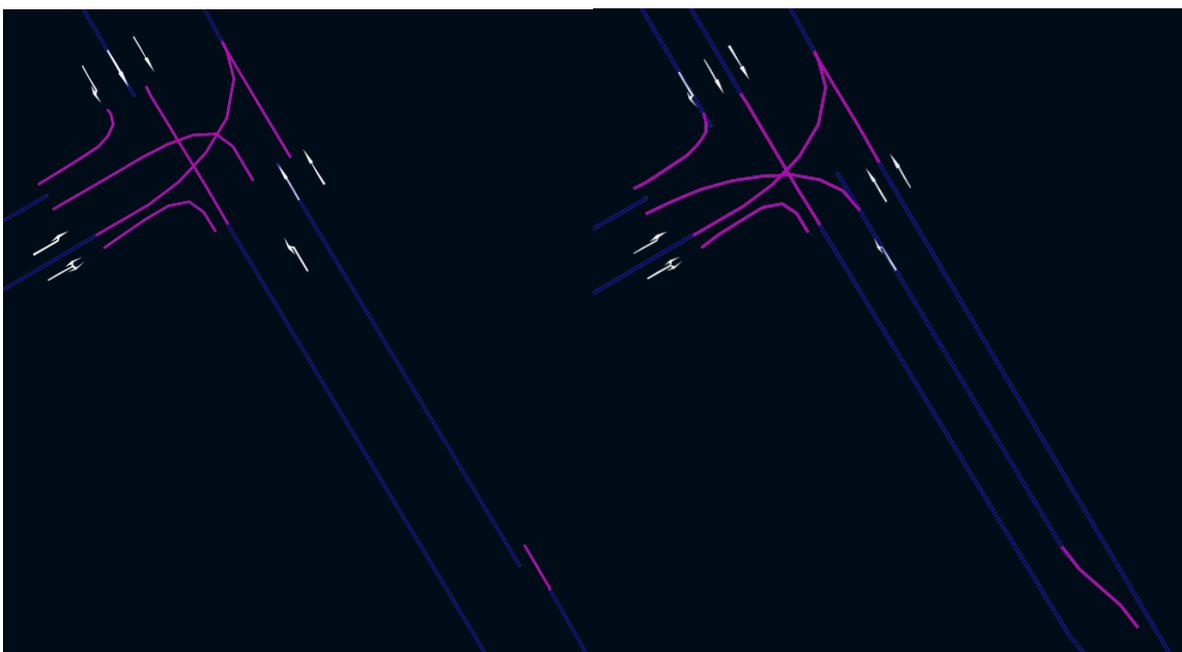


Abbildung 14: Abbiegefahrstreifen – (links) erste und (rechts) zweite Modellierungsvariante

Bei der ersten Variante bestehen der Linksabbiegestreifen sowie die beiden Fahrstreifen für die Geradeausfahrer aus einer einzigen dreistreifigen Strecke. Der Übergang von der vorangehenden zweistreifigen Strecke erfolgt mittels eines Verbinders, welcher von den beiden Fahrstreifen jener Strecke auf den ersten und zweiten Fahrstreifen der dreistreifigen Strecke führt.

Im Gegensatz dazu wird bei der zweiten Variante die Strecke für die Geradeausfahrer durchgehend geführt und für die Linksabbieger eine neue Strecke hinzugefügt. Ein Verbinder führt vom zweiten Fahrstreifen der durchgehenden Strecke auf diese neue Strecke.

Abbildung 15 zeigt die Probleme, die sich bei der ersten Modellierungsvariante beim Einordnen ergeben.

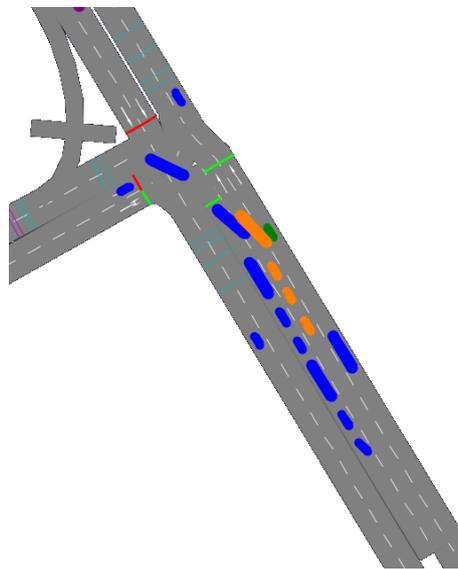


Abbildung 15: Problem beim Einordnen bei der ersten Modellierungsvariante des Abbiegestreifens

Es lässt sich erkennen, dass einige Linksabbieger bei der Modellierungsvariante 1 zu spät auf den Abbiegestreifen wechseln, was zu Einfädelungsschwierigkeiten und in Folge dessen zu einer Staubildung auf den Fahrstreifen für die Geradeausfahrer führt. Aufgrund dieser Probleme ergibt eine Auswertung mit SSAM zahlreiche Konflikte in diesen Bereichen des Simulationsmodells. Um dem entgegenzuwirken, wurden bei den in dieser Arbeit betrachteten Beispielen sämtliche einzeln geführte Links- bzw. Rechtsabbiegestreifen gemäß Variante 2 modelliert. Bei dieser Variante wechseln die einzelnen Fahrzeuge, welche den Wunsch haben, nach rechts bzw. links abzubiegen, bereits beim Verbinder auf den Abbiegestreifen, da sie danach aufgrund der beiden getrennten Strecken keine Möglichkeit mehr dazu haben. Dieses Verhalten führt zu einer Verbesserung des Verkehrsflusses im Kreuzungsbereich und zu einer deutlichen Reduktion der durch SSAM erkannten Konflikte.

3.1.3 Berechnungsfrequenz

Der Wert der Berechnungsfrequenz gibt an, wie oft die Fahrzeugpositionen innerhalb einer Simulationssekunde neu berechnet werden. In dieser Arbeit wurde für die Berechnungsfrequenz der Wert 10 angenommen. Es erfolgen also 10 Berechnungen der Fahrzeugposition innerhalb einer Simulationssekunde. Durch die Wahl einer höheren Berechnungsfrequenz verringert sich auch die Simulationsgeschwindigkeit. Tests haben jedoch ergeben, dass sich im Gegensatz dazu die Berechnungsdauer von SSAM deutlich verlängert, je kleiner der Wert ist, der für die Berechnungsfrequenz gewählt wird. Neben der Berechnungsdauer von SSAM hat die Wahl der Berechnungsfrequenz auch Auswirkung auf die Anzahl der festgestellten Konflikte. Die Konflikanzahl wird durch eine höhere Berechnungsfrequenz maßgeblich verringert. Daneben ändert sich auch die Einteilung der Konflikte nach Konflikttypen. So hat sich bei der versuchsweisen Auswertung einer Kreuzung die Anzahl der Crossing-Konflikte bei der Wahl einer Berechnungsfrequenz von 1 im Vergleich zu einer Berechnungsfrequenz von 10 stark verringert, die Anzahl der Rear-End- und Lane-Change-Konflikte ist jedoch stark angestiegen. Daher ist es wichtig, dass sämtliche Simulationsläufe und auch zu vergleichende Varianten immer mit derselben Berechnungsfrequenz durchgeführt werden.

3.2 Generierung der Trajektoriendaten aus VISSIM

Die Trajektoriendaten sind das Ergebnis der Verkehrsflusssimulation. Zur Generierung dieser Daten sind zunächst einige Einstellungen in VISSIM zu treffen. Wird ein Variantenvergleich durchgeführt, muss, um eine einheitliche Beurteilung zu gewährleisten, für alle Varianten dieselbe Simulationsdauer gewählt werden. Darüber hinaus ist es sinnvoll, für jede Variante mehrere Simulationsläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen durchzuführen. In dieser Arbeit wurden für sämtliche Beispiele 10 Simulationsläufe gewählt. Mehrere Simulationsläufe einer Variante mit der gleichen Startzufallszahl laufen exakt gleich ab. Verschiedene Startzufallszahlen dienen dazu, den Verkehrsfluss der einzelnen Simulationsläufe durch unterschiedliche Werte-Reihenfolgen der stochastischen Funktionen von VISSIM zu ändern. Sie werden also zur Initialisierung des Zufallszahlengenerators verwendet. Die daraus folgenden zehn Trajektorien-dateien werden gleichzeitig in SSAM implementiert, die Konflikte und Ersatzgrößen berechnet und die gesamten Ergebnisse statistisch ausgewertet. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, aussagekräftigere Resultate zu erlangen als dies mit bloß einem einzigen Simulationslauf möglich wäre. [PTV, 2012]

3.3 Verarbeitung der Trajektoriendaten mit SSAM

Von der Federal Highway Administration der US-Regierung wurde das Surrogate Safety Assessment Model (kurz SSAM) entwickelt, was so viel bedeutet wie ein Modell zur Abschätzung sicherheitsrelevanter Ersatzgrößen. Es dient der sicherheitstechnischen Auswertung der mittels Verkehrsflussmodellierung erhaltenen Daten, indem es anhand dieser Konfliktpunkte berechnet. Gewonnen werden die Ersatzgrößen, welche die Konflikte beschreiben, nicht aufgrund realer Begebenheiten, sondern aus der Datenausgabe von Verkehrsflusssimulationsmodellen. Präziser ausgedrückt, ermittelt das Modell die Verkehrssicherheit beschreibenden Parameter aus der Identifizierung, Klassifizierung und Bewertung von im Simulationsmodell auftretenden

Verkehrskonflikten. Zusätzlich ist SSAM in der Lage, die relative Sicherheit zweier Verkehrskonzepte anhand statistischer Methoden zu vergleichen. [Gettman et al., 2008] Kurz gesagt ist das Ziel von SSAM, zu bewerten, inwieweit Simulationsmodelle sinnvolle Größen zur Messung der Verkehrssicherheit auf der Grundlage der während der Simulation auftretenden Konflikte liefern können. [Gettman et al., 2008] Der SSAM-Algorithmus kann zur Identifikation von Konflikten auf jeglichen Straßentypen, auf denen sich zwei Fahrzeuge in kurzem Abstand zueinander fortbewegen, eingesetzt werden. Konflikte von Einzelfahrzeugen (fahrdynamische Aspekte wie z.B. Abkommensunfälle) können nicht berücksichtigt werden. Anders als bei der Verkehrskonflikttechnik, welche eine analytisch-retrospektive Methode darstellt, handelt es sich bei der Anwendung des SSAM um eine synthetisch-prospektive Vorgehensweise zur Bestimmung der Verkehrssicherheit, welche auf eine vorausschauende Planung abzielt.

Vier verschiedene Entwickler von Programmen zur Erstellung von Mikrosimulationen unterstützen SSAM, indem sie ein eigenes Dateiformat anbieten, welches sämtliche Trajektorien- und Fahrzeugdaten der Fahrzeuge beinhaltet und mit SSAM kompatibel ist. Diese Entwickler sind PTV mit dem dazugehörigen Simulationsprogramm VISSIM, TSS mit AIMSUN, Quadstone mit Paramics sowie Rioux Engineering mit TEXAS, wobei die vorliegende Arbeit das Programm VISSIM für die verwendeten Daten als Grundlage verwendet.

Es werden im Folgenden die Grundlagen der SSAM-Software sowie im Anschluss daran das Einspielen der Daten in SSAM sowie die Auswertung der Ergebnisse mit der Software beschrieben.

3.3.1 Ersatzgrößen

In der Literatur wurden bereits einige Vorschläge gemacht, welche Ersatzgrößen herangezogen werden könnten, um die Verkehrssicherheit abzubilden. *Gettman* und *Head* [2003] haben diese in ihrem Bericht „Surrogate Safety Measures from Traffic Simulations“ bewertet. Einige Vorschläge für solche Ersatzgrößen waren:

- Fahrzeugverspätung oder Reisezeit
- Annäherungsgeschwindigkeit
- Prozentsatz der zum Stillstand gekommenen Fahrzeuge
- Missachtung von Stoppschildern
- Rotlichtverstöße
- Prozentsatz an Linksabbiegern
- Geschwindigkeitsverteilung
- Verzögerungsverteilung

Der überwiegende Teil der herrschenden Literatur zum Thema Ersatzgrößen steht jedoch im Zusammenhang zur Verkehrskonflikttechnik und geht somit davon aus, dass die erwähnten Größen durch Beobachtung ermittelt werden. [Gettman et al., 2008]

Im Gegensatz dazu arbeitet SSAM mit Ersatzgrößen, welche auf der Identifikation, Klassifizierung und Bewertung von Verkehrskonflikten, welche sich in Simulationsmodellen ereignen, basieren. Diese Ersatzgrößen könnten durch gewöhnliche Beobachtung nicht ermittelt werden. Bei der Untersuchung der Trajektorien- und Fahrzeugdaten auf sicherheitsrelevante Ereignisse berechnet SSAM für jeden festgestellten Konflikt neben weiteren Daten diese Ersatzgrößen. Im Anschluss an die Analyse

können die festgestellten Konflikte anhand dieser Informationen mithilfe des in SSAM integrierten Filtertools gefiltert werden, indem bestimmte Bereiche bzw. Grenzwerte definiert werden. Im Folgenden werden die einzelnen Ersatzgrößen aufgelistet und erläutert.

3.3.1.1 Time to Collision

Um eine sichere Fahrt gewährleisten zu können, ist es essentiell, dass der Fahrer Abstände und Geschwindigkeiten sowie diverse Gefahren im Straßenverkehr richtig einschätzen kann. Dazu muss er bestimmte Beurteilungsleistungen erbringen. Es ist für den Fahrer jedoch nicht immer möglich, absolute Abstände richtig zu beurteilen, weshalb bestimmte andere Informationen als Beurteilungsgrößen für Längsabstände herangezogen werden. Eine solche Größe ist beispielsweise die Blickwinkelgeschwindigkeit. Diese wird aus der Größe des Vorderfahrzeugs, der Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Fahrzeuge sowie dem absoluten Abstand dieser zueinander berechnet. Die „**Time to Collision**“ (**TTC**), welche vom absoluten Abstand zum Vorderfahrzeug sowie der Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Fahrzeuge abhängt, wird jedoch meist als die relevantere Beurteilungsgröße angesehen.

Die TTC ist eine der wichtigsten Ersatzgrößen zur Bewertung eines Verkehrskonflikts. Sie wird in Sekunden angegeben und steht für den zeitlichen Abstand zweier Verkehrsteilnehmer zu einer Kollision, unter der Voraussetzung, dass sie ihre Geschwindigkeit und Richtung beibehalten. Im folgenden Abschnitt wird besprochen, woraus sie die TTC zusammensetzt und ab welchem Wert sie in etwa als kritisch einzustufen ist.

Die TTC berechnet sich nach folgender Formel:

$$TTC = \frac{d}{v_{rel}} [s]$$

d ... Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug [m]

v_{rel} ... Relativgeschwindigkeit zum vorausfahrenden Fahrzeug [m/s]

Je kleiner der Wert für die TTC ist, desto größer ist die Gefahr, dass die Situation zu einer Kollision führt. Als Grenzwert zwischen einem leichtem und einem schwerem Konflikt wird oft 1,5 Sekunden definiert.

Eine Schwäche dieses Parameters ist jedoch, dass er lediglich Situationen erfasst, bei denen beide Verkehrsteilnehmer bei unveränderter Geschwindigkeit und Richtung tatsächlich kollidieren würden. Würden sie sich dagegen nur knapp verpassen, was sicherheitstechnisch betrachtet auch eine kritische Situation darstellen kann, so wird keine TTC berechnet. [Hupfer, 1997] In SSAM ist die für die einzelnen Konflikte angegebene TTC der kleinste beobachtete Time-to-Collision-Wert während eines Konfliktes. Diese Abschätzung basiert auf der momentanen Lage, der Geschwindigkeit und den zukünftigen Trajektorien der zwei Konfliktfahrzeuge zu einem bestimmten Zeitpunkt. Für jeden Zeitschritt während des Konfliktereignisses wird ein eigener TTC-Wert definiert. Ein Konfliktereignis gilt als beendet, sobald der TTC-Wert wieder über den vor Durchführung der Berechnung festgelegten kritischen Schwellenwert steigt. [Gettman et al., 2008]

3.3.1.2 Post-Encroachment-Time

Um den Umstand, dass sich die Trajektorien zweier Fahrzeuge nur knapp nicht überschneiden, dennoch zu berücksichtigen, wurde eine zweite Ersatzgröße eingeführt - die „**Post-Encroachment-Time**“ (**PET**). Dieser Wert berücksichtigt nicht nur den Kollisionskurs, sondern bezieht die Konfliktfläche mit ein. Ein Konfliktpunkt bezeichnet den Schnittpunkt der Trajektorien zweier Fahrzeuge. Die Konfliktfläche hingegen ist die gesamte Fläche der Fahrbahn, die vom ersten als auch vom zweiten Konfliktfahrzeug genutzt wird. Er gibt den Zeitabstand an, welcher zwischen dem Verlassen der Konfliktfläche des ersten Verkehrsteilnehmers und dem Erreichen der Konfliktfläche des zweiten Verkehrsteilnehmers liegt. Die Größe dieses Zeitabstands wird für die Beurteilung einer Situation herangezogen. Als Grenzwert zwischen einem leichtem und einem schwerem Konflikt wird hier meist 1 Sekunde angesehen. [Hupfer, 1997] In SSAM ist die bei den einzelnen Konflikten angegebene PET der kleinste beobachtete Post-Encroachment-Time-Wert während eines Konflikts. Wie auch bei der TTC gilt, je niedriger die PET, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer Kollision.

3.3.1.3 Initial Deceleration Rate

Was die beiden soeben beschriebenen Werte TTC sowie PET jedoch nicht berücksichtigen, ist, inwieweit der jeweilige Verkehrsteilnehmer seine Geschwindigkeit ändern muss, um eine Kollision zu verhindern. Es fehlt also eine Angabe über das Maß der Intensität der benötigten Reaktion. Es ist möglich, dass die TTC-Werte zweier Situationen gleich groß sind, im ersten Fall eine Notbremsung erforderlich ist, im zweiten aber nur ein leichtes Betätigen des Gaspedals. [Hupfer, 1997] Der Beseitigung dieser Unzulänglichkeit dient die „**Initial Deceleration Rate**“ (**DR**). Dabei handelt es sich um die anfängliche Verzögerung des zweiten Fahrzeuges, welche als momentane Beschleunigungsrate aufgezeichnet wird. Bremst das Fahrzeug, so ist die DR der erste negative Beschleunigungswert, der während des Konflikts auftritt. Kommt es zu keinem Bremsen, so gibt die DR den niedrigsten Beschleunigungswert, der während des Konfliktes festgestellt wurde, wieder. [Gettman et al., 2008]

Das Institut für Mobilität und Verkehr der Technischen Universität Kaiserslautern hat mittels des Werts DR analog zur konventionellen Verkehrskonflikttechnik verschiedene Konfliktschwerestufen definiert. Tabelle 4 zeigt den Basisvorschlag für eine solche Einteilung.

Tabelle 4: Basisvorschlag für eine Definition von Konfliktschwerestufen unter Verwendung von DR [Hupfer, 1997]

Initial Deceleration Rate	Beschreibung der erforderlichen Reaktion
DR = 0 m/s²	keine Abstimmung erforderlich <i>Der erreichte Sicherheitszeitabstand ist größer als x, eine Abstimmung ist nicht erforderlich.</i>
DR < 1 m/s²	Abstimmung erforderlich (Interaktion) <i>Die erforderliche Reaktion ist so gering, dass lediglich eine Abstimmung der Verhaltensweisen erfolgen muss. (-1 m/s² entspricht der Komfortbegrenzung in öffentlichen Verkehrsmitteln)</i>
DR < 2 m/s²	Reaktion erforderlich (Konflikt–Stufe 1) <i>Die Situation erfordert eine merkliche Verzögerung eines Verkehrsteilnehmers. Diese Situation ist leicht kontrollierbar. Sie gibt genügend Zeit zur Orientierung und Berücksichtigung weiterer Verkehrsvorgänge.</i>
DR < 4 m/s²	deutliche Reaktion erforderlich (Konflikt–Stufe 2) <i>Die Situation erfordert eine deutliche Verzögerung eines Verkehrsteilnehmers. Die Situation ist kontrollierbar. Andere Verkehrsvorgänge können kaum berücksichtigt werden. (Bei nasser Fahrbahn entspricht der obere Grenzwert der maximal möglichen Verzögerung und somit einer Notbremsung: Konflikt–Stufe 4)</i>
DR < 6 m/s²	sehr deutliche Reaktion erforderlich (Konflikt–Stufe 3) <i>Die Situation erfordert eine sehr deutliche Verzögerung eines Verkehrsteilnehmers, die kaum kontrollierbar ist. Andere Verkehrsvorgänge können nicht berücksichtigt werden.</i>
DR = 6 m/s²	Notbremsung (Konflikt–Stufe 4) <i>Keine kontrollierte Reaktion, „Beinaheunfall“</i>
Kollision	<i>keine Reaktion mehr möglich</i>

3.3.1.4 Maximum Deceleration

Eine weitere Ersatzgröße zur Bewertung der Verkehrssicherheit ist die **Maximum Deceleration (MaxD)**, welche die maximale Verzögerung des zweiten Fahrzeuges angibt. Es handelt sich dabei um die kleinste momentane Beschleunigungsrate, die während des Konflikts auftritt. Hierbei muss unterschieden werden, ob MaxD einen negativen oder einen positiven Wert annimmt. Ein negativer Wert steht für Verzögerung. Diese kann entweder durch Bremsen oder durch Freigeben des Gaspedals erreicht werden. Ein positiver Wert gibt an, dass sich das Fahrzeug während des Konfliktes nicht verlangsamt hat.

3.3.1.5 Maximum Speed

MaxS bezeichnet die maximale Geschwindigkeit eines der beiden Fahrzeuge während des Konflikts. Je größer dieser Wert ist, desto größer ist auch die Schwere einer potentiellen Kollision.

3.3.1.6 Speed Difference

DeltaS gibt den Geschwindigkeitsunterschied der beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt t_{MinTTC} (siehe Kapitel 3.3.2) an. Es wird dabei immer der Betrag der Differenz angegeben, also $|v_1 - v_2|$, wobei v_1 und v_2 die Geschwindigkeitsvektoren bzw. Trajektorien der beiden Fahrzeuge sind.

Der Veranschaulichung dieses Wertes dient die Annahme, dass sich beide Fahrzeuge mit derselben Geschwindigkeit fortbewegen. Fahren sie in die gleiche Richtung, so gilt $\text{DeltaS} = 0$. Kreuzen sich ihre Trajektorien im rechten Winkel, so beträgt $\text{DeltaS} = (\sqrt{2})v$. Fahren die Fahrzeuge aufeinander zu, dann nimmt diese Größe den Wert $2v$ an. DeltaS kann so wie MaxS dazu verwendet werden, die Schwere einer potentiellen Kollision zu messen.

3.3.1.7 Maximum Speed Difference

MaxDeltaV ist der maximale DeltaV -Wert eines der beiden Fahrzeuge und daher abhängig von den Werten **FirstDeltaV** und **SecondDeltaV**. Diese beiden Werte geben den DeltaV -Wert jeweils des ersten und des zweiten Konfliktfahrzeugs an und dienen als Ersatz, um die Schwere eines Konfliktes abzubilden. Sie werden mittels der Annahme einer hypothetischen Kollision der beiden am Konflikt beteiligten Fahrzeuge berechnet. Es wird der Unterschied zwischen der während des Konfliktes vorherrschenden Geschwindigkeit und jener nach dem Konflikt angegeben. Erlangt werden die Werte mithilfe von anderen Ersatzgrößen wie der TTC und dem Konfliktwinkel.

In der folgenden Graphik wird das Zusammenspiel einiger der soeben vorgestellten Ersatzgrößen in Diagrammform dargestellt:

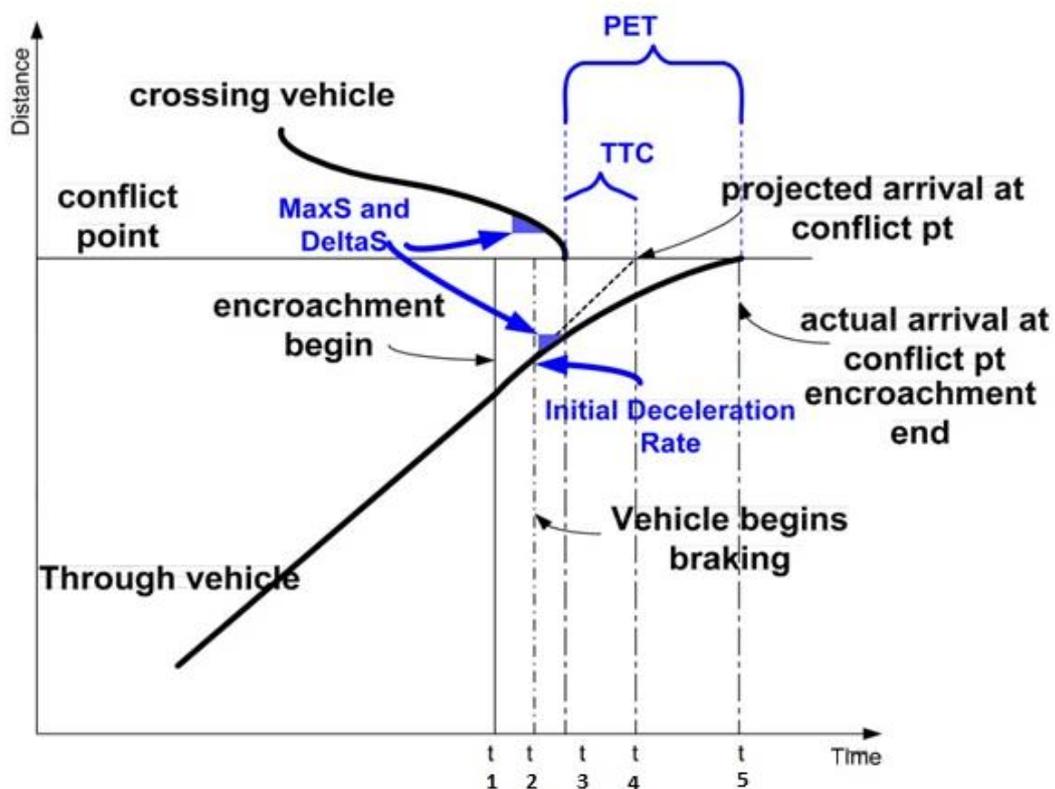


Abbildung 16: Diagramm zur Darstellung von Konfliktpunkten und Ersatzgrößen [FHWA; Siemens, 2006]

3.3.2 Begriffe und Definitionen

In diesem Abschnitt werden jene Begriffe aufgelistet und zugleich definiert, die neben den Ersatzgrößen ebenfalls in der Konflikttabelle verzeichnet sind und der Beschreibung der Konflikte dienen.

tMinTTC	Gibt den Simulationszeitpunkt an, an dem der kleinste TTC-Wert für einen Konflikt beobachtet wurde.
xMinPET	Gibt die x-Koordinate an, die die ungefähre Position des Konfliktes zum Zeitpunkt der minimalen PET bestimmt. Genauer gesagt entspricht diese Position dem Mittelpunkt des ersten Fahrzeuges zu dem Zeitpunkt, an dem die nachfolgende Ankunft des zweiten Fahrzeuges an derselben Position am kürzesten entfernt ist.
yMinPET	Gibt die y-Koordinate an, die die ungefähre Position des Konfliktes zum Zeitpunkt der minimalen PET bestimmt. Genauer gesagt entspricht diese Position dem Mittelpunkt des ersten Fahrzeuges zu dem Zeitpunkt, an dem die nachfolgende Ankunft des zweiten Fahrzeuges an derselben Position am kürzesten entfernt ist.
ConflictAngle	Der Konfliktwinkel beschreibt den ungefähren Winkel einer hypothetischen Kollision zweier zueinander in einem Konflikt stehender Fahrzeuge. Dieser Winkel basiert auf der voraussichtlichen Fahrtrichtung jedes der beiden Fahrzeuge und bezieht sich auf die Perspektive des ersten Fahrzeuges beim Erreichen des Konfliktpunktes. Aus der Größe des Konfliktwinkels lässt sich ableiten, aus welcher Richtung sich das zweite Fahrzeug an das erste annähert. Er kann Werte von -180° bis $+180^\circ$ annehmen, wobei ein negativer Winkel anzeigt, dass sich das zweite Fahrzeug von links annähert und ein positiver Winkel eine Annäherung von der rechten Seite signalisiert. Beträgt der Winkel genau 180° bzw. -180° , dann liegt eine direkte frontale Annäherung vor, bei 0° nähert sich das zweite Fahrzeug aus exakt derselben Richtung an wie das erste. Abbildung 17 veranschaulicht das soeben Erläuterte.

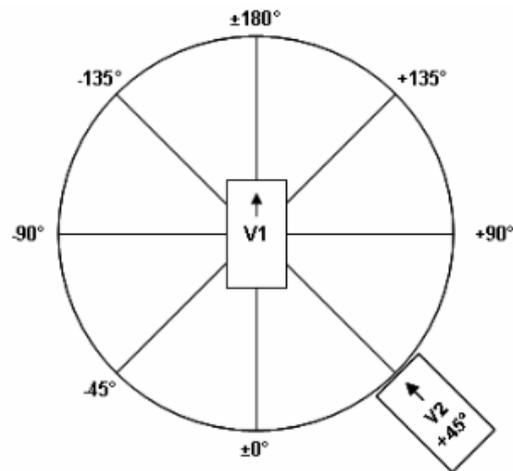


Abbildung 17: Conflict Angle [Gettman et al., 2008]

ClockAngle

Der „Clock Angle“ ist eine alternative Bezeichnung für den Konfliktwinkel. Der einzige Unterschied zu letzterem liegt darin, dass der Winkel nicht in Grad angegeben wird, sondern anhand eines Ziffernblatts als Uhrzeit definiert wird. Die Fortbewegungsrichtung des zweiten Fahrzeugs wird dabei quasi als Uhrzeiger angesehen. Wird der „Uhrwinkel“ mit 12:00 angegeben, so drückt dies einen frontalen Kollisionskurs aus, bei 6:00 nähert sich das zweite Fahrzeug wiederum aus derselben Richtung wie das erste an, 3:00 und 9:00 stehen für eine Annäherung aus rechts bzw. links, wie in Abbildung 18 dargestellt.

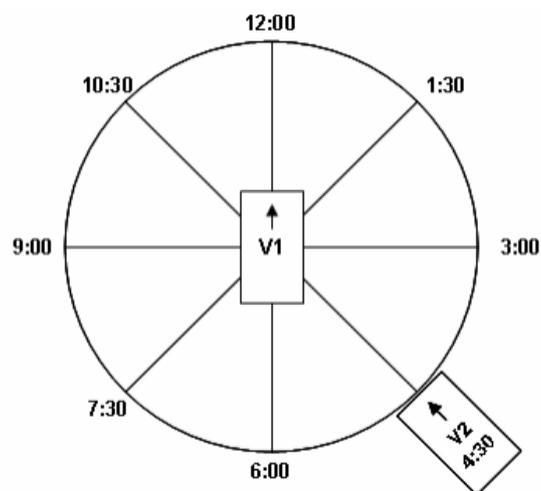


Abbildung 18: Clock Angle [Gettman et al., 2008]

PostCrashV	Dieser ist ein Schätzwert für die Geschwindigkeit beider Fahrzeuge <i>nach</i> einem Konflikt. Zur Ermittlung von PostCrashV werden die Annahmen getroffen, dass die Fahrzeuge mit dem geschätzten Konfliktwinkel tatsächlich zusammengestoßen sind und sich dabei mit den Geschwindigkeiten, die zu tMinTTC beobachtet wurden, fortbewegt haben. Des Weiteren wird angenommen, dass eine unelastische Kollision zwischen den Masseschwerpunkten beider Fahrzeuge stattfindet, wobei sich beide Fahrzeuge im Anschluss an die Kollision mit derselben Geschwindigkeit in dieselbe Richtung fortbewegen.
PostCrashHeading	Diese Größe gibt die geschätzte Fahrtrichtung der beiden Fahrzeuge nach einer hypothetischen Kollision an. Die Fahrtrichtung wird dabei als Winkel von 0° - 360° ausgedrückt. Dieser Winkel wird gegen den Uhrzeigersinn beginnend auf der x-Achse gemessen. Es wird angenommen, dass die x-Achse die Fahrtrichtung nach rechts angibt. 0° liegen demnach auf der x-Achse rechts vom Nullpunkt, 90° oberhalb der x-Achse, 180° links vom Nullpunkt und 270° darunter.
FirstVID bzw. SecondVID	Diese Nummern dienen der Identifikation des ersten bzw. zweiten Konfliktfahrzeuges. Bei der Durchführung der Mikrosimulation wurde jedem Fahrzeug eine ihm eindeutig zuordenbare Nummer zugewiesen. FirstVID bzw. SecondVID gibt an, welche der in der Simulation enthaltenen Fahrzeuge in einen Konflikt verwickelt sind. Das erste Fahrzeug ist dabei jenes, welches zuerst den Konfliktpunkt erreicht. Das zweite Fahrzeug erreicht im Anschluss daran dieselbe Position.
FirstLink bzw. SecondLink	Gibt an, auf welcher Strecke sich das erste bzw. zweite Fahrzeug zum Zeitpunkt tMinTTC befindet.
FirstLane bzw. SecondLane	Gibt an, auf welchem Fahrstreifen sich das erste bzw. zweite Fahrzeug zum Zeitpunkt tMinTTC befindet.
FirstLength bzw. SecondLength	Gibt die Länge des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges an.
FirstWidth bzw. Second Width	Gibt die Breite des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges an.

FirstHeading bzw. SecondHeading	Gibt die Fahrtrichtung des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges während des Konflikts an. Dies erfolgt durch eine Annäherung nach Betrachtung der Positionsänderung der Fahrzeuge von Konflikthanfang bis Konflikttende. Bewegt sich ein Fahrzeug während des Konfliktes überhaupt nicht, dann wird jene Richtung, in welche die Vorderseite des Fahrzeuges zeigt, als Fahrtrichtung angenommen. Wie PostCrashHeading wird auch diese Fahrtrichtung als Winkel, der die Werte 0° - 360° annehmen kann, gegen den Uhrzeigersinn beginnend auf der x-Achse gemessen.
FirstVMinTTC bzw. SecondVMinTTC	Gibt die Geschwindigkeit des ersten bzw. zweiten Fahrzeugs zum Zeitpunkt tMinTTC an.
xFirstCSP bzw. xSecondCSP	Gibt die x-Koordinate des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges an der Position CSP an. CSP bezeichnet die Position des Fahrzeugs zum Zeitpunkt tMinTTC.
yFirstCSP bzw. ySecondCSP	Gibt die y-Koordinate des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges an der Position CSP an. CSP bezeichnet die Position des Fahrzeugs zum Zeitpunkt tMinTTC.
xFirstCEP bzw. xSecondCEP	Gibt die x-Koordinate des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges am Konfliktpunkt (CEP) an. Der Konfliktpunkt ist die Position des Fahrzeugs entweder zum letzten Zeitschritt, an dem der TTC-Wert unter dem voreingestellten Schwellenwert liegt, oder zu dem Zeitschritt, an dem der letzte Post-Encroachment-Wert beobachtet wurde. Welcher von beiden Fällen maßgeblich ist, hängt davon ab, welcher in der Konfliktzeitlinie später auftritt.
yFirstCEP bzw. ySecondCEP	Gibt die y-Koordinate des ersten bzw. zweiten Fahrzeuges am Konfliktpunkt an. Der Konfliktpunkt ist die Position des Fahrzeugs entweder zum letzten Zeitschritt, an dem der TTC-Wert unter dem voreingestellten Schwellenwert liegt, oder zu dem Zeitschritt, an dem der letzte Post-Encroachment-Wert beobachtet wurde. Welcher von beiden Fällen maßgeblich ist, hängt davon ab, welcher in der Konfliktzeitlinie später auftritt.

3.3.3 Konflikttypen

Jeder Konflikt wird durch SSAM einem bestimmten Konflikttyp zugeordnet. Die Konflikteigenschaft „**ConflictType**“ beschreibt, wodurch ein Konflikt ausgelöst wurde. So ist denkbar, dass ein Konflikt dadurch entsteht, dass ein Fahrzeug einem andere zu nahe auffährt, aber auch Fahrstreifenwechsel oder Kreuzungsvorgänge eines oder beider Fahrzeuge können Ursache für einen Konflikt sein. SSAM unterscheidet demnach „Rear-End“- , „Lane-Change“- und „Crossing“-Konflikte. Entscheidend für die Zuordnung zu einem dieser Konflikttypen ist der Winkel, in dem die Trajektorien der beiden Fahrzeuge zueinander stehen.

Rear-End: Bezeichnet einen Auffahrkonflikt.

Lane-Change: Bezeichnet einen Konflikt bei einem Fahrstreifenwechsel.

Crossing: Bezeichnet einen Verkehrskonflikt, bei dem sich die Wege zweier Fahrzeuge kreuzen (Einbiegen/Kreuzen).

3.3.3.1 Zuordnung nach Conflict Angle

Sind weder die Information über die Fahrbahn, noch über den Fahrstreifen, auf welchen sich beide Fahrzeuge befinden, verfügbar, so wird ein Konfliktereignis alleine über diesen Konfliktwinkel („**ConflictAngle**“) klassifiziert. Tritt der Fall ein, dass $|\text{ConflictAngle}|$ unter einem bestimmten Schwellenwert liegt, dann folgt die Zuteilung als Rear-End-Konflikt. Die hierfür von SSAM definierte Standardeinstellung beträgt 30° . Ist $|\text{ConflictAngle}|$ größer als ein ebenfalls vorher definierter Wert (Standardeinstellung: 85°), so klassifiziert SSAM einen Konflikt als Crossing-Konflikt. Alle anderen Konflikte werden dem Typ Lane Change zugeordnet.

3.3.3.2 Zuordnung bei bekannten Fahrstreifen

Sind Fahrbahn und Fahrstreifen, auf denen sich die Fahrzeuge befinden, bekannt, so erfolgt für den Fall, dass sich beide Fahrzeuge zu Konfliktbeginn als auch zu Konfliktende auf derselben Fahrbahn sowie demselben Fahrstreifen befinden, direkt eine Einteilung als Rear-End-Konflikt. Befindet sich jedoch eines der beiden Fahrzeuge zu Konfliktende auf einem anderen Fahrstreifen als zu Anfang (aber auf derselben Fahrbahn), so wird der Konflikt als Lane-Change-Konflikt klassifiziert. Wechselt eines der beiden Fahrzeuge während des Konflikts auf eine andere Fahrbahn, dann ist, so wie vorhin beschrieben, der Konfliktwinkel maßgebend. Hiervon gibt es nur eine Ausnahme: Bewegen sich zu Anfang eines Konflikts beide Fahrzeuge auf derselben Fahrbahn, wechselt eines der beiden diese jedoch im Verlaufe des Konflikts, so zieht SSAM von Vornherein nur noch die Konflikttypen Rear End bzw. Lane Change in Betracht, wobei wiederum der Konfliktwinkel für die Zuteilung entscheidend ist. Bei der Zuteilung ist unbedingt zu beachten, dass diese auch vom der Berechnung zugrunde gelegten Simulationsmodell abhängt. Es ist beispielsweise möglich, dass der Fall eintritt, dass sich ein Fahrzeug konstant auf einer Fahrbahn bewegt, SSAM die Situation jedoch als Fahrbahnwechsel erkennt, weil sich die Fahrbahn aus mehreren Teilstrecken zusammensetzt. Daher ist es essentiell, dass die Ergebnisse, die durch SSAM erlangt werden, auch immer mit dem Simulationsmodell abgeglichen werden. Abbildung 19 bis Abbildung 21 stellen die für die Konflikttypenkategorisierung maßgeblichen Situationen, bei denen nicht allein der Konfliktwinkel Ausschlag für die Einteilung gibt, dar.

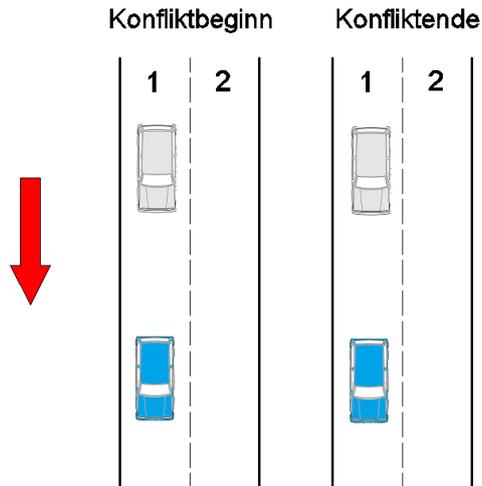


Abbildung 19: Situation für eine Einteilung als Rear-End-Konflikt

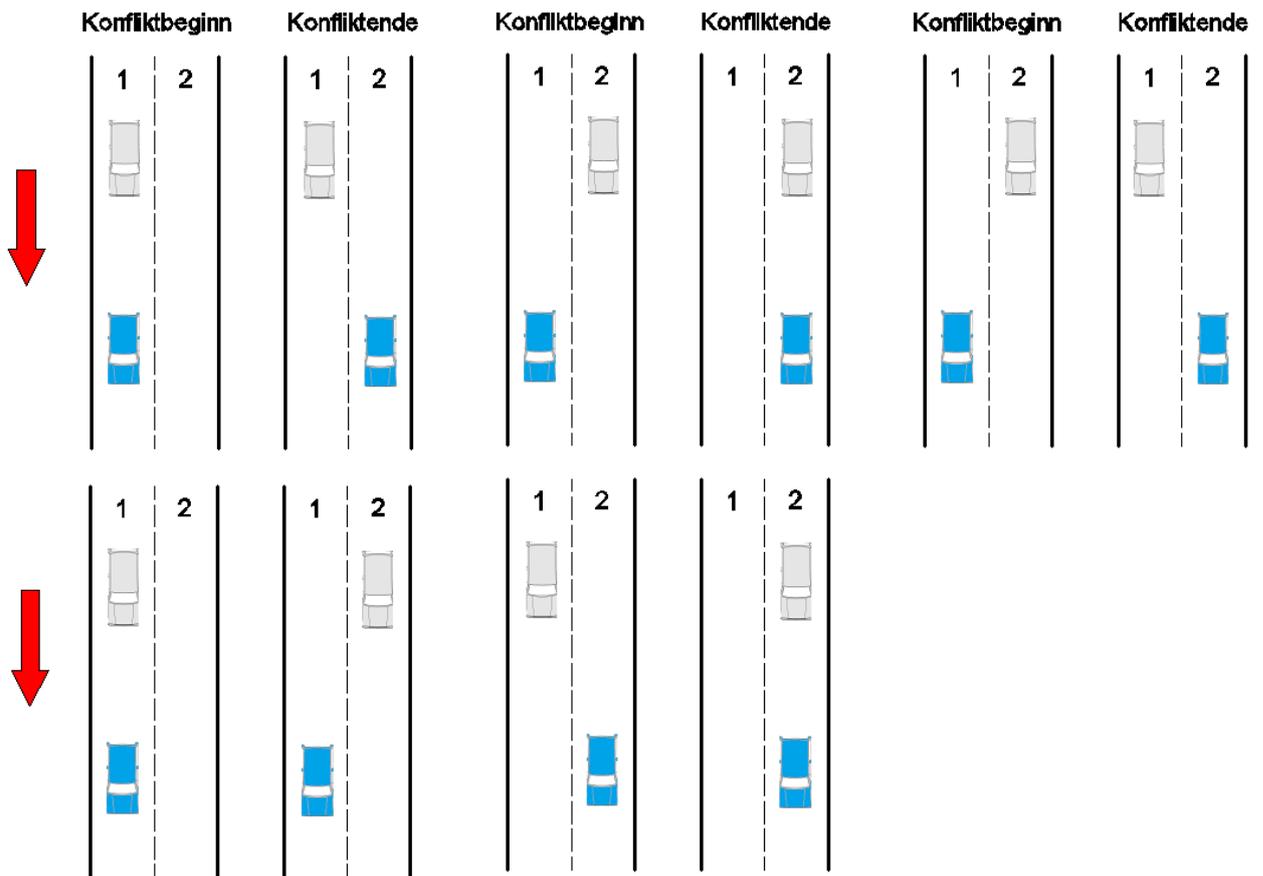


Abbildung 20: Situationen für eine Einteilung als Lane-Change-Konflikt

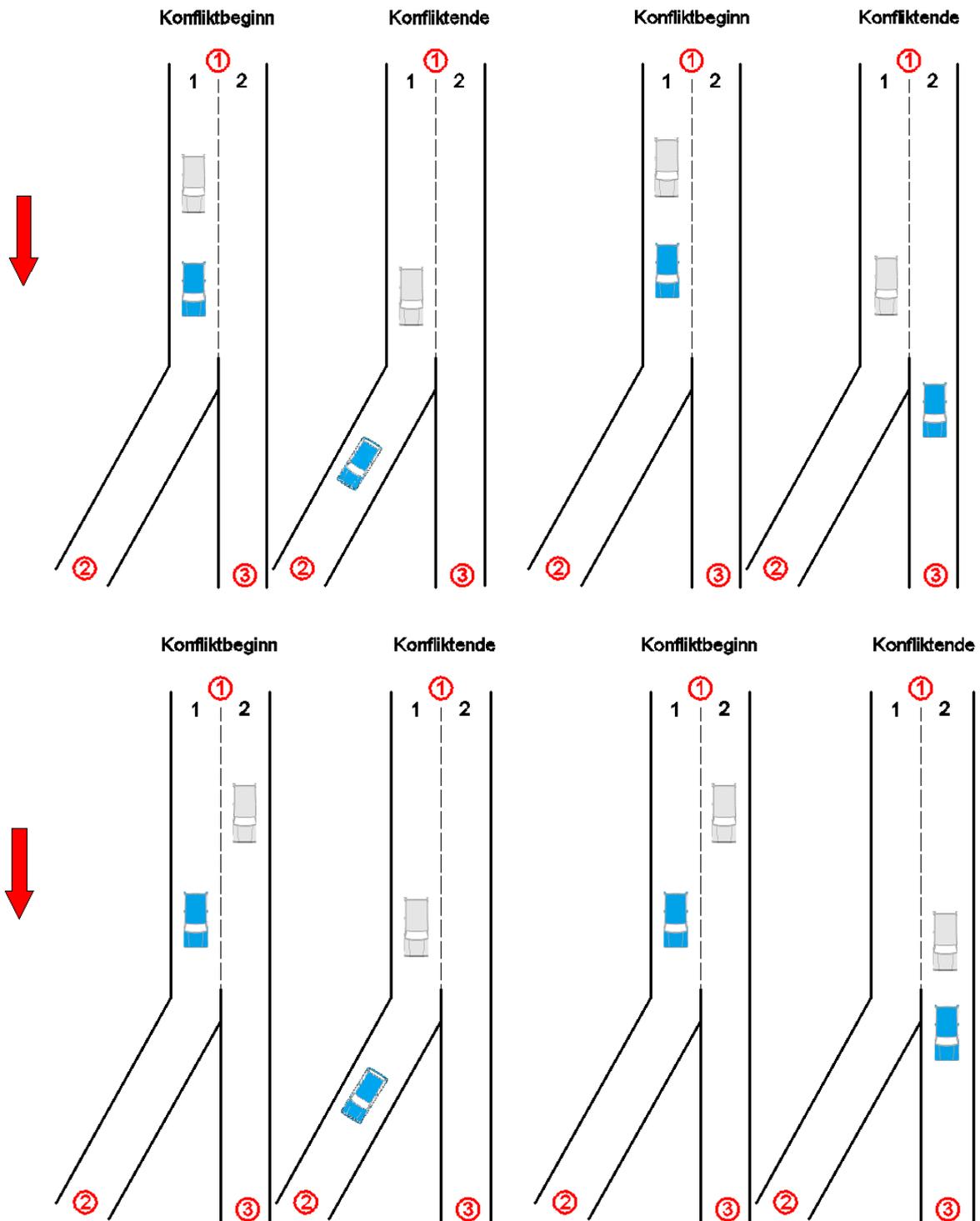


Abbildung 21: Situationen für eine Einteilung als Lane-Change- bzw. Rear-End-Konflikte (Konfliktwinkel maßgebend)

Die folgende Abbildung veranschaulicht, wie die Schwellenwerte für die einzelnen Konflikttypen gemäß dem auftretenden Winkel in einem Konflikt von SSAM definiert werden:

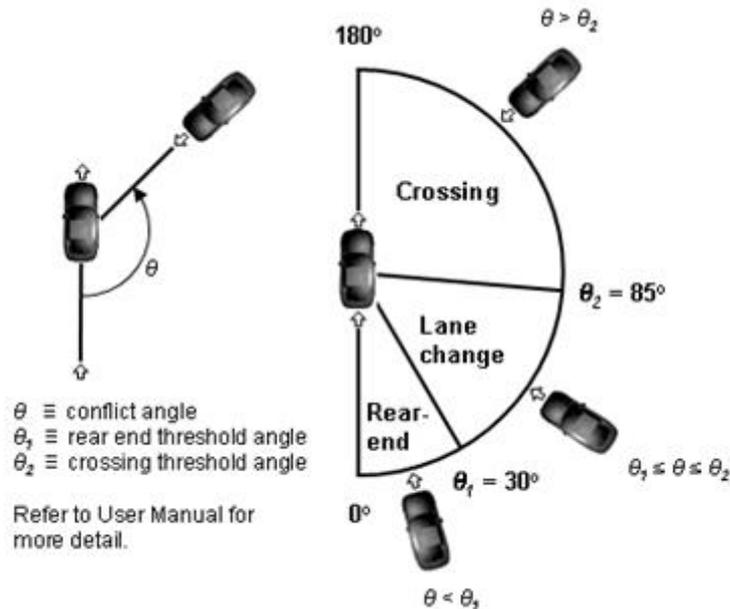


Abbildung 22: Schwellenwertdiagramm [Gettman et al., 2008]

3.3.4 Algorithmen zur Identifikation von Konflikten

Die folgenden Abschnitte beschreiben, welche Algorithmen bei SSAM im Hintergrund laufen, um aufgetretene Konflikte identifizieren zu können. Eine .trj-Datei (Trajektorien-datei) stellt eine Funktion der Anzahl der im Simulationsmodell vorhandenen Fahrzeuge und der Länge des Simulationszeitraumes dar. Je länger der Simulationszeitraum gewählt wird, umso mehr Fahrzeugtrajektorien entstehen und desto länger wird auch die Verarbeitungszeit von SSAM. Daher kann die verkehrssicherheitstechnische Auswertung je nach Komplexität des zu betrachtenden Modells und demgemäß je nach Größe der Trajektorien-dateien viel Zeit in Anspruch nehmen. So führt bereits ein nicht allzu komplexes Modell einer einfachen Kreuzung mit einer Simulationszeit von fünf Stunden trotz leistungsfähiger Computerhardware zu einer Verarbeitungszeit von mehr als zehn Minuten. Nun soll erklärt werden, welche Schritte die Software SSAM durchläuft, um als Ergebnis die sicherheitsrelevanten Ersatzgrößen ausgeben zu können.

Erster Schritt

Nachdem die Trajektorien-datei durch ein Simulationsmodell erzeugt wurde, legt SSAM beim Einlesen dieser die Dimensionen des für die Analyse maßgeblichen Bereichs fest. Breite und Höhe eines rechteckigen Untersuchungsbereichs werden definiert und es wird angezeigt, in welcher Einheit die Trajektorien-dateien angegeben sind. SSAM erzeugt dann ein Zonenraster, welches den gesamten rechteckigen Untersuchungsbereich abdeckt. Verwendet die Trajektorien-datei metrische Daten, so beträgt die Größe eines Rasterfeldes 15,25 m x 15,25 m. Die Größe dieses Rasterfeldes kann nicht geändert werden und ist somit unabhängig von der Fahrzeuggröße. Diese Rastereinteilung hat den Hintergrund, dass sich dadurch die Anzahl der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Vergleiche zur Ermittlung potentieller Konflikte erheblich verringert.

