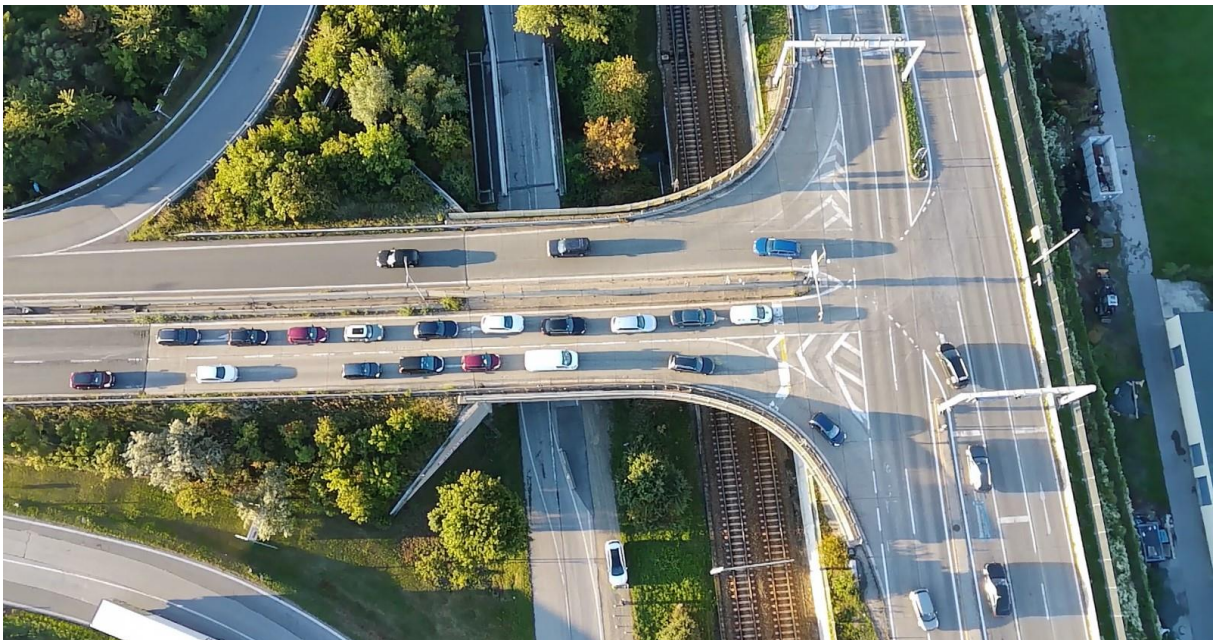


Situationsgerechte Leistungsfähigkeit von Verkehrslichtsignalanlagen VLISA 2.0

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2021
(VIF2021)



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A – 1030 Wien



Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A – 1010 Wien



ASFINAG

Für den Inhalt verantwortlich:
nast consulting ZT GmbH
Lindengasse 38
A – 1070 Wien

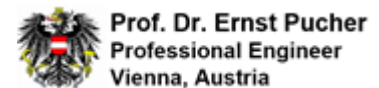


nast consulting

KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)
Schleiergasse 18
A – 1100 Wien



Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher
Penzinger Straße 131/30
A – 1140 Wien



Prof. Dr. Ernst Pucher
Professional Engineer
Vienna, Austria

Programmmanagement:
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Situationsgerechte Leistungsfähigkeit von Verkehrslichtsignalanlagen VLSA 2.0

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2021)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Daniel ELIAS

Dipl.-Ing. Egmont FUCHS

Univ. Lektor Dipl.-Ing. Andreas GRUBER

Sascha HUMMER

Dipl.-Psych. Daniela KNOWLES

Dipl.-Ing. Birgit NADLER

Dipl.-Ing. Dr. Friedrich NADLER

Prof. Dr. Ernst PUCHER

Dipl.-Ing. Richard VANEK, MSc

Auftraggeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

nast consulting ZT GmbH

KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit)

Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Literaturrecherche	8
2.1	Verkehrstechnik	8
2.1.1	Sättigungsverkehrsstärke	8
2.1.2	Abminderungsfaktoren	9
2.1.3	Konfliktflächen	16
2.1.4	Übergangszeiten	18
2.1.5	Leistungsfähigkeit	19
2.1.6	Länderspezifische Besonderheiten	23
2.2	Ablenkungsverhalten	25
2.2.1	Literaturergebnisse	25
2.2.2	Ablenkung an VLSA	33
2.3	Fahrdynamische Grundlagen	40
3	Untersuchungskonzept	44
3.1	Verkehrstechnische Erhebungen	44
3.2	Mikroskopische Verkehrssimulationen	45
3.3	Ablenkungsverhalten	46
3.4	Fahrzeugdynamische Analyse	46
4	Erhebungen	50
4.1	Verkehrstechnische Erhebungen	50
4.1.1	Untersuchungsdesign	50
4.1.2	Definition der Parameter	52
4.1.3	Standorte	53
4.2	Erhebungen zum Ablenkungsverhalten	67
4.2.1	Untersuchungsdesign	67
4.2.2	Standorte	71
5	Mikroskopische Simulationen	78
5.1	Simulationen des Fußgänger- und Radverkehrs	78
5.1.1	Referenzfall	78
5.1.2	Standardfälle	78
6	Auswertungen	80
6.1	Verkehrstechnik	80
6.1.1	Einleitung	80
6.1.2	Anzahl der beobachteten Fahrzeuge	81

6.1.3	Bruttozeitlücken Vorderkante Haltelinie	82
6.1.4	Verhalten bei Grünblinken und Gelb	86
6.1.5	Sättigungsverkehrsstärken	89
6.1.6	Abminderungsfaktoren.....	90
6.2	Ablenkungsverhalten	98
6.2.1	Pilotkreuzung 1	99
6.2.2	Pilotkreuzung 2.....	100
6.2.3	Pilotkreuzung 3.....	104
6.2.4	Pilotkreuzung 4.....	108
6.2.5	Pilotkreuzung 5.....	110
6.2.6	Zusammenfassung der Erhebungsergebnisse.....	114
7	Analysen	115
7.1	Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Abminderungsfaktoren.....	115
7.1.1	Fahrstreifen Gerade.....	115
7.1.2	Rechtsabbiegen.....	116
7.1.3	Linksabbiegen	117
7.2	Vergleich der Berechnungen laut Richtlinie	118
7.3	Ableitung von Abminderungsfaktoren	119
7.3.1	Schwerverkehr.....	119
7.3.2	Längsneigungen	120
7.3.3	Abbiegeradius.....	120
7.3.4	Fußgänger- und Radverkehr.....	121
7.4	Räumzeiten	123
7.5	Ablenkungsverhalten	124
7.6	Fahrzeugdynamik	126
8	Empfehlungen.....	129
8.1	Verkehrstechnik.....	129
8.1.1	Leistungsfähigkeiten	129
8.1.2	Geschwindigkeiten.....	130
8.1.3	Abminderungsfaktoren.....	132
8.1.4	Koordinierungen	134
8.1.5	Umfeld der Kreuzung.....	135
8.1.6	Räumzeiten	135
8.1.7	Staulänge	135
8.1.8	Witterung	135