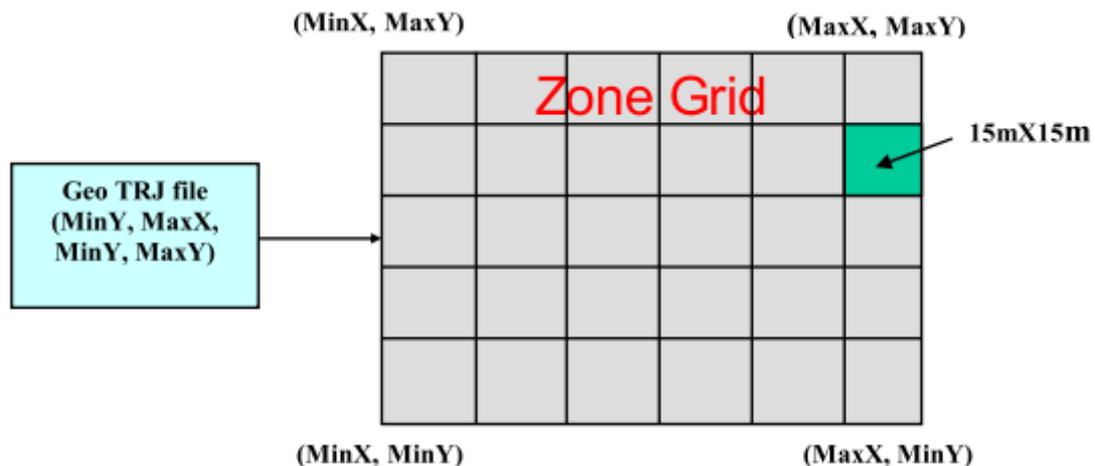


Abbildung 23: Darstellung des Zonenrasters (Zone Grid) [Gettman et al., 2008]

Zweiter Schritt

Es folgt die Analyse einzelner Simulationszeitschritte. Für jedes Fahrzeug, das sich im Untersuchungsbereich befindet, bildet SSAM den erwarteten Standort als Funktion seiner momentanen Geschwindigkeit ab, wenn es weiterhin für die Dauer der voreingestellten Time-to-Collision die Bewegung auf seinem (zukünftigen) Weg fortsetzt. Der geplante Weg eines Fahrzeuges basiert auf einer Betrachtung der Trajektoriendaten für die nächsten 10 Sekunden. Wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich, setzt sich der Weg aus geraden Liniensegmenten (S1 – S3), welche die zukünftigen Standorte des Fahrzeuges stromabwärts ($X(t) - X(t+3)$) verbinden, zusammen.

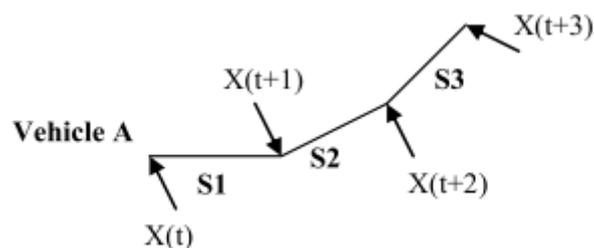


Abbildung 24: Darstellung des Fahrzeugweges [Gettman et al., 2008]

Unter der Annahme, dass SSAM die Konflikte für das Fahrzeug A zur Zeit t_1 analysiert, sieht die Vorgehensweise zur Abbildung der Distanz, welche dieses Fahrzeug während eines bestimmten vorausschauenden Zeitraumes zurücklegt und der Berechnung der exakten Koordinaten dieser projizierten Position des Fahrzeuges folgendermaßen aus: Zunächst extrahiert SSAM alle Daten, die sich auf das Fahrzeug A beziehen, aus der Trajektoriendatei. Zu diesen Daten zählen die Position des Fahrzeuges A sowie seine Geschwindigkeit, Beschleunigung etc. zum Zeitpunkt t_1 als auch einige Zeitschritte nach t_1 . Jede Position ist mit den Koordinaten (x_1, y_1) , (x_2, y_2) angegeben. Im Anschluss daran projiziert SSAM den Weg, den Fahrzeug A entlang seiner Trajektorie zurücklegen wird, wobei es hier einige Randbedingungen und Annahmen gibt, die diesen Weg festlegen. Dazu gehört, dass

jedes Fahrzeug als rechteckiges Polygon mit vier Eckpunkten definiert ist. Darüber hinaus wird die Distanz, die das Fahrzeug zurücklegen wird, im Intervall von MaxTTC berechnet. Sie wird mit

$DIS_1 = V_1 * MaxTTC$ angegeben. Die Position (x_2, y_2) , an der sich das Fahrzeug zum nächsten Zeitschritt befindet, wird basierend auf der Distanz von der momentanen Position zu dieser Position berechnet. Diese Distanz wird als $DIS_2 = [Position(t+1) - Position(t)]$ definiert. Für den Fall, dass DIS_2 kleiner ist als DIS_1 , wird DIS_2 von DIS_1 abgezogen und die vorherigen beiden Berechnungen wiederholt. Dadurch ändern sich die beiden Distanzen zu $DIS_1 = DIS_1 - DIS_2$ und $DIS_2 = [Position(t+2) - Position(t+1)]$. Diese neuen Werte werden dann miteinander verglichen. Ist DIS_2 größer als DIS_1 , dann wird die x-y-Position berechnet, um den Projektionspunkt innerhalb des Segments von DIS_2 zu ermitteln.

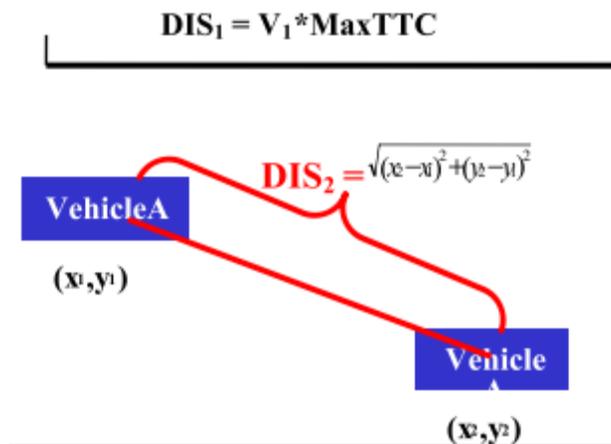


Abbildung 25: Darstellung von DIS_1 und DIS_2 [Gettman et al., 2008]

Dritter Schritt

Der nächste Schritt erfolgt in der Berechnung des rechteckigen Umfangs des Fahrzeuges, der die Position und Ausrichtung dieses Fahrzeuges und seiner projizierten zukünftigen Position beschreibt. Anschließend wird dieses Rechteck mit dem Zonenraster überlagert und berechnet, welche Zonen des Rasters einen Teil des Fahrzeuges enthalten. Das Fahrzeug wird zu jeder Zone, die es besetzt, „hinzugefügt“. Besser gesagt wird das Fahrzeug auf eine Liste von „Besetzern“ gesetzt, welche für jede Zone existiert. Jedes Mal, wenn ein Fahrzeug zu einer Zone hinzugefügt wird, welche zu diesem Zeitpunkt bereits ein oder mehr Fahrzeuge enthält, wird überprüft, ob sich der Umfang des neuen Fahrzeuges mit einem der anderen Fahrzeuge in dieser Zone überschneidet. Tritt dieser Fall ein, so zeigt dies eine zukünftige Kollision dieser beiden Fahrzeuge an – es wurde also ein potentieller Konflikt identifiziert. Es kann aber auch sein, dass sich die Umfänge zweier Fahrzeuge teilweise in einer Zone befinden und diese sich nicht berühren bzw. überlappen. SSAM erstellt für jeden Zeitschritt eine Liste der potentiellen Fahrzeug-Konfliktpaare. Zu Beginn jedes neuen Zeitschrittes wird die Liste mit den Fahrzeug-Konfliktpaaren des vorigen Zeitschrittes befüllt. Wenn sich der Umfang eines Fahrzeuges, das einer Zone neu hinzugefügt wurde, mit dem irgendeines anderen Fahrzeuges überschneidet, so wird dieses Fahrzeugpaar – falls dies noch nicht geschehen ist – der Konfliktliste für den aktuellen Zeitschritt hinzugefügt. Die folgende Abbildung zeigt die Überprüfung, ob zum Zeitpunkt $MaxTTC = 1,5$ eine Konfliktsituation zwischen zwei Fahrzeugen besteht:

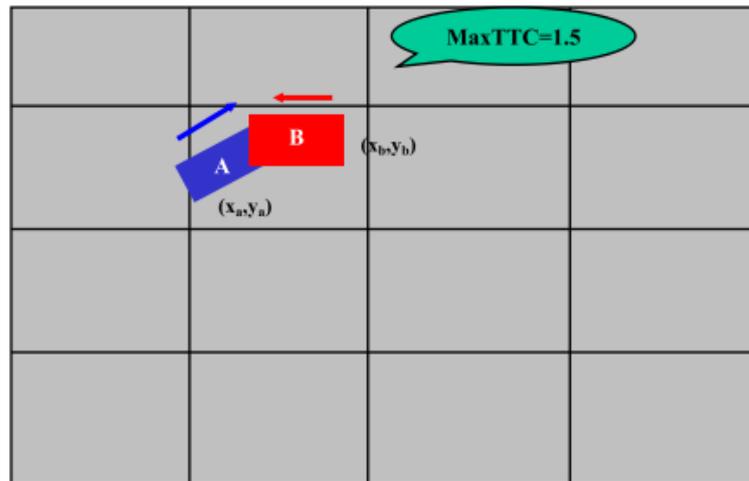


Abbildung 26: Überprüfung, ob ein Konflikt der beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt MaxTTC vorliegt [Gettman et al., 2008]

Vierter Schritt

Damit SSAM detailliertere Informationen zu jedem Fahrzeug-Konfliktpaar in der Liste für den aktuellen Zeitschritt erzeugen kann, geht die Software wie folgt vor:

Zunächst wird die TTC eines jeden Fahrzeugpaares aktualisiert. Dies erfolgt so, dass die zukünftige Projektionszeitlinie schrittweise um Zehntelsekunden verkürzt wird und beide Fahrzeuge wie zuvor erneut über aufeinanderfolgende kurze Distanzen dargestellt werden, bis sich die projizierten Positionen des Fahrzeugpaares nicht mehr überschneiden. Auf diese Weise wird für die jeweiligen Zeitschritte ein genauerer TTC-Wert ermittelt. Tritt der Fall ein, dass sich die Projektionszeitlinie auf den Wert 0 verkürzt hat und die Fahrzeuge sich trotzdem noch überschneiden, so liegt ein Unfall vor. Abbildung 27 zeigt eine Verringerung des TTC-Wertes durch diese Iteration von 1,5 auf 1,3. Unter Zugrundelegung des neuen TTC-Wertes berühren sich die beiden Fahrzeuge kaum noch und es liegt daher keine Konfliktsituation mehr vor.

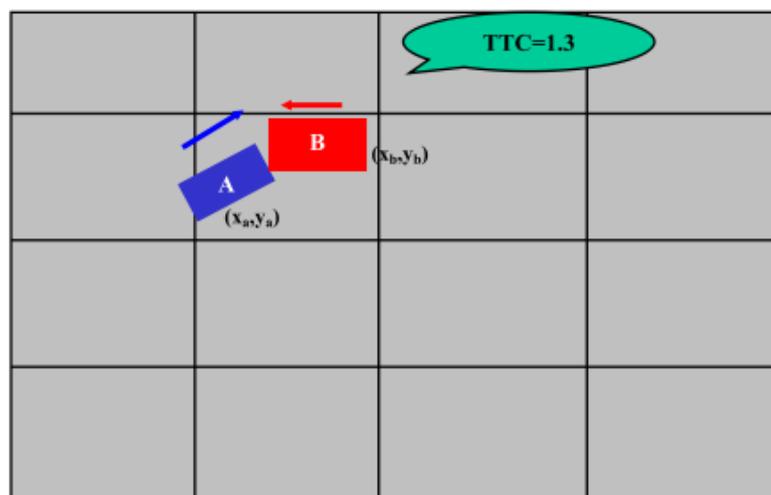


Abbildung 27: Überprüfung, ob ein Konflikt der beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt TTC = 1,3 vorliegt [Gettman et al., 2008]

An dieser Stelle findet die Berechnung und Aktualisierung verschiedener Ersatzgrößen, welche die Verkehrssicherheit beschreiben, statt. Dazu zählt $\min\text{TTC}$, welche aus dem Minimum der aktuellen TTC sowie jener TTC des vorherigen Zeitschrittes, falls maßgeblich, berechnet wird. Darüber hinaus werden als Grundlage für die Post-Encroachment-Analyse auch die momentanen tatsächlichen Positionen beider Fahrzeuge aufgezeichnet.

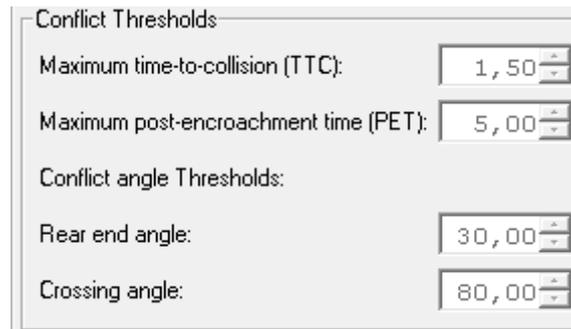
Wird festgestellt, dass sich ein Fahrzeugpaar innerhalb des Projektionszeitraums von 0 bis TTC nie überschneidet, so befindet es sich nur deshalb in der Konfliktereignisliste, weil es sich in der dem letzten Zeitschritt zugehörigen Liste befand. In einem solchen Fall bleibt das Ereignis in der Liste. Es wird beobachtet, ob das zweite Fahrzeug nicht doch noch eine Position belegt, die zuvor vom ersten Fahrzeug eingenommen wurde. Der Abstand zwischen dem Zeitpunkt, an dem das erste Fahrzeug diese Position belegt hat und dem Zeitpunkt, an dem das zweite Fahrzeug diese Position erreicht, ist die Post-Encroachment-Time (PET). Wird eine nachträgliche Belegung dieser Position beobachtet, so wird die minimale PET aktualisiert und das Konfliktereignis bleibt in der Liste. Die PET könnte sich nämlich verringern, da sich die Fahrzeugtrajektorien ja mit der Zeit fortsetzen.

Befindet sich ein Fahrzeugpaar, das in der Konfliktereignisliste aufscheint, nicht länger auf einem unmittelbar bevorstehenden Kollisionskurs und kann deutlich festgestellt werden, dass die PET im Vergleich zu allen vorherigen Positionen der Fahrzeuge die minimale PET nicht mehr reduzieren kann, oder die voreingestellte maximale PET vergangen ist, dann wird das Fahrzeugpaar gekennzeichnet, um aus der Konfliktereignisliste entfernt zu werden. Vor der Entfernung werden alle endgültigen Ersatzgrößen berechnet. Dies schließt den Konfliktstart- und -endpunkt sowie den Konfliktwinkel und ΔV mit ein. An dieser Stelle wird auch die Zuordnung zu einem der Konflikttypen vorgenommen. Es werden alle Ersatzgrößen definiert und die Logik zur Konflikttypenklassifizierung bereitgestellt. Der letzte Schritt besteht darin, dass der Konflikt und alle seine Ersatzgrößen zur Konflikttabelle hinzugefügt werden und das Ereignis von der Konfliktereignisliste entfernt wird.

3.3.5 Erforderliche Eingaben vor Durchführung der Berechnungen

Nach dem Implementieren der zu untersuchenden Traktoriendatei(en), müssen noch vier Schwellenwerte festgelegt werden. SSAM bietet die Möglichkeit, selbst festzulegen, ab wann das Programm eine Situation als Konflikt erkennen soll. Dazu können die Schwellenwerte für TTC und PET durch Änderung der Default-Schwellenwerte frei gewählt werden. Diese Schwellenwerte sind notwendig, um überhaupt eine Berechnung durchführen zu können. Doch nicht nur die TTC und PET können individuell festgelegt werden, es kann auch eigens definiert werden, welche Konfliktwinkel für die Zuteilung zu einem bestimmten Konflikttyp maßgeblich sind.

Die hierfür voreingestellten Werte, welche für sämtliche in dieser Arbeit durchgeführte Auswertungen verwendet wurden, sind aus der folgenden Abbildung ersichtlich.



Conflict Thresholds	
Maximum time-to-collision (TTC):	1,50
Maximum post-encroachment time (PET):	5,00
Conflict angle Thresholds:	
Rear end angle:	30,00
Crossing angle:	80,00

Abbildung 28: Default-Schwellenwerte für Konflikte

Die TTC steht in direktem Zusammenhang mit den Fahrer-Reaktionszeiten. In Anbetracht der bereits getätigten Feststellung, dass nur wenige Menschen eine Reaktionszeit von einer Sekunde aufweisen, da es zahlreiche Faktoren gibt, die eine Verlängerung der sogenannten Schrecksekunde bewirken können, scheint ein TTC-Wert von 1,5 Sekunden als Schwellenwert plausibel. Es ist jedoch zu erwarten, dass in den Simulationen auch Situationen auftreten werden, bei denen Konflikte mit diesem Wert kein hohes Sicherheitsrisiko darstellen (z.B. bei einer Annäherungsfahrt im Kreuzungsbereich, da hier eine erhöhte Aufmerksamkeit der Fahrer gegeben ist und die Geschwindigkeiten eher gering sind).

3.3.6 Spezifikation

Das Filtertool in SSAM ermöglicht eine Spezifikation der bereits berechneten Konflikte. Dies ist in den meisten Fällen notwendig, da oft nur ein bestimmter Bereich eines Simulationsmodells für die Untersuchung der Verkehrssicherheit mit SSAM maßgeblich ist, was beispielsweise eine Filterung nach Strecken erfordert. Daneben kann nach Konflikttypen, Ersatzgrößen sowie Trajektoriendateien gefiltert werden.

Vor Betrachtung der Auswertungsergebnisse muss darüber hinaus erwähnt werden, dass in VISSIM trotz der Grundforderung eines jeden Verkehrsflussmodells nach Kollisionsfreiheit [Bungartz et al., 2013] manche Situationen „virtuelle“ Unfälle zur Folge haben. Es kommt dabei zu einer Überlappung der Trajektorien zweier Fahrzeuge. Grundsätzlich sollte dies durch die richtige Modellierung des Verkehrsgeschehens, welche die realitätsgetreue Wahl der Fahrzeugparameter beinhaltet, vermieden werden, die Logik des Simulationsmodells kann dennoch nicht alle möglichen Manöver der Fahrzeuge exakt und vollständig abbilden. [Gettman et al., 2008] In SSAM führt eine solche Ungenauigkeit in der Abbildung des tatsächlichen Verkehrsgeschehens zu TTC-Werten in der Höhe von 0. Dazu muss jedoch gesagt werden, dass die Anzahl dieser „Unfälle“ im Vergleich zu den anderen abgebildeten Verkehrsmanövern und Konflikten relativ klein ist. Deshalb werden diese Situationen bei sämtlichen Auswertungen in dieser Arbeit vernachlässigt und in die statistischen Berechnungen nicht miteinbezogen.

Neben diesen „Unfällen“ gehen auch Konfliktereignisse mit geringer Geschwindigkeit nicht in die Analyse mit ein. Um solche Ereignisse aus den Ergebnissen auszuschneiden, wurden das Filtertool vom SSAM angewendet und folgende Grenzwerte angesetzt:

$$0,05 \leq TTC \leq 1,5 \text{ Sekunden}$$

$$\text{MaxS} \geq 4,2 \text{ m/s (15,12 km/h)}$$

In der Konflikttabelle finden sich dann nur noch Konflikte, die diese Kriterien erfüllen. Abbildung 29 zeigt einen Ausschnitt aus einer solchen Konflikttabelle.

FILTER APPLIED														
trFile	tMinTTC	xMinPET	yMinPET	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	MaxD	MaxDeltaV	ConflictAngle	ClockAngle	ConflictType	
Handelskaj_...	62,70	-1.302.995,50	5.491.623,00	1,10	0,30	21,76	7,47	-2,06	-7,58	4,04	-0,02	6,00	rear end	
Handelskaj_...	86,80	-1.302.957,50	5.491.645,00	0,30	0,40	12,42	7,32	0,14	0,14	3,91	4,95	5,50	rear end	
Handelskaj_...	101,50	-1.303.236,75	5.491.702,00	1,10	1,00	6,25	0,81	-0,43	-0,43	0,40	1,13	5,58	rear end	
Handelskaj_...	113,60	-1.303.148,75	5.492.120,00	1,00	0,90	12,94	8,30	-3,61	-5,46	6,11	11,41	5,37	rear end	
Handelskaj_...	166,50	-1.302.938,75	5.491.664,50	0,10	1,80	9,19	4,05	-0,06	-2,99	3,10	-1,51	6,03	lane change	
Handelskaj_...	170,70	-1.303.001,62	5.491.623,00	0,80	0,70	19,84	19,66	-4,72	-7,31	15,00	0,24	5,59	rear end	

Abbildung 29: Ausschnitt aus einer Konflikttabelle in SSAM

3.3.7 Statistischer Vergleich der Ergebnisse

Wird im Anschluss an die Konfliktauswertung ein Vergleich zwischen zwei Varianten vorgenommen, so erfolgt dieser mittels t-Test, dem ein F-Test vorangeht. Die Ergebnisse dieser beiden Tests teilen sich dabei in Ergebnisse über die Ersatzgrößen und jene über die Anzahl der Konflikte auf.

Der t-Test berechnet, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Mittelwerte zweier Varianten voneinander abweichen. Ein solcher statistischer Test dient der Widerlegung der zuvor aufgestellten Nullhypothese H_0 . Diese besagt, dass es keinen Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Varianten gibt, die Differenz also 0 beträgt. [Gettman et al., 2008] Als Signifikanzniveau für den t-Test wurde in der vorliegenden Arbeit der Wert 0,05 gewählt, da auch Gettman et. al [2008] mit diesem Wert ihre Analysen durchgeführt haben. Das Signifikanzniveau gibt die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit an. In diesem Fall beträgt also die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese trotz Zutreffens aufgrund des Tests abgelehnt wird, 5 %. Das Signifikanzniveau ist mit anderen Worten ein Maß für die Höhe der Informationsqualität. Werden zwei Varianten miteinander verglichen, so besagt die Nullhypothese, dass zwischen dem Auftreten von Verkehrskonflikten und dem zu untersuchenden Merkmal kein Zusammenhang besteht. Diese Hypothese gilt es zu widerlegen. Das Signifikanzniveau erlaubt darüber hinaus bei Betrachtung der Freiheitsgrade die Bestimmung eines kritischen t-Werts t_{crit} . Übersteigt bzw. unterschreitet ein empirischer t-Wert den von SSAM ermittelten kritischen Wert t_{crit} , so bedeutet dies, dass zwischen den beiden verglichenen Varianten ein signifikanter Unterschied besteht, da angenommen wird, dass ein systematischer Unterschied zwischen den zwei Varianten besteht. [Rasch et al., 2009] Je nachdem, ob dieser Wert positiv oder negativ ist, ergibt sich eine Präferenz für eine der beiden Varianten. Neben dem t-Wert und dem kritischen t-Wert t_{crit} gibt SSAM die Mittelwerte und Varianzen der Ersatzgrößen der Konflikte sowie der Konfliktanzahlen der Simulationsläufe der zu vergleichenden Varianten aus. Darüber hinaus werden die Differenzen der Mittelwerte der gegenübergestellten Varianten angegeben.

Für den F-Test beträgt das in dieser Arbeit gewählte Signifikanzniveau 0,1 (angelehnt an Gettman et. al [2008]). Dieser Test wird für die Überprüfung der Homogenität zweier Varianzen verwendet und wird noch vor dem t-Test durchgeführt, da die Homogenität der Varianzen eine Voraussetzung für den t-Test ist. Auch hier gibt es eine Nullhypothese sowie eine Alternativhypothese. Der Zweck des F-

Tests liegt in der generellen Überprüfung von Abweichungen zwischen zwei statistischen Populationen. [Cramer; Kamps, 2014] Der F-Test liefert jedoch bei der Auswertung mit SSAM kein eigenes Ergebnis, da er in den t-Test integriert ist.

Abbildung 30 zeigt einen Screenshot beispielhafter Eingaben sowie Ergebnisse eines statistischen Variantenvergleichs mit SSAM:

SSAM Files: C:\Users\Student\Desktop\SSAM-Auswertungen\2

Compare opened file with: C:\Users\Student\Desktop\SSAM-Auswertungen\1

Delete

test configuration

T test Significant Level(alpha1): 0.05 F test Significant Level(alpha2): 0.1 data set to be analyzed: [ALL Data](#) [Filtered Data](#)

Edit Apply Analyze Export

t test for filtered data has been applied

SSAM Measures	Mean(2)	Variance (2)	Replications (2)	Mean(1)	Variance (1)	Replications (1)	t value	t critical	Sigfinicant	Mean Difference
TTC	0,974	0,050	42	0,976	0,070	29	-0,011	1,668	NO	-0,002
PET	1,971	0,928	42	1,962	0,999	29	0,039	1,668	NO	0,009
MaxS	10,062	54,531	42	10,478	63,499	29	-0,349	1,668	NO	-0,416
DeltaS	3,198	10,379	42	3,752	16,724	29	-0,610	1,675	NO	-0,554
DR	-0,722	1,686	42	-1,273	4,696	29	1,226	1,682	NO	0,551
MaxD	-1,857	4,638	42	-2,330	7,294	29	0,786	1,675	NO	0,473
MaxDeltaV	2,156	4,030	42	2,582	7,243	29	-0,725	1,676	NO	-0,426
Conflict Types	Mean(2)	Variance (2)	Replications (2)	Mean(1)	Variance (1)	Replications (1)	t value	t critical	Sigfinicant	Mean Difference
Crossing	0,000	0,000	5	0,000	0,000	5	0,000	1,860	NO	0,000
Rear-end	6,600	18,800	5	4,400	30,800	5	0,699	1,860	NO	2,200
Lane changing	1,800	1,700	5	1,400	1,300	5	0,516	1,860	NO	0,400
Total	8,400	20,300	5	5,800	27,700	5	0,839	1,860	NO	2,600

Abbildung 30: Eingaben und Ergebnisse eines statistischen Variantenvergleichs mit SSAM

4 Fallstudien

In diesem Kapitel wird anhand von zwei unterschiedlich ausgestalteten Anschlussstellen untersucht, welche Ergebnisse eine Analyse mit SSAM liefert. Es geht in erster Linie darum, festzustellen, wie gut mit SSAM die Realität abgebildet werden kann und ob ein Vergleich zweier Modellierungsvarianten einer Anschlussstelle ein plausibles Resultat ergibt. Dazu wird einerseits die Verkehrssicherheit an der Anschlussstelle Handelskai, andererseits jene an der Anschlussstelle Franzosenhausweg mit VISSIM und SSAM analysiert. Die Parameter, welche für die Auswertung beider Beispiele verwendet wurden, sind jene, die in Kapitel 3 angegeben wurden. Vor Betrachtung der Beispiele folgt als Einführung in das Kapitel eine kurze Darstellung der bisher durchgeführten Forschungsarbeiten betreffend SSAM.

4.1 Praktische Erfahrung mit SSAM

Die praktische Erfahrung mit SSAM ist begrenzt und die Ergebnisse der bereits durchgeführten Untersuchungen stimmen nicht immer überein. Gettman et al. [2008], welche SSAM entwickelt haben, haben vierarmige lichtsignalgesteuerte Kreuzungen mit dieser Software analysiert und dabei herausgefunden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen simulierten Konflikten und aufgezeichneten Unfällen besteht. Dies stellten auch Dijkstra et al. [2010] fest, welche ein 300 km² großes Verkehrsnetz mit Paramics simulierten. Kim und Sul [2009] haben getestet, inwiefern sich eine Änderung der Geschwindigkeitsbegrenzung auf einer Hauptverkehrsstraße in der Stadt Sungnam in Südkorea auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Sie kamen dabei zu dem Schluss, dass Geschwindigkeiten sowie Verkehrsabläufe mit VISSIM gut dargestellt werden können, sich diese Software aber nicht für Sicherheitsanalysen eignet. Agarwal [2011] untersuchte die Fußgängersicherheit an Kreuzungspunkten mittels Mikrosimulation und SSAM. Diese Untersuchung hat ergeben, dass sich SSAM für die Bewertung der relativen Fußgängerverkehrssicherheit in Bezug auf alternative Entwürfe von Kreuzungen eignet. Weiteres Forschungspotential wird jedoch hinsichtlich jener Einschränkungen gesehen, dass sich lokal variierende Fahrverhaltensparameter sowie unterschiedliche Geschwindigkeitsbegrenzungen stark auf die Ergebnisse auswirken und SSAM hauptsächlich auf typische Ausgestaltungen von Kreuzungspunkten ausgelegt ist. Huang et al. [2013] haben in ihrer Forschungsarbeit die Unfallaufzeichnungen zehn lichtsignalgesteuerter Kreuzungen im Raum Nanjing in China mit den mit SSAM simulierten Konflikten verglichen. Ihre Ergebnisse lassen einerseits einen Zusammenhang zwischen den simulierten und aufgezeichneten Rear-End-Konflikten erkennen, andererseits wurde jedoch festgestellt, dass sich anhand der simulierten Konflikte nichts über Verkehrskonflikte, welche durch unerwartete Fahrmanöver wie beispielsweise unerlaubte Fahrstreifenwechsel verursacht werden, aussagen lässt. Vasconcelos et al. [2013] führten mit SSAM und AIMSUN eine Sicherheitsuntersuchung von Turbokreisverkehren durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass ein starker Zusammenhang zwischen den simulierten Konflikten und den mittels konventionellen Prognosemodellen berechneten Unfallzahlen besteht. Deutlich aussagekräftiger als ein Vergleich der mittels SSAM berechneten Konflikte mit anhand von Prognosemodellen ermittelten Unfallzahlen scheint jedoch ein Vergleich mit historischen Unfalldaten, da in diesem Fall eine der beiden Vergleichskomponenten als verlässlich angesehen werden kann.

4.2 Anschlussstelle Handelskai

Die erste Untersuchung, welche in dieser Arbeit mit SSAM durchgeführt wird, hat die Anschlussstelle Handelskai im Bereich der Autobahn Südosttangente Wien A23 zum Gegenstand. Das Simulationsmodell zu dieser Anschlussstelle war zwar teilweise vorhanden, musste jedoch ergänzt und vervollständigt werden.

4.2.1 Ziel

Hauptziel dieses Kapitels ist es, herauszufinden, welche Konflikttypen mit SSAM erkannt werden können. Da SSAM ausschließlich zwischen den drei Konflikttypen Crossing, Rear End und Lane Change unterscheiden kann, wird dazu die bereits in Kapitel 2.2.4 dargelegte Konflikttypeneinteilung nach der RVS 02.02.22 [FSV, 1995] herangezogen. An dieser Stelle werden jedoch nicht nur die Konflikttypenobergruppen, sondern auch die dazugehörigen Konflikttypenuntergruppen betrachtet.

Darüber hinaus sollen zunächst Überlegungen angestellt werden, an welchen Punkten welche Konflikttypen auftreten könnten, um zu überprüfen, welche dieser Erwartungen und Einschätzungen sich mit den Ergebnissen, die mit SSAM erlangt werden, decken. Neben den Einschätzungen, welche aus logischen Erwägungen heraus getroffen werden, stehen auch bereits vorhandene reale Unfalldaten der betrachteten Anschlussstelle, welche im Zeitraum von 2008 bis 2012 aufgezeichnet wurden, zur Verfügung. Damit soll nachvollzogen werden, wie stark die von SSAM ausgegebenen Konflikte mit der Realität übereinstimmen bzw. welche Abweichungen es gibt. Die Unfalldaten richten sich nach der Unfalltypenteilung gemäß RVS 02.02.21 [FSV, 2014] und wurden dem Projekt ODIMAST (Projektleitung: IKK Kribernegg-Kaufmann ZT-GmbH) entnommen. Die Darstellung der Unfalldaten findet sich in Abbildung 31. Es handelt sich dabei ausschließlich um Unfälle mit Personenschaden.

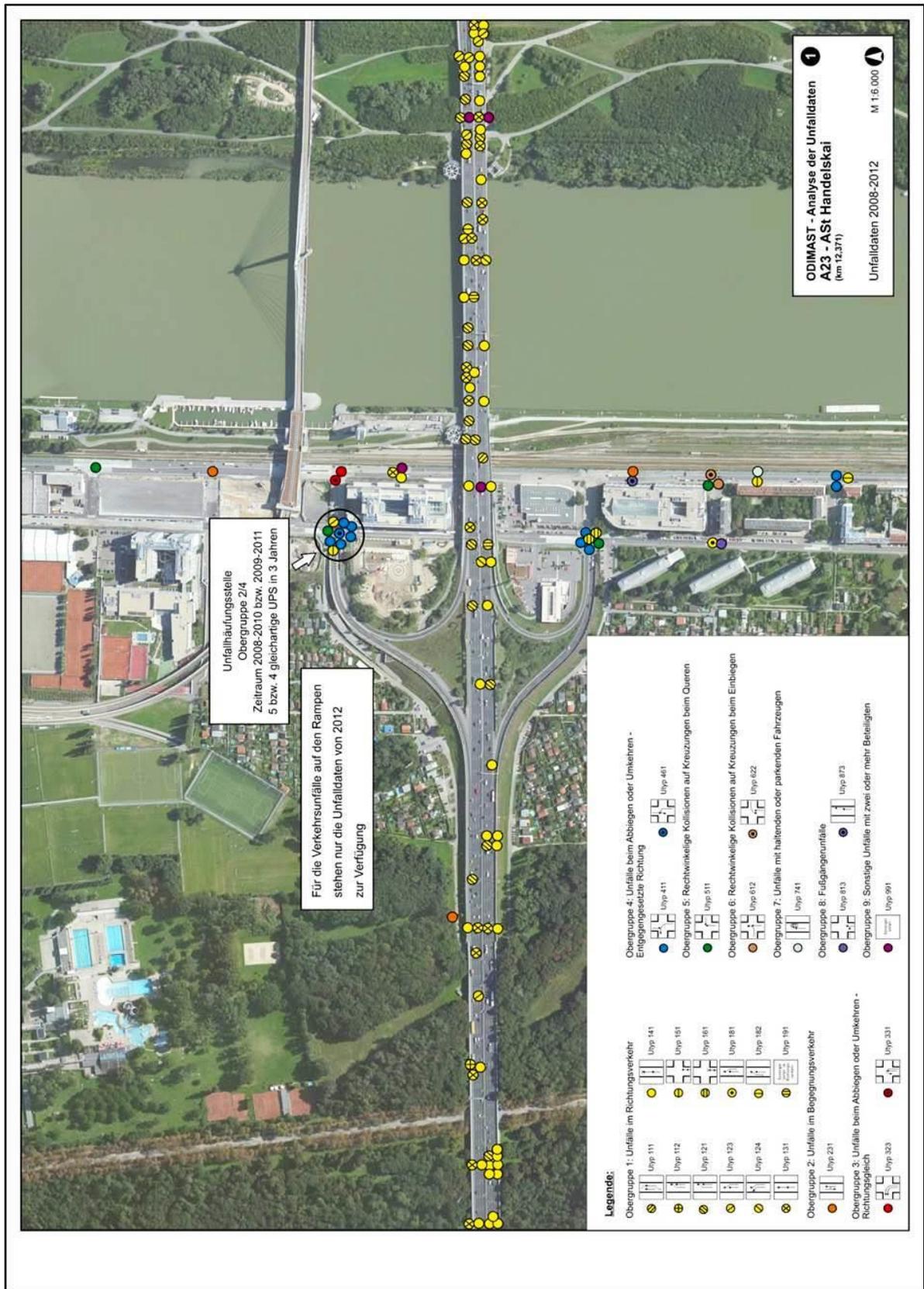


Abbildung 31: Unfalldaten Anschlussstelle Handelskai

4.2.2 Annahmen in VISSIM

Beim Aufbau des Simulationsmodells mussten in VISSIM zunächst einige Annahmen getroffen werden. Dabei handelt es sich um Punkte wie die Geometrie der Anschlussstelle, die Signalsteuerung, Fahrzeugtypen, Fahrzeugzusammensetzungen, Wunschgeschwindigkeiten, Fahrverhalten sowie Fahrzeugzuflüsse.

Geometrie der Anschlussstelle

Die Anschlussstelle Handelskai ist als halbes Kleeblatt ausgestaltet, wie in Abbildung 32 schematisch dargestellt wird. Das bedeutet, dass die Auf- und Abfahrten beider Fahrtrichtungen der Hauptfahrbahn auf derselben Seite des Zubringers (untergeordnetes Straßennetz) liegen.

Abhängig von der Fahrtrichtung führt die Ab- bzw. Auffahrt über eine direkte Rampe als S-Kurve (sogenannte Tangentialrampe) von der bzw. auf die Zubringerstraße. In der entgegengesetzten Richtung führt eine indirekte Rampe als Bogen (sogenannte Schleifenrampe) auf den Beschleunigungsstreifen (Hauptfahrbahn) bzw. vom Verzögerungsstreifen auf die Zubringerstraße.

Teile des Simulationsmodells wurden aus dem Projekt IMPAKT (Projektleitung: rk communication mobility) entnommen. Im Ausgangsmodell fehlten allerdings sowohl die Hauptfahrbahn als auch die Signalsteuerungen der vier Kreuzungen im untergeordneten Straßennetz, welche für die Simulation benötigt wurden.

Die fehlenden Strecken wurden mithilfe eines Luftbildes der Anschlussstelle nachgebildet. Da aus dem Luftbild jedoch in mehreren Fällen nicht herausgelesen werden konnte, wie viele Abbiegefahrstreifen in den Kreuzungsbereichen vorhanden sind bzw. wie sie sich aufteilen, mussten diese Unsicherheiten vor Ort geklärt werden. Infolgedessen mussten auch sämtliche statischen Routenentscheidungen neu definiert werden.

Abbildung 32 zeigt eine schematische Darstellung des endgültigen Modells mit Angabe der Anzahl der Fahrstreifen der einzelnen Strecken.

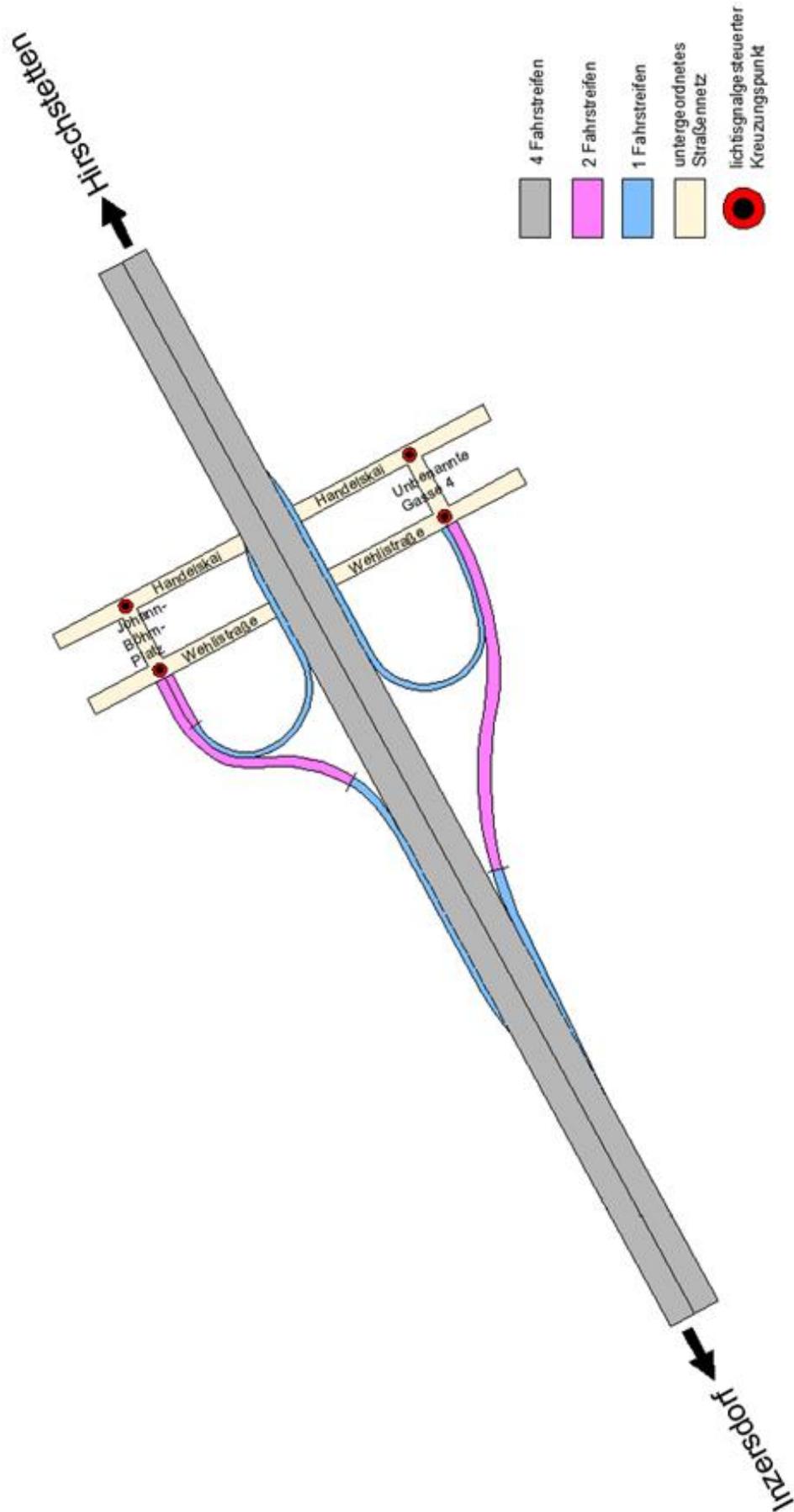


Abbildung 32: Schematische Darstellung des simulierten Bereichs der ASt Handelskai

Signalsteuerung

Die Lichtsignalprogramme der vier Kreuzungen im untergeordneten Straßennetz wurden von der MA33 übernommen und teilweise angepasst (vgl. Abbildung 109 bis Abbildung 112 im Anhang). Es wurde dabei eine Festzeitsteuerung mit einer Umlaufzeit von 100 Sekunden gewählt. Dies bedeutet, dass die Signalprogramme der vier Kreuzungen nicht aufeinander abgestimmt sind

Fahrzeugtypen, Fahrzeugzusammensetzungen, Wunschgeschwindigkeiten und Fahrverhalten

Die Fahrzeugzusammensetzung besteht aus Pkws und Lkws. Dazu wurden die beiden Fahrzeugklassen Pkw und Lkw erstellt. Es wird zwischen Pkw_Hfb bzw. Lkw_Hfb und Pkw_UN bzw. Lkw_UN unterschieden. Jene Fahrzeuge mit dem Zusatz _Hfb werden auf der Hauptfahrbahn ins Netz eingespeist, jene mit dem Zusatz _UN ins untergeordnete Netz. Auf der Hauptfahrbahn beträgt die Wunschgeschwindigkeit der Pkws 90 km/h und jene der Lkws 80 km/h. Im untergeordneten Straßennetz beträgt die Wunschgeschwindigkeit sowohl der Pkws als auch der Lkws 50 km/h. Die Geschwindigkeitsänderungen der Fahrzeuge beim Übergang vom übergeordneten ins untergeordnete Straßennetz erfolgen mittels Implementierung von Wunschgeschwindigkeitsentscheidungen auf den Ausfahrts- bzw. Einfahrtsrampen.

Betreffend das Fahrverhalten wurden für die Hauptfahrbahn sowie für die Ein- und Ausfahrtsrampen die Fahrverhaltensparameter, welche im Zuge des Forschungsprojekts „ODIMAK“ (Projektleitung: IKK Kribernegg-Kaufmann ZT-GmbH) ermittelt wurden, übernommen. Diese Parameter gelten für das Fahrzeugfolgemodell Wiedemann 99. Da bei diesem Projekt für die Kalibrierung der Verhaltensdaten die A23 (Südosttangente im Bereich des Praters) herangezogen wurde, sollten die Ergebnisse für das vorliegende Beispiel gut passen. Die genauen Werte der Folge- sowie Fahrstreifenwechselfparameter lassen sich Tabelle 5 und Tabelle 6 entnehmen.

Tabelle 5: Folgeparameter Hauptfahrbahn [ODIMAK, 2014]

Kategorie	Parameter	LÄNGS
Vorausschauweite	Minimal in Meter	0,00 m
	Maximal in Meter	250 m
	Anzahl der Vorderfahrzeuge	2
Zurückschauweite	Minimal in Meter	0,00 m
	Maximal in Meter	150,00 m
Vorübergehende Unaufmerksamkeit	Dauer	1,00 s
	Wahrscheinlichkeit	0,20 %
Fahrzeug- folgemodell: Wiedemann 99	CC0 (Stillstandsabstand)	0,80
	CC1 (Folgeabstand)	0,80
	CC2 (Längs-Oszillation)	4,00
	CC3 (Wahrnehmungsschwelle)	-5,00
	CC4 (negative Geschwindigkeitsdifferenz)	-0,30
	CC5 (positive Geschwindigkeitsdifferenz)	0,30
	CC6 (Einfluss Geschwindigkeit auf Oszillation)	11,44
	CC7 (Beschleunigung bei Oszillation)	0,25
	CC8 (Beschleunigung aus Stillstand)	2,75
	CC9 (Beschleunigung bei 80 km/h)	1,50

Tabelle 6: Fahrstreifenwechselfparameter Hauptfahrbahn [ODIMAK, 2014]

		QUER
Fahrstreifenwechselfparameter Pkw		
Grundverhalten	Rechtsfahrgebot / freie Fahrstreifenwahl	Freie Wahl
	kooperatives Fahrstreifenwechselfverhalten	Ja
	kooperativ: Geschwindigkeit	10,80 km/h
	kooperativ: Kollisionszeit	10,00 s
Notwendiger Fahrstreifenwechsel (Grund: Route)	eigene maximale Verzögerung	-2,50 m/s²
	eigene Verzögerungsänderung pro 1 m/s ²	300,00 m
	eigene akzeptierte Verzögerung	-1,50 m/s ²
	maximale Verzögerung des Folgefahrzeugs	-2,25 m/s²
	Verzögerungsänderung des Folgefahrzeugs	300,00 m
	akzeptierte Verzögerung des Folgefahrzeugs	-1,00 m/s ²
Freier Fahrstreifenwechsel (Grund: mehr Platz, höhere Geschwindigkeit)	Wartezeit bis zur Diffusion	60,00 s
	minimale Nettoweglücke (vorne/hinten)	2,00 m
	auf langsamem Fahrstreifen bei freier Fahrt für mind.	-
	Faktor für reduzierten Sicherheitsabstand	0,40
	Maximalverzögerung kooperatives Bremsen	-7,00 m/s ²
	Langsamfahrbereiche überholen	nein
Fahrstreifenwechselfparameter Lkw		
Grundverhalten	Rechtsfahrgebot / freie Fahrstreifenwahl	Rechts
	kooperatives Fahrstreifenwechselfverhalten	Nein
	kooperativ: Geschwindigkeit	-
	kooperativ: Kollisionszeit	-
Notwendiger Fahrstreifenwechsel (Grund: Route)	eigene maximale Verzögerung	-1,75 m/s²
	eigene Verzögerungsänderung pro 1 m/s ²	300,00 m
	eigene akzeptierte Verzögerung	-1,00 m/s ²
	maximale Verzögerung des Folgefahrzeugs	-1,50 m/s²
	Verzögerungsänderung des Folgefahrzeugs	300,00 m
	akzeptierte Verzögerung des Folgefahrzeugs	-0,50 m/s ²
Freier Fahrstreifenwechsel (Grund: mehr Platz, höhere Geschwindigkeit)	Wartezeit bis zur Diffusion	60,00 s
	minimale Nettoweglücke (vorne/hinten)	4,00 m
	auf langsamem Fahrstreifen bei freier Fahrt für mind.	1,00 s
	Faktor für reduzierten Sicherheitsabstand	0,60
	Maximalverzögerung kooperatives Bremsen	-7,00 m/s ²
	Langsamfahrbereiche überholen	nein

Dem untergeordneten Straßennetz wurde der in VISSIM standardmäßig vorhandene Streckenverhaltenstyp „Innerorts (motorisiert)“ zugewiesen. Diesem liegt das Fahrzeugfolgmodell Wiedemann 74 zugrunde.

Fahrzeugzuflüsse

Zur Festlegung der Fahrzeugzuflüsse standen für die Hauptfahrbahn und die Rampen Zählraten vom 09.07.2013 bis zum 08.07.2014 zur Verfügung (siehe Tabelle 55 bis Tabelle 60 im Anhang). Auch für die vier Knoten im untergeordneten Netz waren Zählraten verfügbar, diese stammen jedoch aus dem Jahr 2011, wobei die Zählung nur am 02.02. von 06:00 bis 18:00 durchgeführt wurde. Aufgrund dieser Diskrepanz wurde zunächst die Verkehrsstärke einer Stunde einer der beiden Hauptfahrbahnen als Referenzwert ausgewählt. Als Referenzstunde wurde die Stunde mit der 150-stärksten Belastung der Hauptfahrbahn in Richtung Hirschstetten festgelegt. Die Stunde mit der 150-höchsten Belastung im betrachteten Jahr wurde an einem Dienstag um 15:00 gemessen. Insgesamt wurden vier Stunden exklusive eines zehnminütigen Vorlaufs simuliert, wobei die zwei der Referenzstunde vorangehenden Stunden und die auf diese darauffolgende Stunde miteinbezogen wurden. Für den Zufluss auf der Hauptfahrbahn in Richtung Inzersdorf wurden die dazugehörigen Verkehrsstärken an demselben Tag zu derselben Uhrzeit festgesetzt.

Da die Zählraten für das untergeordnete Netz aus einem anderen Jahr stammen als jene für die Hauptfahrbahn und die Rampen, wurde diese Daten lediglich dazu verwendet, die relativen Belastungen der einzelnen Fahrzeugrouten zu bestimmen. Die Anzahl der Fahrzeuge, welche ins untergeordnete Straßennetz eingespeist wurde, wurde so gewählt, dass die daraus resultierenden Verkehrsstärken auf den beiden Einfahrtsrampen in etwa mit den im vierstündigen Referenzzeitraum gemessenen Belastungen auf diesen Rampen übereinstimmen. Eine Simulation der in der Realität vorhandenen Linienbusse erfolgte nicht. Fahrzeuge, welche am Straßenrand parken, wurden im Simulationsmodell ebenfalls nicht berücksichtigt.

Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen die Belastungswerte der beiden Richtungsfahrbahnen jeweils vor der Ausfahrtsrampe über den gewählten Zeitraum.

Tabelle 7: Verkehrsstärken Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten

Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten		
Simulationssekunde	Pkw	Lkw
0-600	5074	614
600-4200	5074	614
4200-7800	5979	565
7800-11400	7360	443
11400-15000	7258	411

Tabelle 8: Verkehrsstärken Hauptfahrbahn Richtung Inzersdorf

Hauptfahrbahn Richtung Inzersdorf		
Simulationssekunde	Pkw	Lkw
0-600	4425	713
600-4200	4425	713
4200-7800	4832	684
7800-11400	5400	643
11400-15000	5863	616

Parameter „Einordnen“ für Routenentscheidungen

Um den Ausfädelungsvorgang zu verbessern, wurde bei den beiden Verbindungsstrecken, welche die Hauptfahrbahnen mit den jeweiligen Ausfahrtsrampen verbinden, der Wert für die Entfernung vor der Verbindungsstrecke, ab der diejenigen Fahrzeuge, deren Route über diese Verbindungsstrecke führt, versuchen, den Fahrstreifen zu wählen, auf welchem sie ohne Fahrstreifenwechsel die Verbindungsstrecke erreichen, [PTV, 2012] vom Standardwert von 200 m auf 800 m hinaufgesetzt. Der positive Effekt der Erhöhung dieses Wertes lässt sich allerdings schon ab 600 m beobachten. Da angenommen werden kann, dass die Anschlussstelle Handelskai überwiegend ortskundige Fahrer nutzen, ist es realistisch, hier eine größere Distanz zu wählen. Diese Maßnahme hat einen starken positiven Einfluss auf den Verkehrsfluss in den Ausfädelungsbereichen und führt in Folge zu einer deutlichen Verringerung der durch SSAM berechneten Konflikanzahl. Abbildung 33 zeigt den Bereich vor der Ausfahrtsrampe Richtung Hirschstetten mit der Standardentfernung von 200 m, bei Abbildung 34 ist die verbesserte Variante mit der Entfernung von 800 m zum selben Simulationszeitpunkt ersichtlich. Die unterschiedlichen Farben der Fahrzeuge zeigen dabei ihren aktuellen Zustand an (siehe Tabelle 61 im Anhang). Bei der Variante mit dem Standardwert ordnen sich die Fahrzeuge, welche auf der Ausfahrtsrampe abfahren möchten, viel zu spät am rechten Fahrstreifen und anschließend am Verzögerungstreifen ein, was dazu führt, dass aufgrund von wartenden Fahrzeugen, welche einzelne Fahrstreifen blockieren, Staus entstehen und einige Fahrzeuge kollidieren.