8.2	Ablenkungsverhalten	135
8.3	Fahrzeugdynamik	136
8.4	Empfehlungen für die Überarbeitung der RVS-Richtlinie 05.04.32.....	136
9	Kurzfassung	137
10	Verzeichnisse.....	139
10.1	Literaturverzeichnis.....	139
10.2	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	145
11	Anhang	149
11.1	Ansprechpartner für inhaltliche Fragen	149
11.2	Ablenkungsverhalten – Verkehrszählungsbogen	149
11.3	Ablenkungsverhalten – Beobachtungsbögen.....	150
11.4	Empfehlungen für die Überarbeitung der RVS-Richtlinie 05.04.32 (nicht öffentlich)	150

1 EINLEITUNG

Für die Planung von Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) in Österreich existieren zwei maßgebende Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS):

- RVS 05.04.31 „Verkehrslichtsignalanlagen, Einsatzkriterien“, Oktober 1998
- RVS 05.04.32 „Verkehrslichtsignalanlagen, Planen von Verkehrslichtsignalanlagen“, Oktober 1998.

Beide Richtlinien wurden über Jahrzehnte nicht aktualisiert, einzelne Ansätze unterscheiden sich auch von den Richtlinien im Ausland (z.B. Sättigungsmenge in Abhängigkeit der Grünzeit im HBS 2009).

Im Rahmen des Forschungsprojekts VLSA 2.0 wurden maßgebende Planungsgrundlagen und Parameter hinsichtlich der Übereinstimmung mit aktuellen Gegebenheiten überprüft. Es wurden umfassende Erhebungen bei acht Kreuzungen mit einer Regelung durch eine Verkehrslichtsignalanlage (VLSA) durchgeführt. Aus den Erhebungsergebnissen wurden relevante Parameter für die Leistungsfähigkeit abgeleitet. Über diese Untersuchung hinausgehend erfolgten weitere Analysen hinsichtlich der Auswirkungen fahrdynamischer Einflüsse und Auswirkungen der Ablenkung auf den Verkehrsfluss.

Mittels mikroskopischen Verkehrssimulationen wurden weitere Szenarien ermittelt und in Bezug auf die Abminderung der Leistungsfähigkeit wartepflichtiger Verkehrsströme untersucht.

Abschließend wurde ein Richtlinienentwurf für die RVS 05.04.32 unter Einbeziehung aktualisierter Parameter erarbeitet.

Begleitet wurde das Projekt von mehreren Ansprechpartnern für inhaltliche Fragen. Die Ansprechpartner sind im Anhang im Kapitel 11.1 angeführt.

2 LITERATURRECHERCHE

2.1 Verkehrstechnik

Für die Planung von Verkehrslichtsignalanlagen existiert keine welt- oder europaweit international abgestimmte Richtlinie. Um die unterschiedlichen Regelwerke von einzelnen Ländern beurteilen zu können, wird zunächst eine Übersicht der verwendeten Parameter angeführt. Wesentlich ist die Definition einer Sättigungsverkehrsstärke, die mittels Abminderungsfaktoren an das reale Verkehrsgeschehen angepasst wird. Umfang und Definition unterscheiden sich in den einzelnen Richtlinien. Im Folgenden werden die länderspezifischen Unterschiede im Vergleich zur österreichischen Richtlinie aufgezeigt.

2.1.1 Sättigungsverkehrsstärke

Die Sättigungsverkehrsstärke M_S – die maximale Verkehrsmenge, welche pro Stunde Freigabezeit und Fahrstreifen die Haltelinie passieren kann (Pkw-E/h) – ist maßgebend für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit an einer mittels VLSA geregelten Kreuzung. Die maximale Leistungsfähigkeit eines Fahrstromes oder Fahrstreifens im unbehinderten Fall wird durch sie definiert. Dabei wird vereinfacht angenommen, dass alle Fahrzeuge eine konstante Folgezeitlücke einhalten.

Aus dieser vereinfachten Annahme resultiert, dass aus der Sättigungsverkehrsstärke M_S die mittlere Bruttozeitlücke t_b [s] zwischen aufeinander folgenden Fahrzeugen berechnet werden kann:

$$M_S = 1 / t_b * 3600 \text{ [Pkw-E/h]}$$

Die Sättigungsverkehrsstärke schwankt während des Umlaufs. Untersuchungen zeigen, dass der Zeitbedarf von der Fahrzeugposition abhängt. Das erste Fahrzeug weist oft einen wesentlich geringeren Zeitbedarf als die restlichen Fahrzeuge auf. Die folgenden Fahrzeuge haben üblicherweise aufgrund der geringen Geschwindigkeit durch den Anfahrtsvorgang einen höheren Zeitbedarf. Ab der vierten bis sechsten Position stellt sich ein annähernd konstanter Zeitbedarf ein. (Greenshields 1947)

Die Sättigungsverkehrsstärke kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden:

- Berechnung aus erhobenen Bruttozeitlücken zwischen Fahrzeugen (z.B. bezogen auf die jeweilige Fahrzeugvorderkante) an der Haltelinie während des gesättigten Verkehrsflusses. (Greenshields 1947) oder
- direkt über die Erhebung der Anzahl der abfließenden Fahrzeuge während des gesättigten Verkehrsflusses an einem Querschnitt (Haltelinie) in Bezug zu einem festgelegten Zeitintervall (z.B. Freigabezeit). (Road Research Laboratory 1963)

Die Sättigungsverkehrsstärken gelten jeweils für definierte Standardbedingungen. Sie werden für geradeaus geführte Fahrstreifen bei reinem Pkw-Verkehr ohne mögliche Abminderungsfaktoren ausgewiesen.