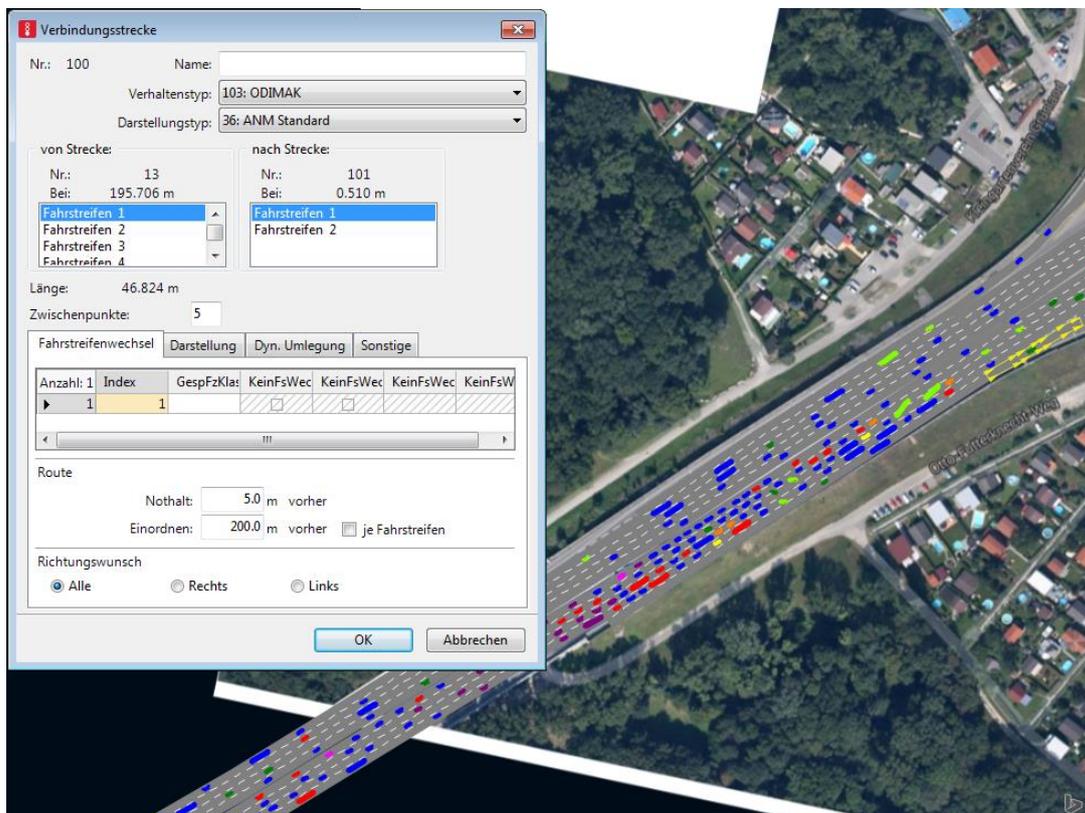


Abbildung 33: Ausfädelungsbereich Richtung Hirschstetten mit einer Entfernung für die Routenentscheidung von 200 m

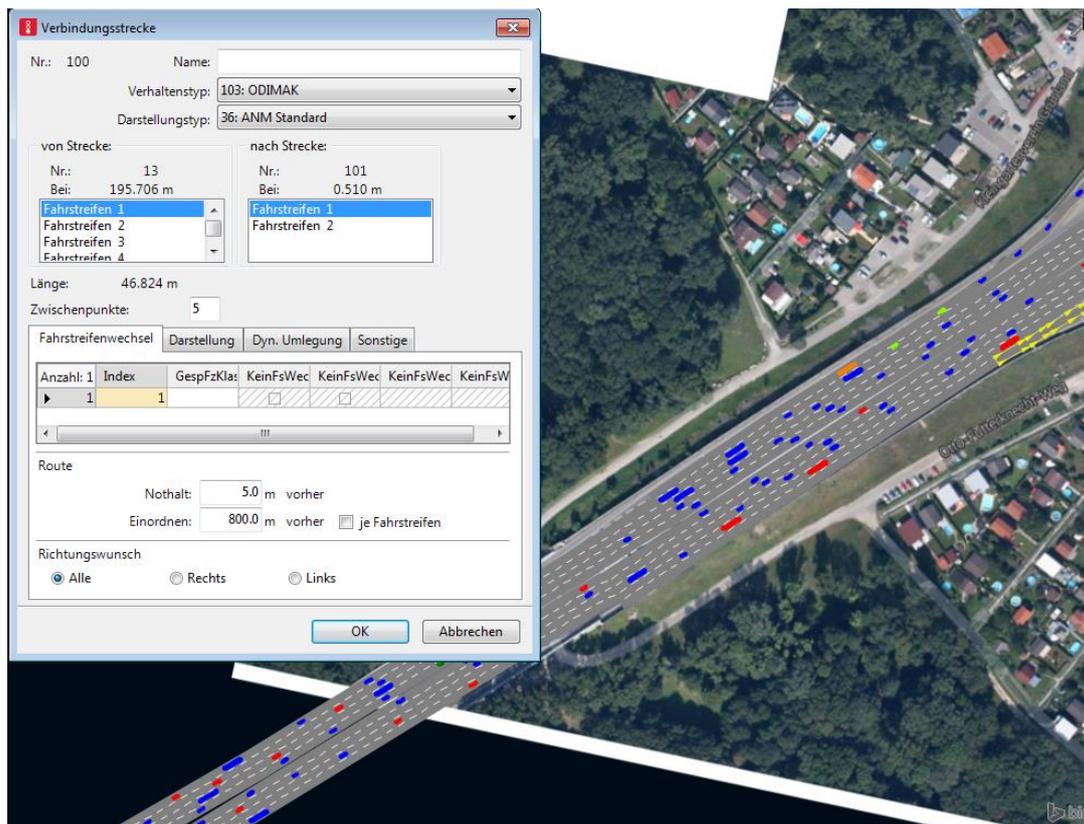


Abbildung 34: Ausfädelungsbereich Richtung Hirschstetten mit einer Entfernung für die Routenentscheidung von 800 m (verbesserte Version)

Z-Versatz

Da die Hauptfahrbahn der Anschlussstelle Handelskai teilweise als Brücke über das untergeordnete Straßennetz führt, befinden sich diese Strecken im Simulationsmodell in VISSIM auf derselben Höhe und werden von SSAM als Crossing-Konflikte erkannt. Es wurde die Überlegung angestellt, ob SSAM lediglich Konflikte zweidimensionaler Modelle erkennen könne, oder ob ein „z-Versatz“ (also die Zuordnung anderer Höhenkoordinaten für die Brücke als für das untergeordnete Straßennetz) der betreffenden höherliegenden Strecken im Simulationsmodell dazu führen könnte, dass bei jenen Bereichen von SSAM keine Konflikte erkannt werden. Tests haben ergeben, dass SSAM, auch wenn Strecken einen z-Versatz aufweisen, die gleichen Konflikte ausgibt, obwohl die Fahrzeuge in einem dreidimensionalen Modell nicht mehr kollidieren. Mit SSAM werden dementsprechend nur zweidimensionale Trajektorien abgebildet.

Um anschließend die Analyse der Verkehrssicherheit an der Anschlussstelle Handelskai durchführen zu können, mussten die betroffenen sich kreuzenden Strecken der Hauptfahrbahn und des untergeordneten Straßennetzes aus den Ergebnissen herausgefiltert werden.

4.2.3 Untersuchungsbereich

Der gesamte Untersuchungsbereich besteht aus sämtlichen simulierten Strecken (siehe Abbildung 32) mit Ausnahme der Wehlstraße und des Handelskais. Es wurden nur die Teilstrecken dieser beiden Straßen in den Untersuchungsbereich miteinbezogen, die direkt an einen der vier

Kreuzungspunkte anschließen. Neben der Betrachtung der gesamten Anschlussstelle samt Teilen des anschließenden untergeordneten Straßennetzes werden jedoch vier Bereiche besonders hervorgehoben. Diese vier Bereiche sind

- die Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz (Strecken 10001 – 10022),
- die Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz (Strecken 30001 – 30014),
- der Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten (Strecken 15 – 19 und 104 – 105) und
- ein Fußgängerübergang im Bereich der Kreuzung Wehlistraße – Unbenannte Gasse 4 (Strecken 40005 und 40012).

Da die beiden vierarmigen sowie die beiden T-Kreuzungen jeweils dasselbe Signalprogramm aufweisen und auch von der Geometrie her annähernd gleich ausgestaltet sind, wird von den zwei unterschiedlichen Kreuzungstypen nur je eine näher betrachtet. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Knotendaten dieser beiden Kreuzungsbereiche samt Fahrstreifenaufteilung:

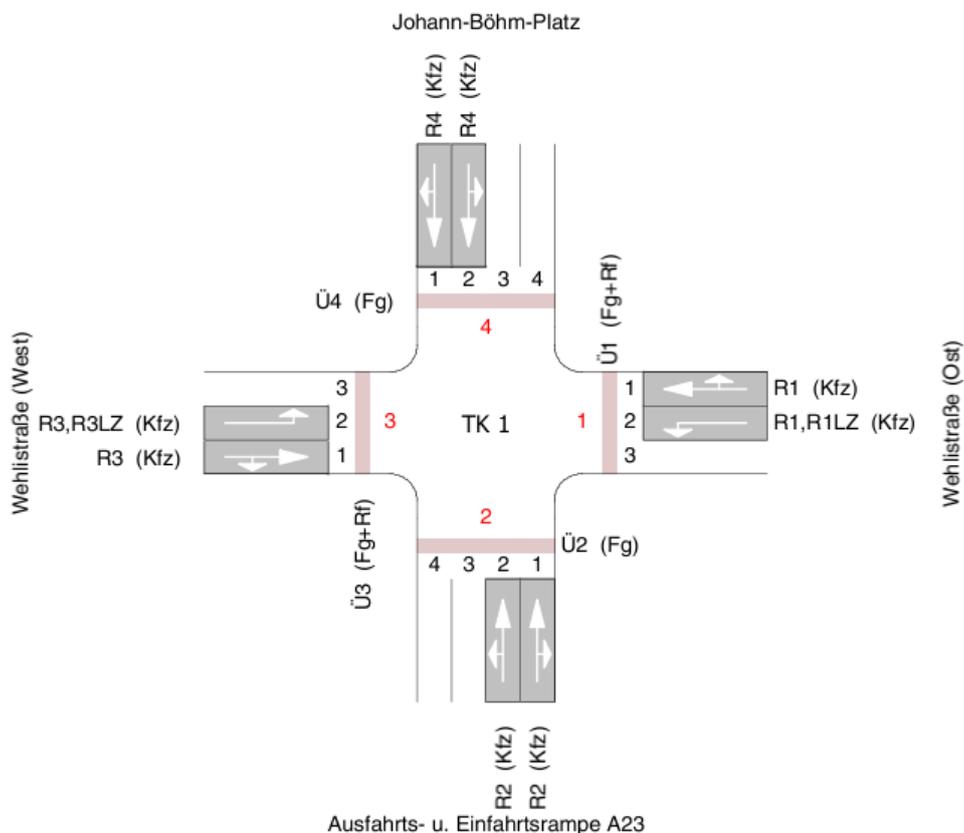


Abbildung 35: Knotendaten Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz

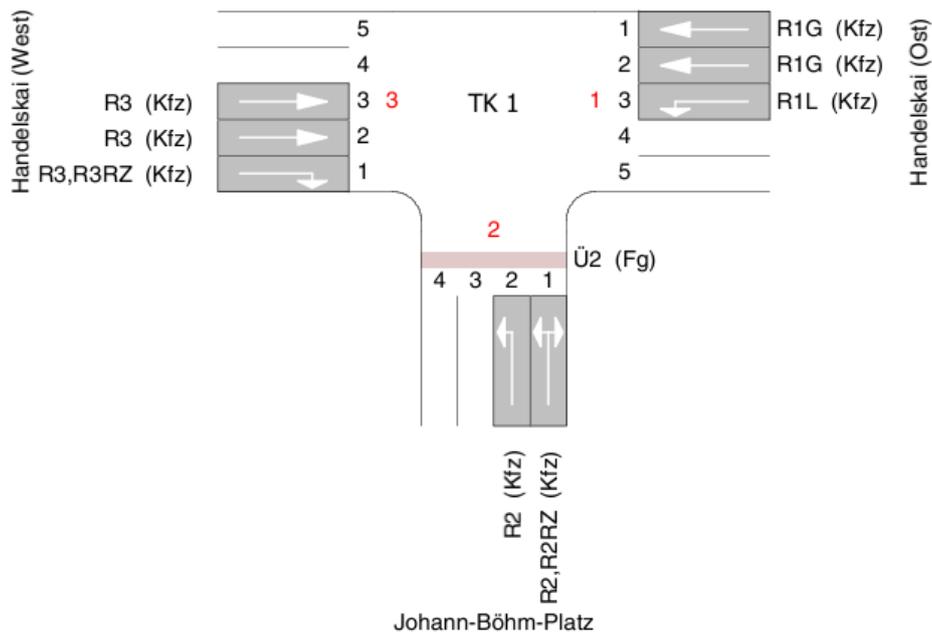


Abbildung 36: Knotendaten Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Die Fußgängerübergänge wurden bis auf die Ausnahme im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Unbenannte Gasse 4 nicht mitmodelliert. Der einzige Fußgängerübergang im Modell weist anders als in der Realität keine Lichtsignalsteuerung auf, sondern der Vorrang der Fußgänger vor den Kfz wurde, wie in Abbildung 37 ersichtlich, mittels einer Konfliktfläche festgelegt. Anhand dieses Fußgängerübergangs soll getestet werden, ob SSAM Konflikte von Kfz mit Fußgängern berücksichtigt.

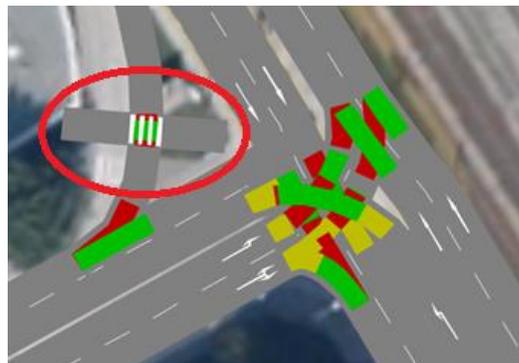


Abbildung 37: Fußgängerübergang im Simulationsmodell

4.2.4 Konfliktanalyse des Gesamtbereichs

Bevor die in Kapitel 4.2.3 erwähnten Bereiche näher betrachtet werden, erfolgt eine Konfliktanalyse des Gesamtbereichs. Diese gliedert sich wie auch die folgenden Abschnitte in die Unterpunkte Erwartung und Einschätzung der Konfliktsituation sowie Auswertung mit SSAM.

Erwartung und Einschätzung

Erwartungsgemäß sollten bei den Einfädelungs- bzw. Ausfädelungsbereichen auf den beiden Richtungsfahrbahnen der Hauptfahrbahn die meisten Konflikte festgestellt werden. Diese Konflikte sollten hauptsächlich vom Typ Lane Change sein. Darüber hinaus sind aufgrund der höheren Verkehrsbelastung auf der Fahrbahn Richtung Hirschstetten mehr Konflikte zu erwarten. Durch die Belastungsverhältnisse ist des Weiteren zu erwarten, dass auf der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz mehr Konflikte auftreten als bei der Kreuzung Wehlistraße – Unbenannte-Gasse 4.

Laut den vorhandenen Unfallstatistiken des Jahres 2012 sind auf den Ein- und Ausfahrtsrampen keine Verkehrsunfälle mit Personenschaden aufgetreten. Mögliche Konflikte, die hier jedoch auftreten können sind

- Konflikte der Konfliktypenuntergruppen 13 und 14 (Konflikte beim Hintereinanderfahren mit fahrendem/stehendem Kfz)
- Konflikte der Konfliktypenuntergruppe 18 (Konflikte durch Einordnen von links)
 - durch Fahrbahnverengung auf der Einfahrtsrampe Richtung Inzersdorf
- Konflikte der Konfliktypenuntergruppe 12 (Konflikte durch Fahrstreifenwechsel)
 - durch zweistreifige Rampenfahrbahnen der Tangentialrampen

Dass Konflikte der Untergruppe 14 vermehrt auftreten, wird vermutet, da sich aufgrund der hohen Verkehrsstärken am Ende eines jeden Simulationslaufes ein Rückstau der Fahrzeuge von der Kreuzung Wehlistraße – Unbenannte Gasse 4 bis auf die Ausfahrtsrampe Richtung Hirschstetten ergibt.

Alle auf der Rampe erwartbaren Konflikte sind der Konfliktypenobergruppe 1 zuzuordnen. Überholkonflikte werden auf den Rampen nicht erwartet. Auch werden auf der Einfahrtsrampe Richtung Hirschstetten aufgrund des durch die lichtsignalgesteuerte Kreuzung dosierten Zuflusses sowie des Fehlens einer Fahrbahnverengung oder -verbreiterung keine Konflikte vermutet. Die auf den Rampen erwarteten Konfliktypen werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst:

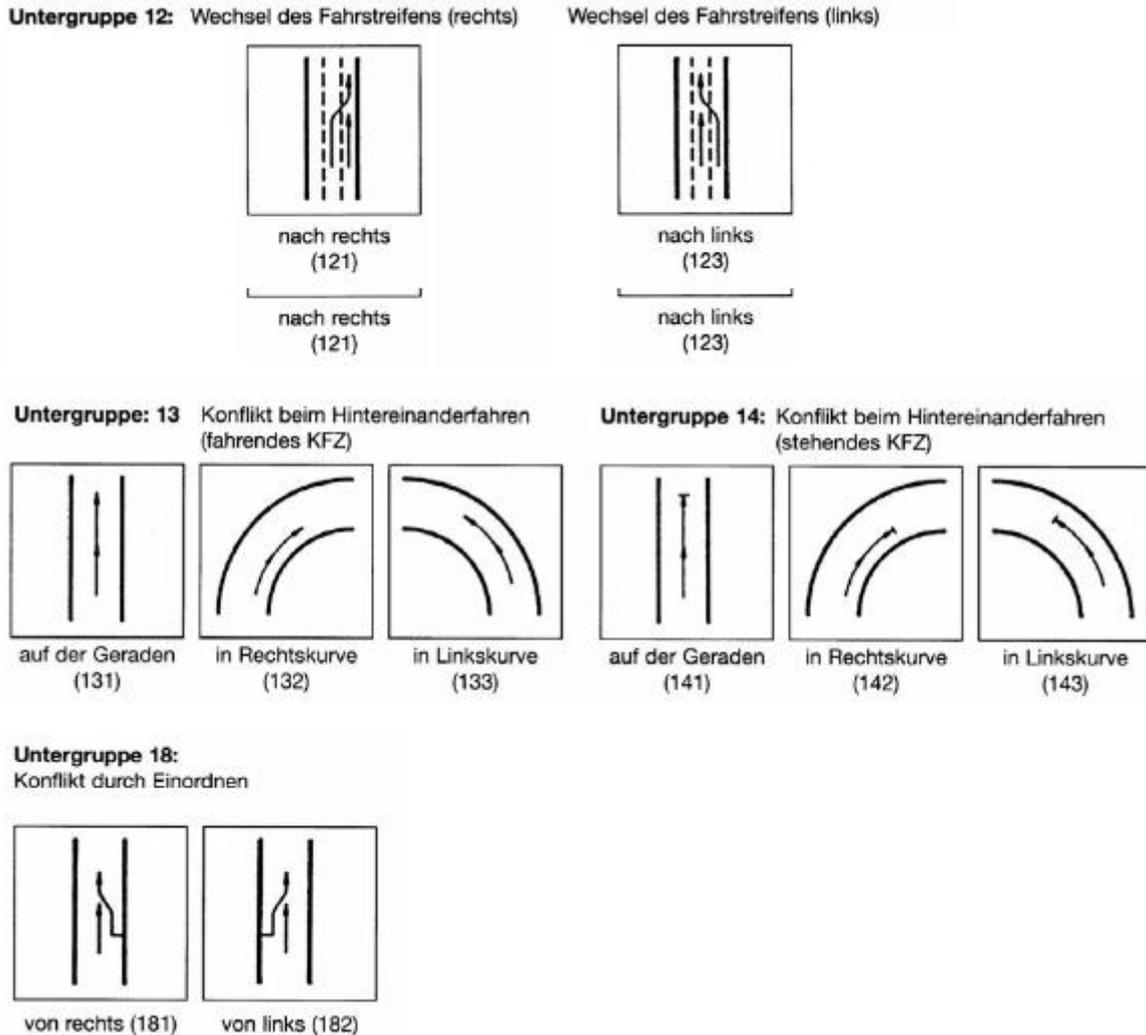


Abbildung 38: Mögliche Konflikte auf den Rampen aus Konflikttypenobergruppe 1

Auswertung mit SSAM

Bei der Auswertung durch SSAM, mit Einbeziehung aller Strecken des Simulationsmodells, wurden 697.629 Konflikte festgestellt, wobei hier auch die in der Realität nicht existierenden Konflikte mit z-Versatz sowie Simulationsfehler miteingehen.

Im ersten Schritt wurde daher wie bereits beim Beispiel Franzosenhausweg das Filtertool angewendet, Konflikte durch Simulationsfehler ($TTC = 0$) und Langsamfahrkonflikte ($MaxS < 4,2 \text{ m/s}$) von den Ergebnissen auszunehmen. Zusätzlich wurden nur jene Strecken ausgewählt, die zum bereits vorgestellten Untersuchungsbereich zählen. Danach ließ sich eine deutlich reduzierte Konflikanzahl von 120.566 verzeichnen. Abbildung 39 zeigt überblicksmäßig den Konfliktlageplan für den gesamten Untersuchungsbereich der Anschlussstelle Handelskai:

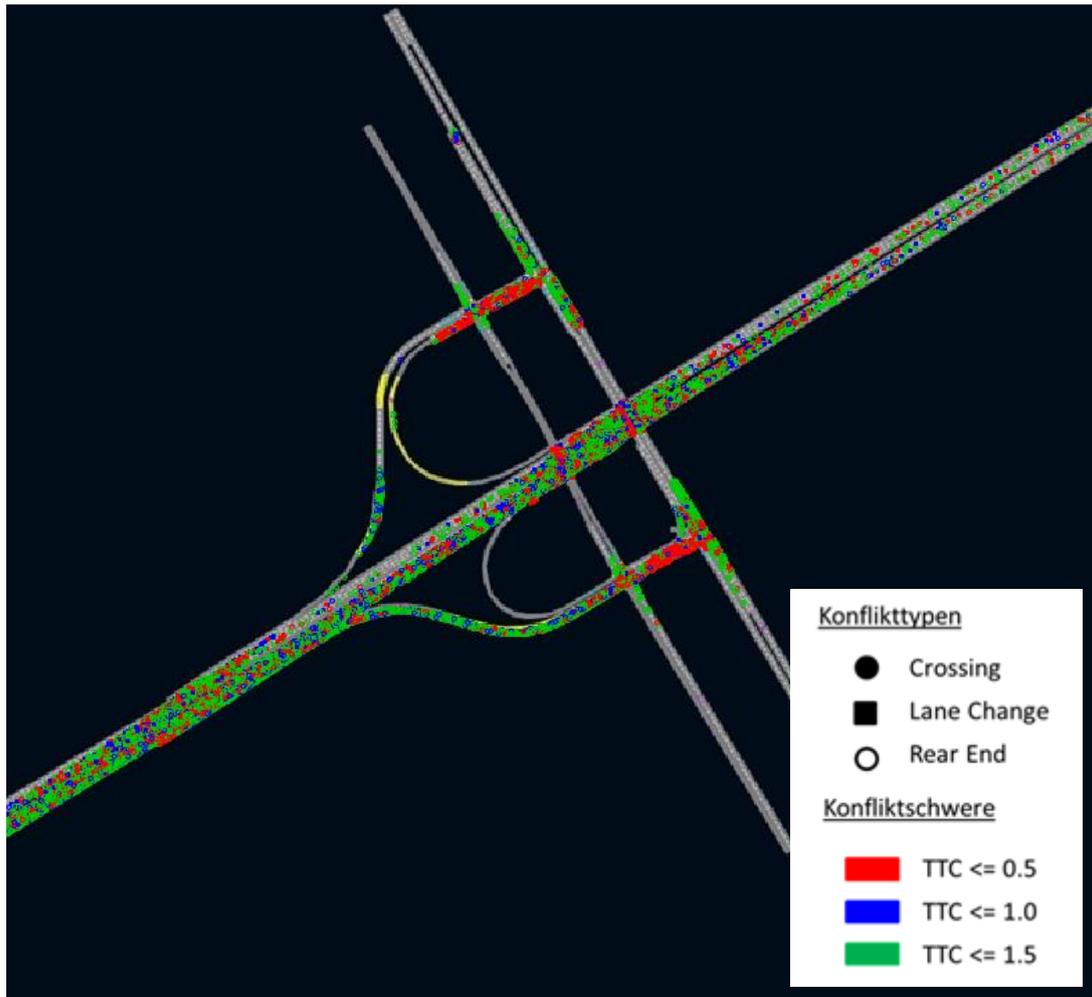


Abbildung 39: Konfliktlageplan für den gesamten Untersuchungsbereich

Aus diesem Lageplan ist ersichtlich, dass die meisten Konflikte auf den beiden Hauptfahrbahnen wie bereits vermutet in den Ausfädelungs- bzw. Einfädelungsbereichen vor den Ausfahrtsrampen bzw. nach den Einfahrtsrampen berechnet wurden. Die Ausgabe der TTC-Schwellenwerte in verschiedenen Farben verrät, dass in den VLSA-Bereichen gehäuft Konflikte mit einer sehr niedrigen TTC ($TTC \leq 0,5$) festgestellt wurden. Darüber hinaus fällt auf, dass sich wie vermutet in etwa im Bereich der zweiten Hälfte der Fahrbahnverengung der Einfahrtsrampe Richtung Inzersdorf vermehrt Konflikte ereignet haben. Auch auf der Ausfahrtsrampe Richtung Hirschstetten wurden vermehrt Konflikte berechnet, was angesichts der Fahrbahnverbreiterung im Anfangsbereich sowie des Rückstaus von der Kreuzung erwartet wurde. Es handelt sich bei den Konflikten auf den Rampen jedoch Großteils um Konflikte mit einer TTC zwischen 1 Sekunde und 1,5 Sekunden. Des Weiteren scheinen auf der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten mehr Konflikte vorzuliegen als auf der Gegenfahrbahn Richtung Inzersdorf. Es kann daher eine positive Korrelation zwischen Verkehrsstärke und Konflikttanzahl festgestellt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass in dieser Abbildung alle 120.566 Konflikte verzeichnet sind, fällt es jedoch wegen der sich daraus ergebenden Unübersichtlichkeit schwer, weitere Aussagen zu tätigen. Insbesondere ist es nicht möglich zu erkennen, um welche Konflikttypen es sich im Speziellen handelt. Daher werden einzelne bereits genannte Bereiche im Folgenden genauer betrachtet.

4.2.5 Einschätzungen und Konfliktanalyse von VLSA-gesteuerten Knotenpunkten

In diesem Abschnitt erfolgt die Betrachtung zweier VLSA-gesteuerter Knotenpunkte. Beide dieser Knotenpunkte befinden sich im untergeordneten Straßennetz, welches an die Anschlussstelle Handelskai anschließt.

4.2.5.1 Einschätzung und Einzeltrajektorienauswertung Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz

Die erste Kreuzung, die analysiert wird, ist die vierarmige Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz, welche direkt auf die Ausfahrtsrampe der Anschlussstelle Handelskai Richtung Inzersdorf folgt.

Erwartung und Einschätzung

Bei Betrachtung der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz lassen sich trotz Lichtsignalsteuerung Konfliktpunkte erkennen. Diese Konfliktpunkte entstehen dadurch, dass sowohl der von Strecke 2 kommende Fahrzeugstrom als auch der von Strecke 4 kommende Fahrzeugstrom in der gleichen Phase geschaltet sind (Abbildung 40).

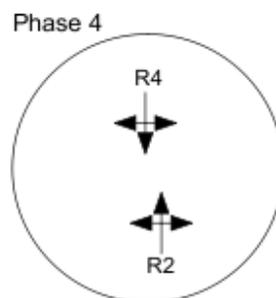


Abbildung 40: Phase 4 des Signalprogramms Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz

Dies führt dazu, dass die Linksabbieger dieser beiden Fahrzeugströme jeweils bedingt verträglich mit den geradeausfahrenden Fahrzeugen geführt werden. Dadurch ist es möglich, dass die Trajektorien von Fahrzeugen beider Ströme zum selben Zeitpunkt bzw. knapp aufeinanderfolgend dieselben Koordinaten aufweisen, was zu vier Konfliktpunkten führt.

Weitere Konflikte, die zwischen den Fahrzeugströmen aus den Richtungen 2 und 4 auftreten können, sind solche, bei denen zwei Fahrzeuge gleichzeitig auf denselben Fahrstreifen abbiegen. Abbildung 41 zeigt die sich dadurch ergebenden Konfliktpunkte. Im anschließenden Teil dieses Abschnitts soll aufgelistet werden, welche Konflikttypen gemäß der RVS aufgrund dieser bedingt verträglich geführten Fahrzeugströme und darüber hinaus erwartet werden.

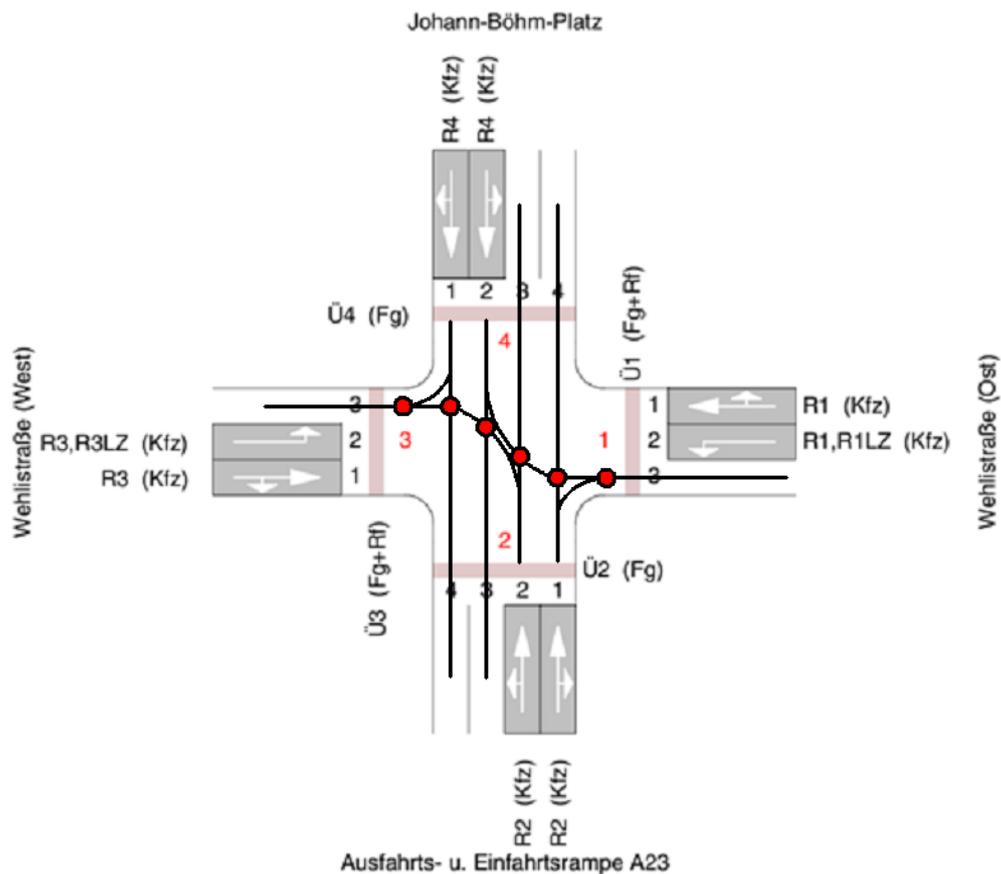


Abbildung 41: Konfliktpunkte Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

a) Konflikte beim Abbiegen – entgegengesetzte Richtung

SSAM sollte in diesem Kreuzungsbereich überwiegend Crossing-Konflikte zwischen den Fahrzeugströmen aus den Richtungen 2 und 4 erkennen, welche wiederum den Untergruppen 41 und 42 der Konflikttypenobergruppe 4 zugeordnet werden. Dass Konflikte der Untergruppe 41 gehäuft auftreten, lässt sich auch durch die Aufzeichnung der Unfalldaten belegen (siehe die entsprechenden Unfalltypengruppen 411 sowie 461). Auch Untergruppe 43 könnte auftreten, diese sollten von SSAM aufgrund des Konfliktwinkels jedoch eher dem Typ Lane Change zugeordnet werden.

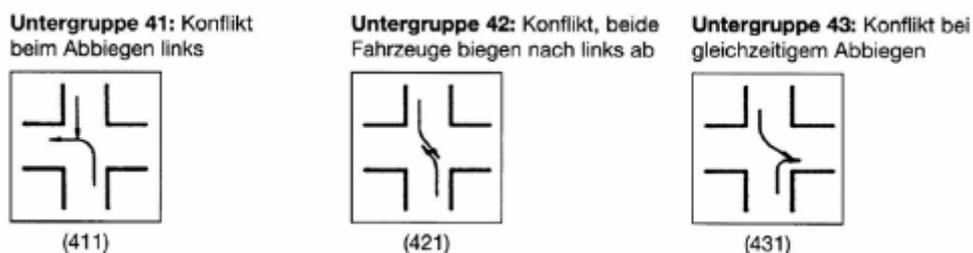


Abbildung 42: Mögliche Konflikte Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 4 [FSV, 2014]

b) Konflikte beim Abbiegen - richtungsgleich

Neben Abbiegekonflikten mit aus der entgegengesetzten Richtung kommenden Fahrzeugen könnten hier auch solche auftreten, die richtungsgleich sind. Diese werden in der Konflikttypenobergruppe 3 zusammengefasst. Nicht relevant sind in diesem Kreuzungsbereich jedoch Konflikte gleichzeitiger Links- bzw. Rechtsabbieger und solche, bei denen ein Fahrzeug aus dem rechten Fahrstreifen links abbiegt bzw. aus dem zweiten Fahrstreifen rechts abbiegt, da die Abbiegemöglichkeit hier lediglich auf dem linken bzw. rechten Fahrstreifen besteht. Auch Konflikte beim Umkehren können hier nicht auftreten, da Umkehrmöglichkeiten nicht modelliert wurden. An diesen Konflikten sind jeweils nur Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms beteiligt.

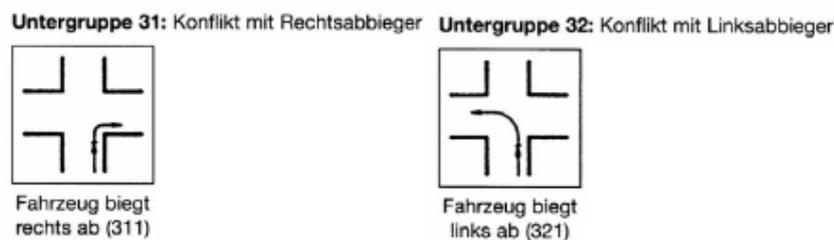


Abbildung 43: Mögliche Konflikte Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 3 [FSV, 2014]

c) Konflikte im Richtungsverkehr

Darüber hinaus sollte SSAM auch Rear-End-Konflikte berechnen, da sich im Kreuzungsbereich auch Konflikte innerhalb ein und desselben Fahrzeugstroms ereignen können. Diese treten auf, wenn sich ein Fahrzeug im Kreuzungsbereich entweder an ein fahrendes oder an ein stehendes Fahrzeug annähert. Diese beiden Konflikttypen sind wiederum der Konflikttypenobergruppe 1 (Konflikte im Richtungsverkehr) zuzuordnen. Es sind dies Konflikte der Untergruppe 15 sowie 16. Auch aus den Unfalldaten lässt sich entnehmen, dass vermehrt Unfälle der Unfalltypengruppe 151 verzeichnet wurden, welche den Konflikten der Untergruppe 15 entsprechen. Betreffend Konflikttypenobergruppe 1 ist außerdem zu erwarten, dass Konflikte der Untergruppe 12 auftreten. Konflikte beim Wechsel des Fahrstreifens sind insbesondere auf den Strecken zu erwarten, welche zum Kreuzungsbereich führen und auf denen sich die Fahrzeuge auf den für ihre individuelle Routenentscheidung maßgeblichen Fahrstreifen einordnen müssen. Diese Konflikte sollten von SSAM dem Typ Lane Change zugeordnet werden. Auch an diesen Konflikten sind jeweils nur Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms beteiligt. Die Konflikte dieser Gruppe sind im Folgenden dargestellt:

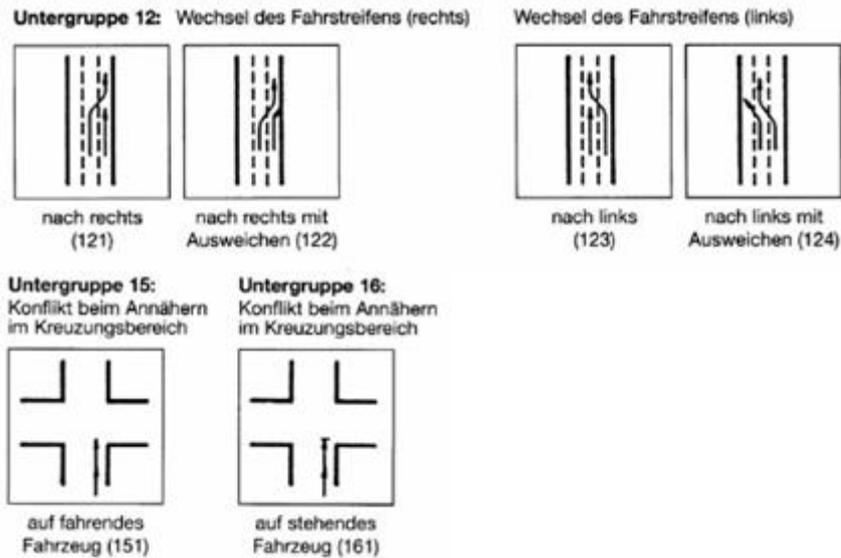


Abbildung 44: Mögliche Konflikte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 1 [FSV, 2014]

d) Rechtwinkelige Konflikte beim Queren auf Kreuzungen

Bei Betrachtung der Unfalldaten der Jahre 2008 – 2010 bzw. 2009 – 2011 kann außerdem festgehalten werden, dass sich Unfälle ereigneten, die der Konflikttypenobergruppe 5 entsprechen. Diese bezeichnen rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Queren. Solche Konflikte sollten durch den Einsatz von Lichtsignalsteuerungen eigentlich verhindert werden, können sich aber durch Unachtsamkeit zutragen oder wenn die Zwischenzeiten (Überfahrzeit + Räumzeit - Einfahrzeit) nicht ausreichen, dass sich die Fahrzeuge des räumenden Verkehrsstroms nicht mehr im Kreuzungsbereich befinden, wenn die Grünzeit des einfahrenden Verkehrsstroms beginnt. Dies kann bei einem Stau auf dem Fahrstreifen des räumenden Verkehrsstroms der Fall sein. Fahrzeuge können solche Konflikte jeweils mit Fahrzeugen des benachbarten Fahrzeugstroms haben. Abbildung 45 zeigt die Untergruppe 51.

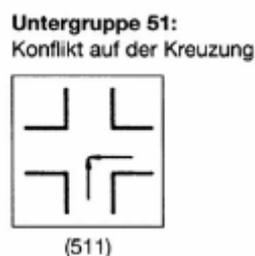


Abbildung 45: Mögliche Konflikte Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 5 [FSV, 2014]

Auswertung mit SSAM

Um sich einen ersten Überblick über die Konfliktsituation zu verschaffen, soll zunächst ein Ausschnitt des Konfliktlageplans, welcher nur die Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz miteinbezieht und sämtliche dort berechnete Konflikte enthält, betrachtet werden.



Abbildung 46: Konfliktlageplan Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz: alle Konflikttypen

Wie bereits vermutet, wurden innerhalb der Kreuzung hauptsächlich Crossing-Konflikte festgestellt. Auf den zur Kreuzung führenden Fahrbahnen wurden hingegen Lane-Change- sowie Rear-End-Konflikte berechnet. Es fällt auf, dass auf der Wehlistraße deutlich weniger Konflikte aufgetreten sind als auf der Ausfahrtsrampe der A23 sowie dem Johann-Böhm-Platz. Dies dürfte auf die höheren Verkehrsstärken auf diesen Strecken zurückzuführen sein. Auf diesen Strecken ereigneten sich auch die Konflikte mit den geringsten TTC-Werten. Aus Tabelle 7 ist die Zusammenfassung der Konfliktzahlen aller 10 Trajektoriendateien ersichtlich. Tabelle 10 zeigt die dazugehörigen Mittelwerte und Standardabweichungen je Konflikttyp.

Tabelle 9: Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz: Konfliktanzahl und –typen der einzelnen Simulationsläufe

Trajektoriendateien	Total	Crossing	RE	LC
001.trj	517	28	265	224
002.trj	504	21	268	215
003.trj	542	30	270	242
004.trj	570	26	310	234
005.trj	597	37	284	276
006.trj	494	19	259	216
007.trj	537	28	293	216
008.trj	543	23	274	246
009.trj	510	25	273	212
010.trj	497	27	251	219
Gesamt	5311	264	2747	2300

Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konfliktzahlen

Konfliktzahlen	Total	Crossing	RE	LC
Mittelwert	531,1	26,4	274,7	230
Standardabweichung	20,08	17,13	5,04	33,45

Bei Betrachtung dieser Ergebnisse fällt auf, dass annähernd gleich viele Rear-End- wie Lane-Change-Konflikte erkannt wurden und die Crossing-Konflikte die kleinste Gruppe bilden. Dies ist plausibel in Anbetracht der Tatsache, dass die Gesamtfläche, auf der sich in diesem Beispiel Crossing-Konflikte ereignen können, weitaus kleiner ist, als die Fläche jener Strecken, auf denen Lane-Change- sowie Rear-End-Konflikte auftreten können. Des Weiteren sticht hervor, dass sich die Konfliktzahlen der einzelnen Trajektoriendateien nicht stark voneinander unterscheiden. Insbesondere die Standardabweichung der Rear-End-Konflikte ist sehr gering. Dies lässt auf zuverlässige Ergebnisse schließen.

Crossing-Konflikte

Zunächst sollen die Konflikte vom Typ Crossing genauer beleuchtet und überprüft werden, ob sich diese den erwarteten Konflikttypenuntergruppen zuordnen lassen. Vorrangig wurden hier Konflikte beim Linksabbiegen vermutet. Beim Öffnen der Informationsfenster der Konflikte am Konfliktlageplan im SSAM lässt sich anhand der abgebildeten Fahrzeugtrajektorien erkennen, dass es sich bei den Crossing-Konflikten hauptsächlich um Konflikte handelt, bei denen ein geradeausfahrendes Fahrzeug mit einem linksabbiegenden in Konflikt gerät. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel zu einem Crossing-Konflikt. Rechts ist das Simulationsmodell zum Zeitpunkt t_{MinTTC} des Crossing-Konflikts abgebildet.

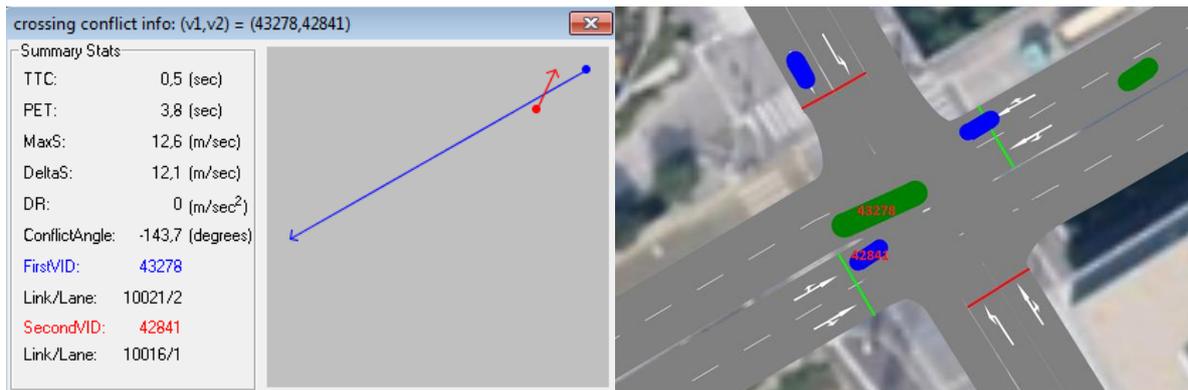


Abbildung 47: Beispiel 1 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Der Konflikt aus Abbildung 47 stellt einen typischen Konflikt der Konflikttypenuntergruppe 41 (Konflikte beim Abbiegen links) dar, wobei der Linksabbieger (zweites Konfliktfahrzeug) aus Richtung 2 kommt. Konflikte dieser Art stellen den hier mit Abstand am häufigsten aufgetretenen Typ von Crossing-Konflikten dar. Daneben weisen sie die niedrigsten TTC-Werte auf und zählen damit zu den Konflikten mit den höchsten Konfliktschweregraden.

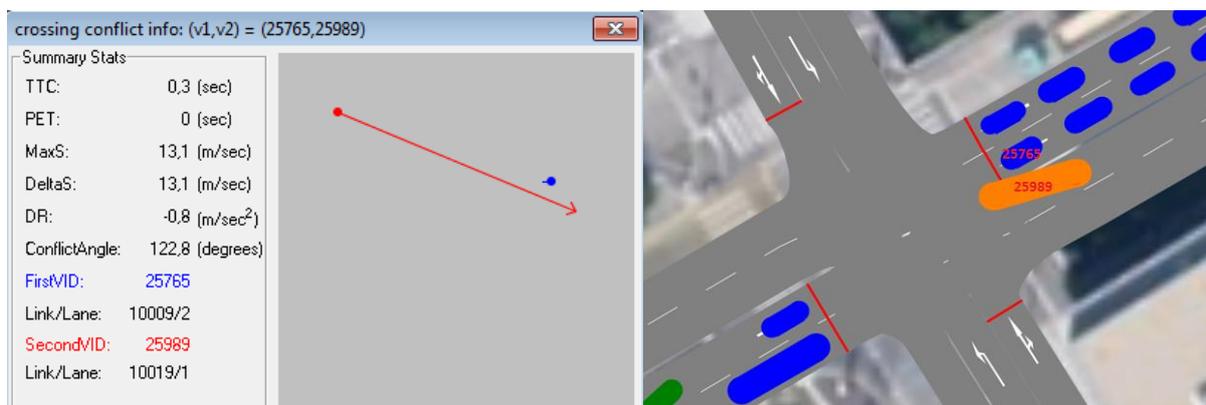


Abbildung 48: Beispiel 2 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Beim Konflikt aus Beispiel 2 ist wiederum ein linksabbiegenderes Fahrzeug beteiligt, jedoch handelt sich hier nicht um einen bedingt verträglichen Linksabbieger, da der linksabbiegende Verkehrsstrom aus Richtung 3 in einer anderen Phase geschaltet ist als der geradeausfahrende Verkehrsstrom aus Richtung 1. Dazu kommt, dass das erste Konfliktfahrzeug ein Fahrzeug des Verkehrsstroms aus Richtung 4 ist, welcher auch in einer anderen Phase freigegeben ist. Anhand der sehr kurzen bzw. fast punktförmigen Trajektorie des ersten Konfliktfahrzeuges lässt sich bereits erkennen, dass sich dieses Fahrzeug während des Zeitpunktes t_{MinTTC} im Stillstand befinden muss. Ein solcher Konflikt wurde auf dieser Strecke nicht erwartet und stellt in der Realität auch kein erhöhtes Verkehrssicherheitsrisiko dar, da der Fahrzeugstrom aus Richtung 4 noch über vier Sekunden lang ein rotes Signal erhält. Das zweite Konfliktfahrzeug hat daher ausreichend Zeit, um den Kreuzungsbereich zu räumen. Konflikte dieser Art wurden von SSAM vermutlich lediglich deshalb

berechnet, weil das Fahrzeug 25989 während der Simulation mit nur knappem Abstand am Fahrzeug 25765 vorbeifährt. Dies führt dem PET-Wert von 0 Sekunden zufolge sogar dazu, dass sich beide Fahrzeuge zum selben Simulationszeitpunkt auf der gemeinsamen Konfliktfläche befinden. Die Ursache solcher Konflikte liegt also einzig bei der Streckenmodellierung im Simulationsmodell. Bei Betrachtung der Abbildung 46 lässt sich aus diesem Grund in besagtem Bereich eine Häufung von Crossing-Konflikten mit einer TTC ≤ 0.5 erkennen.

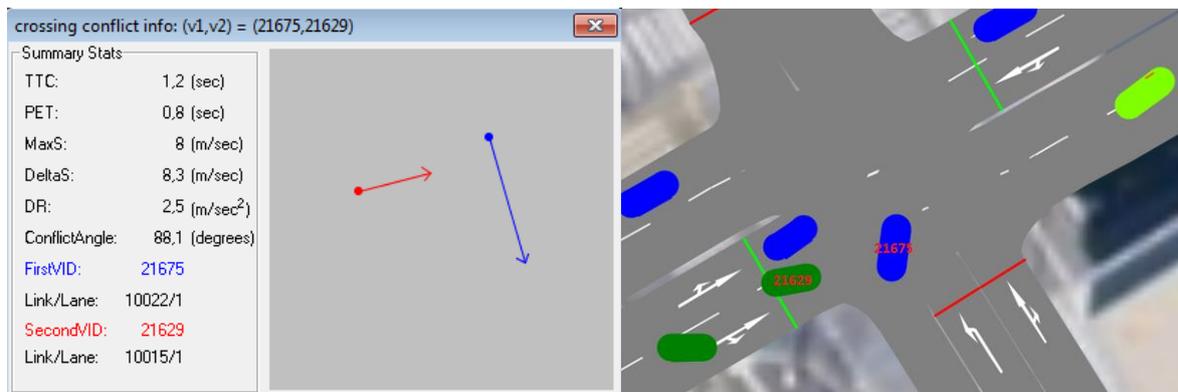


Abbildung 49: Beispiel 3 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Bei Betrachtung der Trajektorien der beiden Konfliktfahrzeuge aus Beispiel 3 könnte davon ausgegangen werden, dass es sich um einen Kreuzungskonflikt (Konflikttypenuntergruppe 51) handelt, wobei das erste Konfliktfahrzeug aus Richtung 3 und das zweite Konfliktfahrzeug aus Richtung 2 kommt. Dies wäre zwar möglich, hinsichtlich der Lichtsignalsteuerung jedoch, außer im Falle eines Staus, nicht plausibel, da die Freigabezeiten dieser beiden Verkehrsströme durch Zwischenzeiten zeitlich voneinander getrennt sind. Der Screenshot aus VISSIM klärt jedoch darüber auf, dass hier abermals ein Konflikt beim Linksabbiegen vorliegt und das erste Konfliktfahrzeug aus Richtung 4 kommt.

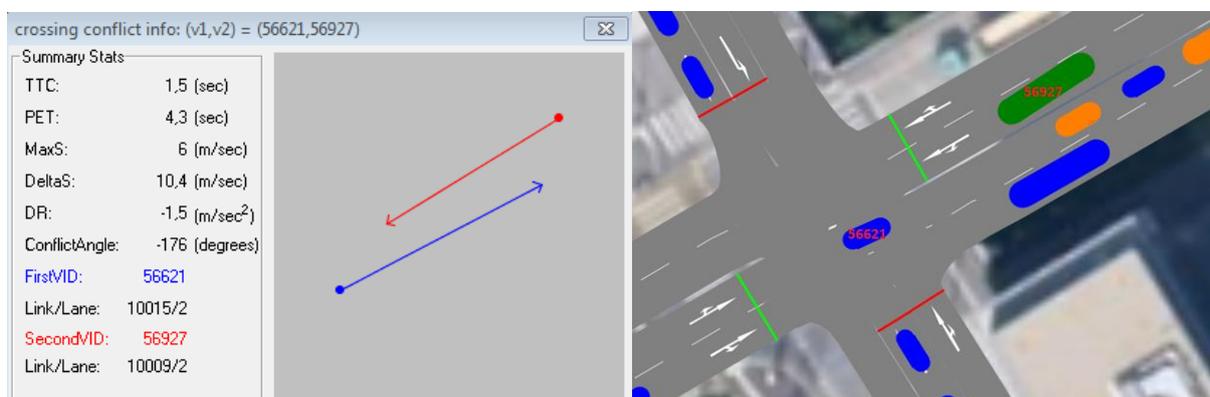


Abbildung 50: Beispiel 4 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Bei einigen Konflikten sehen die Trajektorien der Fahrzeuge zum Zeitpunkt t_{MinTTC} aus wie in Abbildung 50 ersichtlich. Es ist nicht auf den ersten Blick zu erkennen, dass es sich hierbei ebenfalls um einen Konflikt beim Linksabbiegen handelt. Vielmehr scheint es, als liege hier ein Begegnungskonflikt vor, was allerdings, wie bereits erwähnt, anhand dieses Simulationsmodells gar nicht abgebildet werden kann. Bei Betrachtung der Situation kurz nach dem Zeitpunkt t_{MinTTC} in VISSIM, biegt das Fahrzeug mit der ID 56927 (grün) jedoch nach links ab. In Anbetracht des Screenshots aus VISSIM kann die Aussage getätigt werden, dass kein erhöhtes Verkehrssicherheitsrisiko ersichtlich ist. Es stellt sich die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, ein solches Szenario bereits als Konflikt einzustufen, oder ob eine TTC von 1,5 Sekunden im Bereich von Kreuzungen zu hoch angesetzt ist. Konflikte dieser Art weisen stets einen TTC-Wert von 1,5 Sekunden oder geringfügig darunter auf. Es könnte hier die Überlegung angestellt werden, insbesondere in Kreuzungsbereichen Konflikte mit einer TTC, welche so nahe am Schwellenwert von 1,5 Sekunden liegt, generell herauszufiltern, um lediglich für die Verkehrssicherheit tatsächlich relevante Konflikte in die Auswertung miteinfließen zu lassen. Grundsätzlich wäre dieser Konflikt jedoch ebenfalls der Konflikttypenuntergruppe 41 zuzuordnen.

Rear-End-Konflikte

Der zweite Schritt der Untersuchung der Konfliktsituation der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz mit SSAM besteht in der Analyse der Rear-End-Konflikte. Auch für diesen Konflikttyp werden im Folgenden Beispiele gegeben.

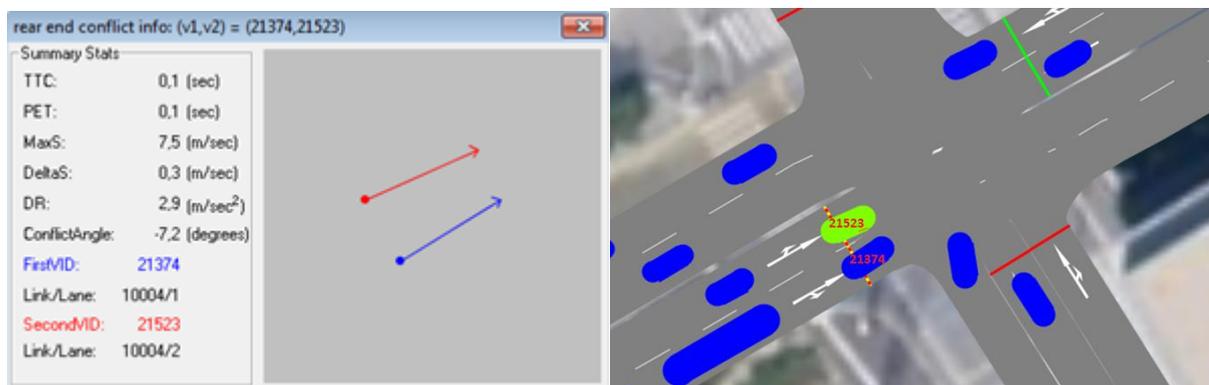


Abbildung 51: Beispiel 1 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Bei diesem Konflikt aus Beispiel 1 wechselt das Fahrzeug 21523 (grün) im Anschluss an t_{MinTTC} den Fahrstreifen, das Fahrzeug 21374 (blau) biegt nach rechts ab. Konflikte dieser Art treten gehäuft auf, sowohl, wie in Abbildung 51 zu sehen, beim Verkehrsstrom aus Richtung 2 als auch beim Verkehrsstrom aus Richtung 4. Die Einteilung als Rear-End-Konflikt scheint hier nicht plausibel. Viel eher sind solche Konflikte der Konflikttypenuntergruppe 12 und somit dem Typ Lane Change zuzuordnen. Da für das SSAM in dem Fall, dass sich die beiden Konfliktfahrzeuge nicht auf derselben Strecke befinden, nur der Konfliktwinkel maßgebend ist, erfolgt jedoch die Klassifizierung als Rear-End-Konflikt. Diese Einteilung könnte also darauf zurückzuführen sein, dass sich die Fahrzeuge zu

Konfliktbeginn auf Strecke 10004 befinden, zu Konfliktende jedoch auf der an diese anschließenden Strecke 10015.

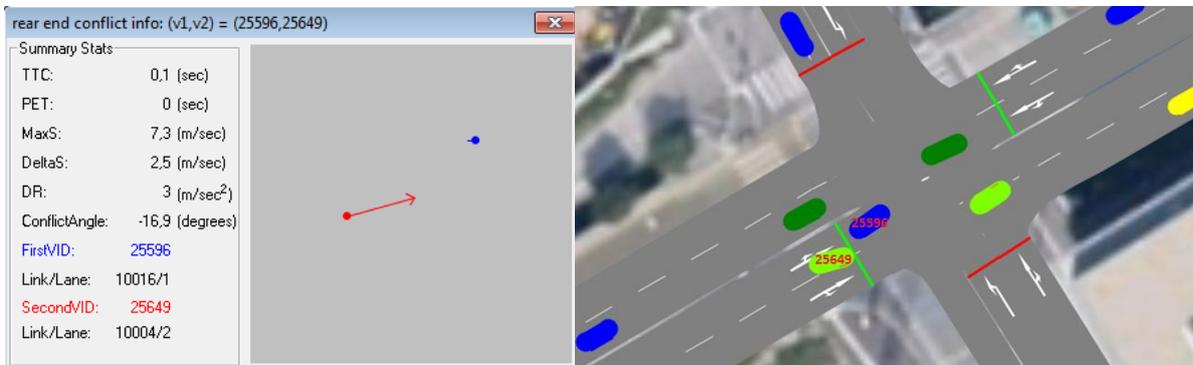


Abbildung 52: Beispiel 2 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Dieser Konflikt ist eindeutig der Konflikttypenuntergruppe 16 zuzuordnen. Wie erwartet hat SSAM eine Vielzahl solcher Konflikte beim Annähern im Kreuzungsbereich erkannt. Fahrzeug 25596 (blau) ist dabei das stehende Fahrzeug, welches eine Zeitlücke abwartet, die groß genug ist, um einen Linksabbiegevorgang durchführen zu können. Fahrzeug 25649 (grün) hat hingegen den Wunsch, geradeauszufahren und wechselt daher auf den rechten freien Fahrstreifen. Da es sich jedoch erst spät entscheidet, diesen Fahrstreifenwechsel durchzuführen (was sich auch an der geringen TTC von 0,1 Sekunden erkennen lässt), fährt es zuvor nah auf das erste Konfliktfahrzeug auf, was dazu führt, dass ein Konflikt berechnet wird. Es kann also festgestellt werden, dass Fahrstreifen, welche gleichzeitig eine Linksabbiege- sowie eine Geradeausfahrmöglichkeit bieten, ein erhöhtes Risiko bergen.

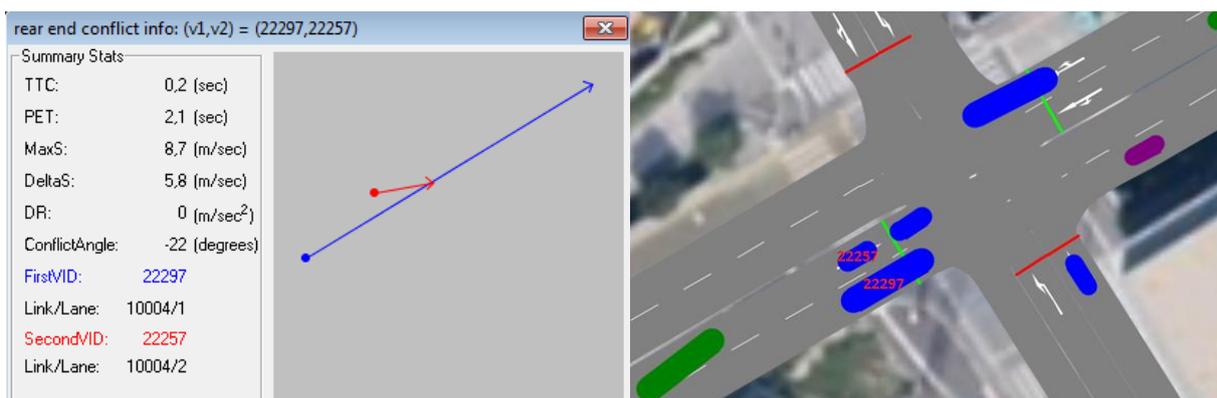


Abbildung 53: Beispiel 3 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Infolge des Fahrstreifenwechsellvorganges aus Abbildung 52 ist es naheliegend, dass sich auch Konflikte des wechselnden Fahrzeuges mit Fahrzeugen auf dem rechten Fahrstreifen ergeben. Diese Konflikte, welche in die Konflikttypenuntergruppe 12 einzuordnen sind, müssten von SSAM allerdings

als Lane-Change-Konflikte qualifiziert worden sein. Beispiel 3 zeigt jedoch einen Konflikt genau dieser Art (Fahrzeug 22257 (Pkw) setzt zum Fahrstreifenwechsel nach rechts an), welcher ebenfalls als Rear-End-Konflikt eingestuft wurde. Auf dem rechten Fahrstreifen der Strecke 10004 findet kurz vor dem Kreuzungsbereich sogar eine Häufung solcher „Rear-End-Konflikte“ statt. Dadurch wird erneut ersichtlich, dass die Einteilung in Lane-Change- und Rear-End-Konflikte durch das SSAM nicht eindeutig ist. Der Konfliktwinkel beträgt zwar 22° , was unter dem Schwellenwert von 30° , der der Abgrenzung zwischen Rear-End- und Lane-Change-Konflikten dient, liegt, die beiden Konfliktfahrzeuge befinden sich jedoch zum Zeitpunkt t_{MinTTC} auf unterschiedlichen Fahrstreifen. Ein Kriterium für die Einteilung als Lane-Change-Konflikt ist wie bereits erwähnt, dass sich eines der beiden Fahrzeuge zu Konfliktende zwar auf derselben Strecke, aber auf einem anderen Fahrstreifen als zu Anfang befindet. Da in der Konflikttabelle des SSAM jedoch immer nur der Fahrstreifen sowie die Strecke des ersten und zweiten Konfliktfahrzeugs zum Zeitpunkt t_{MinTTC} angegeben werden und nicht zu Konfliktbeginn und Konfliktende, kann nicht weiter nachvollzogen werden, warum in diesen Fällen eine Einteilung als Rear-End-Konflikt erfolgt.

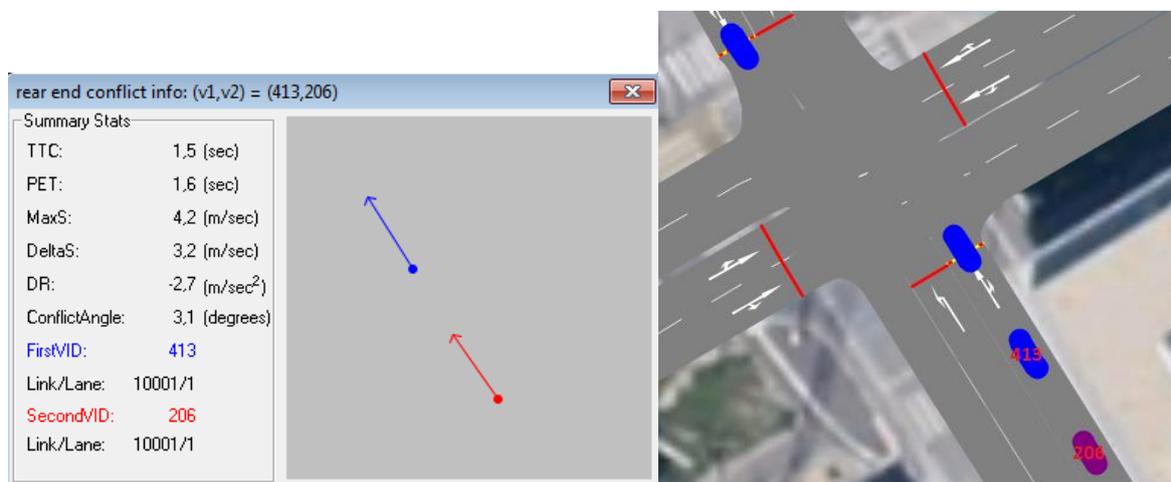


Abbildung 54: Beispiel 4 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Wie aus Abbildung 54 ersichtlich, haben sich wie vermutet auch Konflikte der Konflikttypenuntergruppe 16 ereignet. Diese ergeben sich beim Annähern an ein fahrendes Fahrzeug im Kreuzungsbereich. Die meisten dieser Konflikte weisen jedoch eine TTC um die 1,5 Sekunden auf und finden darüber hinaus mit geringer Geschwindigkeit statt. Sie sind nicht als schwer einzustufen, da die mittleren Reaktionszeiten der Fahrer in der Realität in einer solchen Situation ausreichen würden, um eine Kollision zu verhindern.

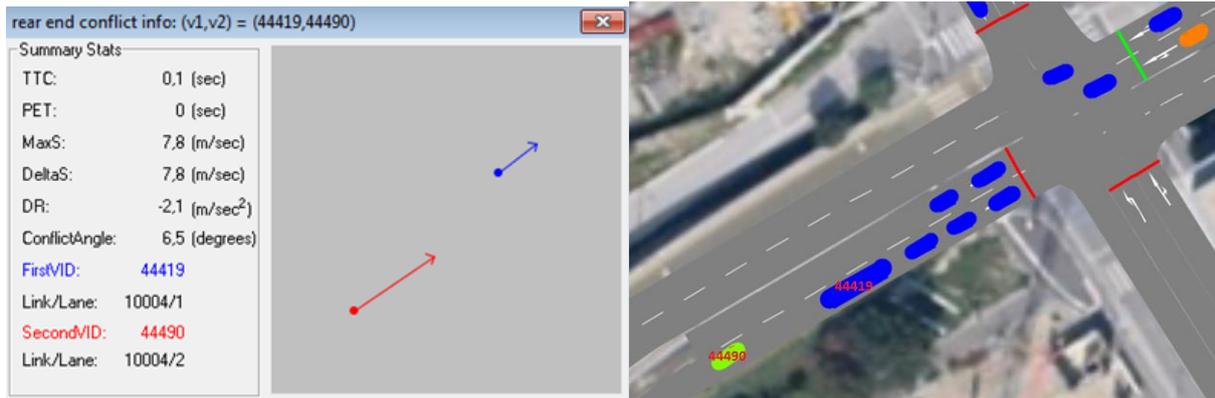


Abbildung 55: Beispiel 5 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Bei Beispiel 5 nähert sich das Fahrzeug 44490 (grün) von der Ausfahrtsrampe aus dem Kreuzungsbereich an. Der Übergang vom übergeordneten ins untergeordnete Straßennetz stellt einen Risikobereich für die Verkehrssicherheit dar. Es ist möglich, dass sich Fahrzeuge mit zu hoher Geschwindigkeit dem Kreuzungsbereich annähern, vor welchem sie aber, wie dieses Beispiel zeigt, halten müssen, da der Signalgeber auf Rot geschaltet ist. Hohe Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Fahrzeugen sind die Folge. Dadurch kommt es in diesem Bereich auch bei der Auswertung mit SSAM vermehrt zu Rear-End-Konflikten, welche der Konfliktypengruppe 16 zuzuordnen sind, da es sich um eine Annäherung an ein stehendes Fahrzeug im Kreuzungsbereich handelt.

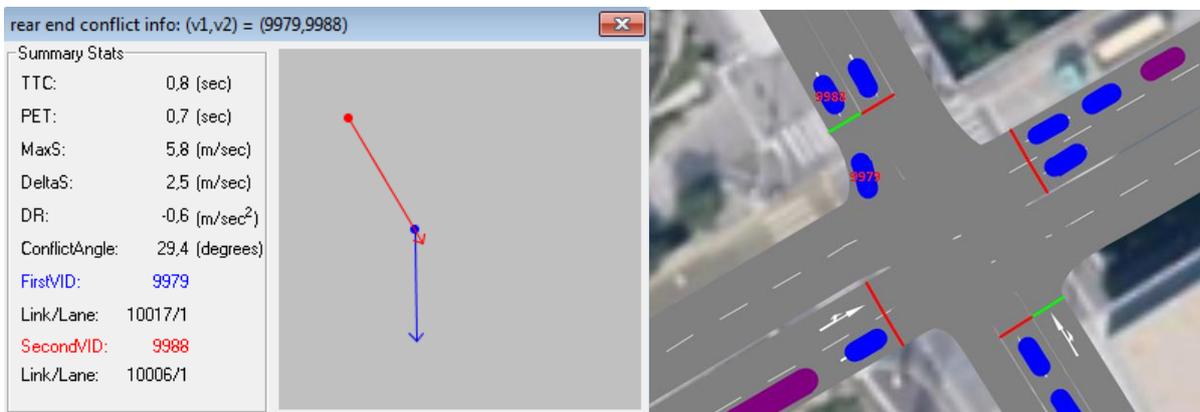


Abbildung 56: Beispiel 6 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Bei Beispiel 6 befinden sich beide Fahrzeuge auf demselben Fahrstreifen, wobei das Fahrzeug 9988 (hinterherfahrend) geradeaus fährt und das Fahrzeug 9979 (vorausfahrend) nach rechts abbiegt. Es handelt sich hierbei um einen Konflikt der Konfliktypenuntergruppe 31 (Konflikt mit Rechtsabbieger). Es bestätigt sich die Annahme, dass Konflikte dieses Typs hier auftreten. Dies gilt nicht nur für den Fahrzeugstrom aus Richtung 3, sondern für alle Fahrstreifen, auf denen Geradeausfahrer und Rechtsabbieger gemeinsam geführt werden.

Dasselbe wie bei Beispiel 6 gilt für die Konflikttypenuntergruppe 32 (Konflikte mit Linksabbiegern) wie aus Abbildung 57 ersichtlich.

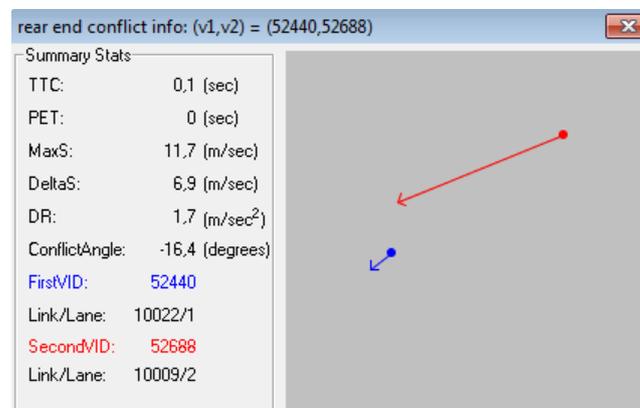


Abbildung 57: Beispiel 7 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Lane-Change-Konflikte

Der letzte Teil der Untersuchung der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz besteht in der Darstellung der von SSAM berechneten Lane-Change-Konflikte. Wie zuvor für die anderen beiden Konflikttypen werden auch in diesem Abschnitt Beispiele für das Auftreten solcher Konflikte gegeben.

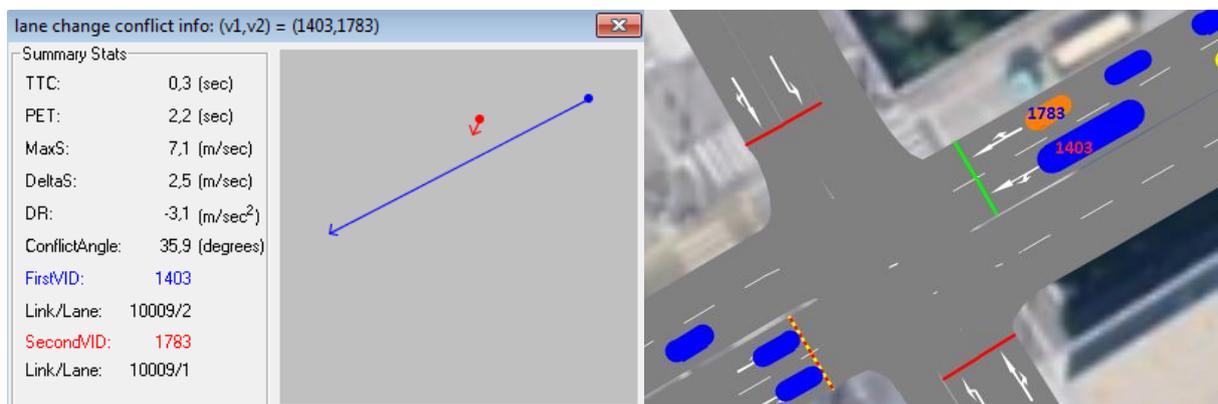


Abbildung 58: Beispiel 1 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Abbildung 58 zeigt ein Beispiel für einen während der Simulation aufgetretenen Konflikt der Konflikttypenuntergruppe 12 (Konflikt beim Wechsel des Fahrstreifens). Wie erwartet wurden solche Konflikte vermehrt im Bereich kurz vor der Kreuzung festgestellt, da sich die Fahrzeuge hier durch Fahrstreifenwechsel auf die richtigen Fahrstreifen einordnen.

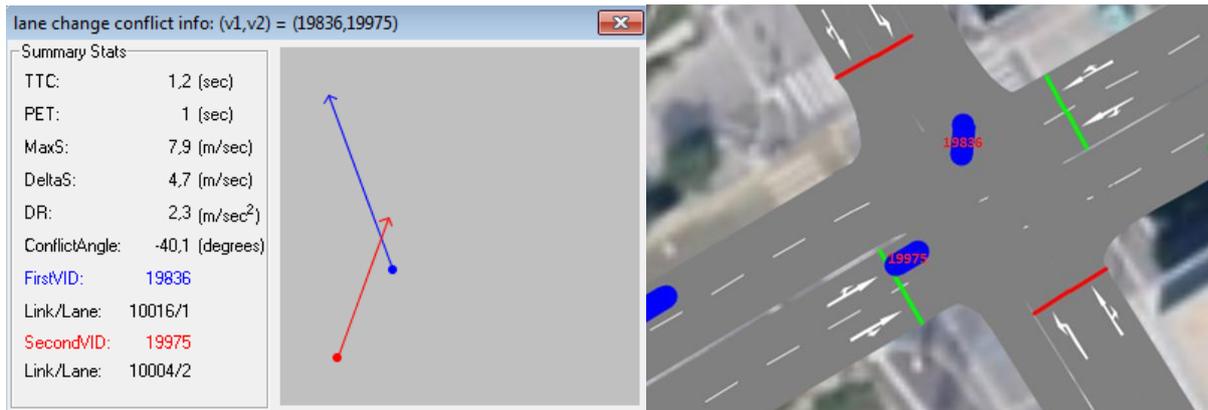


Abbildung 59: Beispiel 2 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz

Im Fall des Beispiels 2 wurde wiederum ein typischer Rear-End-Konflikt, welcher der Konflikttypenuntergruppe 13 (Konflikt beim Hintereinanderfahren mit einem fahrenden Kfz, im Speziellen in einer Linkskurve) zugeordnet werden könnte, als Lane-Change-Konflikt klassifiziert. Dies entspricht nicht der Realität, da hier aufgrund der Tatsache, dass nur ein Fahrstreifen zum Linksabbiegen vorhanden ist, gar keine Möglichkeit zu einem Fahrstreifenwechsel besteht. Die Ursache für diese Einteilung liegt darin, dass sich die beiden Fahrzeuge zum Zeitpunkt t_{MinTTC} nicht auf derselben Strecke befinden, was dazu führt, dass allein der Konfliktwinkel für die Konflikttypenklassifizierung ausschlaggebend ist.

4.2.5.2 Einschätzung und Einzeltrajektorienauswertung Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Die zweite Kreuzung, die hinsichtlich ihrer Konfliktsituation analysiert wird, ist die T-Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz.

Erwartung und Einschätzung

Anders als bei der soeben betrachteten Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz handelt es sich hier um eine T-Kreuzung, also einen dreiarmigen Knotenpunkt. Daraus ergeben sich einige Unterschiede. Beispielsweise fallen aufgrund der Geometrie Konflikte der Konflikttypenobergruppe 5 (rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Queren durch geradeausfahrende Fahrzeuge) von Vorneherein weg. Es kann also allgemein gesagt werden, dass erwartet wird, dass auf den beiden T-Kreuzungen wesentlich weniger Konflikte auftreten, als auf den vierarmigen. Im Folgenden wird erläutert, welche Konflikte erwartet werden und welche weiteren Unterschiede sich im Vergleich zur zuvor betrachteten vierarmigen Kreuzung ergeben.

a) Konflikte beim Abbiegen – entgegengesetzte Richtung

Da es an dieser Kreuzung keine bedingt verträglich geführten Linksabbieger gibt, ist zu erwarten, dass sich weniger Konflikte der Konfliktypenobergruppe 4 ereignen als bei der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz. Darüber hinaus fällt die Untergruppe 42 weg, da ein Abbiegekonflikt in entgegengesetzter Richtung, der dadurch entsteht, dass beide Fahrzeuge nach links abbiegen, bei einem dreiarmigen Knotenpunkt nicht möglich ist. Auch Konflikte nach der Untergruppe 43 werden vermutlich nicht auftreten. Ein Konflikt bei gleichzeitigem Abbiegen könnte sich lediglich zwischen einem Linksabbieger des aus Richtung 1 kommenden Verkehrsstroms sowie einem Rechtsabbieger des aus Richtung 3 kommenden Verkehrsstroms ergeben. Die beiden Fahrzeugströme werden jedoch, wie aus Abbildung 60 ersichtlich, auf einer Strecke zusammengeführt, welche zwei Fahrstreifen aufweist. Da die Verbindungsstrecke des Rechtsabbiegers auf dem ersten Fahrstreifen, die Verbindungsstrecke des Linksabbiegers jedoch auf dem zweiten Fahrstreifen einmündet, ist - außer es erfolgt ein abrupter Fahrstreifenwechsel eines der beiden Fahrzeuge nach Erreichen der gemeinsamen Strecke – kein Konfliktpotential gegeben.

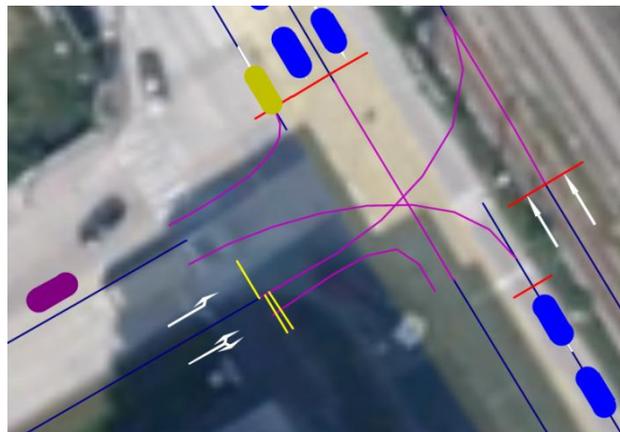
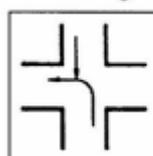


Abbildung 60: Handelskai – Johann-Böhm-Platz – keine Möglichkeit für Konflikte der Untergruppe 43

Folglich werden nur Konflikte der Untergruppe 41 erwartet:

**Untergruppe 41: Konflikt
beim Abbiegen links**



(411)

Abbildung 61: Mögliche Konflikte Handelskai – Johann-Böhm-Platz aus Konfliktypenobergruppe 4 [FSV, 2014]

b) Konflikte im Richtungsverkehr

Gleichermaßen zutreffend wie bei der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz sind jedoch die Untergruppen 15 und 16 der Konflikttypenobergruppe 1 (Konflikt beim Annähern im Kreuzungsbereich an ein fahrendes bzw. stehendes Fahrzeug). Dies gilt auch für Konflikte der Untergruppe 12, welche beim Einordnen der Fahrzeuge auf den richtigen Fahrstreifen auftreten können.

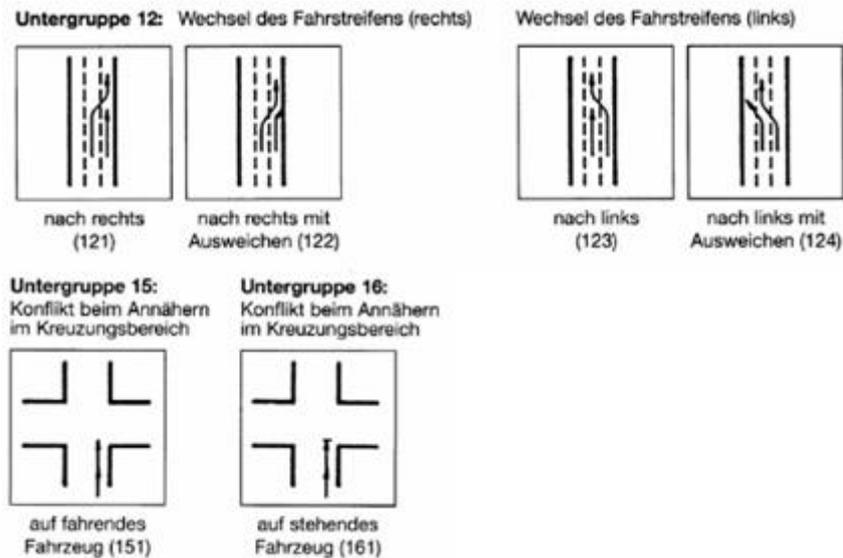


Abbildung 62: Mögliche Konflikte Handelskai – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 1 [FSV, 2014]

c) Konflikte beim Abbiegen - richtungsgleich

Wie auch bei der vierarmigen Kreuzung könnten hier Konflikte der Untergruppe 31 und 32 der Konflikttypenobergruppe 3 (Fahrzeug biegt rechts bzw. links ab) auftreten. Hinzu kommt hier die Möglichkeit eines Konflikts gleichzeitiger Linksabbieger, da der aus Richtung 2 kommende Verkehrsstrom auf zwei Fahrstreifen links abbiegen kann. Diese beiden Fahrstreifen sind nicht getrennt, sondern liegen auf derselben Strecke, was bedeutet, dass ein Fahrzeug während des Abbiegevorganges den Fahrstreifen wechseln könnte.

Laut den vorhandenen Unfallstatistiken sind an diesem Knotenpunkt insbesondere Unfälle beim richtungsgleichen Abbiegen oder Umkehren aufgetreten. Diese Unfälle entsprechen den Konflikttypenuntergruppen 32 (gleichzeitige Linksabbieger) sowie 33 (Konflikt beim Umkehren auf Kreuzungen). Es ist anzunehmen, dass an diesen Unfällen aufgrund der zwei Linksabbiegerstreifen am Johann-Böhm-Platz in Richtung Handelskai aus dieser Richtung kommende Fahrzeuge beteiligt waren. Da im Simulationsmodell jedoch keine Route für umkehrende Fahrzeuge festgelegt wurde und eine Umkehrmöglichkeit daher gar nicht besteht, sollten von SSAM keine Konflikte der Konflikttypenuntergruppe 33 festgestellt werden.

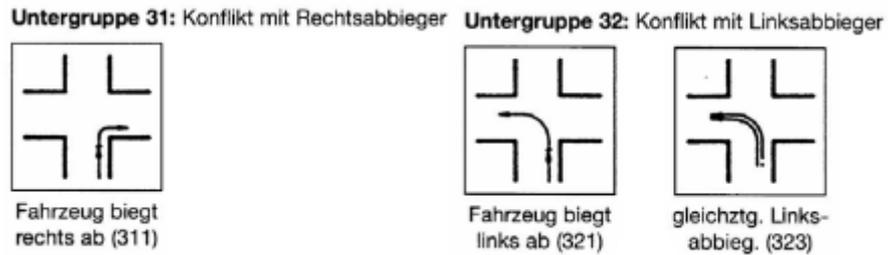


Abbildung 63: Mögliche Konflikte Handelskai – Johann-Böhm-Platz aus Konflikttypenobergruppe 3 [FSV, 2014]

Auswertung mit SSAM

Um sich einen ersten Überblick über die Konfliktsituation zu verschaffen, soll auch an dieser Stelle zunächst ein Ausschnitt des Konfliktlageplans, welcher nur die Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz miteinbezieht und sämtliche dort berechnete Konflikte enthält, betrachtet werden.



Abbildung 64: Konfliktlageplan Handelskai – Johann-Böhm-Platz: alle Konflikttypen

Wie erwartet, wurden von SSAM im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz weniger Konflikte berechnet als im Bereich der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz. Insgesamt wurden 3542 Konflikte im Vergleich zu 5311 erkannt. Dazu muss jedoch gesagt werden, dass die beiden Strecken, welche diese zwei Kreuzungsbereiche verbinden, doppelt gezählt wurden. Es fällt wiederum auf, dass die meisten Crossing-Konflikte im unmittelbaren Kreuzungsbereich aufgetreten sind. Die kritischsten Konflikte sind hier Lane-Change-Konflikte des aus Richtung 1 kommenden Fahrzeugstroms sowie Rear-End-Konflikte desselben Fahrzeugstroms im Bereich des Beginns des Linksabbiegefahrstreifens. Auch im Bereich der zweistreifigen Fahrbahn für aus Richtung 2 kommende Linksabbieger häufen sich Konflikte. Dies trifft auch insbesondere für die Bereiche zu, in denen sich die Fahrzeuge der aus Richtung 2 kommenden bzw. in Richtung 2 fahrenden Fahrzeugströme auf dem für ihre gewählte Route richtigen Fahrstreifen einordnen müssen. Da aus dem Konfliktlageplan nicht ersichtlich ist, zwischen welchen Fahrzeugströmen sich die einzelnen Konflikte ereignet haben, soll dies im Folgenden für alle von SSAM definierten Konflikttypen anhand von Beispielen dargestellt werden.

Crossing-Konflikte

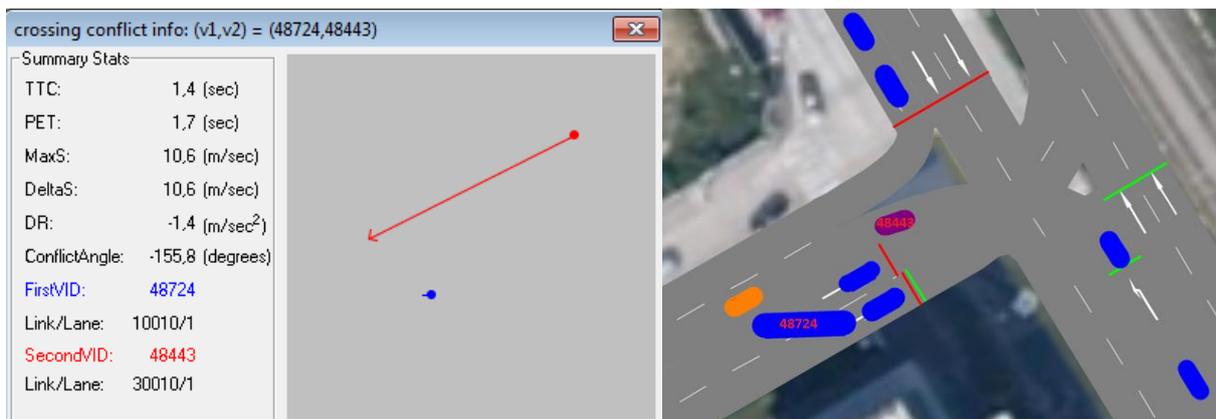


Abbildung 65: Beispiel 1 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Es wurden zahlreiche Crossing-Konflikte an der in Abbildung 65 gezeigten Stelle festgestellt, was nicht erwartet worden war. Werden diese Konflikte in der Simulation nachvollzogen, so wird ersichtlich, dass diese lediglich ein Resultat des Simulationsmodells sind und in dieser Form in der Realität nicht auftreten werden. Ordnet sich ein Fahrzeug auf Strecke 10010 spät auf dem rechten Fahrstreifen ein, so steht es quer über beiden Fahrstreifen. Dies hat zur Folge, dass Konflikte mit von Strecke 30010 kommenden Fahrzeugen berechnet werden, da sich die Konfliktflächen der Fahrzeuge aufgrund der Modellierung der Strecken beinahe überschneiden und die Fahrzeuge aufgrund der Position des zweiten Konfliktfahrzeuges einen Konfliktwinkel zueinander aufweisen.

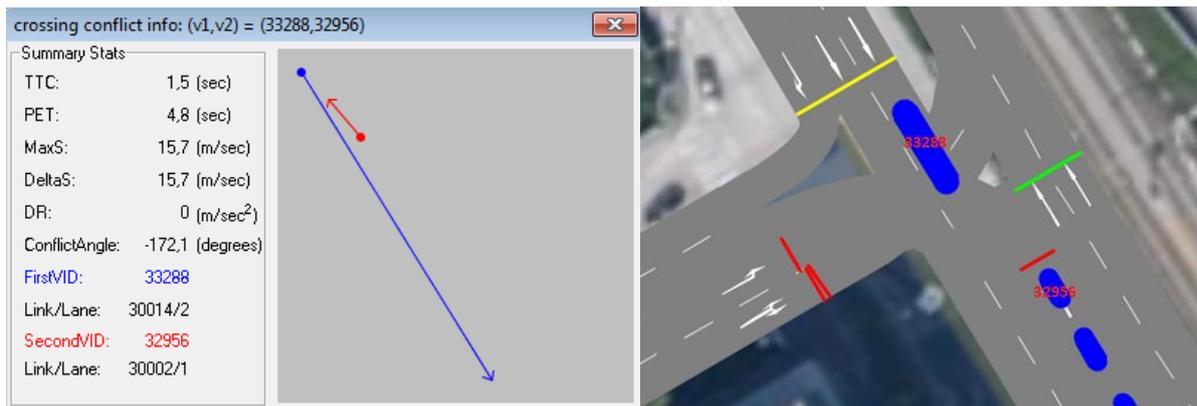


Abbildung 66: Beispiel 2 für einen Crossing-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Dieser Konflikt aus Beispiel 2 wäre der Untergruppe 41 zuzuordnen (Konflikt beim Abbiegen links), was die Vermutung bestätigt, dass solche Konflikte berechnet werden. Hier liegt jedoch wiederum der Fall vor, dass die TTC 1,5 Sekunden beträgt und bei einer Überprüfung mittels Simulationsmodell deutlich wird, dass dieser Konflikt kein hohes Risiko für die Verkehrssicherheit darstellt. Fahrzeug 32956 erhält so lange ein rotes Signal, bis das Fahrzeug 33288 den Kreuzungsbereich schon seit ein paar Sekunden geräumt hat.

Rear-End-Konflikte

Auf den Strecken, welche zur Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz führen, ereignen sich deutlich mehr Konflikte der Konflikttypenuntergruppe 15 (Konflikt beim Annähern im Kreuzungsbereich auf fahrendes Fahrzeug) als auf jenen, die zur Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz führen. Die Ausgestaltung der einzelnen Rear-End-Konflikte ist jedoch ähnlich wie die der vorhin betrachteten Kreuzung. Daher wird auf den Großteil der sich ereigneten Rear-End-Konflikte nicht eingegangen, sondern es werden lediglich Besonderheiten hervorgehoben.

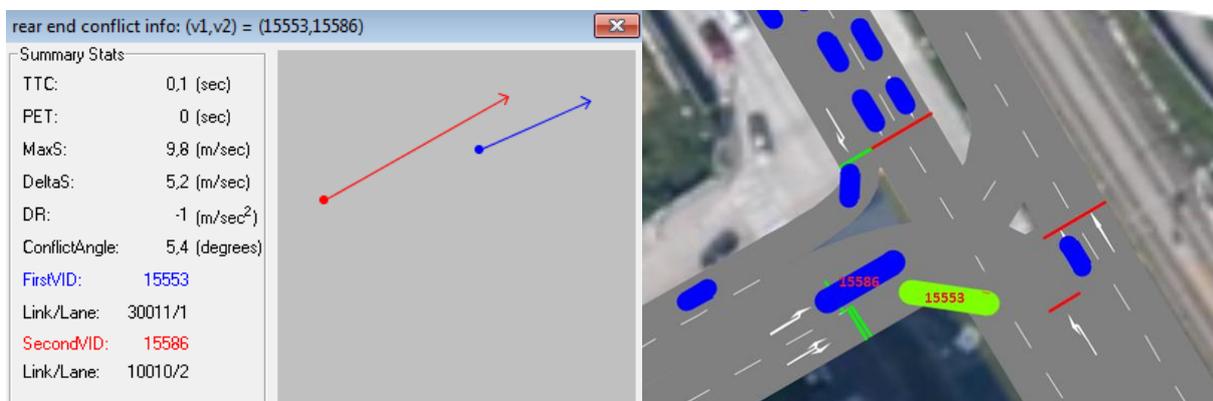


Abbildung 67: Beispiel 1 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Die als Rear-End-Konflikt qualifizierte Situation aus Beispiel 1 ereignet sich zwischen einem Rechts- und einem Linksabbieger, wobei sich diese nicht auf demselben Fahrstreifen befinden. Daher kann dieser Konflikt nicht eindeutig der Konflikttypenuntergruppe 31 (Konflikt mit Rechtsabbieger) zugeordnet werden. Durch den Abbiegevorgang und die damit einhergehende „Querstellung“ des Fahrzeugs 15553 (grün), kommt dieses dem Fahrzeug 15586 (blau) so nahe, dass die PET 0 Sekunden beträgt. Es ist jedoch anzuzweifeln, dass ein solcher Konflikt in der Realität ein maßgebliches Risiko für die Verkehrssicherheit darstellen würde, zumal die Radien und Straßenbreiten so bemessen sind, dass abbiegende Fahrzeuge, welche sich auf einem anderen Fahrstreifen als geradeausfahrende oder in eine andere Richtung abbiegende, nicht mit jenen kollidieren. Konflikte dieser Art dürften sich daher allein aufgrund der Streckenmodellierung im Simulationsmodell ergeben haben.



Abbildung 68: Beispiel 2 für einen Rear-End-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Eine Besonderheit dieser T-Kreuzung liegt in den beiden Linksabbiegestreifen aus Richtung 2. Diese Anordnung kann zu Konflikten gleichzeitiger Linksabbieger (Konflikttypenuntergruppe 32) führen. Es wurde bereits vermutet, dass auf dieser Strecke solche Konflikte auftreten. Die Ergebnisse von SSAM decken sich mit dieser Annahme. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 68. Da das Fahrzeug 28882 während des Abbiegevorgangs sehr weit auf den linken Fahrstreifen gerät, sind die TTC sowie die PET mit 0,2 Sekunden sehr gering und die beiden Fahrzeuge stehen zueinander in einem Konflikt. Weil jedoch keines der beiden Fahrzeuge während des Konflikts einen Fahrstreifenwechsel vollzieht, wird ein solcher Konflikt vom SSAM als Rear-End-Konflikt klassifiziert. Auch in der Realität ist es nicht unwahrscheinlich, dass ein Fahrzeug während des Abbiegens seine Spur nicht halten kann. Daher ist dieser Konflikt ein gutes Beispiel dafür, dass mittels VISSIM und SSAM durchaus plausible Ergebnisse erzielt werden können.

Lane-Change-Konflikte

Betreffend Lane-Change-Konflikte wurden keine auffallenden Besonderheiten im Vergleich zur Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz erkannt. Auf den Strecken, welche zum Kreuzungsbereich führen, sind wie erwartet vermehrt Konflikte der Konflikttypenuntergruppe 12 aufgetreten. Insbesondere auf den Strecken 10009 und 10010 (Verbindungsstrecken zur Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz) wurden zahlreiche Lane-Change-Konflikte festgestellt, da die

Fahrzeuge hier nur ein kurzes Stück zur Verfügung haben, um sich auf den richtigen Fahrstreifen einzuordnen.



Abbildung 69: Beispiel 1 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Auch auf den beiden Linksabbiegefahrstreifen aus Richtung 2 traten vermehrt Lane-Change Konflikte auf. Diese Konflikte sind der Konflikttypenuntergruppe 32 zuzuordnen (Konflikte gleichzeitiger Linksabbieger). Abbildung 69 zeigt einen solchen Konflikt, wobei das zweite Konfliktfahrzeug während des Konfliktes einen Fahrstreifenwechsel vollzieht, was zur Einteilung als Lane-Change-Konflikt führt.

Wie schon bei der Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz wurden hier aber auch solche Konflikte zwischen zwei Linksabbiegern als Lane-Change-Konflikte erkannt, bei denen sich zu Konfliktbeginn beide Fahrzeuge auf demselben Fahrstreifen befinden, jedoch keines der Fahrzeuge einen Fahrstreifenwechsel vollzieht. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass das erste Konfliktfahrzeug zu Konfliktende eine neue Strecke erreicht hat und daher nur noch auf den Konfliktwinkel abgestellt wird.



Abbildung 70: Beispiel 2 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Des Weiteren wurden nicht nur Konflikte zwischen zwei Linksabbiegern berechnet, sondern auch solche zwischen zwei Rechtsabbiegern, wie aus Beispiel 2 ersichtlich. Solche Konflikte der Untergruppe 31 (Konflikt mit Rechtsabbieger, Fahrzeug biegt rechts ab) sollten jedoch vielmehr der Gruppe Rear-End angehören. Zu dieser falschen Einteilung kam es wie schon zuvor bei der Auswertung der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz und dem Beispiel 1 dieses Abschnitts dadurch, dass sich die beiden Konfliktfahrzeuge zu Konfliktbeginn und Konfliktende nicht auf derselben Strecke befinden. Das Fahrzeug 49482 verlässt die Strecke 30006 und wechselt auf die darauffolgende Strecke 30013, wodurch einzig der Konfliktwinkel maßgebend für die Klassifizierung wird.



Abbildung 71: Beispiel 3 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Beispiel 3 zeigt einen typischen Lane-Change-Konflikt, welcher durch das Einordnen der Konfliktfahrzeuge auf den richtigen Fahrstreifen, um ihrer vorgegebenen Route zu folgen, ausgelöst wurde. Zahlreiche solcher Konflikte wurden auf den Strecken 10009, 10010, 30001 sowie 30007 (zur Kreuzung führende Strecken) verzeichnet. Die in Abbildung 71 gezeigte Information zum Beispielkonflikt gibt an, dass sich beide Konfliktfahrzeuge auf demselben Fahrstreifen befinden. Bei Betrachtung der Situation in VISSIM lässt sich allerdings feststellen, dass sich das Fahrzeug 11213 (grün) zwar zunächst auf dem zweiten Fahrstreifen der Strecke 10009 befand, den Fahrstreifenwechsel zum Zeitpunkt t_{MinTTC} allerdings bereits vollzogen hat und sich auf dem ersten Fahrstreifen befindet. Die Informationen Link/Lane sollten sich jedoch auf den Zeitpunkt t_{MinTTC} beziehen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Konfliktangaben nicht immer korrekt sind.

Ebenso wurden ein paar typische Crossing-Konflikte als Lane-Change-Konflikte identifiziert. Dies betrifft die Konflikte zwischen den Linksabbiegern aus Richtung 1 sowie den Linksabbiegern aus Richtung 2. Wie bereits bei der Beschreibung der Crossing-Konflikte erwähnt, räumen hier die Linksabbieger zu langsam den Kreuzungsbereich, was zu Konflikten führt. Die Einteilung als Lane-Change-Konflikt erfolgt wiederum deshalb, weil sich die beiden Konfliktfahrzeuge auf unterschiedlichen Strecken befinden und die Schwelle von 80° für den Konfliktwinkel nicht erreicht wird.

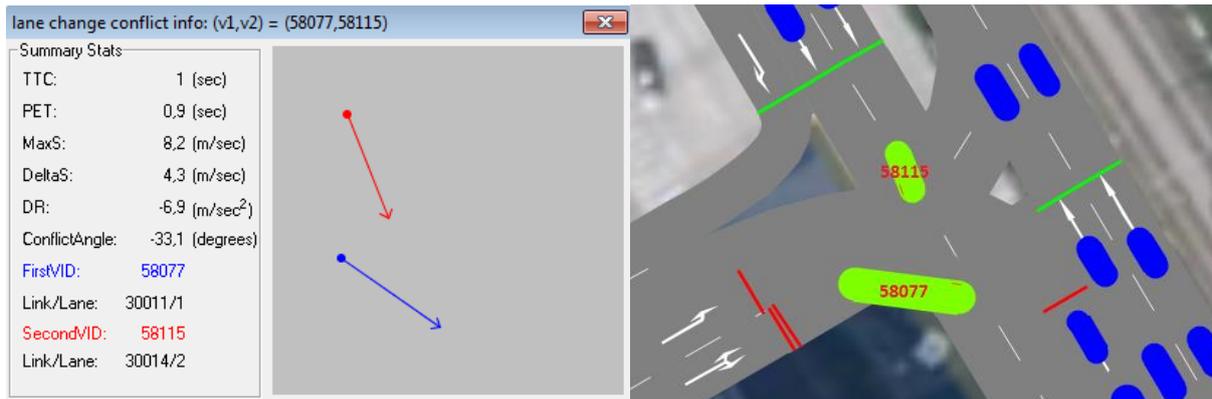


Abbildung 72: Beispiel 4 für einen Lane-Change-Konflikt im Bereich der Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz

Zusätzlich wurde ein Konflikt gemäß Beispiel 4 berechnet. Dieser ereignete sich zwischen einem geradeausfahrenden Fahrzeug aus Richtung 3 sowie einem Rechtsabbieger aus Richtung 2. Dieser Konflikt wäre der Konflikttypenuntergruppe 61 (hier: Konflikt bei Vorfahrt mit Rechtsabbieger) zuzuordnen. Da wegen des Signalprogramms nicht damit gerechnet wurde, dass sich zwischen diesen beiden Fahrzeugströmen ein Konflikt ergeben könnte, wurde wie schon bei einem der Beispiele zuvor ebenfalls kein Vorrang durch eine Konfliktfläche festgelegt. In diesem Fall hat das Fahrzeug 58077 (Lkw) jedoch den Signalgeber überfahren, obwohl dieser Rot zeigt. Dass dies ein Ausnahmefall ist, lässt sich aus der dunkelgelben Farbe des Fahrzeuges bei Überfahren der Lichtsignalanlage schließen, welche den momentanen Zustand des Fahrzeugs angibt. Diese Farbgebung bedeutet, dass sich das Fahrzeug innerhalb der letzten 3 Simulationssekunden dazu entschieden hat, den roten Signalgeber zu überfahren, weil seine Geschwindigkeit zu hoch war, um vorher zum Stehen zu kommen. [PTV, 2012] Da sich ein solcher Konflikt nur einmal in 10 Simulationsläufen zu je 15000 Simulationssekunden zugetragen hat, kann dieser vernachlässigt werden.

4.2.5.3 Auswertung der SSAM-Ergebnisse mittels Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel

Am Beispiel der Kreuzung Wehlistraße – Johann-Böhm-Platz soll an dieser Stelle dargestellt werden, wie Konflikte zwischen zwei bestimmten Fahrzeugströmen identifiziert werden können. Dazu werden die Fahrzeuge des geradeausfahrenden Verkehrsstroms aus Richtung 4 sowie die des bedingt verträglichen linksabbiegenden Verkehrsstroms aus Richtung 2 betrachtet, da hier zahlreiche Konflikte vermutet werden.

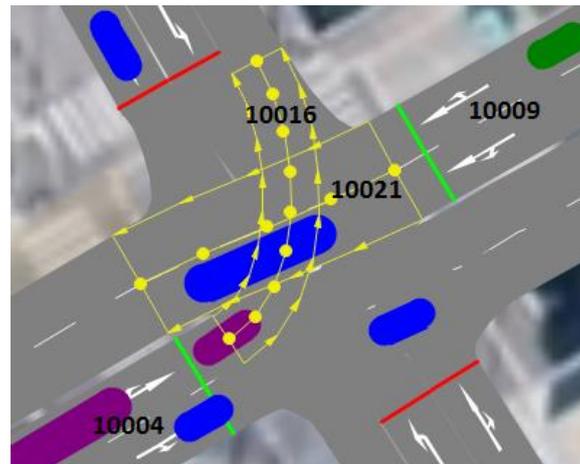


Abbildung 73: Untersuchungsgebiet zur beispielhaften Konfliktidentifizierung zwischen zwei Fahrzeugströmen

Es müssen zunächst nur die Konflikte, die sich auf den Strecken 10016 und 10021 zugetragen haben, in SSAM herausgefiltert werden. Zusätzlich wird ausgewählt, dass nur Konflikte vom Typ Crossing miteinbezogen werden sollen, da Lane-Change- bzw. Rear-End-Konflikte zwischen diesen beiden Verkehrsströmen nicht auftreten sollten. Da so aber nicht nur die Konflikte in der Konflikttabelle verbleiben, die sich zwischen Fahrzeugen ereignen, von denen sich das eine auf Strecke 10016 und das andere auf Strecke 10021 befindet, sondern auch all jene, bei denen nur eines der beiden Konfliktfahrzeuge auf einer dieser zwei Strecken fährt, muss die Konflikttabelle in Excel importiert werden. Mit Excel müssen im Anschluss daran sämtliche Werte der Spalten „FirstLink“ sowie „SecondLink“ herausgefiltert werden, welche ungleich 10016 oder 10021 sind. Von den zuvor festgestellten 35 Crossing-Konflikten verbleiben dann noch 15 in der Konflikttabelle. Da die Strecke 10009 nicht miteinbezogen wurde, müssen sämtliche dieser Konflikte geringe TTC-Werte aufweisen, weil die Teile der Strecke 10021, der sich vor bzw. nach dem Kreuzungspunkt mit Strecke 10016 befindet, nur sehr kurz sind. Tatsächlich liegt der Mittelwert der TTC-Werte nur bei 0,39 Sekunden. Darüber hinaus fällt auf, dass sich das erste Konfliktfahrzeug bis auf eine Ausnahme stets auf der Strecke 10021 befindet. Tabelle 11 zeigt die wichtigsten Konfliktdaten. Da die Langsamfahrkonflikte ($\text{MaxS} \leq 4,2 \text{ m/s}$) von der Auswertung ausgenommen sind, beträgt der Mittelwert der übrigen festgestellten Konflikte 40,6 km/h.