2.1.2 Abminderungsfaktoren

In österreichischen und deutschen Regelwerken werden bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit unterschiedliche Abminderungsfaktoren berücksichtigt, die im Folgenden erläutert werden.

2.1.2.1 Schwerverkehr

In der RVS 05.04.32 werden unterschiedliche Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs – wie auch andere Fahrzeugkategorien - mittels Umrechnungsfaktoren in Pkw-E umgewandelt und summiert. Diese Werte werden der weiteren Leistungsfähigkeitsberechnung als vorhandene Verkehrsbelastung zugrunde gelegt.

In Deutschland, in der Schweiz und im Vereinigten Königreich wird darüber hinaus nach der Umrechnung in Pkw-E entsprechend dem Anteil des Schwerverkehrs ein Anpassungsfaktor für die weiteren Berechnungen abgeleitet.

In den USA wird der Schwerverkehrsanteil in der Berechnung der Leistungsfähigkeit als Faktor berücksichtigt. Die Tabelle 1 enthält die Umrechnungsfaktoren der einzelnen Länder und Fahrzeugkategorien in Pkw-E.

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren unterschiedlicher Fahrzeuge

Umrechnung	Öster- reich	Deutsch- land	Schweiz	UK	USA
Rad	0,3	0,0*	0,25	0,2	-
Motorrad	0,5	1,0	0,5	0,4	-
Pkw	1,0	1,0	1,0	1,0	-
Lkw ohne Anhänger	2,0	1,75	2,0	1,5	-
Bus	2,0	1,75	2,0	2,0	-
Lkw mit Anhänger	4,0	2,5	2,0	2,3	-
Sattelschlepper, -zug	3,0	2,5	2,0	2,3	-
Schwerverkehr gesamt (wenn keine genaueren Daten zur Verfügung)	-	1,9	-	-	**
Quelle	RVS 05.04.32 1998	HBS Teils S (Stadt- straßen) 2015	VSS-40835 2019	Traffic Signs Manual 2018	Highway Capacity Manual 2016

* Es wird unterstellt, dass bei ausreichender Fahrstreifenbreite ein problemloses Überholen durch Fahrzeuge nur geringe Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit gegeben ist.

** Die Berücksichtigung erfolgt im Zuge des Berechnungsverfahrens der Sättigungsverkehrsstärke.

Quelle: Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 1998b, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015, Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS 2019, Department for Transport 2018, Transport Research Board 2016

Es zeigt sich, dass in Österreich Lkw mit Anhänger und Sattel-KFZ höhere Umrechnungsfaktoren als in Deutschland aufweisen.

In der Schweiz werden sämtliche Fahrzeuge des Schwerverkehrs mit dem gleichen Faktor umgerechnet. Im Vereinigten Königreich werden - verglichen mit Österreich - niedrigere Faktoren verwendet. In den USA wird der Schwerverkehr bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit mittels linearer Funktion berücksichtigt.

In Österreich existieren zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit von niveaugleichen Knoten zwei unterschiedliche Regelwerke (RVS). Die bereits vorgestellten Umrechnungsfaktoren der RVS 05.04.32 unterscheiden sich von jenen der RVS 03.05.11 „Knoten – Planungsgrundsätze“, deren Umrechnungsfaktoren ebenfalls für die Definition von Bemessungsverkehrsstärken an Knoten ohne Verkehrslichtsignalanlagen herangezogen werden. In der folgenden Tabelle 2 werden die Umrechnungsfaktoren der beiden Richtlinien dargestellt.

Tabelle 2: Umrechnung unterschiedlicher Fahrzeuge (Österreich)

Fahrzeugklasse	RVS 05.04.32 (Planen von Verkehrslichtsignalanlagen) 1998	RVS 03.05.11 (Knoten – Planungsgrundsätze) 2005
Fahrrad	0,3	0,5
Motorrad	0,5	1,0
Pkw	1,0	1,0
Lkw ohne Anhänger	2,0	1,5
Bus	2,0	1,5
Lkw mit Anhänger	4,0	2,0
Sattelschlepper, Gelenkbus	3,0	2,0
empfohlene Wert für die überschlägige Umrechnung der Bemessungsverkehrsstärke (KFZ/h) in Pkw-Gleichwerte (Pkw-E/h)	-	1,1

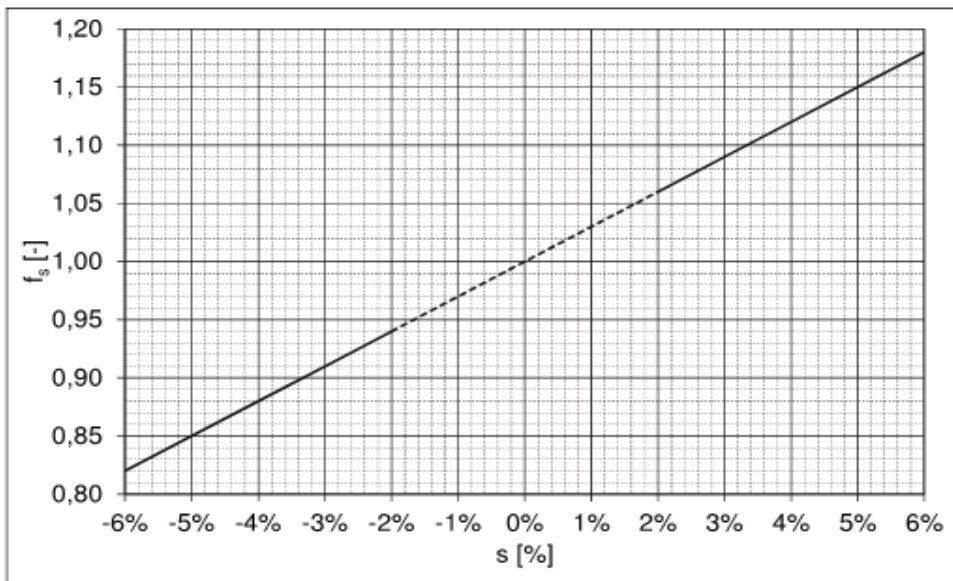
Quelle: Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 1998b, Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2005

2.1.2.2 Längsneigung

In Österreich wird eine positive Längsneigung (in Richtung Kreuzung ansteigend) als für die Leistungsfähigkeit abmindernd angenommen. Als Anpassungsfaktor wird bei der RVS 05.04.32 ein Wert im Bereich zwischen 0,80 und 0,95 empfohlen. Ein Zuschlag für eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit bei negativer Längsneigung wird nicht berücksichtigt.

In Deutschland (HBS 2015) wird die positive und negative Längsneigung durch einen Anpassungsfaktor (siehe Abbildung 1) berücksichtigt. Dieser wird für die Berechnung der Sättigungsverkehrsstärke verwendet. Bei einer Längsneigung zwischen +2 % und -2 % ist dieser Faktor mit 1 anzunehmen. Die Sättigungsverkehrsmenge ist in diesem Fall näherungsweise durch das Längsgefälle unbeeinflusst. Dieser Bereich ist in der Abbildung 1 daher strichliert dargestellt. Außerhalb dieses Bereiches wird der Anpassungsfaktor sowohl bei negativer als auch positiver Längsneigung zur Abminderung bzw. Erhöhung der Sättigungsverkehrsstärke entnommen.

Abbildung 1: Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite (Deutschland)



Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

In den USA wird die Längsneigung ebenfalls bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit berücksichtigt. Dieser Einfluss wird zusammen mit dem Schwerverkehrsanteil berechnet. Die folgende Abbildung 2 zeigt, dass es zwei Formeln zur Berechnung des Faktors gibt, die von der Längsneigung abhängen.

Abbildung 2: Formeln zur Berechnung des Einflusses der Längsneigung auf die Leistungsfähigkeit (USA)

If the grade is negative (i.e., downhill), then the factor is computed with Equation 19-9.

$$f_{HVg} = \frac{100 - 0.79 P_{HV} - 2.07 P_g}{100}$$

If the grade is not negative (i.e., level or uphill), then the factor is computed with Equation 19-10.

$$f_{HVg} = \frac{100 - 0.78 P_{HV} - 0.31 P_g^2}{100}$$

where

P_{HV} = percentage heavy vehicles in the corresponding movement group (%),
and

P_g = approach grade for the corresponding movement group (%).

This factor applies to heavy vehicle percentages up to 50% and grades ranging from -4.0% to +10.0%. This factor does not address local buses that stop in the intersection area.

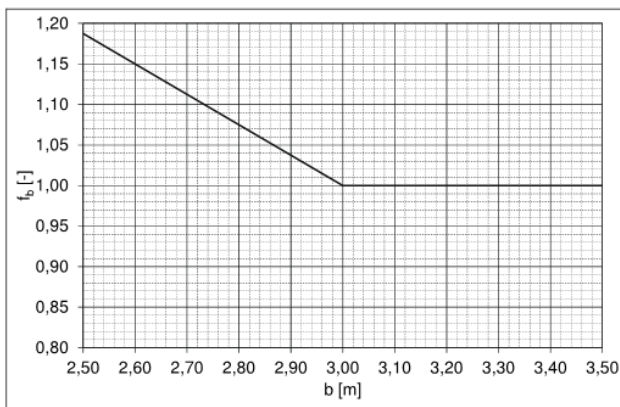
Quelle: Transport Research Board 2016

2.1.2.3 Fahrstreifenbreite

In Österreich wird die Fahrstreifenbreite bei der Berechnung der Leistungsfähigkeit grundsätzlich nicht berücksichtigt.

In Deutschland wird die Fahrstreifenbreite durch einen Anpassungsfaktor bei der Berechnung der Sättigungsverkehrsstärke berücksichtigt (siehe Abbildung 3). Dabei wird deutlich, dass eine Fahrstreifenbreite von mehr als 3 m keinen positiven Einfluss mehr auf die Sättigungsverkehrsstärke hat. Bei einer geringeren Fahrstreifenbreite unter 3 m wird der Anpassungsfaktor linear erhöht.

Abbildung 3: Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite (Deutschland)



Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

In den USA wird im HCM 2016 die Sättigungsverkehrsstärke abhängig von der Fahrstreifenbreite mittels Anpassungsfaktor ermittelt (siehe Tabelle 3). Bei einer Fahrstreifenbreite zwischen 3,0 m bis 3,8 m erfolgt kein Zu- oder Abschlag. Bei geringeren Breiten als 3,0 m erfolgt eine Verringerung und bei Fahrstreifenbreiten über 3,8 m eine Erhöhung der Sättigungsverkehrsstärke.

Tabelle 3: Anpassungsfaktor für Fahrstreifenbreite (USA)

Fahrstreifenbreite [ft]	Fahrstreifenbreite [m]	Anpassungsfaktor
< 10,0 (für Fahrstreifen ≥ 8,0ft)	< 3,0 (für Fahrstreifen ≥ 2,4m)	0,96
≥ 10,0-12,9	≥ 3,0-3,8	1,00
≥ 12,9	≥ 3,9	1,04

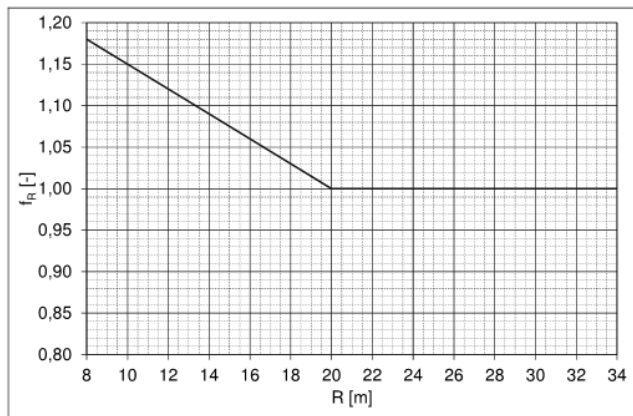
Quelle: Transport Research Board 2016

2.1.2.4 Abbiegeradius

In Österreich wird bei der Ermittlung der Sättigungsverkehrsmenge der Abbiegeradius in der RVS 05.04.32 berücksichtigt. Als Abminderungsfaktor wird ein Wert im Bereich zwischen 0,80 und 0,95 empfohlen.

Auch in Deutschland (HBS 2016) ist die Sättigungsverkehrsmenge vom Abbiegeradius abhängig (siehe Abbildung 4). Dabei wird deutlich, dass bei Radien über 20 m die Sättigungsverkehrsstärke vom Abbiegeradius unabhängig ist. Bei Radien unter 20 m nimmt die Sättigungsverkehrsmenge mit abnehmendem Radius linear ab.