Tabelle 11: Ausschnitt aus Konflikttabelle

Trajektorieidateien	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	MaxD	MaxDeltaV	ConflictType	FirstLink	SecondLink
003.trj	0,2	4,7	11,7	10,48	0	0	7,99	crossing	10021	10016
003.trj	0,4	3,1	13,8	13,15	0	0	10,08	crossing	10021	10016
003.trj	0,2	1,5	14,1	13,48	0	0	10,34	crossing	10021	10016
004.trj	0,2	2	9,49	6,35	0	0	4,68	crossing	10021	10016
004.trj	0,4	2,1	12,7	11,66	-1	-1,04	8,59	crossing	10021	10016
005.trj	0,2	4,9	9,72	11,09	-2,6	-2,57	8,46	crossing	10021	10016
007.trj	0,5	2,8	13,5	13,22	0	0	9,75	crossing	10021	10016
007.trj	0,7	0,6	7,56	7,72	2,72	2,72	3,87	crossing	10016	10021
008.trj	0,4	2,1	11,8	13,01	-1,9	-1,87	9,93	crossing	10021	10016
008.trj	0,2	3,1	8,85	6,64	0	0	5,07	crossing	10021	10016
008.trj	1,2	3	11,8	12,92	-1	-0,98	9,85	crossing	10021	10016
008.trj	0,2	4,2	9,02	7,38	0	0	5,63	crossing	10021	10016
009.trj	0,3	3,4	11	11,06	-0,8	-0,93	8,14	crossing	10021	10016
010.trj	0,2	1,7	9,92	9,61	-0,8	-0,93	7,08	crossing	10021	10016
010.trj	0,5	2,1	14,4	14,04	0	0	10,75	crossing	10021	10016
Mittelwert	0,39	2,75	11,29	10,79	-0,36	-0,37	8,01			
Standardabweichung	0,3	1,2	2,13	2,66	1,16	1,17	2,26			

Dies ist die prinzipielle Vorgehensweise für die Identifizierung von Konflikten zwischen zwei bestimmten Fahrzeugströmen. Sollen sämtliche Konflikte, die zwischen zwei Verkehrsströmen berechnet wurden, extrahiert werden, so müssen auch noch die anknüpfenden Strecken (hier: 10009 und 10004) miteinbezogen werden. Dies erfordert folglich mehr Aufwand beim Filtern der Daten in Excel. Um diesen Aufwand zu verringern, ist es möglich, die Datenfilterung mittels Excel als VBA Programm zu programmieren, um in weiterer Folge nur mehr die Strecken, die betrachtet werden sollen, anzugeben. Mit VBA können sich wiederholende Aufgaben automatisiert werden.

4.2.6 Einschätzungen und Konfliktanalyse Einfädungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten

In diesem Abschnitt erfolgt die Konflikteinschätzung sowie -auswertung des Einfädungsbereichs der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten, welcher einen weiteren maßgeblichen Bereich für die Beurteilung der Verkehrssicherheit an Anschlussstellen darstellt.

Erwartung und Einschätzung

In diesem Einfädungsbereich bzw. grundsätzlich auf sämtlichen Bereichen der Hauptfahrbahn können Konflikte der Konflikttypenobergruppe 1 (Konflikte im Richtungsverkehr) auftreten. Dabei sind auch Konflikte der Untergruppe 11 zu erwarten, welche Konflikte beim Überholen beinhaltet. Da SSAM nur drei verschiedene Konflikttypen kennt, wird es solche Überholkonflikte entweder als Rear-End- oder Lane-Change-Konflikte klassifizieren. Welcher dieser beiden Konflikttypen im Endergebnis

als zutreffend erkannt wird, hängt davon ab, zu welchem Zeitpunkt des Überholvorganges sich der Konflikt ereignet.

Neben der Untergruppe 11 ist hier insbesondere auch die Untergruppe 12 maßgeblich. Diese bezeichnet sämtliche Konflikte, die sich beim Wechsel eines Fahrstreifens (rechts und links) zutragen. Um Fahrzeugen das Einfädeln vom Beschleunigungsstreifen auf die Hauptfahrbahn zu erleichtern, werden die Fahrzeuge der Hauptfahrbahn nämlich vermehrt Fahrstreifenwechsel vollziehen. Die Konflikte dieser Untergruppe sollten von SSAM alle als Lane-Change-Konflikte definiert werden, da während des Konfliktes von mindestens einem der beiden Konfliktfahrzeuge ein Fahrstreifenwechsel vollzogen wird.

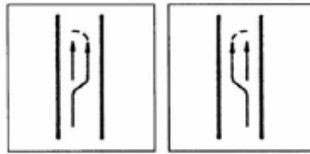
Konflikte der Untergruppe 13 (Konflikte beim Hintereinanderfahren) können hier ebenfalls auftreten und sollten von SSAM als Rear-End-Konflikte eingestuft werden. Diese Konflikte setzen voraus, dass sich das erste Konfliktfahrzeug in fahrendem Zustand befindet. Anderes gilt für die Untergruppe 14, welche Konflikte beim Hintereinanderfahren einschließt, bei denen das erste Konfliktfahrzeug steht. Solche Konflikte könnten dann auftreten, wenn sich am Ende des Beschleunigungsstreifens aufgrund von Einfädelungsproblemen der Fahrzeuge ein Stau bildet.

Von Hauptinteresse sind jedoch die Konflikte der Untergruppe 18 – Konflikte durch Einordnen. Diese Konflikte ereignen sich beim Einfädeln vom Beschleunigungsfahrstreifen auf die Hauptfahrbahn. Das bedeutet, dass durch das SSAM in diesen Bereichen vermehrt Lane-Change-Konflikte festgestellt werden sollten.

Die in diesem Abschnitt aufgestellten Vermutungen lassen sich größtenteils durch die Unfalldaten gemäß Abbildung 31 nachvollziehen.

Die folgende Abbildung zeigt eine Zusammenfassung der in diesem Bereich erwarteten Konflikttypen gemäß der RVS.

Untergruppe 11: Konflikt beim Überholen (auch mehrfach)



Überholen
rechts (111)

Überholen
links (112)

Untergruppe 12: Wechsel des Fahrstreifens (rechts)

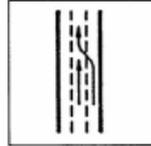


nach rechts
(121)



nach rechts mit
Ausweichen (122)

Untergruppe 12: Wechsel des Fahrstreifens (links)

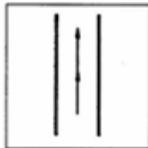


nach links
(123)



nach links mit
Ausweichen (124)

Untergruppe 13: Konflikt beim Hintereinanderfahren (fahrendes KFZ)



auf der Geraden
(131)

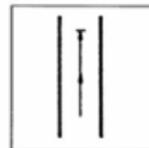


in Rechtskurve
(132)



in Linkskurve
(133)

Untergruppe 14: Konflikt beim Hintereinanderfahren (stehendes KFZ)



auf der Geraden
(141)



in Rechtskurve
(142)



in Linkskurve
(143)

Abbildung 74: Mögliche Konflikte Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten aus Konflikttypenobergruppe 1 [FSV, 2014]

Auswertung mit SSAM

Zur Verschaffung eines ersten groben Überblicks über die hier vorliegende Konfliktsituation wird zunächst ein Konfliktlageplan dargestellt:

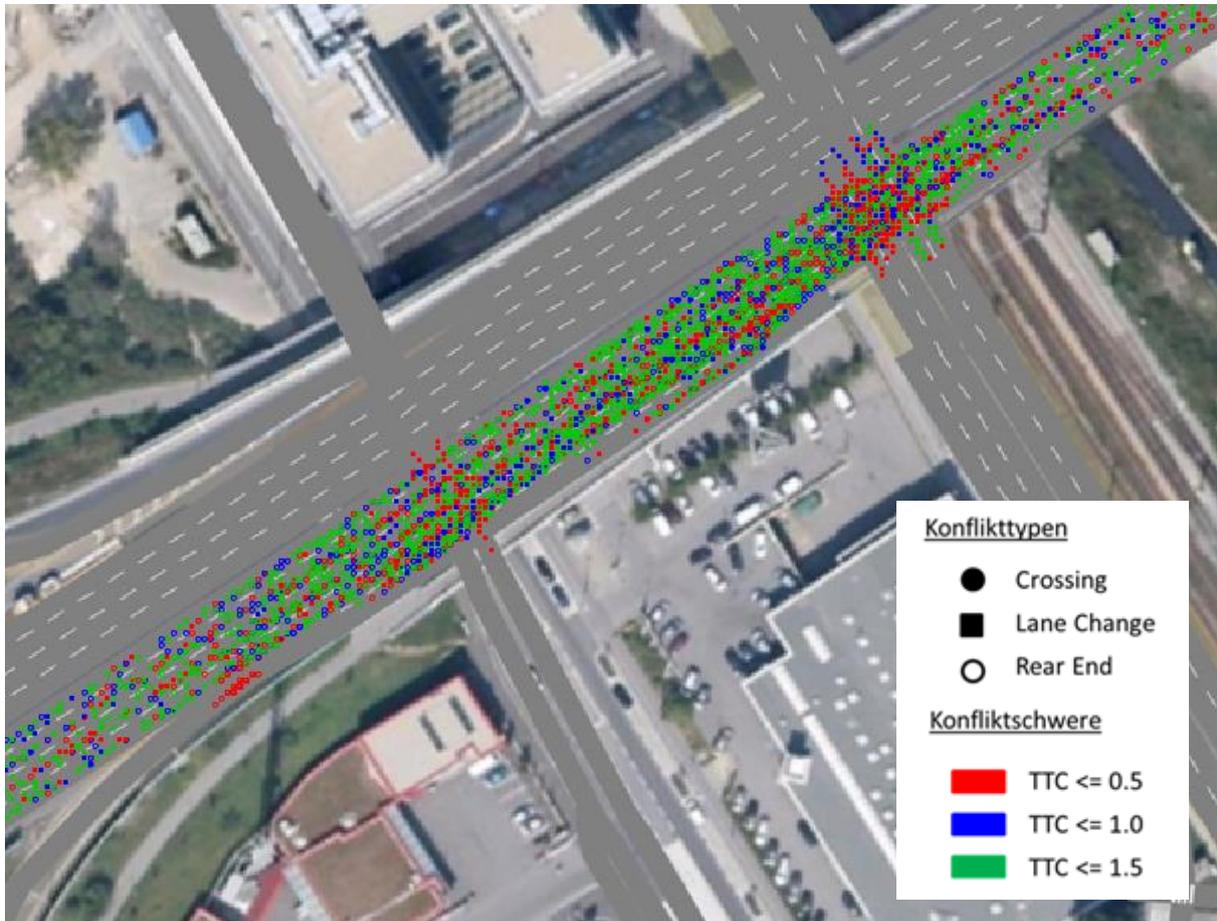


Abbildung 75: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: alle Konflikttypen

Da im Einfädelungsbereich der Fahrbahn Richtung Hirschstetten sehr viele Konflikte aufgetreten sind, ist der Konfliktlageplan für alle Konflikttypen entsprechend unübersichtlich. Daher werden bei der getrennten Betrachtung der einzelnen Konflikttypen Konfliktlagepläne dargestellt, welche nur den maßgeblichen Konflikttyp zeigen.

Es wurden auf den ausgewählten Strecken mit Ausnahme der Crossing-Konflikte insgesamt 9323 Konflikte erkannt. 5800 davon sind Rear-End-Konflikte, die verbleibenden 3523 sind vom Typ Lane-Change. Da die Anzahl der Konflikte so hoch ist, wurden darüber hinaus aus Gründen der Übersichtlichkeit nur noch jene Konflikte mit einer $TTC \leq 0,1$ Sekunden betrachtet. Es lässt sich nämlich beobachten, dass mit Herabsetzen des Schwellenwerts für die TTC die Konflikte zwar weniger werden, die Verteilung jedoch annähernd gleich bleibt.

Crossing-Konflikte

Obwohl auf der Hauptfahrbahn keine Konflikte des Typs Crossing erwartet wurden, wurden von SSAM einige solche berechnet, wie aus Abbildung 76 ersichtlich. Dies hat einerseits den Grund, dass,

obwohl die sich überschneidenden Strecken des untergeordneten Straßennetzes (500000 bis 800000) aus den Ergebnissen herausgefiltert wurden, dennoch diejenigen Konflikte in der gefilterten Konflikttabelle verbleiben, welche sich zwischen Fahrzeugen auf der Hauptfahrbahn und auf den sich überschneidenden Strecken ereignet haben. Eine Strecke kann also nie gänzlich von den Ergebnissen ausgenommen werden, wenn sich eines der Konfliktfahrzeuge auf einer Strecke des Untersuchungsbereichs befindet.

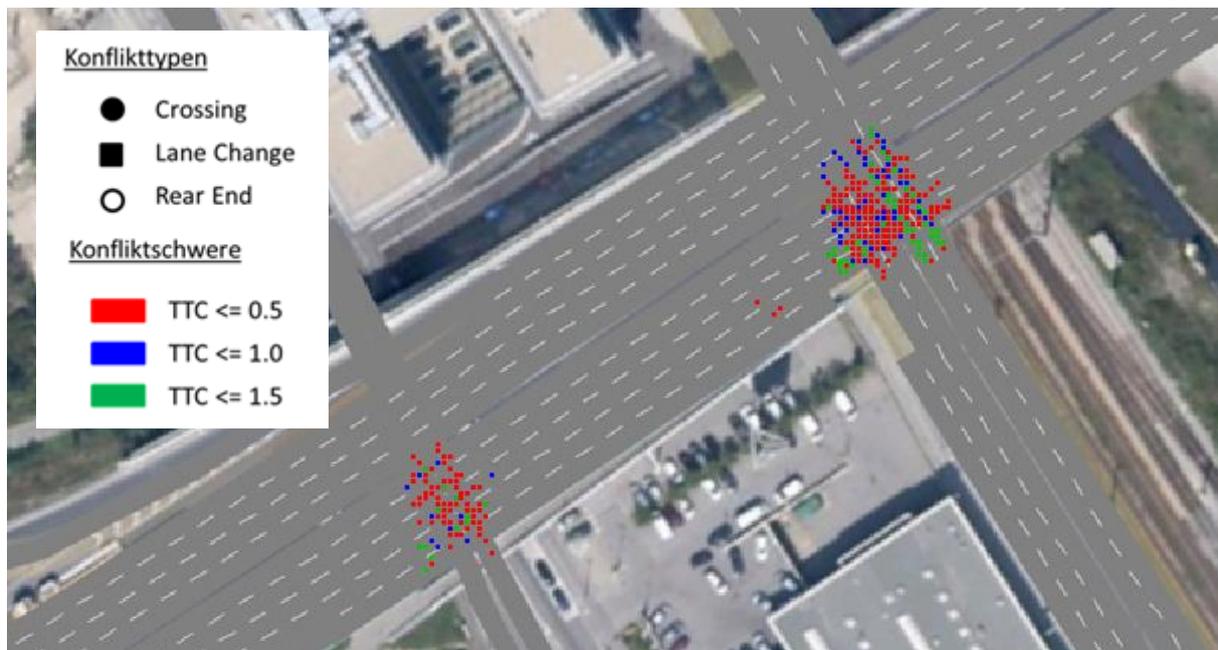


Abbildung 76: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: Crossing-Konflikte

Jene Crossing-Konflikte, die außerhalb des Bereichs der sich kreuzenden Strecken aufgetreten sind, sind simulationsbedingt entstanden. Da Crossing-Konflikte hier in der Realität nicht auftreten, wird dieser Konflikttyp von der Auswertung der Ergebnisse ausgenommen.

Rear-End-Konflikte

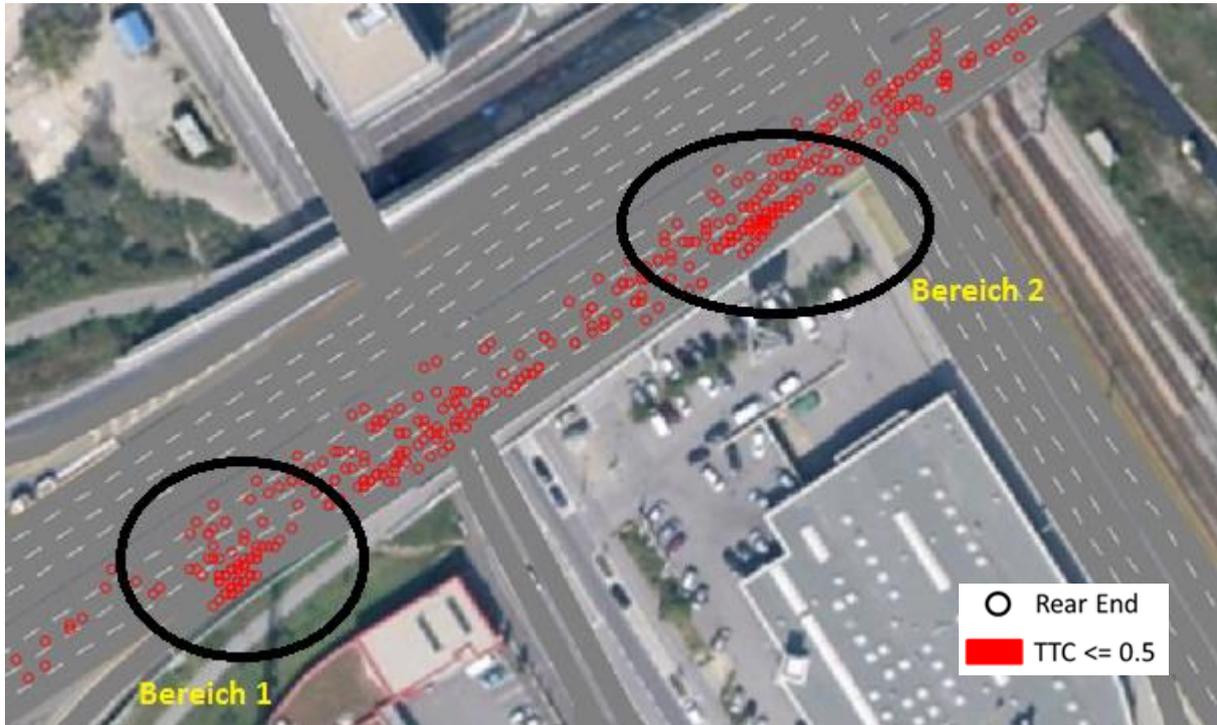


Abbildung 77: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: Rear-End-Konflikte

Bei Betrachtung von Abbildung 77 lassen sich zwei Bereiche feststellen, an denen Rear-End-Konflikte besonders stark gehäuft auftreten. Dies sind einerseits der Bereich kurz nach Ende der Einfahrtsrampe und somit am Beginn des Beschleunigungstreifens und andererseits der erste Fahrstreifen der Hauptfahrbahn kurz vor dem Ende des Beschleunigungstreifens.

Abbildung 78 zeigt ein Beispiel für einen Rear-End-Konflikt in Bereich 1:

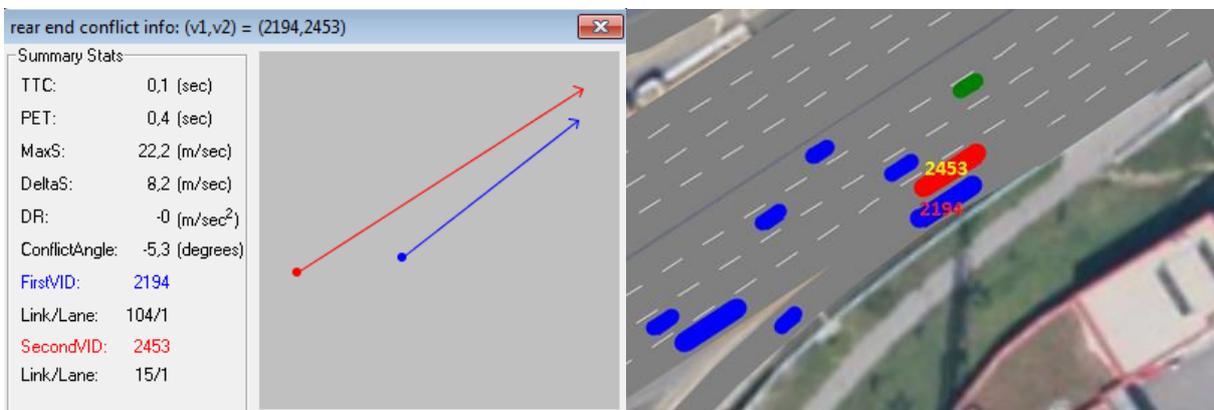


Abbildung 78: Beispiel 1 für einen Rear-End-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten

Beispiel 2 zeigt einen Rear-End-Konflikt im Bereich 2:

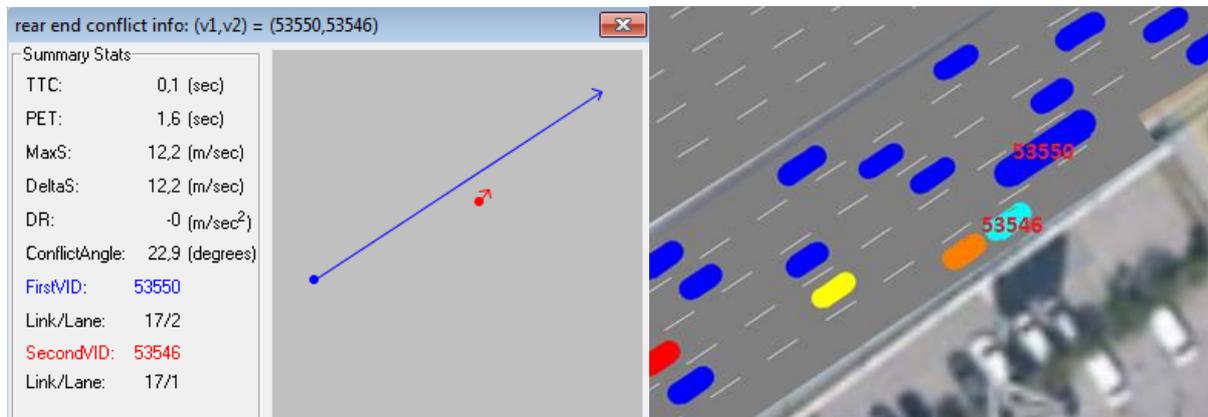


Abbildung 79: Beispiel 2 für einen Rear-End-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten

Die Konflikte in den Bereichen 1 und 2 und auch die meisten Konflikte, die am ersten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn und am Beschleunigungsfahrstreifen zwischen diesen Bereichen berechnet wurden, sind wie vermutet auch typische Einfädelungskonflikte gemäß der Konfliktypenuntergruppe 18 (Konflikt durch Einordnen von rechts). Es würde hier jedoch eine Einteilung als Lane-Change-Konflikt sinnvoller erscheinen. Die übrigen Rear-End-Konflikte sind der Konfliktypenuntergruppe 13 (Konflikt beim Hintereinanderfahren auf der Geraden) bzw. der Konfliktypenuntergruppe 11 (Konflikte beim Überholen) zuzuordnen. Wie bereits erwähnt, hängt die Einteilung eines Überholkonflikts als Rear-End- bzw. als Lane-Change-Konflikt davon ab, zu welchem Zeitpunkt des Überholvorganges sich der Konflikt ereignet.

Viele der Konflikte in Bereich 2 ereignen sich deshalb, weil die Fahrzeuge wegen des Fehlens einer ausreichend großen Zeitlücke für die Einordnung auf der Hauptfahrbahn am Ende des Beschleunigungstreifens halten müssen. Wechseln sie anschließend auf den ersten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn, so stellt dies wegen der geringen Geschwindigkeit, die sie aufweisen, ein erhöhtes Sicherheitsrisiko für die nachfolgenden Fahrzeuge auf diesem Fahrstreifen, welche mit sich mit höherer Geschwindigkeit fortbewegen, dar. Es wurden am Ende des Beschleunigungstreifens jedoch keine Konflikte der Konfliktypenuntergruppe 14 (Konflikt beim Hintereinanderfahren mit stehendem Kfz) erkannt, welche eine $TTC \leq 0,1$ Sekunden aufweisen.

Sämtliche der soeben gezeigten Konflikte bilden aus diesem Grund ein höheres Risiko für die Verkehrssicherheit als die Rear-End-Konflikte, die in den Kreuzungsbereichen festgestellt wurden, da sie sich mit weitaus höheren Geschwindigkeiten ereignen und daher eine potentielle Kollision einen höheren Schweregrad aufweisen würde.

Lane-Change-Konflikte

Bei Betrachtung der Verteilung der Lane-Change-Konflikte fällt auf, dass diese anders gestreut sind als die Rear-End-Konflikte. Sie treten auf der gesamten Hauptfahrbahn gehäuft im Bereich des Beschleunigungsstreifens und am Beschleunigungsstreifen selbst auf dessen zweiter Hälfte auf.



Abbildung 80: Konfliktlageplan Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten: Lane-Change-Konflikte

Wie auch schon bei den Rear-End-Konflikten wurden hier wiederum Überholkonflikte, aber auch Konflikte beim Fahrstreifenwechsel gemäß Konflikttypenuntergruppe 12 berechnet. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 81.

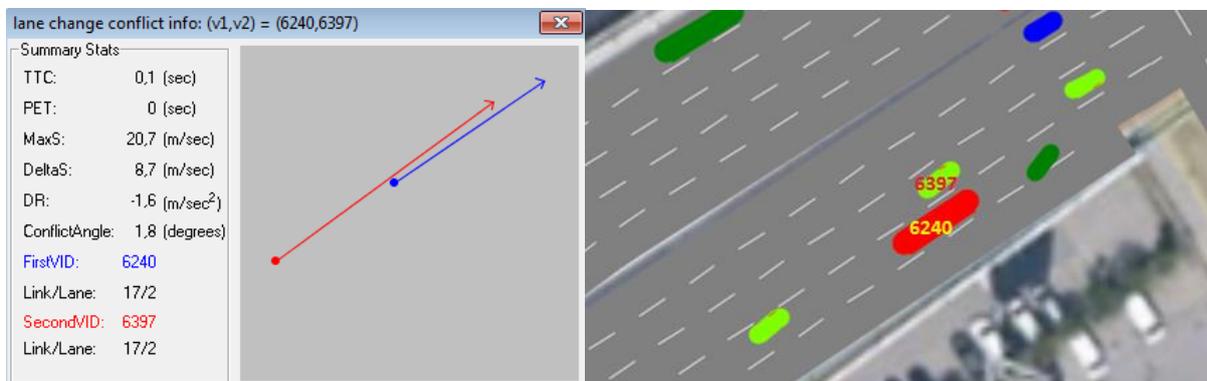


Abbildung 81: Beispiel 1 für einen Lane-Change-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten

Neben den Fahrstreifenwechsel- sowie Überholkonflikten wurden auch vereinzelt klassische Einfädelkonflikte, insbesondere im unteren Bereich des Beschleunigungsstreifens, als Lane-Change-

Konflikte erkannt, wie aus Beispiel 2 hervorgeht. Der Großteil der Konflikte, welche der Konflikttypenuntergruppe 18 zuzuordnen sind, wurde allerdings als Rear-End-Konflikt qualifiziert.

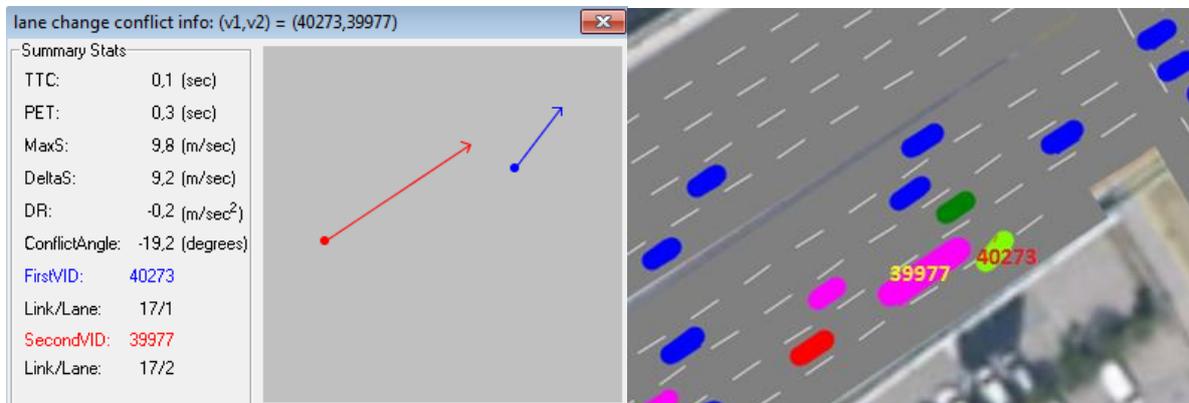


Abbildung 82: Beispiel 2 für einen Lane-Change-Konflikt im Einfädelungsbereich der Hauptfahrbahn Richtung Hirschstetten

4.2.7 Einschätzungen und Analyse von Fußgängerkonflikten

Anhand des Fußgängerübergangs im Bereich der Kreuzung Handelskai – Unbenannte Gasse 4 soll festgestellt werden, ob mit SSAM auch Konflikte, an welchen Fußgängern beteiligt sind, berechnet werden können. Dazu muss überprüft werden, ob die Software Fußgängertrajektorien erkennt bzw. ob diese wie Fahrzeugtrajektorien behandelt werden. Um dies feststellen zu können, wurde ein eigener Simulationslauf mit erhöhten Fußgängerbelastungen durchgeführt. Die Fußgängerzuflüsse wurden dabei von 60 Fußgängern pro Stunde auf 300 Fußgänger pro Stunde erhöht. Die Fußgänger bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 12 km/h fort. Da in diesem Fall lediglich eine beispielhafte Auswertung der Konflikte durchgeführt und kein statistischer Vergleich etc. vorgenommen wird, ist es ausreichend, wenn anstatt der üblichen zehn Simulationsläufe nur ein einziger betrachtet wird.



Abbildung 83: Knotenpunkt Wehlstraße – Unbenannte Gasse 4

Bei Fußgängerkonflikten handelt es sich um Konflikte der Konfliktypenobergruppe 8. Da in dieser Arbeit nur grundsätzlich untersucht werden soll, wie das SSAM auf Konflikte von Fußgängern mit Fahrzeugen reagiert, ist in diesem Fall lediglich eine Untergruppe dieses Konfliktyps maßgeblich. Weil es sich laut Definition um Konflikte mit Fußgängern beim Rechtsabbiegen handeln würde, ist hier die Untergruppe 82 zutreffend. Da nur auf einer Seite der Fahrbahn ein Fußgängerzufluss festgelegt wurde, handelt es sich im Speziellen um Konflikte mit Fußgängern beim Rechtsabbiegen vor der Kreuzung.

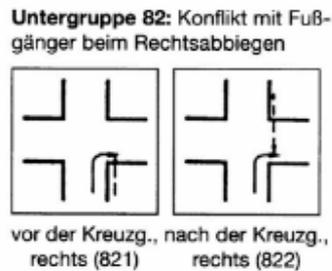


Abbildung 84: Mögliche Fußgängerkonflikte Handelskai – Unbenannte Gasse 4 aus Konfliktypenobergruppe 8

Nach der Auswertung der Trajektoriendatei mit den erhöhten Fußgängerbelastungen wurde zunächst das Filtertool angewendet. Es sollen lediglich die Konflikte angezeigt werden, welche sich auf der Strecke Nr. 40005 (Fußgängerübergang) ereignet haben. In diesem Fall sollen sämtliche auf dieser Strecke auftretenden Konflikte ausgegeben werden, auch die simulierten Unfälle – das heißt die Konflikte mit einer TTC von 0 Sekunden – sollen betrachtet werden. Bereits nach diesem Schritt kann festgehalten werden, dass SSAM auch Fußgängertrajektorien in seine Auswertung miteinbezieht. Dies überrascht nicht, da in VISSIM Fußgänger nichts anderes als einen bestimmten Fahrzeugtyp darstellen. Sie weisen lediglich andere Eigenschaften, wie beispielsweise eine niedrigere Geschwindigkeit und kleinere Größe, auf. Auch die Fußgängerzuflüsse werden unter der Option „Fahrzeugzuflüsse“ eingegeben. Daher wird zwischen den Trajektorien der Fußgänger und jener der Kfz in den Ausgabedateien von VISSIM und folglich auch in SSAM kein Unterschied gemacht.

Dass Fußgänger gleich wie Fahrzeuge behandelt werden, führt jedoch auch dazu, dass Konflikte zwischen einzelnen Fußgängern erkannt werden, was grundsätzlich nicht von Interesse ist. Tabelle 12 zeigt, wie viele Fußgängerkonflikte während des 15000 Simulationssekunden langen Simulationslaufes berechnet und welchen Konfliktypen diese zugeordnet wurden:

Tabelle 12: Zusammenfassung Konfliktypen Fußgängerübergang

Total	Crossing	Rear End	Lane Change
30	9	20	1

Trotz Implementierung der Konfliktfläche im Simulationsmodell, welche den Vorrang der Fußgänger gegenüber den Fahrzeugen festlegt, ergaben die Berechnungen 30 Konflikte. Bei Betrachtung dieser Tabelle stellt sich die Frage, durch welche Vorgänge die Rear-End-Konflikte sowie der Lane-Change-Konflikt ausgelöst wurden. Es wäre zu erwarten gewesen, dass sämtliche Konflikte zwischen

Fußgängern und Fahrzeugen aufgrund des Konfliktwinkels dem Typ Crossing zugeordnet sind. Daher soll im nächsten Schritt anhand des Konfliktlageplans dargestellt werden, in welchen Bereichen sich die einzelnen Konflikte ereignet haben.



Abbildung 85: Konfliktlageplan Fußgängerübergang

Es lässt sich erkennen, dass sich die meisten Rear-End-Konflikte in einem Bereich zugetragen haben, in dem sich der Fußgängerübergang und die Abbiegefahrbahn nicht einmal überschneiden. Daraus kann geschlossen werden, dass sämtliche Konflikte links der Fahrbahn Konflikte zwischen zwei Fußgängern sind. Manche Konflikte zwischen zwei Fußgängern rühren vermutlich auch von der Eigenschaft her, dass ein Fußgänger einen anderen sofort überholt, wenn er sich nicht mit seiner Wunschgeschwindigkeit fortbewegen kann. [PTV, 2012] Problematisch könnte sein, dass solche Konflikte nicht aus den Ergebnissen des SSAM herausgefiltert werden können, da sich die Trajektorien der Fußgänger nicht von jenen der Fahrzeuge unterscheiden. Auffallend ist darüber hinaus, dass die meisten dieser Rear-End-Konflikte Kollisionen darstellen, weil sie eine TTC von 0 aufweisen. Da an manchen Konfliktpunkten zwei oder mehrere Konflikte übereinanderliegen, kann anhand dieser Graphik jedoch nicht eindeutig gesagt werden, wie viele der Konflikte tatsächlich simulierte Unfälle darstellen.

Werden einzelne Konflikte in VISSIM betrachtet, so stellt sich die Frage, ob eine gleichzeitige Auswertung von Fußgängerkonflikten und Fahrzeugkonflikten mit dem SSAM sinnvoll ist. Die Fußgänger weisen eine deutlich kleinere Fläche auf als die Fahrzeuge, es macht jedoch den Anschein, als würde SSAM für die Berücksichtigung der Fußgänger eine in Relation zu den Fahrzeugen zu große Konfliktfläche berechnen. Daher ist die Konfliktberechnung nicht durchgehend aussagekräftig. Es wird für die Fußgänger eine zu große Konfliktfläche angenommen, was dazu führt, dass beispielsweise folgender Konflikt zum Zeitpunkt $t_{\min\text{TTC}}$ (TTC = 0,2 Sekunden) als Rear-End-Konflikt klassifiziert wurde:



Abbildung 86: Rear-End-Konflikt zwischen zwei Fußgängern zum Zeitpunkt t_{MinTTC}

Die Tatsache, dass Fußgänger wie Fahrzeuge behandelt werden, führt also dazu, dass sicherheitstechnisch nicht relevante Konflikte zwischen einzelnen Fußgängern berechnet werden, was einen Störfaktor für die gesamte Auswertung darstellt.

Im Gegensatz zu den Rear-End-Konflikten sind die Konfliktbeteiligten bei den Crossing-Konflikten hier immer jeweils ein Fußgänger und ein Fahrzeug. Wie erwartet weisen diese Crossing-Konflikte aufgrund der mithilfe einer Konfliktfläche implementierten Vorrangs der Fußgänger größere TTC-Werte auf als die Konflikte, an denen nur Fußgänger beteiligt sind. Abbildung 87 gibt ein Beispiel für einen solchen Konflikt:

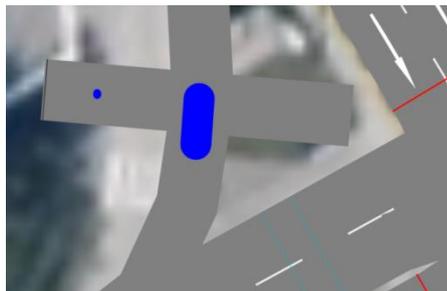


Abbildung 87: Crossing-Konflikt zum Zeitpunkt t_{MinTTC} (TTC = 1,3 Sekunden)

Es lässt sich hier schon mit einem Blick erkennen, dass diese Situation kein hohes Sicherheitsrisiko beinhaltet, da das Fahrzeug den Fußgängerübergang schon längst verlassen haben wird, wenn der Fußgänger die Fahrbahn erreicht.

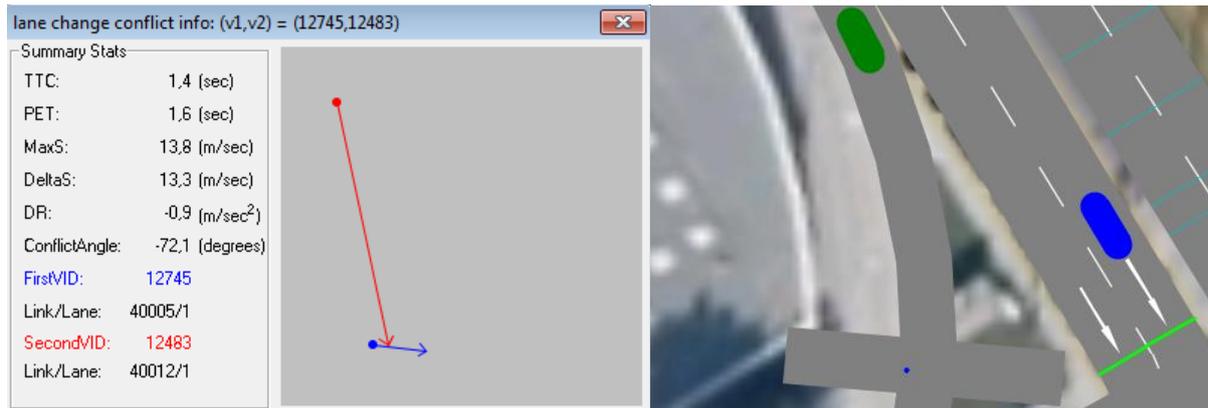


Abbildung 88: Lane-Change-Konflikt zum Zeitpunkt tMinTTC

Der im VISSIM-Screenshot in Abbildung 88 dargestellte Lane-Change-Konflikt ist in der gesamten Konflikttabelle der Konflikt, der den höchsten MaxS-Wert aufweist. Die maximale Geschwindigkeit des grünen Fahrzeuges während dieses Konfliktes beträgt 13,77 m/s (knapp 50 km/h). Dass es sich hierbei tatsächlich um einen Lane-Change-Konflikt handelt, scheint allerdings nicht plausibel. In der Regel müsste eine solche Situation zu einem Crossing-Konflikt führen. Eine Erklärung dafür, warum der Konfliktwinkel hier $-72,12^\circ$ beträgt (der Schwellenwert für einen Konflikt vom Typ Crossing beträgt hier abermals 80°), könnte sein, dass bei der Berechnung der Trajektorie des grünen Fahrzeuges zum Zeitpunkt tMinTTC die darauffolgende Kurve, in welcher sich die Fahrtrichtung des Fahrzeuges und somit der Konfliktwinkel des potentiellen Konfliktes ändert, nicht gänzlich miteinbezogen wurde. Die aus der Konfliktinformation ersichtlichen Trajektorien bilden die Erklärung für die vorliegende Konfliktpeneinteilung.

Abschließend ist zu erwähnen, dass es für die Beurteilung der Sicherheit des Fußgängerverkehrs notwendig ist, dass die Fußgänger exakt modelliert werden können. Dies ist hinsichtlich VISSIM der Fall, da hier das Verhalten von Fußgängern relativ genau dargestellt wird. Im Regelfall können jedoch Verkehrsflussmodelle, welche hauptsächlich Fahrzeugverkehr abbilden, Fußgänger nicht präzise genug abbilden, dass aussagekräftige Untersuchungen der Sicherheit vorgenommen werden können.

4.3 Anschlussstelle Franzosenhausweg

Das zweite Beispiel, welches in dieser Arbeit untersucht wurde, behandelt die A7 Mühlkreisautobahn im Bereich der Anschlussstelle Franzosenhausweg Auffahrtsrampe Süd. Mithilfe der verkehrssicherheitstechnischen Auswertung dieser bereits simulierten einfachen Anschlussstelle sollen die in Kapitel 3.4 beschriebenen Konflikte und deren Ersatzgrößen im Zuge eines Variantenvergleichs untersucht und die Ergebnisse besprochen werden. Die Verkehrsflusssimulation wurde von der IKK Kaufmann-Kribernegg ZT-GmbH zur Verfügung gestellt.

Bei diesem Beispiel wurden ausschließlich ein Teil der Hauptfahrbahn Richtung Süden und die Auffahrtsrampe Süd untersucht. Es wurde bei gleicher Simulationseinstellung und Simulationsgeometrie getestet, ob die Installation einer Zuflussregelungsanlage in Bezug auf die Sicherheit Verbesserungen oder Verschlechterungen im Bereich der Rampe bzw. im Bereich der Hauptfahrbahn oberhalb und unterhalb der Rampe bringt. Es soll vordergründig überprüft werden, ob die ZRA einen Einfluss auf die Art und Anzahl der auftretenden Konflikte hat. Außerdem wird analysiert, ob sich auch andere Faktoren, wie beispielsweise die Verkehrsstärke oder Geschwindigkeit, auf das Auftreten von Konflikten auswirken. Ziel ist es, festzustellen, ob sinnvolle Resultate erlangt werden und ob die Ersatzgrößen von SSAM dazu geeignet sind, die Verkehrssicherheit im Bereich einer Anschlussstelle und insbesondere beim Einfädungsvorgang realistisch abzubilden.

Erste Zuflussregelungsanlage Österreichs

Um dem bisher häufig auftretenden Stau an der Anschlussstelle Franzosenhausweg in Richtung Knoten Linz/A1 entgegenzuwirken, wurde hier ein österreichweit einzigartiges Pilotprojekt ins Leben gerufen, welches mit Oktober 2014 startete. [Land Oberösterreich; Stadt Linz; ASFINAG Service GmbH, 2014] Dieses Projekt hat eine Zuflussregelungsanlage (im Folgenden ZRA) auf der Auffahrtsrampe Süd zum Inhalt. Wie im Ausland schon häufig eingesetzt, ermittelt eine ZRA maßgebende Faktoren für eine Überlastung und Staubildung auf der Autobahn, wie beispielsweise die dort auftretende Verkehrsstärke oder den Belegungsgrad, und steuert mithilfe dieser Information eine Lichtsignalanlage, die im Bereich der Auffahrtsrampe angebracht ist. Schnelle Wechsel zwischen und Anpassung der Grün- und Rotphasen sind die Folge. Da die Dauer der Grün-, Rot- und Gelbphasen in Österreich jedoch gesetzlich festgelegt sind (gemäß § 38 Abs. 2b StVO hat die Dauer des gelben nichtblinkenden Lichtes, das dem roten Licht folgt oder gemeinsam mit diesem leuchtet, zwei Sekunden zu betragen; gemäß § 38 Abs. 6 StVO ist das grüne Licht jeweils mit viermal grünblinkendem Licht zu beenden, wobei die Leucht- und die Dunkelphase abwechselnd je eine halbe Sekunde zu betragen haben), musste für dieses Projekt eine eigene Verkehrsversuchsverordnung des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie erlassen werden. Deren § 1 lautet wie folgt:

„Zum Zweck der Erprobung im Rahmen der Durchführung einer wissenschaftlichen Untersuchung ist eine von § 38 Abs. 2b und 6 Straßenverkehrsordnung 1960 abweichende Ausführung von Lichtsignalanlagen auf der A 7 Mühlkreisautobahn, Anschlussstelle Franzosenhausweg Auffahrtsrampe Süd, dahingehend, dass die Dauer des gelben nichtblinkenden Lichtes, das gemeinsam mit dem roten Licht leuchtet, eine Sekunde beträgt und dass das Grünlicht ohne vorangehende Grünblinkphase beendet wird, zulässig.“

Die folgende Graphik zeigt eine schematische Darstellung der ZRA bei der Anschlussstelle Franzosenhausweg. Die Abbildung beinhaltet die Bezeichnung der einzelnen Komponenten, aus denen sich die ZRA zusammensetzt.

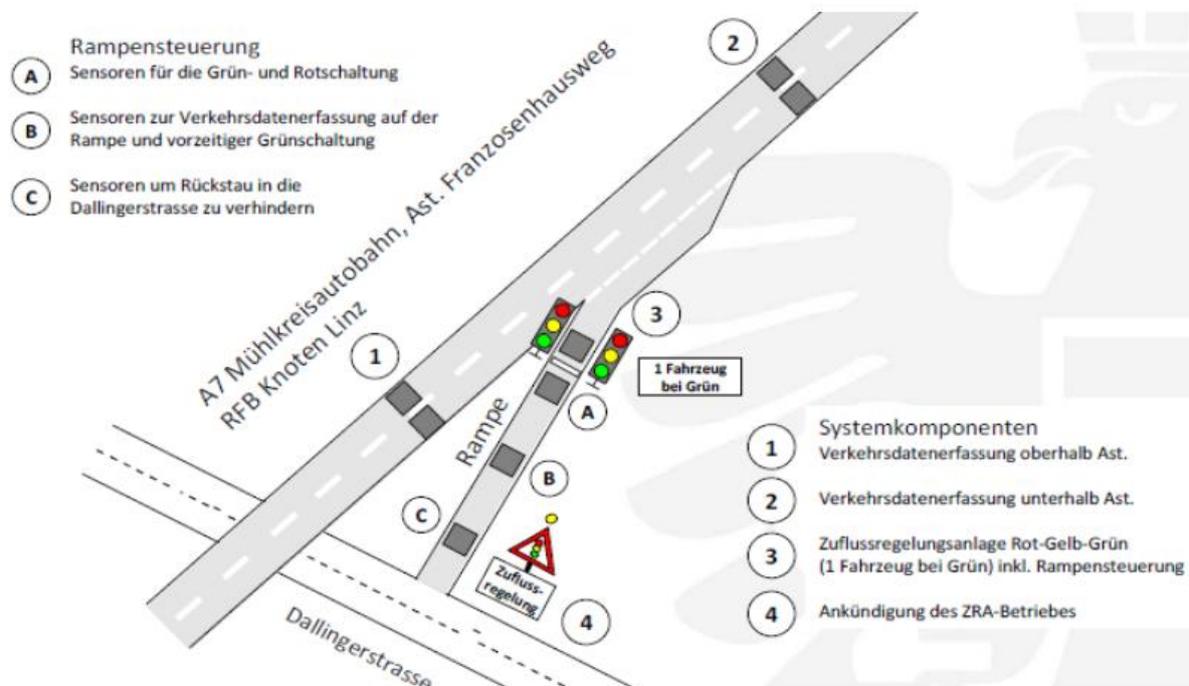


Abbildung 89: Schematische Darstellung der ZRA Franzosenhausweg [Land Oberösterreich; Stadt Linz; ASFINAG Service GmbH, 2014]

ALINEA

Die Methode, die zur Steuerung der ZRA Franzosenhausweg eingesetzt wird, ist ALINEA. ALINEA ist ein dynamisches Verkehrsbeeinflussungssystem, das einen Algorithmus zur Zuflussdosierung im Bereich von Auffahrten zu Schnellstraßen/Autobahnen bezeichnet und zu den Knotenbeeinflussungsanlagen gezählt wird. Es handelt sich dabei um eine Rückkoppelungsmethode, bei der eine Ausgangsgröße gemessen und eine beeinflussbare Eingangsgröße durch einen Regulator laufend so angepasst wird, dass die Ausgangsgröße trotz zeitabhängiger Störgrößen ihren Sollwert annimmt. Die beeinflussbare Eingangsgröße ist in diesem Fall die zulässige Zuflussrate r auf der Auffahrtsrampe, als Ausgangsgröße nimmt ALINEA den Belegungsgrad o_{out} an, der an einem Punkt stromabwärts der Autobahn mittels Detektoren gemessen wird. Das Ziel liegt darin, diesen Belegungsgrad o_{out} nahe dem Sollwert \hat{o} zu halten, welcher beispielsweise aus dem Fundamentaldiagramm ermittelt werden kann. Die Berechnung der zulässigen Zuflussrate r erfolgt zu bestimmten Zeitpunkten k , zwischen denen ein festgelegter Zeitraum T (z.B. 1 min) liegt. Die überschlagsmäßige Berechnung für die zulässige Zuflussrate lautet

$$r(k) = r(k-1) + K_R[\hat{o} - o_{out}(k)]$$

wobei K_R ein positiver, konstanter Regelparameter und $o_{out}(k)$ der momentan gemessene Belegungsgrad ist. Durch Versuche im echten Straßenverkehr ergaben sich für einen Wert K_R von 70 FZ/h gute Ergebnisse. Je höher K_R angenommen wird, desto stärker und gleichmäßiger wird die Zuflussrate reguliert. [Papageorgiou; Hadi-Salem; Blosseville, 1991]

Abbildung 90 zeigt eine graphische Darstellung des ALINEA-Verfahrens:

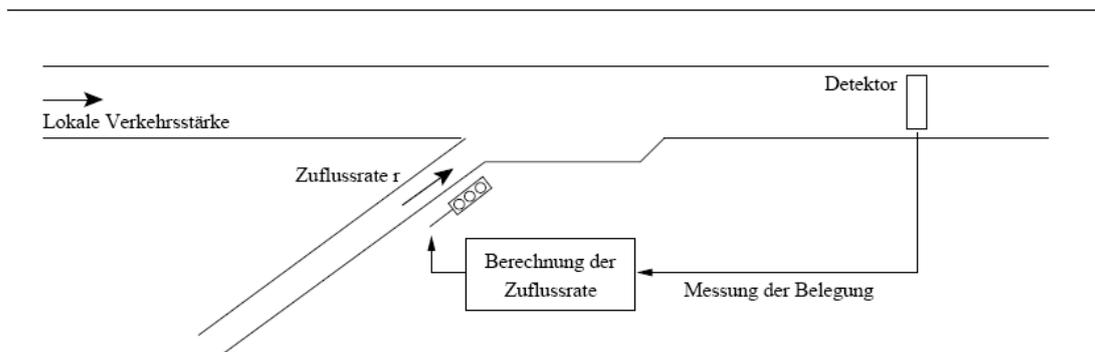


Abbildung 90: Graphische Darstellung des ALINEA-Verfahrens [Waldherr, 2004]

4.3.1 Modellierung der Anschlussstelle Franzosenhausweg

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche Varianten im Zuge dieses Beispiels verglichen werden und wie der Untersuchungsbereich sowie das Simulationsmodell der Anschlussstelle Franzosenhausweg aussehen. Darüber hinaus erfolgt eine Erläuterung der eigens getroffenen Annahmen in VISSIM.