Abbildung 4: Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite (Deutschland)



Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

2.1.2.5 Fußgänger- und Radverkehr

In Österreich wird der Einfluss von parallel geführtem Fußgänger- und Radverkehr auf die Leistungsfähigkeit des abbiegenden teilverträglichen Verkehrsstromes durch Abminderungsfaktoren berücksichtigt.

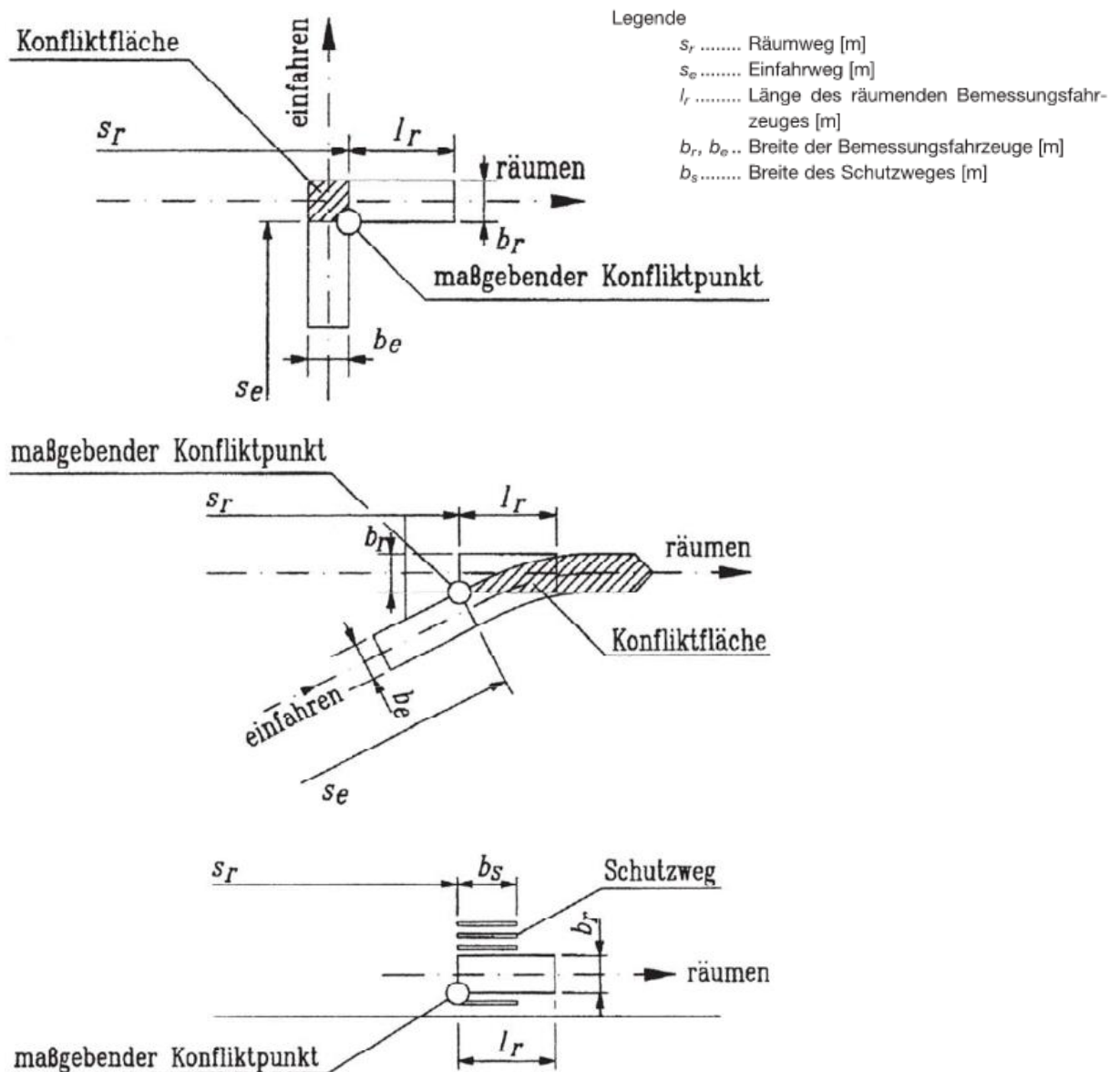
In der RVS 05.04.32 werden Werte im Bereich zwischen 0,50 und 0,95 empfohlen. Angaben über den Zusammenhang zwischen Fußgängeraufkommen, sonstigen Gegebenheiten und Werten des Abminderungsfaktors fehlen.

In Deutschland wird gemäß Richtlinie für Lichtsignalanlagen (RiLSA) der Einfluss von parallel geführtem Fußgänger- und Radverkehr auf die Leistungsfähigkeit des abbiegenden teilverträglichen Verkehrsstromes im Einzelfall berücksichtigt, wobei die aktuellen Berechnungsverfahren auf Basis der Forschungsarbeit Geistefeldt et al, 2022 derzeit überarbeitet werden.

2.1.3 Konfliktflächen

In Österreich wird die Konfliktfläche zwischen Fahrzeugen ermittelt und der maßgebende Konfliktpunkt mit der Außenkante oder -ecke sowie durch die Position des Fußgängers bestimmt. Die Abbildung 5 zeigt die maßgebenden Konfliktpunkte bei unterschiedlichen Kreuzungsgeometrien.

Abbildung 5: Definition von Konfliktflächen (Österreich)

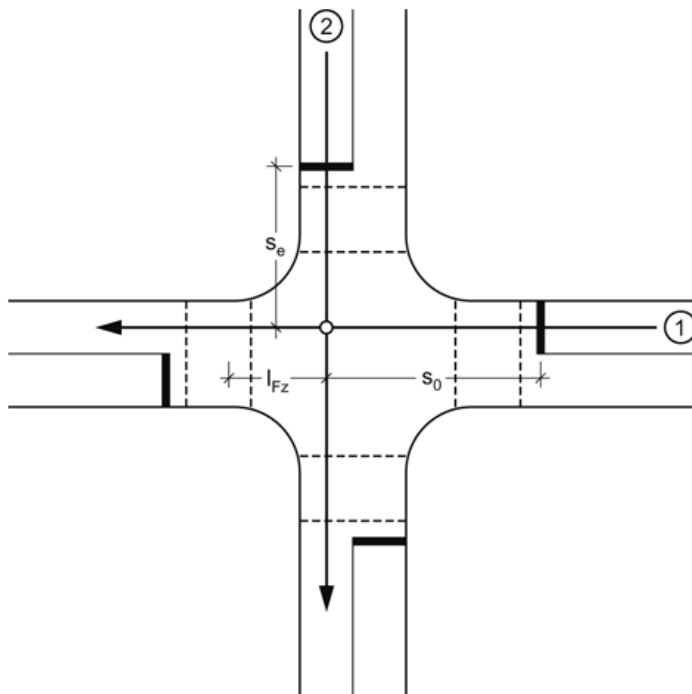


Quelle: Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 1998a

Die Einfahrtszeit auf der Einfahrtsstrecke wird mit einer Geschwindigkeit von 12 m/s berechnet. Beim Rad- und Fußverkehr wird keine Einfahrtszeit berücksichtigt. In Sonderfällen kann eine Einfahrtszeit von 1 sec angenommen werden.