4.3.1.1 Beschreibung der Varianten

In diesem Kapitel werden zwei verschiedene Varianten mit je unterschiedlichen Verkehrsstärken untersucht, welche jeweils vier Stunden lang simuliert werden (14400 Simulationssekunden): Variante 1a untersucht die Verkehrssicherheit an der Anschlussstelle mit in Betrieb befindlicher ZRA und in der Realität auftretenden Verkehrsstärken. Bei Variante 1b befindet sich die ZRA ebenfalls in Betrieb, die Verkehrsbelastungen auf der Hauptfahrbahn wurden aber bis knapp unter die Kapazitätsgrenze erhöht. Die hohen Verkehrsbelastungen führen dazu, dass die ZRA ab dem Simulationszeitpunkt, an dem das Netz vollgelaufen ist, durchgehend läuft. Dieser Zeitpunkt findet im ersten Simulationslauf zur Simulationssekunde 300 statt. (Bei Variante 1a springt die ZRA aufgrund der Belastungsverteilung erst ab Simulationssekunde 4860 im ersten Simulationslauf für längere Zeit an und läuft dann bis zum Simulationsende (Simulationssekunde 14400) durch.) Bei den Varianten 2a und 2b ist die ZRA ausgeschaltet, die Belastungen werden wie in den Varianten 1a und 1b gewählt. Im Anschluss sollen die statistischen Unterschiede der beiden Varianten mit SSAM mittels t-Test überprüft werden. Tabelle 13 zeigt einen Überblick über die einzelnen Varianten und ihre im Folgenden verwendeten Bezeichnungen:

Tabelle 13: Variantenübersicht Beispiel Anschlussstelle Franzosenhausweg

Nummer	Beschreibung	Bezeichnung
1a	<ul style="list-style-type: none"> realitätsgetreue Belastungen <ul style="list-style-type: none"> ZRA an 	Realfall_mit
1b	<ul style="list-style-type: none"> realitätsgetreue Belastungen <ul style="list-style-type: none"> ZRA aus 	Realfall_ohne
2a	<ul style="list-style-type: none"> erhöhte Belastungen <ul style="list-style-type: none"> ZRA an 	Erhöht_mit
2b	<ul style="list-style-type: none"> erhöhte Belastungen <ul style="list-style-type: none"> ZRA aus 	Erhöht_ohne

Die Analyse der Varianten wird auf vergleichender Basis durchgeführt, da auf diese Weise mit dem SSAM treffendere Aussagen über die Verkehrssicherheit getätigt werden können als bei separatem Betrachten der absoluten Ergebnisse jeder einzelnen Variante. [Federal Highway Administration, 2008] Um die Vergleichbarkeit aller Varianten sicherstellen zu können, wurden immer dieselben Simulationsparameter sowie Fahrverhaltensmodelle und –parameter angenommen.

4.3.1.2 Untersuchungsbereich – Modellierter Bereich

Der Untersuchungsbereich dieses Beispiels umfasst ausschließlich den Teil der Hauptfahrbahn im Bereich vor und nach der Einfahrtsrampe Süd der Anschlussstelle Franzosenhausweg sowie die Einfahrtsrampe selbst. Abbildung 91 zeigt die schematische Darstellung der gesamten Anschlussstelle sowie des maßgeblichen Bereichs.

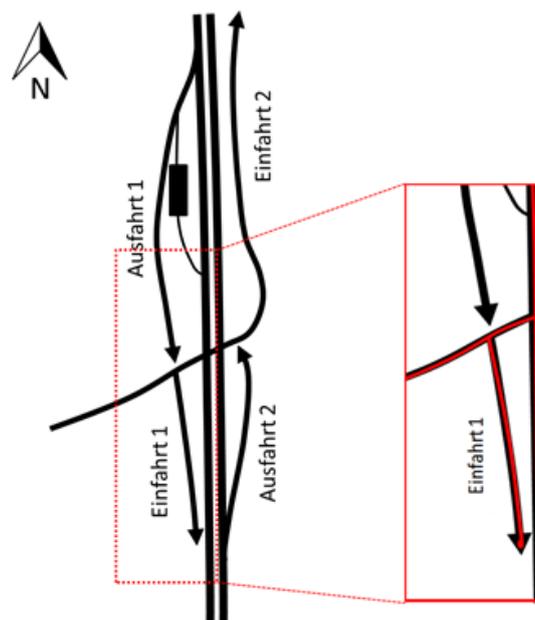


Abbildung 91: Schematische Darstellung der Anschlussstelle Franzosenhausweg samt Darstellung des Untersuchungsbereichs

Der Untersuchungsbereich ist von dem in VISSIM modellierten Bereich zu unterscheiden. Dieser reicht noch ca. 1,2 km stromaufwärts sowie stromabwärts der Hauptfahrbahn Richtung Süden und umfasst einen Teil des untergeordneten Straßennetzes, welches über die Einfahrtsrampe 1 mit der Anschlussstelle verbunden ist. Die Hauptfahrbahn Richtung Norden wurde nicht mitmodelliert. Bei der Modellierung wurden einige Vereinfachungen vorgenommen. So befindet sich ca. 400 m vor Einmündung der Einfahrtsrampe eine Raststation, wie aus Abbildung 91 ersichtlich. Diese ist über die Ausfahrtsrampe 1 erreichbar und schließt weiter südlich wieder an die Hauptfahrbahn an. Dadurch liegt auch an dieser Stelle bereits ein Einfädungsbereich vor. Da allerdings im Verhältnis zur Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn wenige Fahrzeuge zur Raststation zufahren und sich in Folge auf der Hauptfahrbahn wieder einfädeln, wurde die Raststation nicht mitmodelliert. Es wurde angenommen, dass diese für die Beurteilung der Verkehrssicherheit mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht relevant ist. Darüber hinaus wurde auch die Ausfahrtsrampe 1 im Simulationsmodell nicht abgebildet, da durch den Ausfädungsvorgang keine Beeinflussung der Verkehrssicherheit im Bereich der Einfahrtsrampe angenommen wird.

Für die Untersuchung der Verkehrssicherheit sind für den Variantenvergleich jedoch nicht sämtliche der in VISSIM modellierten Strecken maßgeblich. Zu diesem Zwecke werden die mit SSAM berechneten Ergebnisse nach den gewünschten Strecken gefiltert. Abbildung 92 gibt einen schematischen Überblick über die in die Auswertung miteinbezogenen Strecken. Dazu zählen die Strecken 7, 8, 9, 10 und 11 sowie wie Verbinderstrecken 10005, 10006, 10007 und 10010. Die Zahlen, welche sich innerhalb der Strecken befinden, geben die Nummerierung der Fahrstreifen an.

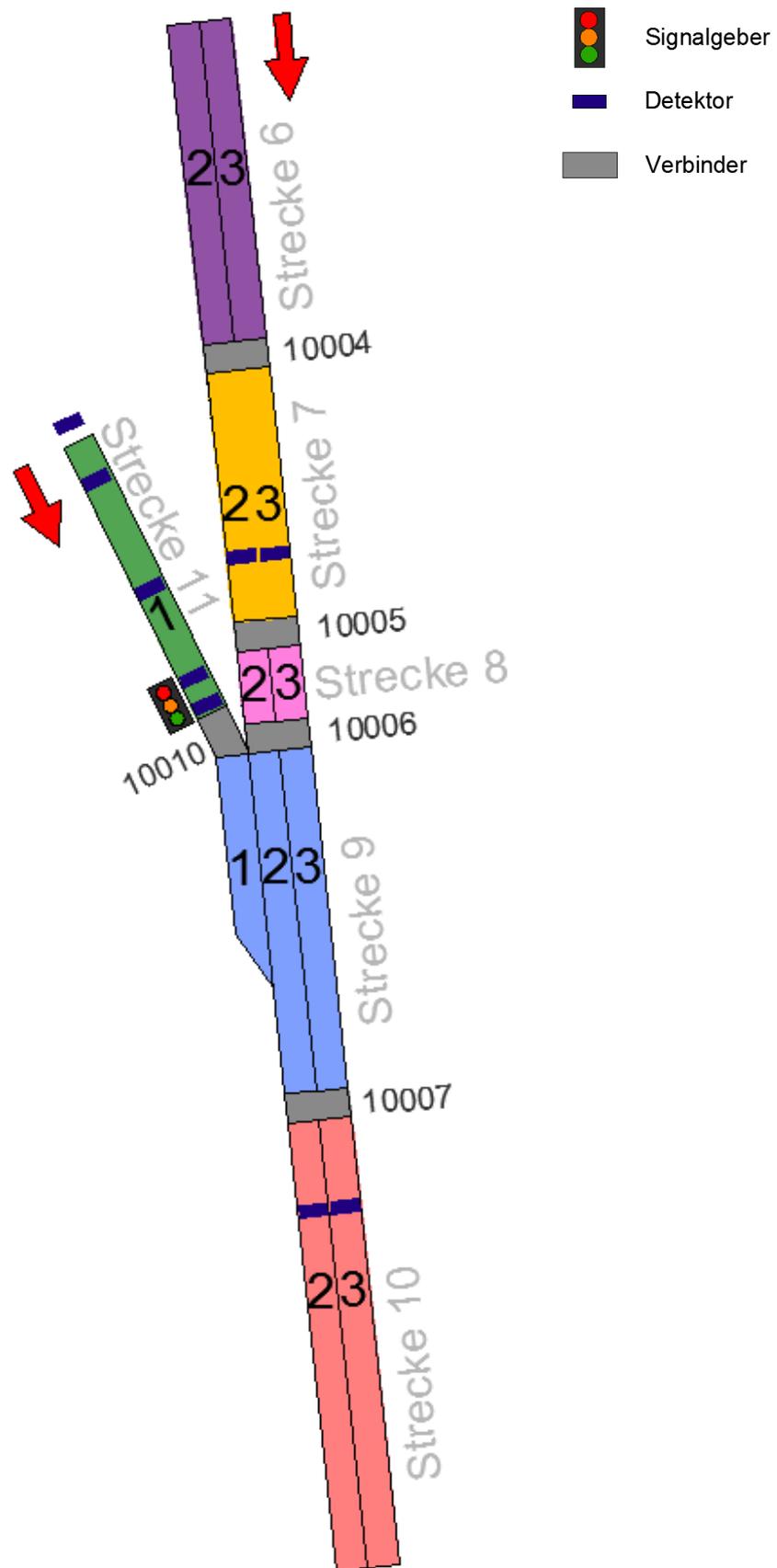


Abbildung 92: Untersuchungsbereich Anschlussstelle Franzosenhausweg mit Streckennummerierung

Tabelle 14 listet die maßgeblichen Strecken mit ihren dazugehörigen Streckenverhaltenstypen auf:

Tabelle 14: Strecken im Untersuchungsbereich mit dazugehörigen Verhaltenstypen

Streckenummer	Streckenverhaltenstyp
6	Rechtsfahrgebot (motorisiert)
7	Einfädelung
8	Einfädelung
9	Einfädelung
10	Rechtsfahrgebot (motorisiert)
11	Rampe
10004	Einfädelung
10005	Einfädelung
10006	Einfädelung
10007	Rechtsfahrgebot (motorisiert)
10010	Rampe

Für die Analyse ist insbesondere Strecke 9 von Bedeutung, da der Einfädelungsbereich als kritischer Bereich für die Verkehrssicherheit eingeschätzt wird. Daher wird diese Strecke im Anschluss bei der Konfliktauswertung eigens hervorgehoben und genauer beleuchtet.

Neben dem Untersuchungsbereich zeigt Abbildung 6 auch die Lage der Verkehrslichtsignalanlage sowie die Anordnung der Detektoren im Simulationsmodell. Dazu muss erwähnt werden, dass die Parameter der in VISSIM implementierten Logik für die ZRA nur eine erste Voreinstellung darstellen, da es eine vorläufig endgültige Parametereinstellung erst nach einer Auswertung aktueller Realdaten der ZRA geben wird. Die Datenaufzeichnung dazu läuft parallel mit der Erstellung der vorliegenden Arbeit und kann daher nicht berücksichtigt werden. Insbesondere die mit den geglätteten Belegungsgraden verknüpften Parameter sind ohne Realdaten schwierig einzustellen.

4.3.1.3 Eigens getroffene Annahmen in VISSIM

In VISSIM mussten vom Ersteller der Simulation einige Annahmen getroffen werden. Zu diesen zählt, wie aus der vorherigen Abbildung ersichtlich, die Geometrie der Anschlussstelle, wobei diese im vorliegenden Fall bereits vorgegeben war, da die Anschlussstelle ja bereits in der Realität existiert. Auch die Signalsteuerung musste nicht angenommen werden, da sie für das Projekt auch im Vorhinein festgelegt wurde und mittels Simulation lediglich überprüft werden soll. Annahmen, die noch getroffen werden mussten, sind die Fahrverhaltensparameter und fahrzeugtypabhängige Eigenschaften sowie die Fahrzeugzuflüsse für die Varianten mit den erhöhten Belastungen. Wie bereits erwähnt, wurden bei allen Varianten dieselben Parameter verwendet, um einen objektiven Vergleich gewährleisten zu können.

Fahrzeugtypen

Die Fahrzeuge werden an den Strecken 1, 2 und 3 eingespeist. Diese Strecken liegen außerhalb des Untersuchungsbereichs, stromaufwärts der Hauptfahrbahn und der Rampe. Die eingespeisten Fahrzeuge setzen sich aus unterschiedlichen Fahrzeugtypen zusammen. Diese Fahrzeugtypen sind Pkw sowie Lkw, wobei die Lkw sich mit einer Wunschgeschwindigkeit auf der Einfahrt bzw. auf der Hauptfahrbahn von 50 km/h bzw. 80 km/h fortbewegen und die Pkw mit einer Wunschgeschwindigkeit von 50 km/h sowie 100 km/h.

Zuflussverkehrsstärken

Variante 1

Die Verkehrsstärken für den Realfall wurden von dem zur Verfügung gestellten Simulationsmodell übernommen. Diese sollen, wie die Bezeichnung „Realfall“ schon verrät, die real gemessenen Verkehrsstärken an dieser Anschlussstelle abbilden. Abbildung 93 zeigt die Verteilung der eingespeisten Belastungen für den Realfall über den Simulationszeitraum für die Hauptfahrbahn und die Rampe sowie separat für die beiden Fahrstreifen der Hauptfahrbahn oberhalb der Rampe.

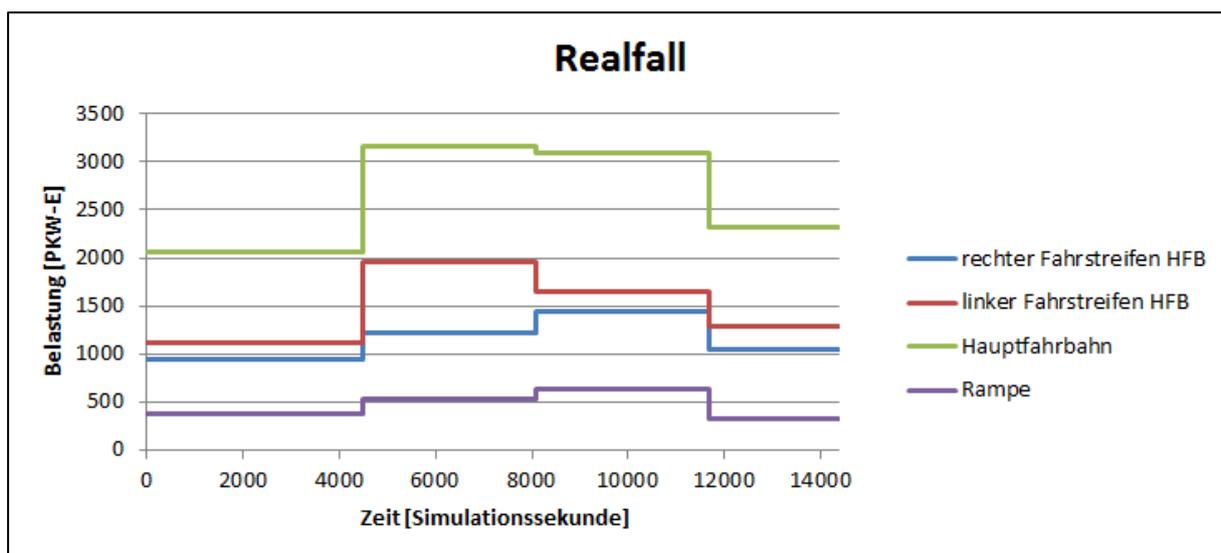


Abbildung 93: Belastungsganglinien Variante 1

Variante 2

Für Variante 2 wurden die Belastungen im Vergleich zum Realfall insbesondere der Hauptfahrbahn erhöht. Ziel war es, eine solche Auslastung zu erhalten, dass die ZRA durchgehend läuft. Dementsprechend sollten Verkehrsstärken erreicht werden, die knapp unter der Kapazitätsgrenze dieser Fahrbahn und insgesamt des kompletten Knotenpunktes liegen. Die Belastungen sollen dabei ungefähr die Werte der zulässigen Verkehrsstärken q_{zul} für die jeweiligen Straßentypen annehmen, sodass gewährleistet ist, dass ein gewisses Maß an Qualität des Verkehrsablaufs nicht unterschritten wird. Während der Simulationsdauer soll sich also kein Verkehrsstau entwickeln. Wie groß q_{zul} in diesem Fall ist, musste zunächst durch einen Blick in die Literatur geklärt werden. Die durch

Richtlinien etc. vorgegebenen Werte wurden anschließend in das Verkehrsflussmodell implementiert und nach einigen Testläufen angepasst.

Der Verkehrsablauf lässt sich nach dem HBS 2001 [FGSV] in die Qualitätsstufen A bis F einteilen, wobei A für einen freien Verkehrsfluss und F für die Überlastung einer Strecke und somit einen Stillstand des Verkehrs steht. Die Kapazität einer Strecke wird bereits bei der QSV E erreicht. Für die Zwecke dieser Untersuchung soll eine Verkehrsstärke im Bereich der QSV von C bis D maßgeblich sein. Charakteristisch für die Stufe C sind eine eingeschränkte individuelle Bewegungsfreiheit sowie nicht mehr frei wählbare Geschwindigkeiten. Bei Erreichen der Stufe D ist der Verkehrszustand zwar noch stabil, die individuelle Geschwindigkeits- und Fahrstreifenwahl sind jedoch schon stark eingeschränkt. Einen Überblick über die einzelnen QSV mit dazugehörigen mittleren Reisezeiten, Geschwindigkeiten sowie Verkehrsdichte und Auslastungsgrad nach dem HBS gibt Tabelle 15.

Tabelle 15: Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs [FGSV, 2001]

QSV	mittlere Reisezeit der Pkw [Minuten/100 km]	mittlere Reise- geschwindigkeit der Pkw [km/h]	Verkehrs- dichte [Kfz/km]	Auslastungsgrad a [-]
A	≤ 46	≥ 130	≤ 8	≤ 0,30
B	≤ 48	≥ 125	≤ 16	≤ 0,55
C	≤ 52	≥ 115	≤ 23	≤ 0,75
D	≤ 60	≥ 100	≤ 32	≤ 0,90
E	≤ 75	≥ 80	≤ 45	≤ 1
F	> 75	< 80	> 45	

Zur Ermittlung der Verkehrsstärken ist es notwendig, folgende drei Bereiche zu beachten: Die Hauptfahrbahn oberhalb der Einfahrt, die Einfahrt und die Hauptfahrbahn unterhalb der Einfahrt. Nur dann, wenn in allen drei Bereichen die gewünschte Qualitätsstufe nachgewiesen werden kann, gilt diese auch für den gesamten Knotenpunkt. Im Folgenden werden zulässigen Bereiche für die Verkehrsstärken gemäß HBS 2001 zur Erreichung einer QSV von C bis D dargelegt und anschließend dementsprechende Belastungswerte gewählt.

Tabelle 16 zeigt die zulässigen Verkehrsstärken q_H für Autobahnen innerhalb von Ballungsräumen mit Geschwindigkeitsbeschränkung bei Ebene, Gefälle und Steigungen bis 2 % und mit einem Schwerverkehrsanteil von 10 %. Diese Werte sind maßgeblich für die Hauptfahrbahn oberhalb der Einfahrt.

Tabelle 16: Zulässige Verkehrsstärken für Autobahnabschnitte außerhalb von Knotenpunkten [FGSV, 2001]

QSV	zulässige Verkehrsstärke [Kfz/h] SV-Anteil = 10 %				
	dreistreifig		zweistreifig		
	T120	T100/T80 + Tunnel	T120	T100/T80 + Tunnel	Arbeitsstelle (4+0/3+1)
A	≤ 1620	≤ 1650	≤ 1140	≤ 1170	≤ 990
B	≤ 2970	≤ 3025	≤ 2090	≤ 2145	≤ 1815
C	≤ 4050	≤ 4125	≤ 2850	≤ 2925	≤ 2475
D	≤ 4860	≤ 4950	≤ 3420	≤ 3510	≤ 2970
E	≤ 5400	≤ 5500	≤ 3800	≤ 3900	≤ 3300
F	-	-	-	-	-

Im nächsten Schritt muss definiert werden, welchen Einfahrtstyp der betrachtete Knotenpunkt aufweist. Das HBS teilt Einfahrten in die Standardtypen E 1 bis E 5, wobei die Anschlussstelle Franzosenhausweg, wie aus Abbildung 94 ersichtlich, dem zweiten Fall des Typs E 1 entspricht.

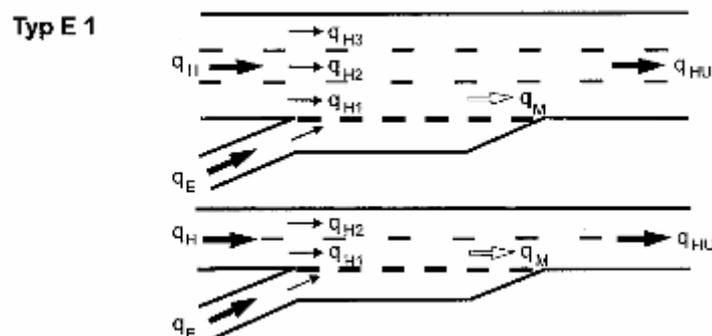


Abbildung 94: Einfahrtstyp E 1 und Bezeichnung der Fahrzeugströme [FGSV, 2001]

Die maßgebende Einfädelungsverkehrsstärke q_M setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$q_M = q_{H1} + q_E$$

wobei q_{H1} die Verkehrsstärke des Fahrzeugstroms auf dem rechten Fahrstreifen der durchgehenden Fahrbahn in Höhe der Inselfspitze und q_E die Verkehrsstärke des einfahrenden Fahrzeugstroms ist.

Aus Tabelle 17 lassen sich die zulässigen Einfädelungsverkehrsstärken für diesen Einfahrtstyp ablesen. Die reduzierten Werte kommen zur Anwendung, wenn die einfahrenden Fahrzeuge durch enge Einfahrampen oder große Steigungen zu einer langsameren Fahrweise als 60 km/h in Höhe der Inselfspitze gezwungen sind, was beim vorliegenden Beispiel schon aufgrund der ZRA der Fall ist. Tabelle 18 zeigt die Kapazitäten der durchgehenden Hauptfahrbahn mit Geschwindigkeitsbeschränkung unterhalb des planfreien Knotenpunktes. Mithilfe von Abbildung 95

lässt sich anhand der Verkehrsstärke der durchgehenden Hauptfahrbahn die Verkehrsstärke in der Einfahrt ermitteln.

Tabelle 17: Zulässige Einfädelungsverkehrsstärken für den Einfahrtstyp E 1 [FGSV, 2001]

QSV	zulässige Einfädelungsverkehrsstärke [Pkw-E/h]	
	Regelfall	reduzierte Werte
A	≤ 660	≤ 600
B	≤ 1210	≤ 1100
C	≤ 1650	≤ 1500
D	≤ 1980	≤ 1800
E	≤ 2200	≤ 2000
F	-	-

Tabelle 18: Kapazitäten der durchgehenden Hauptfahrbahn mit Geschwindigkeitsbeschränkung unterhalb des planfreien Knotenpunkts (für Ebene, Gefälle oder Steigung bis 2%) [FGSV, 2001]

Anzahl der Fahrstreifen	Geschwindigkeitsbeschränkung	Kapazitäten [Kfz/h]		
		SV-Anteil		
		0%	10%	20%
3	T120	5700	5400	5100
	T100/T80	5800	5500	5200
2	T120	4000	3800	3600
	T100/T80	4100	3900	3700

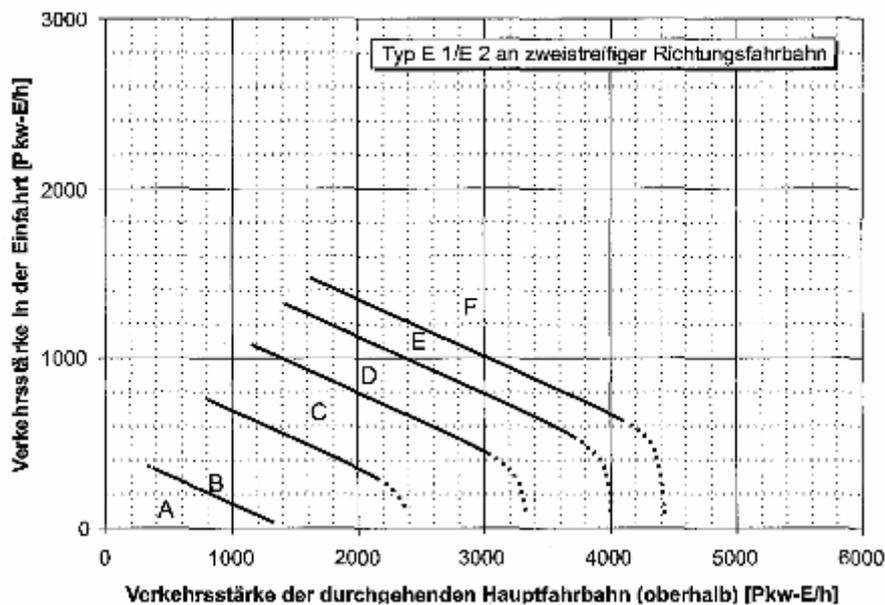


Abbildung 95: QSV des Verkehrsablaufs für den Einfädelungsvorgang für den Einfahrtstyp E 1 an zweistreifigen Richtungsfahrbahnen [FGSV, 2001]

Die mithilfe des HBS ermittelten und durch Testläufe in VISSIM adaptierten Verkehrsbelastungen werden über den gesamten Simulationszeitraum konstant gehalten. Für die Hauptfahrbahn oberhalb der Einfahrt wurden 3544 Kfz/h mit einem SV-Anteil von ungefähr 9 % gewählt. Für die Einfahrt wurde eine Belastung von 400 Kfz/h mit einem SV-Anteil von ungefähr 4 % gewählt. Dieser Wert wurde durch versuchsweise Adaptierung des Belastungswertes des Realfalls in VISSIM, mit dem Ziel, auf der Hauptfahrbahn auch unterhalb der Rampe eine QSV im Bereich von C bis D zu erreichen, ermittelt. Dies wurde angestrebt, da eine hohe Auslastung der Hauptfahrbahn erzielt werden sollte, um bei den Auswertungsergebnissen einen deutlichen Unterschied dieser Variante zum Realfall sichtbar zu machen. Tabelle 19 zeigt eine Zusammenfassung der für Variante 2 gewählten Verkehrsstärken.

Tabelle 19: Belastungen Variante 2

	Zeit (Simulationssekunde)
Belastung [Pkw-E/h]	0 - 14400
rechter Fahrstreifen HFB	1294
linker Fahrstreifen HFB	2250
Hauptfahrbahn	3544
Rampe	400

Fahrverhalten

Welche Fahrverhaltenstypen den zu betrachtenden Strecken zugewiesen wurden, wurde bereits in Tabelle 14 dargestellt. Dabei wurden die Typen Rampe sowie Einfädelung vom Ersteller der Simulation eigens definiert. Aus Tabelle 20 ist unter anderem ersichtlich, welche Fahrzeugfolgemodelltypen und welches Fahrstreifenwechselverhalten für die einzelnen Fahrverhaltenstypen definiert wurden.

Tabelle 20: Fahrverhaltenstypen

	Rechtsfahrgebot (motorisiert)	Rampe	Einfädelung
Beachtete Vorderfahrzeuge	2	4	4
StillstAbst	0,5	0,5	0,5
FzFolModTyp	Wiedemann 99	Wiedemann 74	Wiedemann 74
Additiver Einfluss Sicherheitsabstand (W74)	-	-	2
Multiplikativer Einfluss Sicherheitsabstand (W74)	-	-	3
cc1 (W99)	1,1	0,9	-

FsWechsVerh	Rechtsfahrgebot	Freie Fahrstreifenwahl	Rechtsfahrgebot
Intelligentes Einfädeln	1	1	1
WunschQuerPos	Fahrstreifenmitte	Fahrstreifenmitte	Fahrstreifenmitte
Mindestseitenabstand bei 50 km/h	1	1	1
Mindestseitenabstand bei 0 km/h	1	1	1

4.3.2 Analyse mit SSAM

In diesem Kapitel erfolgen die Beschreibung der mit SSAM ausgewerteten Trajektoriendateien sowie ein Vergleich der Varianten mit in Betrieb befindlicher ZRA mit jenen ohne ZRA (beide Belastungsfälle). Dabei wird zunächst allgemein auf die berechneten Konfliktzahlen sowie Konflikttypen der einzelnen Varianten bzw. Trajektoriendateien eingegangen und bestimmt, auf welchen Strecken sich diese ereignet haben. Es folgen ein statistischer Vergleich der Konfliktzahlen sowie der Ersatzgrößen, welche die Konflikte beschreiben, um feststellen zu können, ob sich die ZRA positiv auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Besonders hervorgehoben wird dabei Strecke 9, da auf dem Einfädelungsbereich das Hauptaugenmerk der Untersuchung liegt.

4.3.2.1 Gesamtergebnisse aller Trajektoriendateien (Konfliktanzahl)

Nach Anwendung des Filtertools wird im ersten Schritt überprüft, ob die verschiedenen Simulationsläufe der einzelnen Varianten zu ähnlichen Ergebnissen führen. Das heißt, im Optimalfall sollten die Anzahl und Arten der aufgetretenen Konflikte sowie auch die Werte der einzelnen die Verkehrssicherheit abbildenden Ersatzgrößen ungefähr gleich groß sein, um insgesamt plausible statistische Aussagen zu erhalten. Dazu werden die Trajektoriendateien der zehn Simulationsläufe aller vier Varianten untersucht. Bevor deren Ergebnisse erläutert werden, muss jedoch noch erwähnt werden, dass beim ersten Betrachten der Ergebnisse auffällt, dass alle Konflikte, die auftreten, entweder Rear-End- oder Lane-Change-Konflikte sind, was angesichts der Tatsache, dass es bei dieser Anschlussstelle lediglich einen Einfädelungsbereich und keinen Kreuzungsbereich gibt, schlüssig ist. Es treten hier also nach der Einteilung gemäß der RVS 02.02.22 [FSV, 2014] nur Konflikte der Konflikttypenobergruppe 1 auf, welche Konflikte im Richtungsverkehr (z.B. Fahrstreifenwechselkonflikte, Auffahrkonflikte, Überholkonflikte) bezeichnet. Daher wird der Typ Crossing in den folgenden Abschnitten auch nicht mehr in die Ergebnisdarstellung miteinbezogen.

Tabelle 21: Realfall: Konflikanzahl und –typen der einzelnen Simulationsläufe

Realfall	ZRA ein				ZRA aus			
	Trajektoriendateien	Total	Crossing	RE	LC	Total	Crossing	RE
001.trj	1	0	1	0	1	0	0	1
002.trj	257	0	255	2	424	0	422	2
003.trj	5	0	4	1	3	0	1	2
004.trj	5	0	4	1	55	0	54	1
005.trj	5	0	0	5	437	0	436	1
006.trj	6	0	2	4	3	0	1	2
007.trj	2	0	1	1	482	0	478	4
008.trj	4	0	2	2	5	0	2	3
009.trj	3	0	3	0	2	0	0	2
010.trj	1	0	0	1	337	0	335	2
Gesamt	289	0	272	17	1749	0	1729	20

Tabelle 22: Erhöht: Konflikanzahl und -typen der einzelnen Simulationsläufe

Erhöht	ZRA ein				ZRA aus			
	Trajektoriendateien	Total	Crossing	RE	LC	Total	Crossing	RE
001.trj	230	0	229	1	614	0	612	2
002.trj	209	0	207	2	518	0	514	4
003.trj	125	0	125	0	587	0	585	2
004.trj	345	0	343	2	382	0	381	1
005.trj	422	0	419	3	527	0	523	4
006.trj	500	0	496	4	876	0	874	2
007.trj	366	0	361	5	530	0	530	0
008.trj	105	0	99	6	486	0	483	3
009.trj	234	0	232	2	793	0	790	3
010.trj	343	0	340	3	562	0	557	5
Gesamt	2879	0	2851	28	5875	0	5849	26

Das Ergebnis, welches in Tabelle 21 und Tabelle 22 dargestellt ist, zeigt, dass sich die Auswertungen der einzelnen Simulationsläufe stark voneinander unterscheiden. Darüber hinaus fällt auf, dass die Anzahl der berechneten Lane-Change-Konflikte (LC) im Vergleich zu den Rear-End-Konflikten (RE)

vernachlässigbar gering ist. Die rein von der Konflikanzahl für die Verkehrssicherheit ungünstigste Trajektorien-datei ist für die Variante Realfall_mit 002.trj und für die Variante Realfall_ohne 007.trj. Diese großen Unterschiede bilden die stochastische Streuung beim Einfahren und beim Fortbewegen der Fahrzeuge während der einzelnen Simulationsläufe ab. Den ungünstigsten Fall in Bezug auf den Einsatz der ZRA stellt im Realfall der sechste Simulationslauf dar, da hier mit ZRA drei Konflikte mehr als ohne ZRA erkannt wurden. Im Extremfall ist es also auch möglich, dass sich durch die ZRA über einen längeren Zeitraum (hier: von vier Stunden) kein positiver Einfluss auf die Verkehrssicherheit feststellen lässt.

Um die Streuungen der Ergebnisse übersichtlicher darzustellen, wurden für sämtliche Varianten und Konflikttypen die Mittelwerte und die Standardabweichung der von SSAM berechneten Konflikanzahlen berechnet, welche in Tabelle 23 bis Tabelle 26 ersichtlich sind.

Tabelle 23: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konfliktzahlen: Realfall_mit

Realfall_mit	Total	RE	LC
Mittelwert	28,9	27,2	2,7
Standardabweichung	80,17	80,05	1,64

Tabelle 24: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konfliktzahlen: Realfall_ohne

Realfall_ohne	Total	RE	LC
Mittelwert	174,9	172,9	2
Standardabweichung	128,17	127,74	1,81

Tabelle 25: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konfliktzahlen: Erhöht_mit

Erhöht_mit	Total	RE	LC
Mittelwert	287,9	285,1	2,8
Standardabweichung	214,43	214,18	0,94

Tabelle 26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Konfliktzahlen: Erhöht_ohne

Erhöht_ohne	Total	RE	LC
Mittelwert	587,5	584,9	2,6
Standardabweichung	145,73	145,67	1,51

Aus den obenstehenden Tabellen lässt sich erkennen, dass im Realfall ohne Betrieb der ZRA sowohl die Standardabweichung für die erkannten Konflikte als auch der Mittelwert steigen. Dies ist jedoch bei der Variante mit erhöhten Verkehrsbelastungen nicht der Fall. Hier wurden zwar im Mittel ohne ZRA mehr Konflikte berechnet, die Standardabweichung ist jedoch niedriger im Vergleich zur Variante mit ZRA und erhöhten Verkehrsbelastungen. Die Standardabweichung ist hier sogar um einen weitaus größeren Wert gesunken als sie im Realfall ohne ZRA angestiegen ist. Es kann die Hypothese aufgestellt werden, dass die Standardabweichung der Konflikanzahlen der einzelnen Trajektorien-dateien umso geringer wird, je mehr Konflikte für alle Simulationsläufe erkannt werden.

Der Grund dafür könnte darin liegen, dass bei hohen Belastungen ohnehin so viele Interaktionen zwischen den einzelnen Fahrzeugen stattfinden, dass die Stochastik in dieser Hinsicht keine großen Unterschiede mehr hervorrufen kann. Damit diese Behauptung Gültigkeit besitzt, ist jedoch das Auftreten einer gewissen Mindestanzahl an Konflikten notwendig.

Wie bereits erwähnt, eignet sich SSAM eher zum (statistischen) Vergleich verschiedener Varianten als zur Betrachtung von Einzelfällen, was durch die soeben dargestellten Werte verdeutlicht wird. Nicht nur betreffend die Anzahl der auftretenden Konflikte weisen die einzelnen Simulationsläufe starke Unterschiede auf, als Folge davon variieren auch die statistischen Kenngrößen der Ersatzgrößen der Trajektoriendateien der einzelnen Varianten. Insbesondere unter Zugrundelegung eines höheren Schwellenwertes für die TTC wird der Unterschied in der Konfliktdanzahl der Trajektoriendateien sichtbar. Erfolgt die Betrachtung der Varianten mit erhöhter Verkehrsstärke, so lässt sich auch hier dasselbe Phänomen feststellen.

Trotz der hohen Unterschiede bei der Konfliktdanzahl lässt sich feststellen, dass bei den einzelnen Trajektoriendateien größtenteils dieselben Konflikte an denselben Stellen auftreten. Dies lässt sich anhand der Konfliktlagepläne feststellen, welche mit SSAM generiert werden können und in Abbildung 98 bis Abbildung 101 dargestellt sind. Die Erstellung dieser Konfliktlagepläne erfolgt direkt mittels der SSAM-Software unter dem Punkt „Map“. Um den Karten wie bei den folgenden Abbildungen eine Hintergrundgraphik hinzuzufügen, muss dieses lediglich mittels Button „Edit map“ ausgewählt werden und anschließend müssen die passenden Koordinaten, welche aus dem dazugehörigen Simulationsmodell in VISSIM herausgelesen werden können, eingetragen werden. An diesen Lageplänen kann man ablesen, wie viele und welche Konflikte bei den einzelnen Varianten auftreten und wo diese verzeichnet wurden.

4.3.2.2 Auswertung der Konfliktdanzahl und -typen

In einem ersten Vergleich sollen die Gesamtkonfliktdanzahlen je Variante (= je 10 Simulationsläufe) gegenübergestellt werden. Bei Betrachtung der Ergebnisse in Tabellenform lässt sich feststellen, dass sowohl die ZRA als auch die Höhe der Belastungen Einfluss auf diese zu haben scheinen. Höhere Belastungen führen demzufolge zu mehr Konflikten und eine in Betrieb befindliche ZRA scheint sich positiv auszuwirken, da weniger Konflikte auftreten. Schon hier fällt, wie bereits im vorigen Abschnitt erwähnt, auf, dass sich insbesondere die Rear-End-Konflikte erhöhen. Beim Konflikttyp Lane Change ließ sich zwischen den einzelnen Varianten kaum ein Unterschied feststellen. Dies scheint hinsichtlich der Tatsache, dass der Einfädungsvorgang bei erhöhten Verkehrsstärken eigentlich vermehrt zu Lane-Change-Konflikten führen müsste, nicht plausibel. Es gilt daher im Zuge des Variantenvergleichs zu klären, warum mehr Rear-End-Konflikte als Lane-Change-Konflikte durch SSAM ermittelt wurden. Tabelle 27 zeigt die Konflikte je Variante. Pro Variante wurden 10 Simulationsläufe durchgeführt. Die Werte in Tabelle 27 beziehen sich somit auf 40 Stunden.

Tabelle 27: Konflikanzahl der einzelnen Varianten (aller Trajektorien-dateien)

Varianten	Total	RE	LC
Realfall_mit	289	272	17
Realfall_ohne	1749	1729	20
Erhöht_mit	2879	2851	28
Erhöht_ohne	5875	5849	26

Im nächsten Schritt wird nachvollzogen, auf welchen Strecken sich diese Konflikte ereignen. Dies soll an dieser Stelle sowohl mittels Tabellen als auch durch Konfliktlagepläne dargestellt werden. Abbildung 97 bis Abbildung 100 zeigen die Konfliktlagepläne der Varianten. Die Legende zur Interpretation der Pläne lautet folgendermaßen:

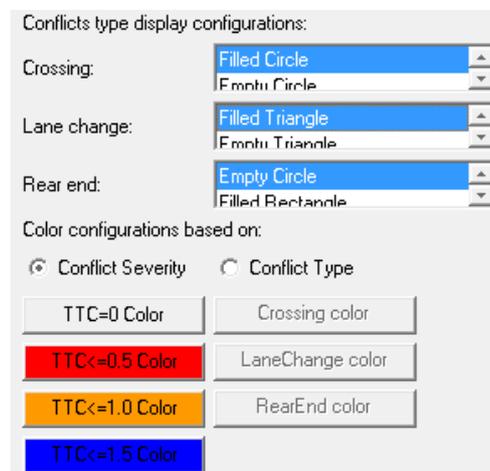
**Abbildung 96: Legende aus SSAM zu den Konfliktlageplänen in Abbildung 97 bis Abbildung 100**



Abbildung 97: Konfliktlageplan Realfall_mit für den gesamten Simulationszeitraum



Abbildung 98: Konfliktlageplan Realfall_ohne für den gesamten Simulationszeitraum



Abbildung 99: Konfliktlageplan Erhöht_mit für den gesamten Simulationszeitraum



Abbildung 100: Konfliktlageplan Erhöht_ohne für den gesamten Simulationszeitraum

Die signifikantesten Unterschiede, die sich aus den Konfliktlageplänen ablesen lassen, sind, dass sich auf der Einfahrtsrampe nur bei eingeschalteter Zuflussregelungsanlage Konflikte ereignet haben, sowie, dass die Konfliktdanzahl insbesondere auf der Hauptfahrbahn unterhalb der Einfahrtsrampe bei erhöhten Verkehrsstärken zugenommen hat. Die Verteilung der Lane-Change- sowie Rear-End-Konflikte ist dagegen bei allen Varianten annähernd gleich. Ein weiterer Unterschied, der festgestellt werden kann, ist, dass die Konflikte auf der Hauptfahrbahn direkt unterhalb der Einfahrtsrampe bei eingeschalteter Zuflussregelungsanlage teilweise einen höheren Schweregrad aufweisen ($TTC \leq 0,5$ Sekunden) als bei den Varianten ohne Zuflussregelungsanlage.

Tabelle 28 und Tabelle 29 zeigen die zu Abbildung 97 bis Abbildung 100 gehörigen Konfliktdanzahlen je Strecke. Hierbei wurde auch für die einzelnen Konflikttypen (Rear End = RE, Lane Change = LC) sowie für die Gesamtanzahl der Konflikte die Differenz zwischen den Varianten mit und ohne ZRA berechnet. Die grünen Felder zeigen, dass bei der jeweiligen Variante ohne ZRA mehr Konflikte berechnet wurden, die roten Felder stehen für einen negativen Einfluss der ZRA auf die Konfliktdanzahl.

Tabelle 28: Realfall: Konflikte je Strecke für den gesamten Simulationszeitraum

Reallfall	Total ohne	Total mit	Total Differenz	RE ohne	RE mit	RE Differenz	LC ohne	LC mit	LC Differenz
6	1639	238	1401	1635	238	1397	4	0	4
7	2	4	-2	2	4	-2	0	0	0
8	3	1	2	1	0	1	2	1	1
9	108	35	73	92	18	74	16	17	-1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	12	-12		12	-12	0	0	0
10004	2	1	1	2	1	1	0	0	0
10005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10006	0	1	-1	0	0	0	0	1	-1
10007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10010	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 29: Erhöht: Konflikte je Strecke für den gesamten Simulationszeitraum

Erhöht	Total ohne	Total mit	Total Differenz	RE ohne	RE mit	RE Differenz	LC ohne	LC mit	LC Differenz
6	5688	2712	2976	5685	2711	2974	3	1	2
7	21	28	-7	21	28	-7	0	0	0
8	2	3	-1	0	1	-1	2	2	0
9	158	80	78	135	53	82	23	27	-4
10	16	8	8	16	8	8	0	0	0
11	0	61	-61	0	61	-61	0	0	0
10004	10	6	4	10	6	4	0	0	0
10005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10006	1	5	-4	0	0	0	1	5	-4
10007	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10010	0	1	-1	0	1	-1	0	0	0

Aufgrund der etwas unübersichtlichen Visualisierung der aufgetretenen Konflikte in den mit SSAM erstellten Konfliktlageplänen, zeigen Abbildung 101 und Abbildung 102 die graphische Darstellung der Informationen für die Gesamtanzahl der Konflikte aus Tabelle 28 und Tabelle 29 in Form von schematischen Spinnendarstellungen. Dabei gibt es eine Darstellung je Variante sowie eine Differenzdarstellung jeweils für den Realfall sowie die Varianten mit erhöhten Belastungen, um den Einfluss der ZRA zu zeigen. Die Werte gelten allerdings nicht für den gesamten Simulationszeitraum, sondern geben die gemittelte Konfliktdanzahl für eine Stunde an. Es handelt sich jedoch wiederum um die Ergebnisse aller 10 Simulationsläufe, demnach werden Werte für 10 Simulationsläufe angegeben.

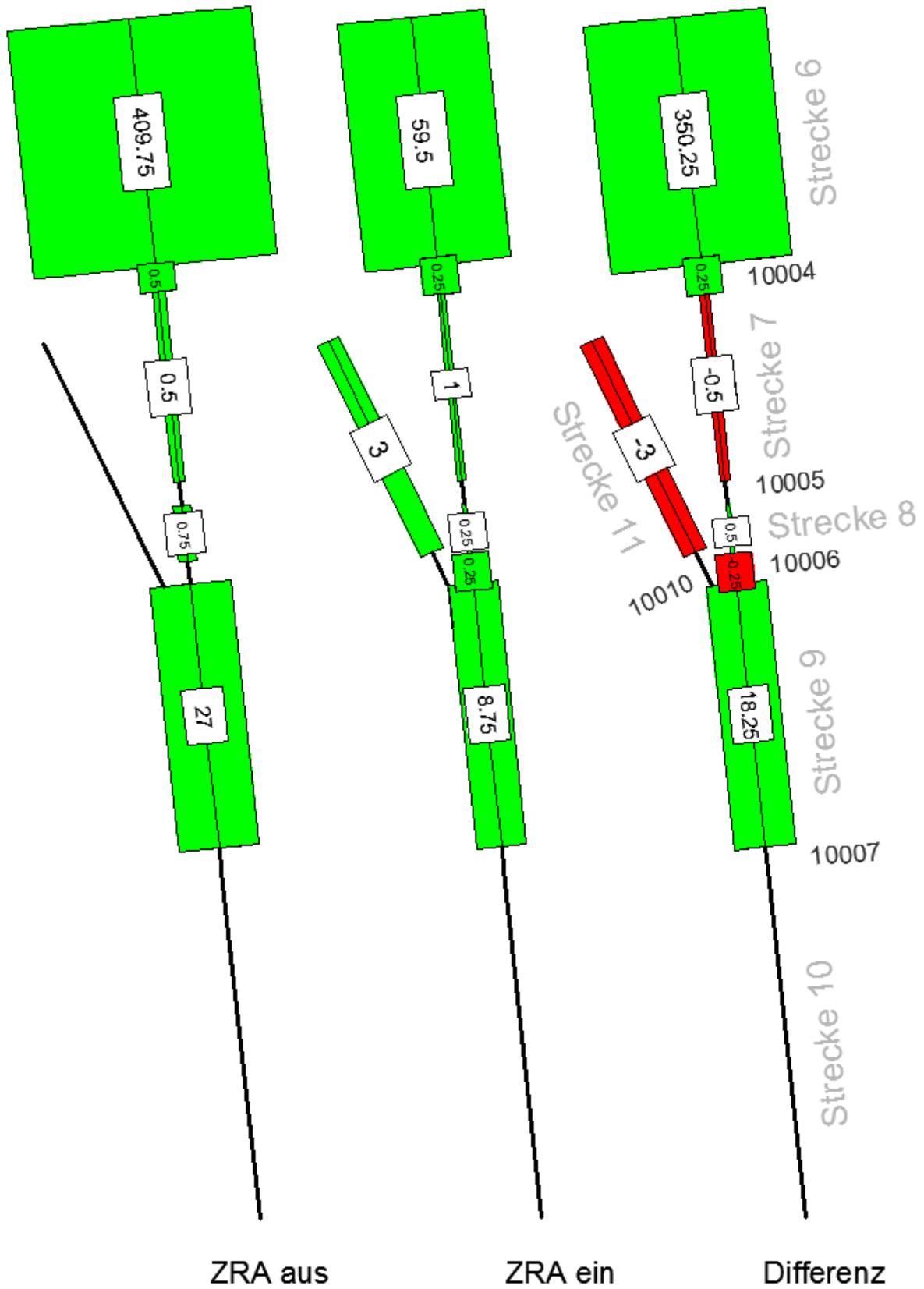


Abbildung 101: Realfall: Spinnendarstellung, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe

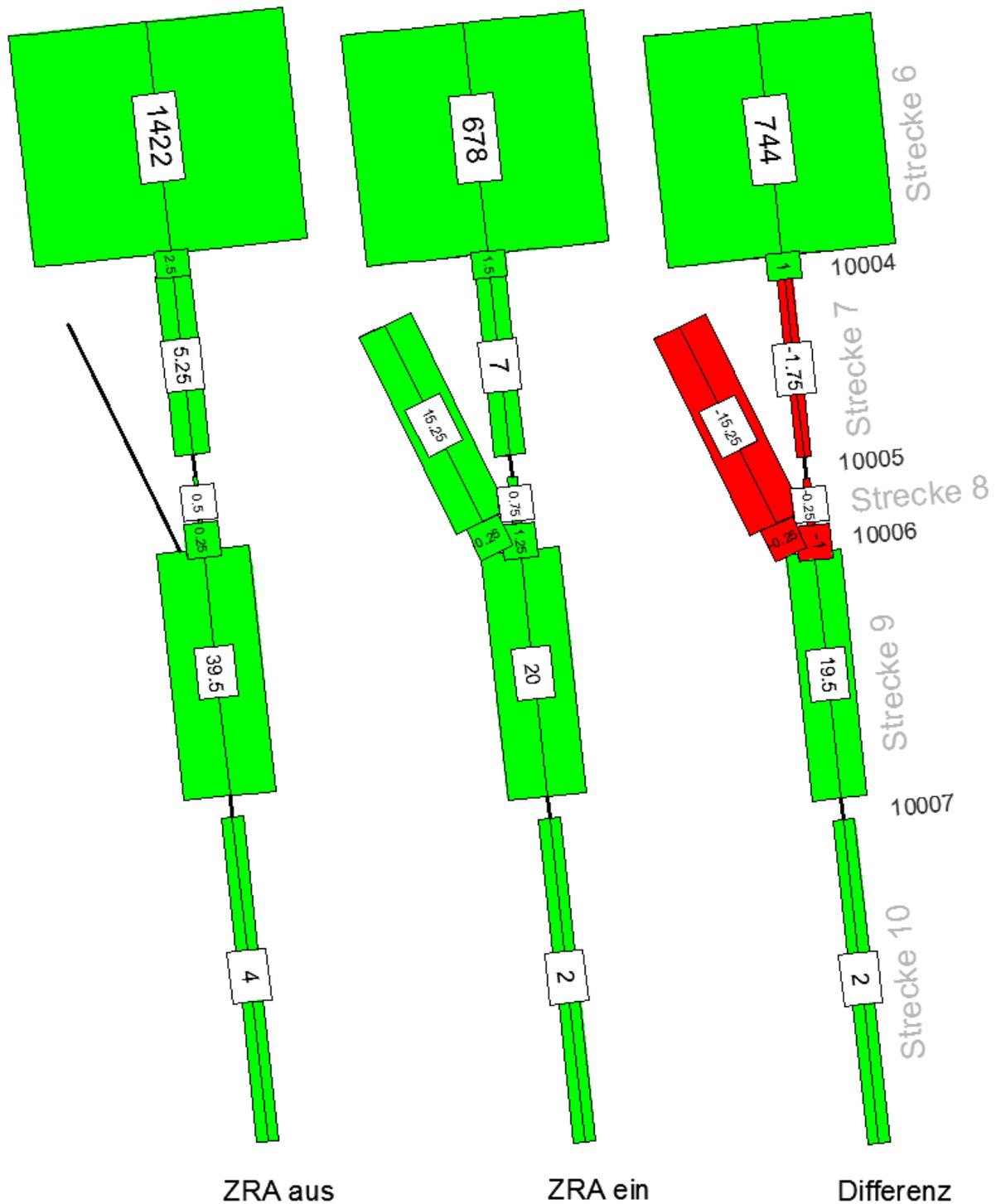


Abbildung 102: Erhöht: Spinnendarstellung, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationläufe

Abbildung 97 bis Abbildung 102 sowie Tabelle 28 und Tabelle 29 zeigen, dass auf der Strecke 6 mit Abstand am meisten Konflikte auftreten, wobei diese hauptsächlich dem Konflikttyp Rear End zuzurechnen sind, und die Konfliktdanzahl hier bei erhöhter Belastung um ein Vielfaches höher ist als im Realfall. Darüber hinaus besteht auf dieser Strecke auch ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Varianten ZRA aus/ZRA ein. Dieser Unterschied wird größer, je höher die Verkehrsbelastungen auf der Hauptfahrbahn sind. Dies ist das Resultat der zunehmenden

Interaktionen der Fahrzeuge bei starker Beanspruchung der Hauptfahrbahn bei höheren Verkehrsstärken sowie nicht dosiertem Zufluss. Als Folge davon kommt es zu einer auf Strecke 6 (= oberhalb der Einfahrt) beginnenden Pulkbildung der Fahrzeuge, welche zu geringeren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge führt, was ein erhöhtes Konfliktrisiko für nachfolgende Fahrzeuge darstellt.