In Deutschland (RiLSA) wird der Schnittpunkt der Bahnkurve der Fahrzeuge in Fahrstreifenmitte als Konfliktpunkt definiert. Es werden ebenfalls die ein- und ausfahrenden Fahrzeugströme betrachtet und die Schnittpunkte wie beschrieben ermittelt. Die folgende Abbildung 6 zeigt die Konfliktfläche zweier kreuzender Fahrzeugströme.

Abbildung 6: Definition der Konfliktfläche (Deutschland)



Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

Die Einfahrtszeit des KFZ-Stromes ergibt sich in Deutschland aus der mit einer Geschwindigkeit von 40 km/h zurückgelegten Einfahrtsstrecke. Bei Straßenbahnen wird eine Geschwindigkeit von 20 km/h zu Grunde gelegt. Höhere Geschwindigkeiten sind zu berücksichtigen.

In den USA werden Konfliktpunkte als Schnittpunkte zwischen zwei Strömen definiert. Eine detaillierte Erläuterung erfolgt nicht.

2.1.4 Übergangszeiten

Die Übergangszeit bei Geschwindigkeiten von über 50 km/h weicht international zum Teil von den Parametern der RVS 05.04.32 ab. Die Gelbzeiten werden in Österreich für zulässige Geschwindigkeiten bis 60 km/h bzw. 70 km/h differenziert (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Minimale Gelbzeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (Österreich)

Zulässige Geschwindigkeit [km/h]	Minimale Gelbzeit [s]
60	3
70	4

Quelle: Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 1998b

Die Gelbzeit in Deutschland beträgt abhängig von der Fahrgeschwindigkeit 3 s bis 5 s (siehe Tabelle 5). Geschwindigkeiten bis 70 km/h sind zulässig.

Tabelle 5: Minimale Gelbzeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (Deutschland)

Zulässige Geschwindigkeit [km/h]	Minimale Gelbzeit [s]
50	3
60	4
70	5

Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

Die Mindestwerte für die Gelbzeit in den USA ist in Schritten von 5 mph (8 km/h) für den Bereich 25-60 mph festgelegt (siehe Tabelle 6). Die minimale Gelbzeit von 3 s sollte dabei nicht unterschritten werden.

Tabelle 6: Minimale Gelbzeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (USA)

Annäherungsgeschwindigkeit [mph]	Annäherungsgeschwindigkeit [km/h]	Minimale Gelbzeit [s]
25	40	3,0
30	48	3,2
35	56	3,6
40	64	3,9
45	72	4,3
50	80	4,7
55	89	5,0
60	97	5,4

Quelle: Transport Research Board 2016

2.1.5 Leistungsfähigkeit

Die Grundleistungsfähigkeit wird in den USA mit 1.900 Pkw-E/h, in Österreich mit 1.800 bis 2.000 Pkw-E/h und in Deutschland mit 2.000 Pkw-E/h angegeben.

2.1.5.1 Österreich

In Österreich (RVS 05.04.32) wird der Schwerverkehr durch die Umrechnung der maßgebenden Verkehrsstärke in Pkw-E und der parallelgeführte Rad- und Fußverkehr (teilverträglich) bei Abbiegerelationen durch Abminderungsfaktoren bei der Ermittlung der Sättigungsverkehrsmenge bei der Leistungsfähigkeitsermittlung berücksichtigt.

Bei geringen Abbiegeradien und Längsneigungen wird ebenfalls ein Abminderungsfaktor für die Ermittlung der Sättigungsverkehrsmenge verwendet. Die Abminderungsfaktoren sind im Kapitel 2.1.2 beschrieben.

2.1.5.2 Deutschland

In Deutschland (RiLSA) wird der Schwerverkehr durch einen Anpassungsfaktor berücksichtigt. Weiters werden die Fahrstreifenbreite und die Längsneigung mittels linearer Funktion als Abminderungsfaktoren der Leistungsfähigkeit berücksichtigt. Wenn der Kurvenradius kleiner als 20 m ist, erfolgt ebenfalls ein Abschlag mittels linearer Funktion.

Die Berechnung der Sättigungsverkehrsstärke erfolgt anhand der folgenden Formeln (siehe Abbildung 7). Wesentlich für die Berechnung der Sättigungsverkehrsstärke ist der Zeitwertbedarf t_b . Dieser wird aus dem Anpassungsfaktor $t_{B,j}$ zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs (f_{SV}), zwei Rechengrößen (f_1 , f_2) und dem Faktor 1,8 berechnet.

Die Berechnung der beiden Rechengrößen (f_1 , f_2) berücksichtigen Anpassungsfaktoren zur Fahrstreifenbreite, Abbiegeradius und Fahrbahnlängsneigung. Die erste Rechengröße (f_1) berücksichtigt den Maximalwert der Anpassungsfaktoren zur Fahrstreifenbreite, Abbiegeradius und Fahrbahnlängsneigung. Somit wird bei der Berechnung nur einer der drei Faktoren berücksichtigt. Die zweite Rechengröße (f_2) wird aus dem Minimum des Anpassungsfaktors zur Fahrbahnlängsneigung und dem Faktor f_1 berechnet. Negative Fahrbahnlängsneigungen werden somit berücksichtigt.