Es stellt sich in Anbetracht dieser Tabellen und Darstellungen die Frage, warum dieser Vorgang gerade auf Strecke 6 auftritt und warum folglich die Konflikttanzahl auf dieser Strecke so viel höher ist als auf den anderen Strecken. Tests haben ergeben, dass die Ursache nicht wie zunächst vermutet bei der Verbinderstrecke 10004 (Übergang zwischen Strecke 6 und 7) liegt, sondern dass sich das Aufeinandertreffen der beiden verschiedenen Streckenverhaltenstypen der Strecken 6 und 7 (beide oberhalb der Einfahrt) sehr stark auf die Anzahl der Konflikte auswirkt. Um dies feststellen zu können, wurden einige Simulationen mit veränderten Einstellungen durchgeführt, welche anschließend mit SSAM ausgewertet wurden. Die Verbindung der Strecken 6 und 7 zu einer einzigen Strecke, welche den Streckenverhaltenstyp „Einfädung“ aufweist, führte dazu, dass auf dieser Strecke zwar fast keine Konflikte festgestellt wurden, die Konflikttanzahl auf der der Strecke 6 vorangehenden Strecke jedoch ähnlich hohe Werte aufwies wie auf der Strecke 6 des Ausgangsmodells.

Die Änderung des Streckenverhaltenstyps impliziert in diesem Falle die Änderung des Fahrzeugfolgemodeltyps. So liegt dem Streckenverhaltenstyp „Rechtsfahrgebot (motorisiert)“ für das Folgeverhalten der Fahrzeuge das Fahrzeugfolgmodell Wiedemann 99 zugrunde, dem Streckenverhaltenstyp „Einfädung“ jedoch das Fahrzeugfolgmodell Wiedemann 74. Darüber hinaus ist betreffend das Fahrstreifenwechselverhalten der Fahrzeuge beim Streckenverhaltenstyp „Rechtsfahrgebot (motorisiert)“ im Gegensatz zum Typ „Einfädung“ die Funktion des kooperativen Fahrstreifenwechsels nicht aktiviert. Diese Funktion bewirkt, dass, sobald ein Fahrzeug bemerkt, dass ein ihm vorausfahrendes Fahrzeug vom benachbarten Fahrstreifen auf seinen Fahrstreifen wechseln will, es zur Erleichterung des Fahrstreifenwechsels für das andere Fahrzeug versucht, auf den nächsten Fahrstreifen zu wechseln. [PTV, 2012]

Weil die Unregelmäßigkeiten in diesem Bereich vermutlich rein auf die Strecken- bzw. Fahrverhaltensparametereinstellungen zurückzuführen sind und die Änderung des Fahrverhaltens in Wirklichkeit nicht so starke Auswirkungen auf die Konfliktsituation hat und dies insbesondere nicht so abrupt, wird die Realität nicht richtig abgebildet. Daher wird im Folgenden die Strecke 6 von der Analyse ausgenommen. Dies ist für die Auswertung vertretbar, da sich diese Strecke nicht im unmittelbaren Bereich der Anschlussstelle befindet und das Hauptaugenmerk der Untersuchung auf dem Einfädungsbereich bei Strecke 9 liegt.

Abgesehen davon, dass sich veränderte Streckenverhaltensparameter stark auf das Auswertungsergebnis auswirken, trifft eine verminderte Konflikttanzahl bei eingeschalteter ZRA auch auf die Strecken 9 und 10 zu, wobei Konflikte auf Strecke 10 nur bei erhöhten Verkehrsstärken erkannt wurden. Hier wurden lediglich Rear-End-Konflikte festgestellt. Diese treten ausschließlich auf dem linken Fahrstreifen auf und sind wie bei Strecke 6 auf eine Pulkbildung der Fahrzeuge in diesem Bereich zurückzuführen (siehe Abbildung 103). Die Pulkbildung könnte wiederum auf den Übergang vom Streckenverhaltenstyp „Einfädung“ (Strecke 9) auf den Streckenverhaltenstyp „Rechtsfahrgebot (motorisiert)“ (Strecke 10) zurückzuführen sein.



Abbildung 103: Konfliktsituation auf Strecke 10 bei Variante Erhöht_mit

Anders stellt sich die Situation bei Strecke 11 dar. Die hier auftretenden Rear-End-Konflikte sind darauf zurückzuführen, dass die Fahrzeuge bei Rot vor dem Signalgeber halten müssen und ereignen sich demnach alle im Bereich kurz vor dem Signalgeber. Das Halten des Vorderfahrzeugs kann für nachfolgende Fahrzeuge überraschend sein und birgt daher Konfliktpotential. Demzufolge wirkt sich die ZRA hier eventuell negativ auf die Verkehrssicherheit aus. Bei Betrachtung der TTC-Werte lässt sich jedoch feststellen, dass diese nie unter 1,4 Sekunden sinken, was bedeutet, dass ein Konflikt bei aufmerksamem Fahren zu keiner Kollision führt, da die Reaktionszeit von rund einer Sekunde in solchen Situationen immer eingehalten wird.

Auch auf den Verbinderstrecken wurden teilweise Konflikte festgestellt, wenn auch nur sehr wenige, da diese sehr kurz sind. Dies betrifft einerseits Strecke 10004 (Verbinder zwischen Strecke 6 und 7), was aufgrund der zahlreichen Konflikte am Ende von Strecke 6 nicht überrascht. Wie auch auf Strecke 6 verringert sich hier die Konfliktdanzahl durch den Betrieb der ZRA. Dies gilt jedoch nicht für die Strecke 10006 (Verbinder zwischen Hauptfahrbahn und Einfädelungsbereich) sowie bei erhöhten Verkehrsstärken für die Strecke 10010 (Verbinder zwischen Rampe und Einfädelungsbereich). Hier scheint sich die Konfliktsituation durch die ZRA nach dem Kriterium der Konfliktdanzahl zu verschlechtern. Dabei tritt beispielsweise bei der Variante Erhöht_mit auf Strecke 10010, wie in Abbildung 102 ersichtlich, alle vier Stunden ein Konflikt vom Typ Rear End auf, wobei dieser eine TTC von nur 0,1 Sekunden aufweist. Die Konflikte auf Strecke 10006 sind in diesem Fall alle vom Typ Lane Change und ihre TTC-Werte reichen von 0,2 Sekunden bis 1,4 Sekunden.

Des Weiteren lässt sich sowohl im Realfall als auch im Fall mit erhöhten Verkehrsstärken eine Vergrößerung der Konfliktdanzahl mit Betrieb der ZRA auf Strecke 7 ausmachen. Dies trifft auch auf Strecke 8 bei erhöhten Belastungen zu. Der Großteil der Konflikte auf Strecke 7 liegt jedoch am Übergang zu Strecke 6 und könnte wiederum auf den geänderten Streckenverhaltenstyp zurückzuführen sein. Dazu muss gesagt werden, dass bei sämtlichen auf Strecke 7 auftretenden Konflikten (diese sind alle vom Typ Rear End) bei der Variante Erhöht_mit der Mittelwert der TTC-Werte bei 1,43 liegt und der geringste 1,1 Sekunden beträgt, was kein hohes Verkehrssicherheitsrisiko darstellt. Warum hier jedoch bei Betrieb der ZRA mehr Konflikte auftreten

als ohne, ist nicht nachvollziehbar. Auf Strecke 8 wurden bei Erhöht_mit im Gesamtzeitraum von vier Stunden bei allen zehn Simulationsläufen insgesamt zwei Lane-Change- sowie ein Rear-End-Konflikt erkannt, wobei die TTC des Rear-End-Konflikts bei nur 0,1 Sekunden liegt. Das sich die Konflikanzahl hier durch die ZRA vergrößert, könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich kurz nach diesem Bereich Fahrzeuge mit langsamerer Geschwindigkeit auf die Hauptfahrbahn einfädeln als bei der Variante ohne ZRA, da sie zuvor beim Signalgeber halten mussten.

Die meisten Lane-Change-Konflikte ereignen sich zwar auf Strecke 9, logischen Überlegungen zufolge müsste jedoch davon auszugehen sein, dass in diesem Einfädungsbereich die Anzahl dieses Konflikttyps weit höher wäre. Darüber hinaus wurden auf Strecke 9 abgesehen von Strecke 6 die meisten Konflikte ermittelt. Da der Fokus der Untersuchung auf dieser Strecke liegt, weil vorrangig festgestellt werden soll, ob mithilfe der Ersatzgrößen des SSAM der Einfädungsprozess richtig abgebildet und bewertet werden kann, werden die drei Fahrstreifen dieser Strecke zusätzlich einzeln betrachtet. Dazu werden die Konfliktzahlen in den Tabellen 24 und 25 für sämtliche Varianten fahrstreifenfein aufgelistet.

Tabelle 30: Realfall: Konflikte auf Strecke 9 (Einfädungsbereich) für den gesamten Simulationszeitraum

Realfall: Strecke 9 (First Link)		Total	Rear End	Lane Change
(First Lane) Fahrstreifen 1	ZRA aus	18	2	16
	ZRA ein	17	0	17
(First Lane) Fahrstreifen 2	ZRA aus	90	90	0
	ZRA ein	18	18	0
(First Lane) Fahrstreifen 3	ZRA aus	0	0	0
	ZRA ein	0	0	0

Tabelle 31: Erhöht: Konflikte auf Strecke 9 (Einfädelungsbereich) für den gesamten Simulationszeitraum

Erhöht: Strecke 9 (First Link)		Total	Rear End	Lane Change
(First Lane) Fahrstreifen 1	ZRA aus	22	1	21
	ZRA ein	23	1	22
(First Lane) Fahrstreifen 2	ZRA aus	135	134	1
	ZRA ein	55	52	3
(First Lane) Fahrstreifen 3	ZRA aus	1	0	1
	ZRA ein	2	0	2

Zusätzlich erfolgen in Abbildung 104 und Abbildung 105 schematische Spinnendarstellungen zur Visualisierung der Konflikanzahl auf den Fahrstreifen der Strecke 9 bezogen auf den Referenzzeitraum von einer Stunde. Diese zeigen mittels Differenzdarstellungen einen Vergleich zwischen den Varianten mit und ohne ZRA.

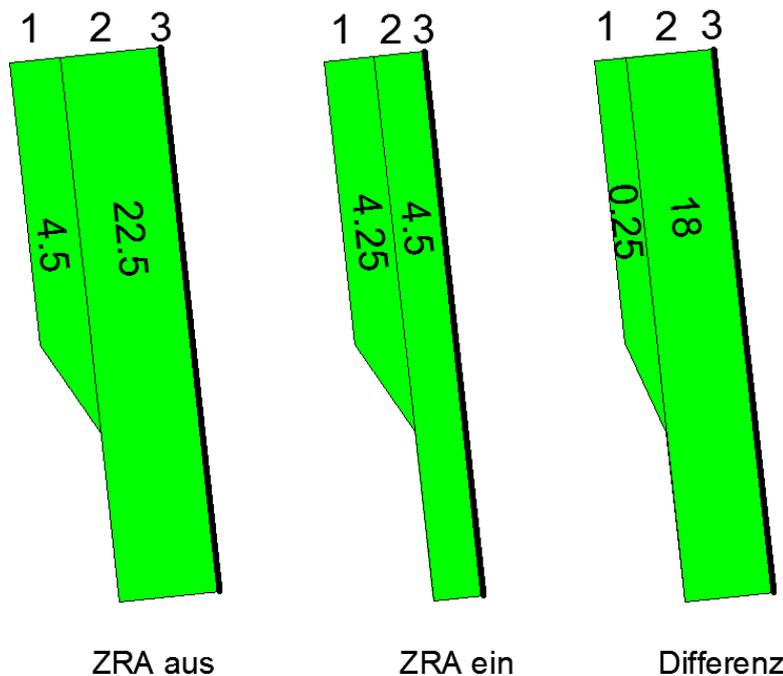


Abbildung 104: Realfall: Spinnendarstellung Strecke 9, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe

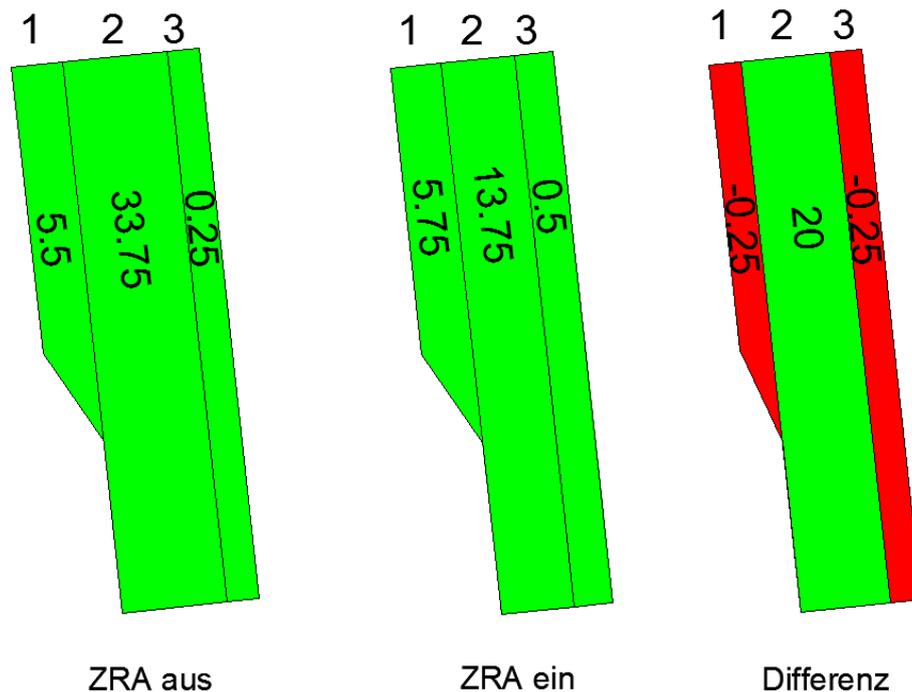


Abbildung 105: Erhöht: Spinnendarstellung Strecke 9, Konflikte pro 10 Stunden, Durchschnittswert der 10 Simulationsläufe

Es lässt sich erkennen, dass im Realfall am dritten Fahrstreifen keine Konflikte festgestellt wurden und bei erhöhten Verkehrsstärken auf diesem Fahrstreifen höchstens ein Konflikt in zwei Simulationsläufen auftritt. In diesem Fall wurde jedoch eine Verschlechterung durch die ZRA verzeichnet. Auch für den ersten Fahrstreifen lässt sich bei erhöhten Verkehrsbelastungen und eingeschalteter ZRA ein geringfügiger Anstieg der Konfliktdanzahl im Vergleich zur Variante ohne ZRA feststellen. Im Realfall liegt eine geringfügige Verbesserung vor. Im Gegensatz dazu verringert sich die Konfliktdanzahl durch den Betrieb der ZRA am zweiten Fahrstreifen bei beiden Belastungsfällen erheblich. Der zweite Fahrstreifen ist auch jener, auf dem die meisten Konflikte aufgetreten sind. Bis auf die minimalen Verschlechterungen durch Einsatz der ZRA bei der Variante mit erhöhten Verkehrsstärken, scheinen diese Ergebnisse plausibel.

Bei separater Betrachtung einzelner Konflikte dieser Strecke in VISSIM kann betreffend Konfliktypeneinteilung festgestellt werden, dass jene Konflikte, bei denen sich das Vorderfahrzeug auf dem Fahrstreifen 2 befindet und welche ausschließlich als Rear-End-Konflikte klassifiziert wurden, eigentlich klassische „Einfädelkonflikte“ darstellen, welche sich treffender als Lane-Change-Konflikte qualifizieren ließen. Es handelt sich hierbei um Konflikte, die auftreten, wenn ein Fahrzeug vom Beschleunigungstreifen auf die Hauptfahrbahn wechseln möchte. Diese Konflikte treten alle im Bereich kurz vor dem Ende des Beschleunigungstreifens auf. Dass diese Konflikte von SSAM als Rear-End-Konflikte erkannt werden, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Trajektorie des zweiten Fahrzeugs, welches einen Fahrstreifenwechsel vollziehen möchte, einen relativ spitzen Winkel bezogen auf die Trajektorie des Vorderfahrzeugs auf dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn aufweist, was zur Identifizierung als Auffahrkonflikt führt. Da sich die beiden Fahrzeuge jedoch zu Konfliktbeginn und auch zum Zeitpunkt t_{MinTTC} nicht auf demselben Fahrstreifen befinden, ist eine

Einteilung als Rear-End-Konflikt in Hinblick auf die Beschreibung der Einteilung der Konflikttypen in Kapitel 3.4 unverständlich. Abbildung 106 zeigt ein Beispielszenario für einen solchen „Einfädelkonflikt“ während eines Simulationslaufs. Das erste Fenster zeigt dabei den Zeitpunkt t_{MinTTC} . Das orange markierte Fahrzeug ist hierbei das zweite Konfliktfahrzeug, der auf dem Nebenfahrfstreifen befindliche Lkw ist das erste Konfliktfahrzeug. Die zwei weiteren Fenster zeigen darauffolgende Simulationszeitpunkte. Abbildung 107 zeigt die dazugehörigen Konfliktinformationen samt Fahrzeugtrajektorien, welche in SSAM aufgerufen werden können.

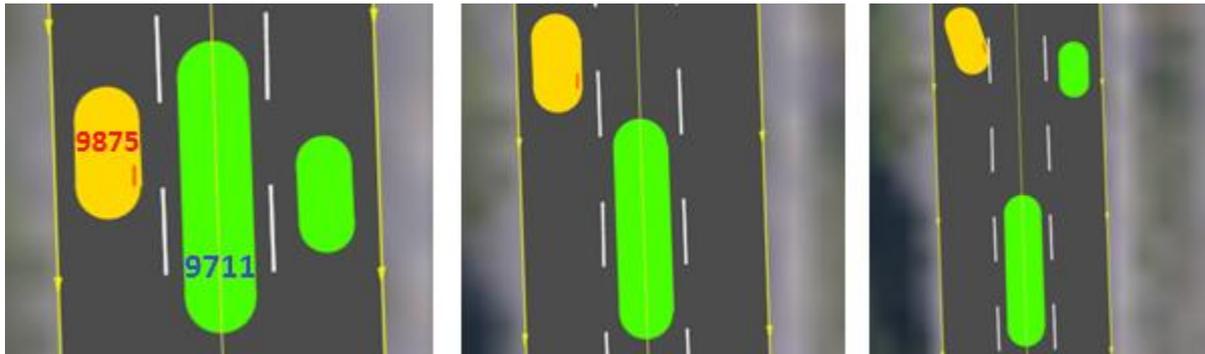


Abbildung 106: Als Rear-End-Konflikt klassifizierter Einfädelkonflikt auf Strecke 9

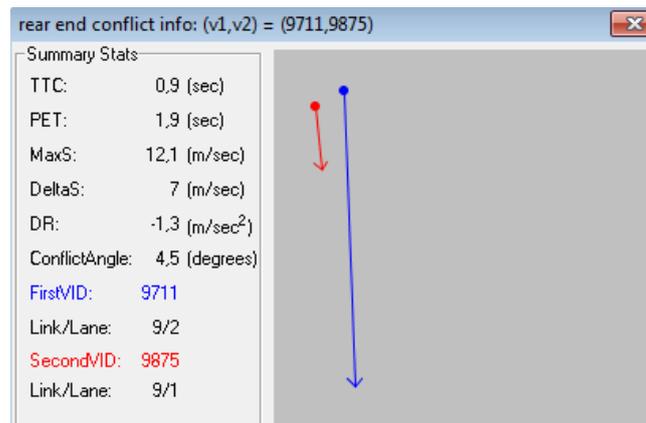


Abbildung 107: Fahrzeugtrajektorien der Konfliktfahrzeuge aus Abbildung 106

Die Konfliktsituation läuft in der Mikrosimulation so ab, dass das Fahrzeug 9875 durch das Fahrzeug 9711 beim gewünschten Fahrstreifenwechsel behindert wird und somit seine Geschwindigkeit verringert, bis es am Ende des Beschleunigungsstreifens zum Stillstand kommt. Es wartet in Folge ab, bis eine Lücke am Fahrstreifen 2 frei wird und fädelt sich hinter dem Fahrzeug 9711 ein. Während des Einfädelvorgangs weist das Fahrzeug 9875 demgemäß eine sehr niedrige Geschwindigkeit auf. Dies könnte für nachfolgende Fahrzeuge, die sich mit höheren Geschwindigkeiten fortbewegen, kritisch sein und Konfliktpotential des Typs Rear End bergen. In der Auswertung mit SSAM wurde jedoch keine solche Situation erkannt.

Rear-End-Konflikte, bei denen das einfädelnde Fahrzeug das erste Konfliktfahrzeug darstellt, treten hier generell sehr selten auf. So wurden pro Variante lediglich maximal zwei Konflikte dieser Art

verzeichnet. Anders als die Rear-End-Konflikte traten die berechneten Lane-Change-Konflikte im gesamten Bereich entlang des Beschleunigungsstreifens auf.

Bei Betrachtung der Konfliktlagepläne der Varianten mit erhöhten Verkehrsbelastungen lassen sich jedoch ebenfalls Häufungen kurz vor Ende des Beschleunigungsstreifens sowie an dessen Beginn erkennen. Dies ist in der nachfolgenden Abbildung für die Variante Erhöht_mit dargestellt:



Abbildung 108: Erhöht_mit: Konfliktlageplan für Strecke 9

Aus diesen Beobachtungen lässt sich schließen, dass der Einfädungsvorgang hauptsächlich Konflikte hervorruft, die der Konfliktypenuntergruppe 18 der Einteilung nach der RVS 02.02.22 entsprechen (Einfädungskonflikte). Diese sollte das SSAM grundsätzlich als Konflikte des Typs Lane Change erkennen. Konflikte, bei denen sich das erste Fahrzeug zum Zeitpunkt t_{MinTTC} auf dem Beschleunigungsstreifen befindet, werden vom SSAM von Vornherein als Lane Change Konflikte klassifiziert. Dies gilt jedoch nicht für Konflikte, bei denen das Fahrzeug, welches sich zum Zeitpunkt t_{MinTTC} auf dem Beschleunigungsstreifen befindet, das zweite Konfliktfahrzeug ist. Solche Konflikte werden vom SSAM fälschlicherweise als Rear-End-Konflikte eingestuft. Da die Einteilung der Konflikte im Einfädungsbereich durch SSAM nicht gänzlich schlüssig ist, wird an dieser Stelle der neue Konfliktyp „Einfädung“ eingeführt. Dieser schließt alle Konflikte, die sich auf der Strecke 9 ereignen, ein.

4.3.2.3 Statistischer Variantenvergleich nach Konfliktanzahl und –typen (ausgenommen Strecke 6)

In diesem Abschnitt werden die Resultate des statistischen Variantenvergleichs präsentiert. Es wurden von SSAM für jede Variante der Mittelwert sowie die Varianz der Konfliktanzahlen der zehn Trajektoriendateien unter verschiedenen Bedingungen ($TTC \leq 0,5$ Sekunden, $TTC \leq 1,0$ Sekunden, $TTC \leq 1,5$ Sekunden) berechnet. Diese Werte der Varianten mit und ohne Zuflussregelungsanlage wurden jeweils miteinander verglichen und daraus die t-Werte ermittelt. Dieser Vergleich wurde sowohl für den Realfall als auch für die Varianten mit erhöhten Verkehrsstärken durchgeführt.

Die folgenden Tabellen bilden die Ergebnisse des t-Tests bezogen auf die Anzahl und Art der aufgetretenen Konflikte ab. Darin enthalten sind auch die Mittelwerte sowie die Varianzen der Konflikttzahlen der Trajektoriendateien, welche die jeweiligen Kriterien erfüllen. Die gelb sowie blau markierten Felder zeigen an, dass zwischen den beiden Varianten mit eingeschalteter und ausgeschalteter ZRA ein signifikanter Unterschied besteht. Dies ist immer dann der Fall, wenn der berechnete t-Wert den vom SSAM aufgrund des Signifikanzniveaus und der Freiheitsgrade ermittelten kritischen t-Wert t_{crit} übersteigt bzw. unterschreitet. Die gelb markierten Felder stehen dabei dafür, dass sich die ZRA positiv auf die Konfliktsituation auswirkt, die blau markierten Felder zeigen eine Präferenz für die Variante ohne ZRA. Ob eine signifikante Abweichung besteht oder nicht wird von SSAM automatisch ausgegeben. Die Tabellen beziehen sich je Variante einmal auf sämtliche Konflikttypen sowie einmal lediglich auf die Rear-End- und Lane-Change-Konflikte.

Tabelle 32: Realfall: Vergleichsergebnisse für sämtliche Konflikttypen (10 Simulationsläufe)

Total		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
Realfall		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
	Mittelwert	1,5	1	7,9	3,111	11,3	5,2
	Varianz	0,5	0	68,767	14,611	148,233	30,178
	t-Wert (95%)	2,236		1,658		1,444	

Tabelle 33: Erhöht: Vergleichsergebnisse für sämtliche Konflikttypen (10 Simulationsläufe)

Total		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
Erhöht		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
	Mittelwert	2,167	1	9,5	4,8	20,1	18
	Varianz	1,767	0	13,389	5,733	61,433	14,889
	t-Wert (95%)	2,776		3,399		0,76	

Generell wird durch den Vergleich zwischen Realfall und erhöhten Belastungen wiederum sichtbar, dass in letzterem Fall mehr Konflikte auftreten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei höheren Verkehrsstärken naturgemäß auch mehr Interaktionen zwischen den Fahrzeugen stattfinden, da ihr Bewegungsraum eingeschränkt wird. Tabelle 32 und Tabelle 33 zeigen außerdem, dass bei höheren Belastungen ohne in Betrieb befindliche ZRA mehr Konflikte entstanden sind. Im Realfall zeigt sich zwar eine gewisse positive Wirkung der ZRA auf die Verkehrssicherheit, diese ist jedoch nicht signifikant. Bei erhöhten Belastungen zeigt sich eine signifikant positive Wirkung der ZRA bei einer $TTC \leq 1,0$. Auffallend ist darüber hinaus, dass bei beiden Varianten und den unterschiedlichen Belastungsfällen im gesamten Simulationszeitraum von vier Stunden nur sehr wenige Konflikte mit einem TTC-Wert von kleiner gleich 0,5 aufgetreten sind. Eine solch kleine Stichprobe hat zur Folge, dass der statistische Vergleich nicht aussagekräftig sein könnte. Aus diesem Grund sind die t_{crit} übersteigenden t-Werte im Realfall und bei erhöhten Verkehrsstärken bei $TTC \leq 0,5$ nicht repräsentativ.

Tabelle 34: Realfall: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Rear End (10 Simulationsläufe)

Rear End		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
Realfall	Mittelwert	1	1	8,875	3	12,125	4,375
	Varianz	0	0	73,268	20	160,696	31,696
	t-Wert (95%)	0		1,924		1,767	

Tabelle 35: Erhöht: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Rear End (10 Simulationsläufe)

Rear End		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
Erhöht	Mittelwert	2,75	1	8,6	3	17,8	15,3
	Varianz	1,583	0	10,711	3,556	54,4	16,456
	t-Wert (95%)	4,398		4,688		0,939	

Tabelle 34 und Tabelle 35 zeigen, dass bei höheren Belastungen deutlich weniger Rear-End-Konflikte mit einer $TTC \leq 1,0$ auftreten, wenn die ZRA eingeschaltet ist. Im Realfall zeigt sich diese positive Wirkung der ZRA sowohl bei Konflikten mit einer $TTC \leq 1,0$ als auch bei Konflikten mit einer $TTC \leq 1,5$.

Aus der Tabelle ist wiederum ersichtlich, dass Konflikte mit einem TTC-Wert kleiner gleich 0,5 nur sehr selten auftreten. Der Wert 1 drückt beispielsweise aus, dass ein Konflikt mit einem solch kritischen TTC-Wert bei erhöhter Belastung und in Betrieb befindlicher ZRA durchschnittlich bei jedem zehnten Simulationslauf einmal auftritt. Da ein Simulationslauf vier Stunden beträgt, bedeutet dies, dass ein Konflikt mit einer $TTC \leq 0,5$ lediglich alle vierzig Stunden einmal auftritt.

Tabelle 36: Realfall: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Lane Change (10 Simulationsläufe)

Lane Change		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
Realfall	Mittelwert	0	0	1,143	1,625	1,6	2,125
	Varianz	0	0	0,143	1,125	0,489	2,411
	t-Wert (95%)	-		-1,354		-0,975	

Tabelle 37: Erhöht: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Lane Change (10 Simulationsläufe)

Lane Change		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
Erhöht	Mittelwert	1	1	1,5	2,25	2,875	3
	Varianz	0	0	0,3	1,071	0,982	2
	t-Wert (95%)	0		-2,025		-0,229	

Betreffend den Konflikttyp Lane Change lässt sich aus Tabelle 36 und Tabelle 37 ablesen, dass hier in den meisten Fällen keine signifikante Veränderung der Konflikanzahl in Folge des Betriebs der ZRA zu erkennen ist. Lediglich bei erhöhten Verkehrsstärken und einer $TTC \leq 1,0$ nimmt diese sogar zu, wenn die ZRA eingeschaltet ist. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Anzahl an verzeichneten Lane-Change-Konflikten sehr gering ist. Daher kann nicht sicher festgestellt werden, wie aussagekräftig dieses Ergebnis ist. Dies ist, wie im vorigen Abschnitt festgestellt wurde, darauf zurückzuführen, dass SSAM zahlreiche Lane-Change-Konflikte als Rear-End-Konflikte klassifiziert hat.

Aufgrund der ungenauen Einteilung in Lane-Change- und Rear-End-Konflikte werden in der nachstehenden Tabelle separat die Ergebnisse für den im vorigen Abschnitt eingeführten Konflikttyp „Einfädelerung“ verglichen.

Tabelle 38: Realfall: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Einfädelerung (10 Simulationsläufe)

Einfädelerung		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
Realfall	Mittelwert	1,5	1	7,9	3,111	10,8	3,5
	Varianz	0,5	0	68,767	14,611	137,656	18,278
	t-Wert (95%)	2,236		1,658		1,847	

Tabelle 39: Erhöht: Vergleichsergebnisse für Konflikte des Typs Einfädelerung (10 Simulationsläufe)

Einfädelerung		TTC ≤ 0,5 Sekunden		TTC ≤ 1,0 Sekunden		TTC ≤ 1,5 Sekunden	
		OHNE	MIT	OHNE	MIT	OHNE	MIT
Erhöht	Mittelwert	2,167	1	9	4,6	15,8	8
	Varianz	1,767	0	11,556	5,6	32,844	14,222
	t-Wert (95%)	2,776		3,359		3,595	

Wie auch Tabelle 32 bis Tabelle 35, welche die Vergleichsergebnisse für sämtliche Konflikte sowie für Rear-End-Konflikte einzeln beinhalten, zeigen auch Tabelle 38 und Tabelle 39 eine Verminderung der Konflikanzahl durch die ZRA, welche außer im Realfall und einer $TTC \leq 1,0$ sogar durchgehend signifikant ist. Darüber hinaus trifft für den Typ Einfädelerung wiederum zu, dass sich die Konflikanzahl bei steigender Belastung erhöht. Es ergibt sich bei reiner Betrachtung der Konflikanzahl im Einfädelerungsbereich also eine eindeutige Präferenz für den Betrieb der ZRA.

Des Weiteren fällt auf, dass die Ergebnisse von Tabelle 38 und Tabelle 39 für eine $TTC \leq 0,5$ mit den Ergebnissen von Tabelle 32 und Tabelle 33 (Konflikte gesamt) übereinstimmen. Das bedeutet, dass sich alle Konflikte, die einen besonders hohen Schweregrad aufweisen, auf Strecke 9 zugetragen haben.

Unter Berücksichtigung der Fahrer-Reaktionszeiten kann gesagt werden, dass Konflikte, welche eine TTC von unter einer Sekunde aufweisen, als kritisch betrachtet werden können, da in einem solchen Fall die „Schrecksekunde“, welche ohnehin von einem Großteil der Menschen nicht eingehalten werden kann, nicht ausreicht, um eine Kollision zu verhindern. Nahezu alle Konflikte sämtlicher Varianten mit einer $TTC < 1,0$ haben sich auf Strecke 9 ereignet. Der Einfädelerungsbereich stellt also den für die Verkehrssicherheit kritischsten Teil des Untersuchungsbereichs dar.

4.3.2.4 Vergleich der Ersatzgrößen (ausgenommen Strecke 6)

Neben der Konfliktart- und -anzahl gilt es, die Ersatzgrößen zu vergleichen, welche die Konflikte beschreiben. Allein aus der Anzahl der aufgetretenen Konflikte lassen sich nämlich noch keine verlässlichen Aussagen über die Verkehrssicherheit tätigen. Die Ergebnisse, die in Tabelle 40 und Tabelle 41 dargestellt werden, stellen einen Vergleich der Mittelwerte der Ersatzgrößen für die Verkehrssicherheit der einzelnen Varianten dar. Dabei erfolgt wiederum eine Darstellung für sämtliche Konflikte sowie eine Trennung in Rear-End- und Lane-Change-Konflikte. Gelb markierte Felder stehen dabei abermals für eine Präferenz der Varianten mit ZRA, blau markierte Felder für eine Präferenz der Varianten ohne ZRA.

Tabelle 40: Realfall: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen (10 Simulationsläufe)

Realfall	Total ZRA aus	Total ZRA ein	RE ZRA aus	RE ZRA ein	LC ZRA aus	LC ZRA ein
TTC	0,97	1,062	0,954	1,149	1,069	0,882
t-Wert	-1,53		-2,764		1,728	
PET	2,143	2,183	2,421	3,02	0,462	0,459
t-Wert	-0,181		-3,633		0,025	
MaxS	9,213	13,06	6,781	7,794	23,96	23,902
t-Wert	-2,902		-3,138		0,049	
DeltaS	3,848	5,311	3,001	2,581	8,982	10,932
t-Wert	-2,174		1,686		-2,845	
DR	-1,098	-1,892	-0,787	-1,155	-2,983	-3,408
t-Wert	2,37		2,087		0,538	
MaxD	-1,674	-3,272	-0,988	-1,703	-5,834	-6,502
t-Wert	4,058		3,573		1,497	
MaxDeltaV	2,695	3,19	2,276	1,757	5,232	6,142
t-Wert	-1,308		2,412		-1,968	

Tabelle 41: Erhöht: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen (10 Simulationsläufe)

Erhöht	Total ZRA aus	Total ZRA ein	RE ZRA aus	RE ZRA ein	LC ZRA aus	LC ZRA ein
TTC	1,069	1,241	1,08	1,303	0,983	0,889
t-Wert	-4,926		-6,377		0,454	
PET	2,276	2,908	2,473	3,263	0,748	0,9
t-Wert	-5,693		-9,14		-0,558	
MaxS	8,345	9,14	7,189	7,521	17,297	18,317
t-Wert	-1,625		-1,285		-0,76	
DeltaS	3,713	3,52	3,289	2,718	6,991	8,061
t-Wert	0,707		2,678		-1,601	
DR	-1,291	-1,714	-1,111	-1,409	-2,685	-3,439
t-Wert	2,838		3,003		1,223	
MaxD	-1,966	-2,727	-1,522	-2,148	-5,406	-6,007
t-Wert	3,97		4,506		1,466	
MaxDeltaV	2,528	2,186	2,351	1,76	3,895	1,973
t-Wert	1,987		3,754		-1,501	

Auf den ersten Blick auffallend ist, dass die ZRA im Realfall einen negativen Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu haben scheint, bei erhöhten Belastungen jedoch bis auf die maximalen Geschwindigkeiten, die während der Konflikte festgestellt wurden, hauptsächlich positive Auswirkungen auf die Ersatzgrößen zu verzeichnen sind. Die für die Schwere der Konflikte hauptsächlich maßgebenden Ersatzgrößen TTC und PET weisen durch den Betrieb der ZRA allerdings nur bei der Gruppe der Lane-Change-Konflikte im Realfall schlechtere Werte auf – was hinsichtlich der geringen Anzahl der festgestellten Konflikte dieser Gruppe und der Tatsache, dass die Mehrzahl der Lane-Change-Konflikte fälschlicherweise als Rear-End-Konflikte identifiziert wurde, nicht aussagekräftig ist.

Des Weiteren sticht hervor, dass die maximalen Geschwindigkeiten während der Konflikte bei eingeschalteter ZRA im Realfall und bei erhöhten Belastungen bei Betrachtung aller Konflikte sowie lediglich der Rear-End-Konflikte höher sind. Die Schwere einer potentiellen Kollision wäre in diesen Fällen also höher. Dies lässt sich möglicherweise darauf zurückführen, dass der Einfädungsvorgang durch die ZRA ohne Staubbildung auf dem Beschleunigungsstreifen durchgeführt werden kann, was generell zu einem besseren Verkehrsfluss und in Folge zu höheren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge führt. Insgesamt hat dies im Realfall auch eine Verschlechterung des DeltaS-Wertes zur Folge. Die Geschwindigkeitsunterschiede der jeweiligen Konfliktfahrzeuge sind also größer, was sich wiederum negativ auf die Schwere einer potentiellen Kollision auswirkt.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die ZRA bei Lane-Change-Konflikten bei erhöhten Belastungen keinen Einfluss zu haben scheint sowie im Realfall hauptsächlich zu einer Verschlechterung der Werte der Ersatzgrößen führt. Hier muss aber wiederum gesagt werden, dass die Aussagen betreffend diesen Konflikttyp aufgrund der kleinen Stichprobe nicht zuverlässig sein könnten. Insbesondere die Werte der Ersatzgröße DR sind bei den ermittelten Lane Change Konflikten auffallend groß. Bezogen auf Tabelle 4 wären die Lane-Change-Konflikte im Mittel der

Konfliktstufe 2 (deutliche Reaktion erforderlich) zuzuordnen, die Gesamtkonflikte sowie die Rear-End-Konflikte fallen jedoch durchschnittlich in die Konfliktstufe 1 (Reaktion erforderlich) oder erfordern sogar lediglich eine Abstimmung der Fahrzeuge (Interaktion).

Grundsätzlich kann in Hinblick auf Tabelle 40 und Tabelle 41 jedoch gesagt werden, dass sich der positive Einfluss der ZRA deutlicher zeigt, je höher die Verkehrsstärken sind.

Da mehrere typische Lane-Change-Konflikte, die sich auf Strecke 9 ereigneten, vom SSAM als Rear-End-Konflikte klassifiziert wurden, wird an dieser Stelle zur Ausbesserung dieser Unzulänglichkeit des Modells der neu definierte Konflikttyp „Einfädelung“ wiederum separat betrachtet. Die Vergleichsergebnisse finden sich in den nachfolgenden Tabellen.

Tabelle 42: Realfall: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen für Konflikte des Typs Einfädelung (10 Simulationsläufe)

Einfädelung Realfall	ZRA aus	ZRA ein
TTC	0,95	0,863
t-Wert	1,433	
PET	2,099	1,4
t-Wert	3,619	
MaxS	9,422	15,901
t-Wert	-3,946	
DeltaS	3,945	7,183
t-Wert	-4,244	
DR	-1,09	-2,263
t-Wert	2,589	
MaxD	-1,655	-3,768
t-Wert	4,013	
MaxDeltaV	2,772	4,366
t-Wert	-4,023	

Tabelle 43: Erhöht: Vergleichsergebnisse für die Mittelwerte der Ersatzgrößen für Konflikte des Typs Einfädelung (10 Simulationsläufe)

Einfädelung Erhöht	ZRA aus	ZRA ein
TTC	0,99	1,001
t-Wert	-0,099	
PET	2,118	1,889
t-Wert	1,738	
MaxS	8,894	11,827
t-Wert	-3,695	
DeltaS	4,051	5,516
t-Wert	-3,74	
DR	-1,198	-1,967
t-Wert	3,12	
MaxD	-1,675	-3,007
t-Wert	4,066	
MaxDeltaV	2,829	3,595
t-Wert	-4,576	

Tabelle 42 und Tabelle 43 weisen große Unterschiede zu Tabelle 40 und Tabelle 41 auf. So weichen die meisten Ersatzgrößen der Varianten mit ZRA signifikant von jenen der Varianten ohne ZRA ab. Überraschend ist, dass sie ausdrücken, dass sich die Verkehrssicherheit mit in Betrieb befindlicher ZRA verschlechtert. So zeigen die Ergebnisse im Realfall eine signifikante Verschlechterung der Ersatzgrößen MaxD sowie MaxS, was im Konfliktfall eine Erhöhung der Schwere einer potentiellen Kollision bedeutet, und der Ersatzgröße MaxDeltaV, was für eine Erhöhung des Konfliktschweregrades steht. Bei erhöhten Belastungen kommt darüber hinaus eine signifikante Verschlechterung der Ersatzgrößen PET und DeltaS hinzu. Im Konfliktfall scheinen also sowohl die Wahrscheinlichkeit einer Kollision als auch die Schwere einer solchen potentiellen Kollision zuzunehmen.

Diese Ergebnisse könnten sich auf die im Vergleich zu den in Tabelle 40 und Tabelle 41 analysierten Daten geringe Stichprobengröße zurückführen lassen oder durch die nicht endgültige Kalibrierung der Fahrverhaltensparameter im Simulationsmodell bedingt sein. Eine plausible Erklärung könnte sein, dass sich die Fahrzeuge, die durch die ZRA dosiert in den Einfädelungsbereich einfahren, dadurch, dass sie weniger durch andere einfahrende Fahrzeuge behindert werden, schnellere Geschwindigkeiten aufweisen sowie kleinere Zeitlücken akzeptieren. Auch die Fahrzeuge der Hauptfahrbahn werden aufgrund des dosierten Zuflusses weniger durch die einfahrenden Fahrzeuge gestört und können sich daher mit höherer Geschwindigkeit fortbewegen. Deshalb könnte vertreten werden, dass es für die Verkehrssicherheit im Einfädelungsbereich maßgeblicher ist, dass durch die ZRA insgesamt weniger Konflikte auftreten, als dass die Ersatzgrößen dieser Konflikte sicherheitstechnisch ungünstiger sind. Darüber hinaus darf nicht vergessen werden, dass lediglich die Gesamtbetrachtung aller Ersatzgrößen die Verkehrssicherheit zuverlässig abbilden kann, wobei die TTC einen der maßgeblichsten Werte darstellt, da sie die Wahrscheinlichkeit einer Kollision darstellt. Bezogen auf diese Größe lässt sich in diesem Fall jedoch keine signifikante Verschlechterung durch die ZRA feststellen.

5 Interpretation der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der soeben behandelten Fallbeispiele dargestellt. Das Kapitel beinhaltet

- einen Teil, in dem erläutert wird, welche der durch die RVS festgelegten Konflikttypen aufgrund der Analyse der Anschlussstelle Handelskai von SSAM erkannt werden können,
- einen Teil, in welchem die Vergleichsergebnisse des Beispiels der Anschlussstelle Franzosenhausweg besprochen werden und
- einen allgemeinen Teil, in dem Punkte beschrieben werden, welche bei beiden Beispielen festgestellt wurden.

Anhand dieser Erläuterungen soll geklärt werden, ob SSAM sich zur objektiven Sicherheitsbeurteilung eignet.

5.1.1 Identifizierung von Konflikttypen nach der RVS 02.02.22 mit SSAM am Beispiel der Anschlussstelle Handelskai

In den folgenden Tabellen werden sämtliche in der RVS 02.02.22 festgelegten Konflikttypen (Obergruppen sowie Untergruppen) aufgelistet. Anhand der für das Beispiel der Anschlussstelle Handelskai durchgeführten Auswertungen kann nun dargestellt werden, welche dieser Konflikttypen mit SSAM erkannt werden können. Die grün markierten Konflikttypen werden von SSAM erkannt, die orange markierten wurden in dieser Arbeit zwar nicht getestet, könnten aber von SSAM erkannt werden. Die Konflikttypen, die rot markiert sind, können von SSAM nicht erkannt werden (siehe Tabelle 44).

Tabelle 44: Legende zu Tabelle 45 bis Tabelle 54

	wird von SSAM nicht erkannt
	könnte von SSAM erkannt werden (wurde nicht getestet)
	wird von SSAM erkannt

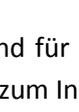
Dazu muss gesagt werden, dass das Erkennen von Konflikten nicht die genaue Einteilung in die gleich vorgestellten Konflikttypengruppen beinhaltet, da eine Einteilung durch SSAM ja lediglich in die drei Konflikttypen Crossing, Rear End und Lane Change erfolgen kann.

Im Folgenden soll kurz für jede Konflikttypenobergruppe einzeln erläutert werden, wie es zu der Einteilung nach Tabelle 45 bis Tabelle 54 gekommen ist.

Konflikttypenobergruppe 0

Die Konflikttypenobergruppe 0 enthält ausschließlich Konflikte mit nur einem Beteiligten. Dazu zählen unter anderem Abkommenskonflikte. Es kann gesagt werden, dass sämtliche Konflikte dieser Gruppe von SSAM nicht erkannt werden können. SSAM berücksichtigt nämlich keine Sicherheitsrisiken, die lediglich Einzelfahrzeuge betreffen, wie z.B. das Abkommen eines Fahrzeugs von der Straße in einer engen Kurve bei zu hoher Geschwindigkeit. Konflikte können lediglich anhand der Trajektorien zweier Fahrzeuge berechnet werden. Auch in VISSIM können keine Alleinunfälle abgebildet werden.

Tabelle 45: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 0

Konflikttypenobergruppe 0 Konflikte mit nur einem Beteiligten (z.B. Abkommenskonflikte)	Untergruppe 01 Beinahe Abkommen rechts	 auf der Geraden	 in Rechtskurven	 in Linkskurven
	Untergruppe 02 Beinahe Abkommen links	 auf der Geraden	 in Rechtskurven	 in Linkskurven
	Untergruppe 03 Beinahe Abkommen im Kreuzungsbereich			
	Untergruppe 04 Rückwärtsfahren und Umkehren			
	Untergruppe 05 Schleudern, Rutschen			
	Untergruppe 06 Annähern			

Konflikttypenobergruppe 1

Konflikte dieser Konflikttypenobergruppe sind für die vorliegende Arbeit, welche die Untersuchung der Verkehrssicherheit von Anschlussstellen zum Inhalt hat, besonders maßgebend. In diesem Kapitel wurde nachgewiesen, dass das SSAM die Untergruppen 11 bis 16 und 18 erkennt und entweder als Rear-End- oder Lane-Change-Konflikte klassifiziert. Nicht untersucht wurde, ob auch Konflikte beim Rückwärtsbewegen (Untergruppe 17) berechnet werden können. Dabei geht es weniger um die Grenzen des SSAM (ob die Trajektorien eines sich vorwärts bewegenden oder eines sich rückwärts bewegenden Fahrzeuges ausgewertet werden, dürfte keine Rolle spielen) als um die begrenzten Möglichkeiten, solche Konflikte im Simulationsmodell nachzubilden. Dazu müssten bestimmten Fahrzeugen negative Geschwindigkeiten zugewiesen werden. Da dieser Fall jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wird, kann nicht eindeutig gesagt werden, ob Konflikte beim Rückwärtsfahren mit VISSIM und SSAM analysiert werden können.

Tabelle 46: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 1

Konflikttypenobergruppe 1 Konflikte im Richtungsverkehr (z.B. Fahrstreifenwechselkonflikt, Auffahrkonflikt, Überholkonflikt)	Untergruppe 11 Konflikt beim Überholen (auch mehrfach)	 Überholen rechts	 Überholen links	
	Untergruppe 12 Wechsel des Fahrstreifens (rechts und links)	 nach rechts/links	 nach rechts/links mit Ausweichen	
	Untergruppe 13 Konflikt beim Hintereinanderfahren (fahrendes KFZ)	 auf der Geraden	 in Rechtskurve	 in Linkskurve
	Untergruppe 14 Konflikt beim Hintereinanderfahren (stehendes KFZ)	 auf der Geraden	 in Rechtskurve	 in Linkskurve
	Untergruppe 15 Konflikt beim Annähern im Kreuzungsbereich	 auf fahrendes Fahrzeug		
	Untergruppe 16 Konflikt beim Annähern im Kreuzungsbereich	 auf stehendes Fahrzeug		
	Untergruppe 17 Konflikt beim Rückwärtsbewegen			
	Untergruppe 18 Konflikt durch Einordnen	 von rechts	 von links	

Konflikttypenobergruppe 2

Dass Konflikte der Konflikttypenobergruppe 2 von SSAM erkannt werden, ist denkbar. Allerdings sind aufgrund der Tatsache, dass in VISSIM sämtliche Strecken eine vorgegebene Fahrtrichtung als Eigenschaft aufweisen und daher eine Strecke nicht in beide Richtungen befahren werden kann, der Nachbildung von Begegnungskonflikten im Modell Grenzen gesetzt. Insbesondere können daher

Konflikte der Untergruppen 22, 23, 24 und 26 mit der Kombination aus dieser Simulationssoftware und SSAM nicht miteinbezogen werden. Anders stellt sich die Situation bei Konflikten der Untergruppen 21 und 23 dar. Befinden sich die beiden Konfliktfahrzeuge auf verschiedenen Strecken, fahren aber so nahe aneinander vorbei, dass sich daraus eine Konfliktsituation ergibt, so könnte es möglich sein, dass solche Konflikte mit der Kombination aus VISSIM und SSAM erkannt werden. In dieser Arbeit wurde das Auftreten von Konflikten im Begegnungsverkehr jedoch nicht überprüft.

Tabelle 47: Ergebnisse Konfliktypenobergruppe 2

Konfliktypenobergruppe 2 Konflikte im Begegnungsverkehr (Frontalkonflikte)	Untergruppe 21 Konflikt durch Einordnen oder Zufahren	 Einordnen von links	 Einordnen von rechts	 Zufahren zum linken Fahrbahnrand
	Untergruppe 22 Ausweichen rechts/links durch entgegenkommendes Fahrzeug	 auf der Geraden	 in Rechtskurve	 in Linkskurve
	Untergruppe 23 seitlicher Konflikt (aus entgegengesetzter Richtung)	 auf der Geraden	 in Kurve	
	Untergruppe 24 Konflikt mit entgegenkommenden Fahrzeugen	 auf der Geraden	 in Kurve	
	Untergruppe 26 Frontalkonflikt beim Überholen	 auf der Geraden	 in 2. Spur in Rechtskurve	 in 2. Spur in Linkskurve

Konfliktypenobergruppe 3

Konflikte beim richtungsgleichen Abbiegen können mit SSAM berechnet werden. Diese sind bei der Untersuchung von Anschlussstellen wie beim Beispiel der Anschlussstelle Handelskai in den anschließenden Kreuzungsbereichen des untergeordneten Straßennetzes maßgeblich. Neben Konflikten mit Rechtsabbiegern und Linksabbiegern müssten prinzipiell auch Konflikte beim

Umkehren erkannt werden, wenn eine entsprechende Routenentscheidung im Simulationsmodell festgelegt ist. Diese müssten im SSAM dem Typ „Crossing“ entsprechen, was in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht untersucht wurde.

Tabelle 48: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 3

Konflikttypenobergruppe 3 Konflikte beim Abbiegen – richtungsgleich (Rechtsabbieger, Linksabbieger)	Untergruppe 31 Konflikt mit Rechtsabbieger	 Fahrzeug biegt rechts ab	 Rechtsabbieger aus 2. Spur	 gleichzeitiger Rechtsabbieger
	Untergruppe 32 Konflikt mit Linksabbieger	 Fahrzeug biegt links ab	 Linksabbieger aus rechter Spur	 gleichzeitiger Linksabbieger
	Untergruppe 33 Konflikt beim Umkehren	 auf Kreuzungen	 im Streckenbereich	

Konflikttypenobergruppe 4

Das soeben für die Konflikttypenobergruppe 3 Gesagte gilt auch für die Konflikttypenobergruppe 4, welche Konflikte beim Abbiegen in entgegengesetzter Richtung miteinschließt. Hinzu kommt hier die Möglichkeit von Konflikten, die sich beim Rechtsabbiegen aufgrund von Gegenverkehr wie z.B. Radwegen oder eigenen Gleiskörpern ergeben können. So wie für die Untergruppe der Umkehrkonflikte wurde auch für diese Konflikte nicht überprüft, ob sie durch SSAM erkannt werden können.

Tabelle 49: Ergebnisse Konfliktypenobergruppe 4

Konfliktypenobergruppe 4 Konflikte beim Abbiegen – entgegengesetzte Richtung (z.B. Linksabbiegekonflikte)	Untergruppe 41 Konflikt beim Abbiegen links		
	Untergruppe 42 Konflikt, beide Fahrzeuge biegen nach links ab		
	Untergruppe 43 Konflikt bei gleichzeitigem Abbiegen		
	Untergruppe 45 Rechtsabbiegen im besonderen (Gegenverkehr (z.B. Radwege, eigene Gleiskörper))		
	Untergruppe 46 Konflikt beim Umkehren	 auf Kreuzungen	 im Streckenbereich

Konfliktypenobergruppe 5

Rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Queren können von SSAM erkannt werden und werden dem Konfliktyp „Crossing“ zugeordnet.

Tabelle 50: Ergebnisse Konfliktypenobergruppe 5

Konfliktypenobergruppe 5 Rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Queren (geradeausfahrende Fahrzeuge)	Untergruppe 51 Konflikt auf der Kreuzung	
---	--	---

Konfliktypenobergruppe 6

Insbesondere Konflikte der Untergruppe 61 sowie Konflikte von Linksabbiegern mit entgegenkommenden Fahrzeugen (Untergruppe 62), Konflikte zwischen linksabbiegenden Fahrzeugen (Untergruppe 63) und Konflikte der Untergruppe 65 könnten mit SSAM berechnet werden. In diesem Kapitel wurde aber lediglich das Auftreten der Konfliktypenuntergruppe 61

nachgewiesen. Je nach Modellierung der Strecken im Simulationsmodell könnten sich auch die anderen Arten von rechtwinkligen Konflikten auf Kreuzungen beim Einbiegen ereignen und vom SSAM berechnet werden. Da eine Strecke nicht in beide Richtungen befahren werden kann ist dies immer dann der Fall, wenn zwei Strecken so nahe beieinanderliegen, dass zwei Fahrzeuge eine gemeinsame Konfliktfläche haben. Aufgrund von logischen Überlegungen kann daher gesagt werden, dass mit SSAM sämtliche Konflikttypen dieser Konflikttypenobergruppe erkannt werden können.

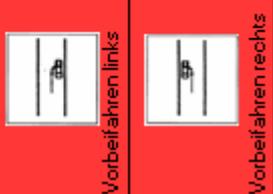
Tabelle 51: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 6

Konflikttypenobergruppe 6 Rechtwinkelige Konflikte auf Kreuzungen beim Einbiegen	Untergruppe 61 Konflikt bei Vorfahrt	 mit Rechtsabbieger	 mit Linksabbieger	
	Untergruppe 62 Konflikt beim Entgegenkommen	 Rechtsabbieger mit entgegenkommendem Fahrzeug	 Linksabbieger mit entgegenkommendem Fahrzeug	
	Untergruppe 63 Konflikt beim Abbiegen	 zwischen rechtsabbiegenden Fahrzeugen	 zwischen linksabbiegenden Fahrzeugen	 zwischen Rechts- und Linksabbieger
	Untergruppe 64 Konflikt beim Abbiegen mit eintgegenkommendem, überholendem Fahrzeug	 zwischen Rechtsabbieger und entgegenkommendem überholenden Fahrzeug	 zwischen Linksabbieger und entgegenkommendem überholenden Fahrzeug	
	Untergruppe 65 Konflikt beim Abbiegen und Überholen	 zwischen Rechtsabbieger und überholendem Fahrzeug	 zwischen Linksabbieger und überholendem Fahrzeug	

Konflikttypenobergruppe 7

Es wäre möglich, dass Konflikte mit am Straßenrand parkenden Fahrzeugen durch das SSAM erkannt werden, bei den in dieser Arbeit betrachteten simulierten Anschlussstellen wurden jedoch keine parkenden Fahrzeuge mitsimuliert. Daher kann keine Aussage über die Berechnung solcher Konflikte getroffen werden. Das Erfassen von Konflikten mit einer offenen Wagentüre kann ausgeschlossen werden, da ein solcher Fall mit VISSIM nicht dargestellt werden kann. Darüber hinaus müsste, damit ein solcher Konflikt in SSAM ausgegeben werden könnte, entweder die Wagentüre eine eigene Trajektorie aufweisen, oder sich die Konfliktfläche des parkenden Fahrzeuges beim Öffnen der Türe vergrößern.

Tabelle 52: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 7

Konflikttypenobergruppe 7 Konflikte mit haltenden oder parkenden Fahrzeugen	Untergruppe 71 Konflikt mit Fahrzeug, das auf der rechten Straßenseite hält oder parkt		
	Untergruppe 72 Konflikt mit Fahrzeug, das auf der linken Straßenseite hält oder parkt		
	Untergruppe 74 Konflikt mit einer offenen Wagentüre	Vorbeifahren links	

Konflikttypenobergruppe 8

Konflikte mit Fußgängern können überall dort, wo ein Fußgängerübergang modelliert wurde, von SSAM erkannt werden. Dies wurde in diesem Kapitel nachgewiesen. Von vornherein ausgeschlossen werden können Konflikte mit Fußgängern auf dem Gehsteig, da dies aufgrund der Streckenmodellierung in VISSIM nicht möglich ist, sowie Konflikte mit Fußgängern, welche auf der Fahrbahn gehen, da auch eine solche Situation üblicherweise im Simulationsmodell nicht dargestellt wird.

Tabelle 53: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 8

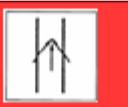
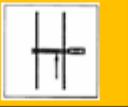
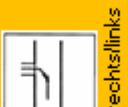
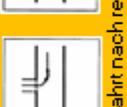
	<p>Untergruppe 81 Konflikt mit Fußgänger von rechts/links, Fahrzeug biegt nicht ab</p>		
	<p>Untergruppe 82 Konflikt mit Fußgänger beim Rechts- /Linksabbiegen</p>		

Konflikttypenobergruppe 8	
Konflikte mit Fußgängern (von rechts und links, auf Kreuzungen und in Straßenzügen und sonstiges)	
<p>Untergruppe 84 Konflikt mit Fußgänger von rechts/links, beim Vorbeifahren, Überholen</p>	 vor der Kreuzung rechts/links  nach der Kreuzung rechts/links
<p>Untergruppe 85 Konflikt mit Fußgänger auf Fahrbahn/ Konflikt mit Fußgänger, der die Fahrbahn vor parkendem Fahrzeug überholt</p>	 Fußgänger kommt/überquert von rechts  Fußgänger kommt/überquert von links
<p>Untergruppe 86 Konflikt mit Fußgänger auf der Fahrbahn beim Überholen eines Fahrzeuges</p>	 Fußgänger überquert von rechts  Fußgänger überquert von links
<p>Untergruppe 87 Konflikt mit Fußgänger, der auf der Straße geht (in entgegengesetzter Richtung)/ Konflikt mit Fußgänger, der auf der Straße geht (in gleicher Richtung)/ Konflikt mit Fußgänger, der auf der linken Straßenseite geht (während des Überholens)</p>	 auf rechter Straßenseite/ in entgegengesetzter Richtung  auf linker Straßenseite/ in gleicher Richtung
<p>Untergruppe 88 Konflikt mit Fußgänger auf dem Gehsteig/ Konflikt mit Fußgänger, der Fahrbahn überquert, beim Rückwärtsfahren/ Konflikt mit Fußgänger bei Ein- oder Ausfahrt (Haus, Grundstück, etc.)</p>	 auf Gehsteig rechts/links  beim Rückwärtsfahren  beim Einfahren/Ausfahren

Konflikttypenobergruppe 9

Bahnkonflikte sowie Konflikte bei Aus- und Einfahrten wurden in dieser Arbeit nicht simuliert, könnten jedoch von SSAM erkannt werden. Tierkonflikte können in VISSIM nicht simuliert werden und daher auch nicht mit SSAM berechnet werden.

Tabelle 54: Ergebnisse Konflikttypenobergruppe 9

Konflikttypenobergruppe 9 Konflikte auf Parkplatz-, Tankstellen-, Haus- oder Grundstücksaus- oder -einfahrten	Untergruppe 92 Tierkonflikte				
	Untergruppe 93 Bahnkonflikte				
	Untergruppe 94 Konflikte bei Aus- und Einfahrten		Konflikt von rechts, Ausfahrt nach rechts/links		Konflikt von links, Ausfahrt nach rechts/links
					
			Konflikt von rechts, Einfahrt nach links		Konflikt nach Überholen, Einfahrt links/rechts
		Konflikt von rechts, Einfahrt nach links		Konflikt nach Überholen, Einfahrt links/rechts	
Untergruppe 99 Sonstige Konflikte					

Abschließend kann hier festgehalten werden, dass mit SSAM jene Konflikttypen erkannt wurden, welche aufgrund von logischen Überlegungen und unter Berücksichtigung der begrenzten Möglichkeiten der Abbildung der Realität anhand einer Mikrosimulation und der Funktionen von SSAM (z.B. keine Möglichkeit der Darstellung von Konflikten von Einzelfahrzeugen) auch erwartet wurden. Daraus kann geschlossen werden, dass mit SSAM plausible Ergebnisse erlangt werden und die Verkehrssicherheit realitätsgetreu abgebildet werden kann. Allerdings muss dazu gesagt werden, dass durch SSAM viel mehr Konflikte berechnet werden, als vermutlich in der Realität auftreten, was oft simulationsbedingt ist. Daher sollte zumindest stichprobenartig immer eine Zusammenschau zwischen SSAM und der Simulationssoftware stattfinden, was jedoch zeitlichen Aufwand bedeutet.

5.1.2 Statistischer Variantenvergleich mit SSAM am Beispiel der Anschlussstelle Franzosenhausweg

Betreffend das Beispiel der Anschlussstelle Franzosenhausweg lässt sich zusammenfassend festhalten, dass die Ergebnisse, welche durch SSAM ermittelt wurden, trotz der mitunter starken Schwankungen der Konflikte und Ersatzgrößen zwischen den einzelnen Simulationsläufen der Varianten, insgesamt eine Verbesserung der Situation der Verkehrssicherheit im Bereich der Anschlussstelle Franzosenhausweg durch den Einsatz der ZRA zeigen. Insbesondere bei erhöhten Verkehrsstärken zeigten sich signifikante Unterschiede mit Präferenz für die Variante mit ZRA. Darüber hinaus kann gesagt werden, dass sowohl mit als auch ohne ZRA nur wenige sehr kritische Konflikte festgestellt wurden. Dies lässt sich schon allein dadurch erkennen, dass Konflikte mit einem TTC-Wert von unter 0,5 bei den einzelnen Varianten nur sehr selten bis gar nie auftreten. Die einzigen Konflikte mit einer so geringen TTC wurden im Einfädungsbereich (Strecke 9) festgestellt. Dieser Bereich stellt insgesamt den für die Verkehrssicherheit kritischsten Teil des gesamten Untersuchungsbereiches dar.

Die Analyse der Ergebnisse beinhaltet auch die Identifizierung konfliktrisikogefährdeter Punkte im Bereich der Anschlussstelle. Neben der Einfädungsstrecke konnte insbesondere auch die Strecke 6 als konfliktreicher Bereich erkannt werden, was jedoch, wie bereits oben erläutert, auf die unterschiedlichen Streckenverhaltensparameter zurückzuführen ist und in der Realität kein so hohes Risiko darstellt. Durch diesen Wechsel verringern sich im Simulationsmodell die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge auf der Hauptfahrbahn je näher sie der Einfahrt kommen, da sie den von der Rampe kommenden Fahrzeugen teilweise das Einfädeln ermöglichen müssen und sich durch die zusätzlichen Fahrzeuge die Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn erhöht. Diese Verringerung der Geschwindigkeit kann vor allem bei eingeschränkter Aufmerksamkeit der Folgefahrzeuge dazu führen, dass sich Rear-End-Konflikte häufen. Schon bei kleinsten Veränderungen im Simulationsmodell (z.B. die geringfügige Verlängerung bzw. Verkürzung einer Verbinderstrecke oder eben die Änderung von Streckenverhaltenstypen) lassen sich deutliche Veränderungen bei der berechneten Konfliktdanzahl und Konfliktverteilung im Untersuchungsbereich feststellen. Der Vergleich zwischen zwei Varianten, bei denen lediglich der für die Gegenüberstellung relevante Teil geändert wurde, zeigt jedoch stets die Präferenz für dieselbe Variante.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass der Einsatz der LSA das Konfliktrisiko auf der Rampe leicht erhöht, da die Fahrzeuge vor dem Signalgeber halten müssen, was zu Rear-End-Konflikten mit nachfolgenden Fahrzeugen führen kann. Diese Konflikte weisen allerdings keine als kritisch einzustufenden TTC-Werte auf, und können somit vernachlässigt werden. Da die Vorderfahrzeuge hier nicht überraschend bremsen, sind TTC-Werte von über 1 Sekunde aufgrund der geringen Geschwindigkeit der Fahrzeuge sowie der erhöhten Aufmerksamkeit der Fahrer in Bereichen vor Signalgebern nämlich nicht maßgeblich für die Beurteilung der Verkehrssicherheit.

Mithilfe der mittels SSAM erstellten Konfliktlagepläne war es darüber hinaus möglich, die genaue Lage, an denen sich Konflikte häufen, ohne spezielle Auswertung zu identifizieren. So traten auf Strecke 9 die meisten Konflikte knapp nach der Auffahrtsrampe sowie kurz vor Ende des Beschleunigungsstreifens auf.

Bei separater Betrachtung der Verkehrssicherheit auf Strecke 9, welche in dieser Untersuchung von vordergründigem Interesse war, zeigte sich, dass die ZRA auch hier die Konfliktdanzahl verringert; dies bei erhöhten Verkehrsstärken sogar signifikant. Allerdings ließ sich eine deutliche Verschlechterung

der meisten betrachteten verkehrssicherheitstechnischen Ersatzgrößen bei den Varianten mit ZRA verzeichnen (nicht jedoch der TTC). Die t-Tests ergaben hier also, dass eine der beiden Varianten eine höhere Konflikanzahl aufweist. Im Gegensatz dazu zeigte der Vergleich der Ersatzgrößen jedoch, dass die Konfliktschweregrade bei der Variante mit der höheren Konflikanzahl geringer sind. Dieses Resultat erschwert die eindeutige Beurteilung, welche der beiden Varianten sicherer ist.

5.1.3 Allgemeine Erkenntnisse zur Konfliktanalyse mit SSAM

Folgende Aussagen können aufgrund der beiden durchgeführten Analysen mit SSAM allgemein getätigt werden:

- Aufgrund dessen, dass sowohl zwei verschiedene Belastungsfälle einer Anschlussstelle getestet als auch beide Richtungen einer Hauptfahrbahn mit unterschiedlichen Verkehrsstärken miteinander verglichen wurden, kann allgemein festgehalten werden, dass die Verkehrsstärke mit der Anzahl der Konflikte korreliert. Es handelt sich hierbei um eine positive Korrelation. Je höhere Belastungen auftreten, desto höher wird auch die Konflikanzahl. Dieses durch SSAM erlangte Ergebnis ist schlüssig, da bei höheren Verkehrsstärken naturgemäß auch mehr Interaktionen zwischen den einzelnen Fahrzeugen stattfinden.
- Je höher die Verkehrsstärken im Simulationsmodell gewählt werden, desto weniger stark variiert die Anzahl der berechneten Konflikte der einzelnen Trajektorien. Die Standardabweichung der Konflikanzahlen wird also immer kleiner, je höher die Belastungen sind. Dies gilt allerdings erst ab einer gewissen Mindestanzahl an erkannten Konflikten.
- Oftmals ist die Einteilung nach Konflikttypen nicht nachvollziehbar. Insbesondere ist aufgefallen, dass typische Lane-Change-Konflikte als Rear-End-Konflikte klassifiziert wurden (insbesondere in Einfädelungsbereichen). Darüber hinaus trat auch der Fall auf, dass ein typischer Crossing-Konflikt als Lane-Change-Konflikt erkannt wurde, da eine Kurve, die von einem der Konfliktfahrzeuge im Anschluss an t_{MinTTC} durchfahren wurde, und die damit einhergehende Änderung der Fahrtrichtung und somit des Konfliktwinkels, nicht in die Trajektorie dieses Fahrzeuges miteingeflossen sind. Diese nicht der Realität entsprechenden Konflikttypeneinteilungen wurden sowohl bei der Analyse der Anschlussstelle Franzosenhausweg als auch bei der Analyse der Anschlussstelle Handelskai festgestellt. Eine Erklärung für diese falsche Einteilung in Kreuzungsbereichen könnte sein, dass sich Kreuzungen im Modell aus vielen verschiedenen Strecken zusammensetzen, was dazu führt, dass ein Fahrzeug während eines Konfliktes auch viele dieser Strecken überfährt. Daher befindet es sich zu Konfliktbeginn oftmals nicht auf derselben Strecke wie zu Konfliktende, was zur Folge hat, dass für die Konflikteinteilung nur noch der Konfliktwinkel maßgebend ist. Da bei den Ergebnissen immer nur Fahrstreifen und Fahrbahn des ersten und zweiten Konfliktfahrzeugs zum Zeitpunkt t_{MinTTC} angegeben werden und nicht zu Konfliktbeginn und Konfliktende, lässt sich dies allerdings nicht überprüfen.

Es scheint daher sinnvoll, niedrigere Werte als 30° sowie 80° als Schwellenwerte der Konfliktwinkel für Rear-End- und Crossing-Konflikte anzusetzen, um eine präzisere Einteilung nach Konflikttypen zu erreichen.

- Der gewählte Schwellenwert von 1,5 Sekunden für die TTC lässt sich zwar überzeugend durch die Fahrer-Reaktionszeiten herleiten, allerdings ist er nicht für alle Situationen gleichermaßen zutreffend. Es wurden in diesem Kapitel einige Konflikte mit einer TTC um die 1,5 Sekunden näher betrachtet, die kein Risiko für die Verkehrssicherheit darstellen. Insbesondere in Kreuzungs- und Einfädelungsbereichen sind niedrigere TTC-Werte maßgeblich, da hier ohnehin schon eine erhöhte Aufmerksamkeit der Fahrer gegeben ist. Generell kann sogar gesagt werden, dass es sinnvoll wäre, von vornherein einen niedrigeren Schwellenwert einzustellen, da sämtliche Konflikte mit einer so hohen TTC im Kreuzungsbereich nicht als kritisch einzustufen waren und sich die Berechnungszeit dadurch deutlich verkürzt.
- Sicherheitstechnische Auswertungen von Anschlussstellen mit SSAM liefern größtenteils nachvollziehbare Ergebnisse, welche jedoch insbesondere bei einem Vergleich zweier Varianten nicht eindeutig für eine Variante sprechen müssen. Allerdings lässt sich großes Potential der Software erkennen, Fehler im Simulationsmodell zu erkennen. Durch die Darstellung der Konfliktpunkte mit dem Lageplantooll kann insbesondere festgestellt werden, an welchen Stellen im Modell Vorrangregeln verbessert werden sollten, da Konflikte in der Aufbauphase des Simulationsmodells wider Erwarten in großer Häufigkeit auftraten.
- SSAM eignet sich besser für statistische Vergleiche zwischen zwei Varianten und nicht so sehr für die Betrachtung von Einzelfällen. Insbesondere die Darstellung der Konflikte auf den Konfliktlageplänen ist für eine Einzelauswertung nicht dienlich, da entweder nur die Konflikte aller Simulationsläufe gleichzeitig angezeigt werden können, oder nur die einzelner Trajektoriendateien. Es lassen sich keine gemittelten Werte darstellen, was für die Betrachtung einer einzigen Variante eigentlich von Interesse wäre.
- Aufgrund der Einstellungen in VISSIM sind der Konfliktauswertung mit SSAM Grenzen gesetzt. Darüber hinaus haben das gewählte Verkehrsflussmodell und der gewählte Simulationsaufbau einen starken Einfluss auf die Auswertung mit SSAM. So kann beispielsweise schon die Änderung der Streckenverhaltensparameter beim Übergang einer Strecke zu übermäßig hohen Konflikttanzahlen führen, die in diesem Ausmaß in der Realität nicht auftreten. Auf eine sinnvolle und eine im Modell durchgängige Umsetzung muss geachtet werden.
- Die Miteinbeziehung von Fußgängerkonflikten in die Auswertung hat sich als nicht sinnvoll erwiesen. Fußgänger sind in VISSIM nichts anderes als ein bestimmter Fahrzeugtyp, was zur Folge hat, dass von SSAM auch Konflikte zwischen Fußgängern untereinander berechnet werden. Sollen Fußgänger in die Analyse miteinbezogen werden, so muss der

Fußgängerverkehr im Detail modelliert werden. Fußgänger realitätsgetreu abzubilden ist in Modellen nahezu unmöglich. Da der Schwerpunkt der Arbeit nicht auf einer realitätsnahen Modellierung des Fußgängerverkehrs lag, kann hier keine detaillierte Aussage getätigt werden. Werden Fußgänger nicht genau modelliert, bringt die Auswertung mit SSAM keinen Mehrwert, sondern wirkt sich störend auf die Auswertungsergebnisse aus, da solche Konflikte in Excel herausgefiltert werden müssen und ein Variantenvergleich dadurch erschwert wird.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Modellierung menschlichen Verhaltens ist schwierig und stellt insbesondere im sicherheitsrelevanten Kontext eine Herausforderung dar. Dies liegt daran, dass die Erfassung der realen menschlichen Situationen, welche nur selten sicherheitsrelevant sind, nur sehr schwer möglich ist. [Schnieder; Schnieder, 2013]

Die vorliegende Arbeit hat jedoch gezeigt, dass die SSAM-Software in Verbindung mit VISSIM Potential hat, künftig bereits in der Planungsphase von straßenverkehrlicher Infrastruktur der Einschätzung und der damit einhergehenden Optimierung der Verkehrssicherheit zu dienen. Einschätzungen von Konfliktsituationen an Anschlussstellen haben sich durch die Auswertung mit SSAM bestätigt, was zeigt, dass die Software die Realität gut abbilden kann. Dazu muss angemerkt werden, dass die Ergebnisse selbstverständlich dennoch stark davon abhängen, wie die Fahrverhaltensparameter im Simulationsmodell gewählt wurden und wie nahe diese dem tatsächlichen menschlichen Verhalten kommen. Diese Parameter können von Ort zu Ort stark variieren und stellen die größte Problematik im vorliegenden Fall dar. Daher kann gesagt werden, dass sich SSAM vorrangig zum Vergleich zwischen zwei Modellierungs- bzw. Dimensionierungsvarianten eignet und nicht so sehr für eine Betrachtung von Einzelfällen. Bei einer Einzelfallbetrachtung könnte die Software jedoch dazu verwendet werden, Fehler im Simulationsmodell zu erkennen, worüber die Konflikttanzahl sowie die Lage der Konflikte oft Auskunft geben.

Es muss allerdings erwähnt werden, dass die Durchführung eines Variantenvergleichs in dieser Arbeit ergeben hat, dass eine der beiden betrachteten Varianten bei bestimmten Teilen des Untersuchungsbereiches zwar höhere Konflikttzahlen aufweist, dafür aber geringere Konfliktschweregrade und umgekehrt. Dieses Resultat erschwert die eindeutige Beurteilung, welche der beiden Varianten sicherer ist.

Im Zuge der Auswertungen ergaben sich darüber hinaus Verbesserungsvorschläge für den Aufbau und die Funktionen von SSAM, welche im Folgenden aufgelistet werden:

- Es sollte aus dem Konfliktlageplan besser ersichtlich sein, wie viele Konflikte an einem bestimmten Punkt aufgetreten sind. Oftmals ist nur ein Punkt erkennbar, es sind dort jedoch zahlreiche Konflikte erkannt worden. Es wäre hilfreich, wenn die Konflikthäufigkeiten neben der Möglichkeit, im Konfliktlageplan kleine Filterzonen zu setzen und dadurch die so angezeigte Gesamtkonflikttanzahl zu erlangen, farblich hervorgehoben werden könnten.
- Eine feinere Einteilung nach Konflikttypen wäre sinnvoll. Mehr Konflikttypen würden mehr Schwellenwerte für die Konfliktwinkel erfordern, was eine Fehleinteilung der Konflikte nach Konflikttypen verhindern könnte. Dadurch würde die Realität mit SSAM besser abgebildet werden.
- Es wäre zweckmäßig, Strecken vollständig aus den Ergebnissen herausfiltern zu können, sodass auch solche Konflikte nicht mehr miteinbezogen werden, bei denen sich nur eines der beiden Konfliktfahrzeuge auf einer Strecke des betrachteten Untersuchungsbereichs

befindet. Dies würde die Auswertung in vielen Fällen erleichtern und beschleunigen, da in Excel keine etwaige zusätzliche Programmierung mit VBA mehr vorgenommen werden müsste.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der sicherheitstechnischen Auswertung von Anschlussstellen mit SSAM überwiegend nachvollziehbare Ergebnisse erlangt wurden, jedoch noch Möglichkeiten bestehen, die Software hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit zu verbessern. Darüber hinaus muss angemerkt werden, dass sich, auch wenn die Resultate bei einem Variantenvergleich nicht eindeutig für eine Variante sprechen, trotzdem eine Tendenz erkennen lässt, welche Ausführung sich positiver auf die Verkehrssicherheit auswirken würde. Im Vergleich zu anderen Forschungsarbeiten, welche sich mit SSAM beschäftigen, ist der Mehrwert dieser Arbeit insbesondere darin zu sehen, dass neben der Durchführung eines Variantenvergleichs anhand der Betrachtung einer einzelnen Modellierungsvariante untersucht wurde, welche Konflikttypen mit dieser Software erkannt werden können und die Ergebnisse mit aufgrund von logischen Überlegungen erwarteten Konflikten gemäß RVS 02.02.22 und realen Unfalldaten verglichen wurden. Dies hat eine größere Aussagekraft als der Vergleich mit prognostizierten Unfallzahlen und -typen.

Literaturverzeichnis

Agarwal, Nithin K. (2011):

Estimation of Pedestrian Safety at Intersections using Simulation and Surrogate Safety Measures, University of Kentucky, Dissertation.

Beratungsstelle für Unfallverhütung (2008):

Verfügbar unter: http://www.bfu.ch/de/Documents/01_Ratgeber/01_Ratgeber-Unfallverhuetzung/Strassenverkehr/2008-05-27_stellungnahme-reaktionszeit_bfu.pdf.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

Breuer, B.; Bill, K. (Hrsg.) (2012):

Bremsenhandbuch: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik, Springer-Verlag.

Bungartz, H.-J.; Zimmer, S.; Buchholz, M.; Pflüger, D. (2013):

Modellbildung und Simulation: Eine anwendungsorientierte Einführung, Springer-Verlag.

Cik, M.; Fellendorf, M.; Fenzl, R.; Gaube, E., Kriebenernegg, G. (2014):

Optimiertes Dimensionierungsverfahren für Autobahnknoten (ODIMAK), Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011.

Cooper, P. (1977):

Reports from group discussions, Group B, In: Amundsen, F.H. & Hyden, C. (Eds.), S. 135.

Cramer, E.; Kamps, U. (2014):

Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik: ein Skript für Studierende der Informatik, der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften, Springer-Verlag.

DEKRA (2015):

Verfügbar unter: <http://www.dekratechnologycenter.de/de/passive-schutzeinrichtungen>.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

Detering, S. (2010):

Kalibrierung und Validierung von Verkehrssimulationsmodellen zur Untersuchung von Verkehrsassistenzsystemen, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Dissertation.

Dijkstra, A.; Marchesini, P.; Bijleveld, F.; Kars, V.; Drolenga, H.; van Maarseveen, M. (2010):

Do Calculated Conflicts in Microsimulation Model Predict Number of Crashes?, In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2147, S. 105-112.

Europäische Kommission:

Verfügbar unter: <http://www.erscharter.eu/de/content/unsere-mission>.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

FGSV (2001):

Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), FGSV-Verlag.

FHWA; Siemens (2006):

Verfügbar unter:

<http://www.signalsystems.org.vt.edu/documents/Jan2006AnnualMeeting/SundayWorkshop/SURROGATE%20SAFETY%20ASSESSMENT%20MODEL.pdf>.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

Forschungsförderungsgesellschaft (2012):

Verfügbar unter: <http://www2.ffg.at/verkehr/studien.php?id=1094&lang=de&browse=programm>.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2006):

Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, Köln.

FSV (2014):

RVS 02.02.21: Verkehrssicherheitsuntersuchung, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr.

FSV (1995):

RVS 02.02.22: Verkehrssicherheit: Verkehrskonfliktuntersuchung, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr.

FSV (2012):

RVS 02.02.33: Road Safety Audit, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr.

FSV (2012):

RVS 02.02.35: Zertifizierung von Road Safety Auditoren und Road Safety Inspektoren (Straßenverkehrssicherheitsgutachter), Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr.

FSV (2001):

RVS 03.05.12: Knoten: Gemischte und Planfreie Knoten, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr.

Gettman, D.; Head, L. (2003):

Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models, In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1840, 104-115.

Gettman, D.; Pu, L.; Sayed, T.; Shelby, S. (2008):

Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, Federal Highway Administration, Abschlussbericht.

Gstalter, H.; Fastenmeier, W. (2007):

Thirty years of traffic safety research: A personal retrospective of concepts and methods, 20th ICTCT workshop, Valencia, Spanien, 2007, 25/26 Oktober.

Huang, F.; Liu, P.; Yu, H.; Wang, W. (2013):

Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections, In: Accident Analysis & Prevention 50, S. 1014-1024.

Hupfer, C. (1997):

Computergestützte Videobildverarbeitung zur Verkehrssicherheitsarbeit: am Beispiel von Fußgängerquerungen an städtischen Hauptverkehrsstraßen, Universität Kaiserslautern, Dissertation.

Keller, A. (2013):

Auswirkungen von Kreisverkehren auf die Verkehrssicherheit am Beispiel der Stadt Tulln, Fachhochschule des BFI Wien, Diplomarbeit.

Kim, K.-J.; Sul, J. (2009):

Development of Intersection Traffic Accident Risk Assessment Model, 4th IRTAD Conference, Seoul, Korea.

Kropfitsch, B. (2013):

Mikrosimulation von Verkehrsströmen auf Verflechtungsstrecken, Technische Universität Graz, Masterarbeit.

Land Oberösterreich; Stadt Linz; ASFINAG Service GmbH (2014):

Anti-Stau-System für die A 7: Österreichweit einzigartiges Pilotprojekt geht in Betrieb, Presseinformation.

Laureshyn, A.; Svensson, Å; Hydén, C. (2010):

Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation, In: Accident Analysis & Prevention 42, 1637-1646.

Lemmer, K. (2010):

Konzept zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit auf der A2, Eine wissenschaftliche Studie im Auftrag des Landes Niedersachsen, Abschlussbericht.

Leutzbach, W. (1972):

Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, Springer-Verlag.

Mensebach, W. (2004):

Straßenverkehrsplanung, Straßenverkehrstechnik, Werner-Verlag.

Papageorgiou, M.; Hadj-Salem, H.; Blosseville, J.-M. (1991):

ALINEA: A Local Feedback Control Law for On-Ramp Metering, In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1320, S. 58-64.

PIARC (2014):

Verfügbar unter: <http://www.piarc.org/en/Terminology-Dictionaries-Road-Transport-Roads/termsheet/287-de-Anschlussstelle.htm?ls=de>.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

PTV (2012):

Benutzerhandbuch für VISSIM 5.40.

PTV (2014):

Verfügbar unter: <http://compass.ptvgroup.com/tag/verkehrssicherheit/>.

[Datum des Zugriffs: 24.02.2015]

Rasch, B.; Friese, M.; Hofmann, W.-J.; Naumann, E. (2009):

Quantitative Methoden 1: Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler, Springer-Verlag.

Rose, C.; Eichinger-Vill, E.-M. (2010):

Die Umsetzung der EU-Richtlinie über ein Sicherheitsmanagement für die Straßenverkehrsinfrastruktur in Österreich, In: Zeitschrift für Straßenverkehrsrecht, Dezember 2010, S. 448 ff.

Schnabel, W.; Lohse, D. (2011):

Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Band 1 – Straßenverkehrstechnik, Beuth-Verlag.

Schnieder, E.; Schnieder, L. (2013):

Verkehrssicherheit: Maße und Modelle, Methoden und Maßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr, Springer-Verlag.

Sparmann, U. (1978):

Spurwechsellvorgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen, In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Band 263, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau.

Vasconcelos, A. L. P., Bastos Silva, A., Seco, Á. J. M. (2013):

Safety analysis of turbo-roundabouts using the SSAM technique, CITTA 6th Annual Conference on Planning Research, Coimbra, Portugal, 2013, 17 Mai.

Vogt, A. (1999):

Crash Models for Rural Intersections: Four-Lane by Two-Lane Stop Controlled and Two-Lane by Two-Lane Signalized, In: Report No. FHWA-RD-99-128, Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C., S. 182 ff.

Waldherr, S. (2004):

Zwei Algorithmen zur Zuflussregelung an Schnellstraßen. Implementation und Vergleich in einer mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, Universität Stuttgart, Studienarbeit.

Wiedemann, R. (1974):

Simulation des Straßenverkehrsflusses, In: Heft 8 der Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe.

Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.) (2012):

Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, Vieweg + Teubner Verlag.

Anhang

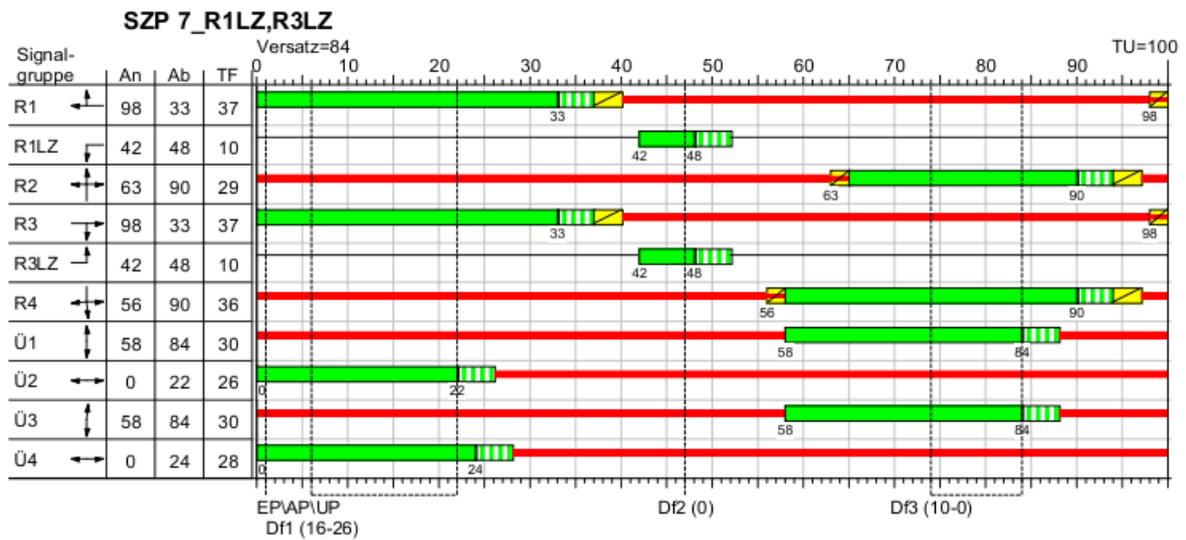


Abbildung 109: Signalprogramm Kreuzung Wehlstraße – Johann-Böhm-Platz [Magistrat der Stadt Wien, MA33]

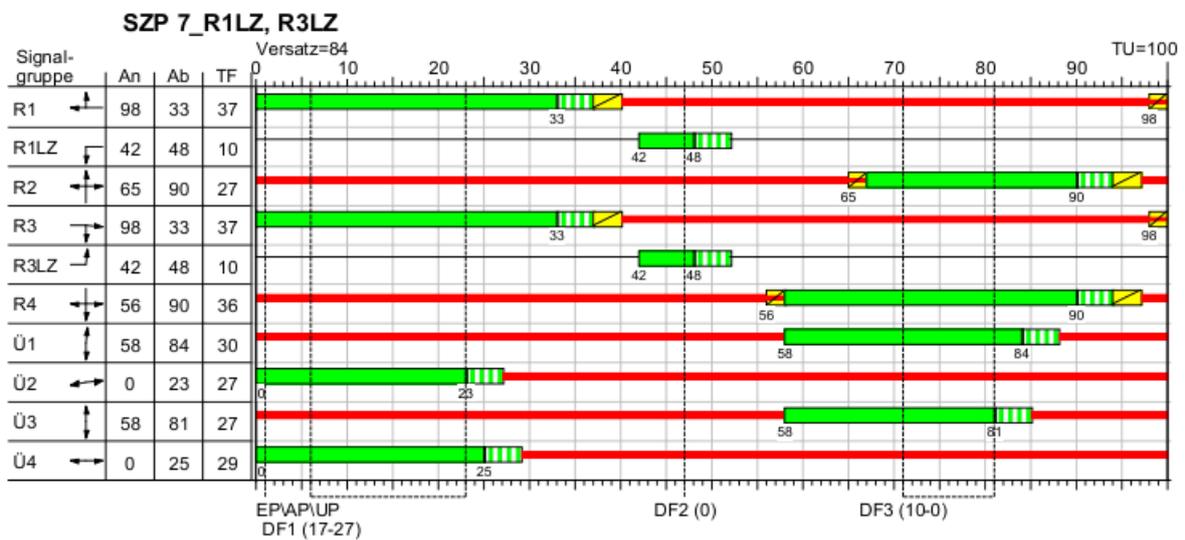


Abbildung 110: Signalprogramm Kreuzung Wehlstraße – Unbenannte Gasse 4 [Magistrat der Stadt Wien, MA33]

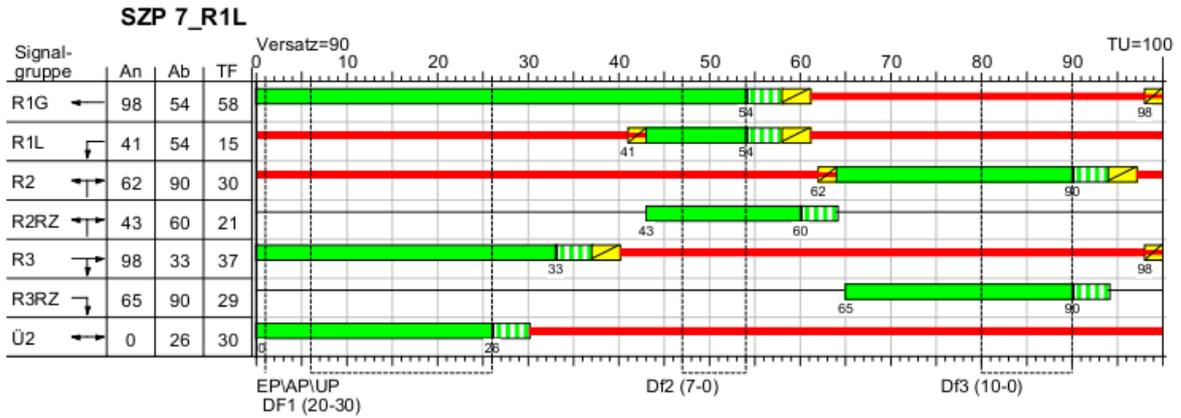


Abbildung 111: Signalprogramm Kreuzung Handelskai – Johann-Böhm-Platz [Magistrat der Stadt Wien, MA33]

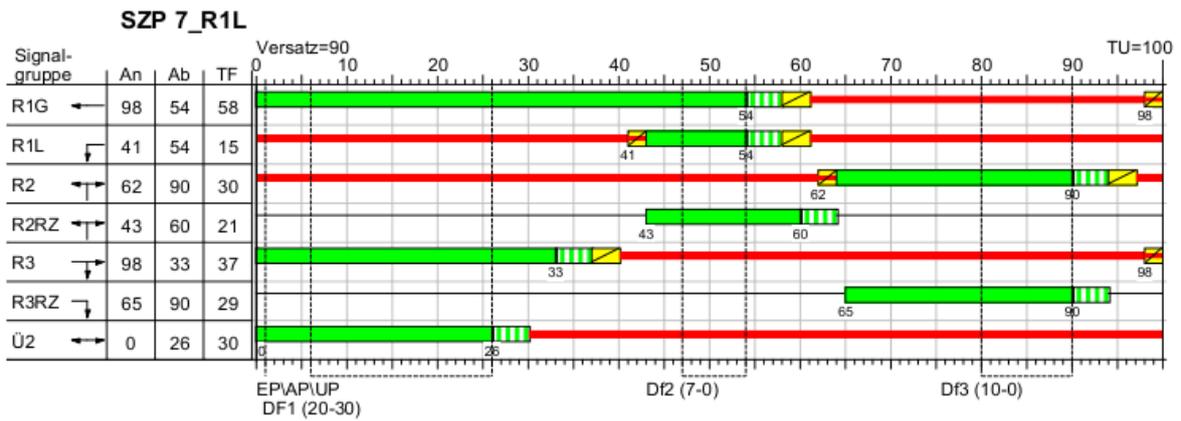


Abbildung 112. Signalprogramm Kreuzung Handelskai – Unbenannte-Gasse-4 [Magistrat der Stadt Wien, MA33]

Tabelle 55: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Hirschstetten - Hauptfahrbahn vor AST Handelskai

Basisdaten								
Datum und Uhrzeit SOLL		Tag	Monat	Jahr	Uhrzeit	Wochentag		
[UNIX]	[TT.MM.JJJJ hh:mm]	[TT]	[MM]	[JJJJ]	[hh:mm]	[Name]	[Code]	
1384862400	19.11.2013 13:00	19	11	2013	13:00	Dienstag	2	
1384866000	19.11.2013 14:00	19	11	2013	14:00	Dienstag	2	
1384869600	19.11.2013 15:00	19	11	2013	15:00	Dienstag	2	
1384873200	19.11.2013 16:00	19	11	2013	16:00	Dienstag	2	
Querschnitt								
Tagesverkehrsstärke			Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v		
Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw
[Kfz/24h]	[Pkw/24h]	Lkw/24h	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
			5688	5074	614	32	28	71
			6544	5979	565	18	13	71
			7803	7360	443	20	17	66
			7669	7258	411	20	19	54
Fahrstreifen 1 (F1)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	1154	1058	96	19	14	71	
1384866000	0	1299	1179	120	26	21	72	
1384869600	0	1696	1615	81	31	29	69	
1384873200	0	1853	1765	88	18	16	54	
Fahrstreifen 2 (F2)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	1207	826	381	72	74	69	
1384866000	0	1348	1022	326	25	10	70	
1384869600	0	1569	1332	237	26	19	65	
1384873200	0	1622	1436	186	13	7	55	
Fahrstreifen 3 (F3)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	1767	1639	128	42	39	74	
1384866000	0	1980	1873	107	11	7	73	
1384869600	0	2142	2024	118	7	4	67	
1384873200	0	2030	1911	119	22	20	53	
Fahrstreifen 4 (F4)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	1560	1551	9	1	1	85	
1384866000	0	1917	1905	12	15	15	83	
1384869600	0	2396	2389	7	18	18	76	
1384873200	0	2164	2146	18	27	27	50	

Tabelle 56: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Hirschstetten - Ausfahrtsrampe AST Handelskai

Basisdaten								
Datum und Uhrzeit SOLL		Tag	Monat	Jahr	Uhrzeit	Wochentag		
[UNIX]	[TT.MM.JJJJ hh:mm]	[TT]	[MM]	[JJJJ]	[hh:mm]	[Name]	[Code]	
1384862400	19.11.2013 13:00	19	11	2013	13:00	Dienstag	2	
1384866000	19.11.2013 14:00	19	11	2013	14:00	Dienstag	2	
1384869600	19.11.2013 15:00	19	11	2013	15:00	Dienstag	2	
1384873200	19.11.2013 16:00	19	11	2013	16:00	Dienstag	2	
Querschnitt								
Tagesverkehrsstärke			Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v		
Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw
[Kfz/24h]	[Pkw/24h]	[Lkw/24h]	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
			482	438	44	69	70	62
			519	458	61	68	69	64
			591	545	46	67	67	61
			594	566	28	63	63	59
Fahrstreifen 1 (Ra12.1)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	482	438	44	69	70	62	
1384866000	0	519	458	61	68	69	64	
1384869600	0	591	545	46	67	67	61	
1384873200	0	594	566	28	63	63	59	

Tabelle 57: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Hirschstetten - Einfahrtsrampe AST Handelskai

Basisdaten								
Datum und Uhrzeit SOLL		Tag	Monat	Jahr	Uhrzeit	Wochentag		
[UNIX]	[TT.MM.JJJJ hh:mm]	[TT]	[MM]	[JJJJ]	[hh:mm]	[Name]	[Code]	
1384862400	19.11.2013 13:00	19	11	2013	13:00	Dienstag	2	
1384866000	19.11.2013 14:00	19	11	2013	14:00	Dienstag	2	
1384869600	19.11.2013 15:00	19	11	2013	15:00	Dienstag	2	
1384873200	19.11.2013 16:00	19	11	2013	16:00	Dienstag	2	
Querschnitt								
Tagesverkehrsstärke			Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v		
Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw
[Kfz/24h]	[Pkw/24h]	[Lkw/24h]	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
			297	242	55	42	43	38
			280	237	43	42	43	39
			395	351	44	42	43	38
			496	444	52	42	43	38
Fahrstreifen 1 (Ra12.2)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	297	242	55	42	43	38	
1384866000	0	280	237	43	42	43	39	
1384869600	0	395	351	44	42	43	38	
1384873200	0	496	444	52	42	43	38	

Tabelle 58: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Inzersdorf - Hauptfahrbahn vor Ast Handelskai

Basisdaten											Querschnitt									
Datum und Uhrzeit SOLL	Tag	Monat	Jahr	Uhrzeit	Wochentag	Tagesverkehrsstärke					Verkehrsstärke q									
						Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw			
[UNIX]	[TT:MM:JJJJ hh:mm]	[TT]	[MM]	[JJJJ]	[hh:mm]	[Name]	[Code]	[Kfz/24h]	[Pkw/24h]	[Lkw/24h]	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]		
1384862400	19.11.2013 13:00	19	11	2013	13:00	Dienstag	2				5132	4427	705	53	52				59	
1384866000	19.11.2013 14:00	19	11	2013	14:00	Dienstag	2				5521	4831	690	53	52				60	
1384869600	19.11.2013 15:00	19	11	2013	15:00	Dienstag	2				6023	5400	623	42	41				57	
1384873200	19.11.2013 16:00	19	11	2013	16:00	Dienstag	2				6500	5862	638	43	44				37	
Fahrstreifen 1 (MQ_A22_1_000,020_F1)											Fahrstreifen 2 (MQ_A22_1_000,020_F2)									
Datum und Uhrzeit											Datum und Uhrzeit					Datum und Uhrzeit				
Verkehrsstärke q											Verkehrsstärke q					Verkehrsstärke q				
[UNIX]	Kontrolle	[kFz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[UNIX]	Kontrolle	[kFz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	964	715	249	48	49	44	1384862400	0	1143	1114	29	53	53	52					
1384866000	0	997	770	227	48	49	44	1384866000	0	1160	1134	26	53	53	52					
1384869600	0	1109	869	240	47	48	43	1384869600	0	1387	1358	29	5	4	52					
1384873200	0	1386	1179	207	35	35	34	1384873200	0	1459	1440	19	35	35	35					
Fahrstreifen 3 (MQ_A22_1_000,099;Ra0.7)											Fahrstreifen 4 (MQ_A22_1_000,022;Ra0.4)									
Datum und Uhrzeit											Datum und Uhrzeit					Datum und Uhrzeit				
Verkehrsstärke q											Verkehrsstärke q					Verkehrsstärke q				
[UNIX]	Kontrolle	[kFz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[UNIX]	Kontrolle	[kFz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	306	264	42	65	66	58	1384862400	0	664	631	33	72	72	66					
1384866000	0	318	295	23	64	65	56	1384866000	0	752	706	46	69	69	63					
1384869600	0	357	338	19	66	66	58	1384869600	0	832	801	31	69	69	61					
1384873200	0	514	479	35	62	62	56	1384873200	0	861	826	35	49	49	48					
Fahrstreifen 5 (MQ_A23_2_013,955_F1)											Fahrstreifen 6 (MQ_A23_2_013,955_F2)									
Datum und Uhrzeit											Datum und Uhrzeit					Datum und Uhrzeit				
Verkehrsstärke q											Verkehrsstärke q					Verkehrsstärke q				
[UNIX]	Kontrolle	[kFz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[UNIX]	Kontrolle	[kFz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	1095	764	331	74	77	68	1384862400	0	960	939	21	16	15	82					
1384866000	0	1109	761	348	72	74	69	1384866000	0	1185	1165	20	28	27	81					
1384869600	0	1108	825	283	72	74	68	1384869600	0	1230	1209	21	29	28	82					
1384873200	0	958	701	257	47	50	39	1384873200	0	1322	1237	85	48	50	25					

Tabelle 59: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Inzersdorf - Ausfahrtsrampe ASt Handelskai

Basisdaten								
Datum und Uhrzeit SOLL		Tag	Monat	Jahr	Uhrzeit	Wochentag		
[UNIX]	[TT.MM.JJJJ hh:mm]	[TT]	[MM]	[JJJJ]	[hh:mm]	[Name]	[Code]	
1384862400	19.11.2013 13:00	19	11	2013	13:00	Dienstag		2
1384866000	19.11.2013 14:00	19	11	2013	14:00	Dienstag		2
1384869600	19.11.2013 15:00	19	11	2013	15:00	Dienstag		2
1384873200	19.11.2013 16:00	19	11	2013	16:00	Dienstag		2
Querschnitt								
Tagesverkehrsstärke			Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v		
Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw
[Kfz/24h]	[Pkw/24h]	[Lkw/24h]	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
			262	202	60	49	50	45
			270	217	53	49	50	43
			274	225	49	50	51	44
			328	266	62	47	48	42
Fahrstreifen 1 (Ra12.3)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	262	202	60	49	50	45	
1384866000	0	270	217	53	49	50	43	
1384869600	0	274	225	49	50	51	44	
1384873200	0	328	266	62	47	48	42	

Tabelle 60: Verkehrszählung A23 Richtungsfahrbahn Inzersdorf - Einfahrtsrampe ASst Handelskai

Basisdaten								
Datum und Uhrzeit SOLL		Tag	Monat	Jahr	Uhrzeit	Wochentag		
[UNIX]	[TT.MM.JJJJ hh:mm]	[TT]	[MM]	[JJJJ]	[hh:mm]	[Name]	[Code]	
1384862400	19.11.2013 13:00	19	11	2013	13:00	Dienstag	2	
1384866000	19.11.2013 14:00	19	11	2013	14:00	Dienstag	2	
1384869600	19.11.2013 15:00	19	11	2013	15:00	Dienstag	2	
1384873200	19.11.2013 16:00	19	11	2013	16:00	Dienstag	2	
Querschnitt								
Tagesverkehrsstärke			Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v		
Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw
[Kfz/24h]	[Pkw/24h]	[Lkw/24h]	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
			717	653	64	56	56	51
			733	656	77	55	55	48
			957	893	64	54	55	48
			978	940	38	52	52	47
Fahrstreifen 1 (Ra12.4_F1)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	506	448	58	54	55	48	
1384866000	0	497	433	64	53	54	47	
1384869600	0	646	588	58	53	54	48	
1384873200	0	650	614	36	50	50	47	
Fahrstreifen 2 (Ra12.4_F2)								
Datum und Uhrzeit		Verkehrsstärke q			Geschwindigkeit v			
		Kfz	Pkw	Lkw	Kfz	Pkw	Lkw	
[UNIX]	Kontrolle	[Kfz/h]	[Pkw/h]	[Lkw/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	
1384862400	0	211	205	6	59	58	83	
1384866000	0	236	223	13	58	58	50	
1384869600	0	311	305	6	56	56	47	
1384873200	0	328	326	2	55	55	51	

Tabelle 61: Fahrzeugzustände in VISSIM nach Farben [PTV, 2012]

Farbe	Beschreibung
Weiß	Fahrzeug befindet sich im Stau. Nur falls mindestens ein Stauzähler im Netz definiert ist.
Hellblau	Fahrzeug wartet schon mehr als 6 s an der letztmöglichen Position zum Fahrstreifenwechsel (Nothalteposition)
Blaugrün	Fahrzeug ignoriert Querverkehrsstörungen, um eine Verklemmungssituation aufzulösen
Schwarz	Fahrzeug ist Teil einer Verklemmungssituation durch Querverkehrsstörungen
Orange	Fahrstreifenwechsel notwendig (wegen Route), aber noch nicht begonnen
Hellgrün	Fahrstreifenwechsel läuft
Dunkelgrün	Fahrstreifenwechsel wurde in den letzten 6 s beendet
Dunkelrot	bremsend für einen eigenen erforderlichen Fahrstreifenwechsel
Gelb	kooperativ bremsend für einen bevorstehenden Fahrstreifenwechsel eines Fahrzeugs von einem benachbarten auf den eigenen Fahrstreifen
Rot	vorübergehende Unaufmerksamkeit
Dunkelgelb	Fahrzeug hat sich innerhalb der letzten 3 Simulationssekunden entschieden, einen roten Signalgeber oder einen gesperrten Querschnitt einer Querverkehrsstörung zu überfahren, weil die Geschwindigkeit zu hoch war, um vorher zum Stehen zu kommen.
Rosa	stark bremsend ($< -3.0 \text{ m/s}^2$)
Purpur	weniger stark bremsend (-3.0 m/s^2 bis -1.0 m/s^2)
Dunkelblau	Alle anderen Zustände (Standard)