Abbildung 7: Berechnung Sättigungsverkehrsstärke und Zeitwertbedarf (Deutschland)

$$q_{S,j} = \frac{3600}{t_{B,j}} \quad (S4-1)$$

mit $q_{S,j}$ = Sättigungsverkehrsstärke für den Fahrstreifen j [Kfz/h]
 $t_{B,j}$ = Zeitbedarfswert nach Gleichung (S4-2) [s/Kfz]

$$t_B = f_{SV} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot 1,8 \quad (S4-2)$$

$$f_1 = \max (f_b, f_R, f_s) \quad (S4-3)$$

$$f_2 = \min (1, f_s) \quad (S4-4)$$

mit t_B = Zeitbedarfswert unter konkreten Bedingungen [s]
 f_1, f_2 = Rechengrößen nach Gleichung (S4-3) bzw. Gleichung (S4-4) [-]
 f_{SV} = Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs nach Gleichung (S4-5) oder Gleichung (S4-6) [-]
 f_b = Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite nach Bild S4-1 [-]
 f_R = Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Abbiegeradius nach Bild S4-2 [-]
 f_s = Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrbahnlängsneigung nach Bild S4-3 [-]

Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

Für die Berechnung des Anpassungsfaktors für den Schwerverkehrsanteil existieren zwei unterschiedliche Formeln. Falls die Verkehrsstärken des Leichtverkehrs, die Verkehrsstärken der Lkw und Busse sowie die Verkehrsstärken der Lkw mit Anhänger und Sattel-Kfz vorliegen, wird Formel S4-5 in Abbildung 8 verwendet. Falls die Verkehrsdaten des Schwerverkehrs nur als Summe vorliegen, wird die Formel S4-6 in Abbildung 8 zur Berechnung herangezogen. Die detaillierten Faktoren zur Umrechnung des Schwerverkehrs sind bereits verglichen worden.

Abbildung 8: Berechnung des Anpassungsfaktor des Schwerverkehrs (Deutschland)

$$f_{SV} = \frac{q_{LV} + 1,75 \cdot q_{Lkw+Bus} + 2,5 \cdot q_{LkwK}}{q_{Kfz}} \quad (S4-5)$$

mit f_{SV}	= Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs	[-]
q_{LV}	= Verkehrsstärke des Leichtverkehrs	[Kfz/h]
$q_{Lkw+Bus}$	= Verkehrsstärke der Lkw und Busse	[Kfz/h]
q_{LkwK}	= Verkehrsstärke der Lkw mit Anhänger und Sattel-Kfz	[Kfz/h]
q_{Kfz}	= Gesamtverkehrsstärke	[Kfz/h]
	= $q_{LV} + q_{Lkw+Bus} + q_{LkwK}$	

$$f_{SV} = \frac{q_{LV} + 1,9 \cdot q_{SV}}{q_{Kfz}} \quad (S4-6)$$

mit f_{SV}	= Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des Schwerverkehrs	[-]
q_{LV}	= Verkehrsstärke des Leichtverkehrs	[Kfz/h]
q_{SV}	= Verkehrsstärke des Schwerverkehrs	[Kfz/h]
	= $q_{Lkw+Bus} + q_{LkwK}$	
q_{Kfz}	= Gesamtverkehrsstärke	[Kfz/h]
	= $q_{LV} + q_{SV}$	

Quelle: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015

2.1.5.3 USA

Im Highway Capacity Manual (HCM) besteht ein umfangreiches Formelwerk zur Berechnung der Leistungsfähigkeit. Dabei wird die Längsneigung sowie der Schwerverkehr mittels linearer Funktionen berücksichtigt. Zusätzlich existieren Formeln zur Berücksichtigung von weiteren Einflussgrößen. Diese umfassen Parkvorgänge, Bushaltestellen, Baustellen und Fahrstreifenverjüngungen bis etwa 76 m (250 ft) vor der Kreuzung. Für Abbiegevorgänge sind im HCM Formeln zur Berechnung der Belegung von Schutzwegen und Radfahrüberfahrten sowie allfälliger bevorrangter Fahrzeugströme vorhanden. Die Berechnung der Abminderungsfaktoren für den Rad- und Fußverkehr erfolgt anhand der Anzahl der RadfahrerInnen und FußgängerInnen sowie der Grünzeit für den Rad- und Fußverkehr.

2.1.5.4 Übersicht

Die Tabelle 7 zeigt die Einflussfaktoren, die in den einzelnen Ländern auf die Berechnung der Leistungsfähigkeit einwirken. In Österreich wird die Längsneigung und die Fahrstreifenbreite im Gegensatz zu Deutschland und den USA nicht bei der Leistungsfähigkeitsberechnung berücksichtigt. Das Berechnungsverfahren in den USA berücksichtigt zusätzliche Einflussgrößen, die weder in Österreich noch in Deutschland einbezogen werden.

Im Gegensatz dazu wird in den USA der Abbiegeradius nicht wie in Österreich und Deutschland berücksichtigt.

Tabelle 7: Einfluss auf die Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Ländern

Einfluss auf die Leistungsfähigkeit	Österreich	Deutschland	USA
Grundleistungsfähigkeit [Fz/h bzw. Pkw-E]	1.800 _{Pkw-E/h} - 2.000 _{Pkw-E/h}	2.000 _{Fz-E/h}	1.750 _{Fz-E/h}
Lkw-Anteil	✓	✓	✓
Abbiegeradius	(✓)	✓	-
Radverkehr	(✓)	*	✓
Fußgängerverkehr	(✓)	*	✓
Längsneigung	(✓)	✓	✓
Fahrstreifenbreite	-	✓	✓
Parkvorgänge vor der Kreuzung	-	-	✓
Bushaltestelle vor der Kreuzung	-	-	✓
Gebietstyp	-	-	✓
Baustellen vor der Kreuzung	-	-	✓
Fahrstreifenverjüngungen nach der Kreuzung	-	-	✓

* Im HBS 2015 nicht berücksichtigt. Im HBS 2001, Version 2009 enthalten.

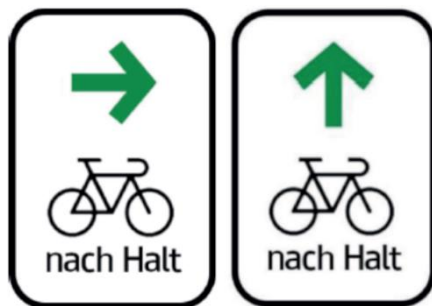
Quelle: Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 1998b, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2015, Transport Research Board 2016

2.1.6 Länderspezifische Besonderheiten

2.1.6.1 Österreich

In Österreich besteht seit der 33. Novelle der Straßenverkehrsordnung (StVO) die Möglichkeit, dass für den Radverkehr das Geradeausfahren sowie das Rechtsabbiegen nach Halt trotz rotem Lichtzeichen erlaubt wird. Dazu wird das Zusatzschild gemäß Abbildung 9 verwendet.

Abbildung 9: Zusatztafel Grünpfeil für den Fahrradverkehr



Quelle: <https://www.klimaaktiv.at/mobilitaet/radfahren/rvs-gruenpfeil-im-radverkehr.html>

2.1.6.2 Deutschland

In Deutschland wird das Rechtsabbiegen bei rotem Lichtzeichen mittels Grünpeilschild ermöglicht.

Abbildung 10: Grünpeilschild für Rechtsabbieger

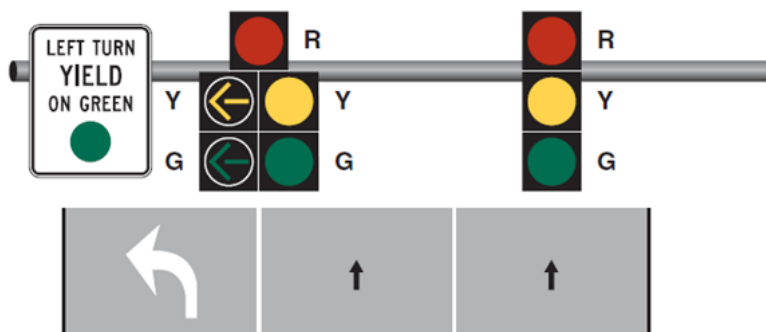


Quelle: <https://stadt.muenchen.de/infos/abbiegepeile.html>

2.1.6.3 USA

Hilfssignale sind als Grünpeile für einzelne Fahrrichtungen erlaubt. Weiters sind für Linksabbieger auch geteilte Signale erlaubt. Abbildung 11 zeigt den Standardfall für einen geteilt-signalisierten Linksabbieger mit einem teilweise gesichert geführten Linksabbieger.

Abbildung 11: Standardfall für einen geteilt-signalisierten Linksabbieger mit einem teilweise gesichert geführten Linksabbieger („dog house“)



Quelle: Federal Highway Administration 2022

2.2 Ablenkungsverhalten

2.2.1 Literaturergebnisse

Seit jeher haben sich Lenkende von Kraftfahrzeugen beim Fahren ablenken lassen. Obwohl Ablenkung und Unaufmerksamkeit am Steuer zu den häufigsten Unfallgefahren zählen, wird beides auch heute noch von den Autofahrenden zu wenig beachtet.

Mit fortschreitender Technologisierung steigen zudem die Möglichkeiten, während des Fahrens abgelenkt zu werden. So hat mit Smartphones und Bordcomputern die Möglichkeit einer Ablenkung am Steuer in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Vor allem die Ablenkung durch Smartphones stellt eine große Gefahr dar, da diese in aller Regel auf visueller, akustischer, physischer und kognitiver Ebene gleichzeitig stattfindet. Durch visuelle Ablenkungen wird das Unfallrisiko am meisten verstärkt, da etwa 90% der verkehrsrelevanten Informationen visuell aufgenommen werden (Kettwich, 2014).

Dass sich diese Entwicklung auf die Verkehrssicherheit auswirkt, bestätigt neuerlich eine aktuelle Studie der Allianz Versicherungs-AG. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Bedienung von modernen Techniken, wie Smartphone und Bordcomputer, das Unfallrisiko um 50 % erhöht (Allianz Versicherungs-AG, 2023).

Nebentätigkeiten während dem Fahren wie Interaktionen mit Mitfahrenden, Bedienung des Bordcomputers, Lesen und Verfassen von Textnachrichten, Essen und Trinken oder Ablenkungen außerhalb des Fahrzeugs finden häufig beim Abbremsen und Stillstand an einer Kreuzung statt (Huth et al., 2015). Die auftretenden Ablenkungen vom Verkehrsgeschehen führen möglicherweise dazu, dass an Verkehrslichtsignalanlagen (VLSA) die Anfahrzeit nach dem Umschalten von Rot auf Grün verlängert wird. Kommt es zu einer Verzögerung werden auch die darauffolgenden Fahrzeuge aufgehalten, wodurch die Leistungsfähigkeit einer Kreuzung durch den Faktor der Ablenkung negativ beeinflusst werden könnte.

Nur wenige Forschende haben bislang versucht, das Verhalten von Lenkenden an VLSA während und am Beginn der Rotphase systematisch zu analysieren. Dennoch herrscht in ExpertInnenkreisen weitestgehend Einigkeit darüber, dass Ablenkung die Leistungsfähigkeit von VLSA verringert. In den bestehenden Richtlinien zur Berechnung

der Kapazität einer Kreuzung wird diese Annahme aber bislang nicht abgebildet (Tefft, 2018).

In den folgenden Kapiteln wird der aktuelle Stand der Wissenschaft in Bezug auf Ablenkung im Straßenverkehr und im Speziellen an VLSA in Kürze vorgestellt. Damit soll eine haltbare Basis für eventuelle Richtlinienänderungen geschaffen werden.

2.2.1.1 Definition von Ablenkung

Ablenkung im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr beschreibt die „Verlagerung der Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe zu einer Person, einem Objekt, einer Aktivität oder einem Ereignis, welches keine Relevanz für die Fahraufgabe aufweist.“ (Lee et al., 2009).

Die Aufmerksamkeitsverschiebung kann dabei sowohl visuelle als auch auditive, motorische und / oder kognitive Ressourcen binden. Jegliche Vorgänge und Aktivitäten, die eine Verlagerung der Aufmerksamkeit der lenkenden Person weg von der Fahraufgabe bewirken, können somit vereinfacht, als Ablenkung bezeichnet werden (Kettwich, 2014).

Die Ablenkung von der Fahraufgabe weg, hin zu einem anderen Ereignis oder Objekt, verursacht hierbei, dass die lenkende Person der Fahraufgabe nicht mehr in adäquater Weise nachkommen kann. Fahrfehler, die zu Konflikten und schlimmstenfalls zu Verkehrsunfällen führen, sind die Folge.

Generell kann beim Fahren zwischen *internen und externen Ablenkungsquellen* unterschieden werden. Während interne Ablenkung im Fahrzeug selbst stattfindet, spielt sich externe Ablenkung außerhalb ab (Bayly et al., 2009). Auf beide Formen der Ablenkung wird im Folgekapitel genauer eingegangen.

2.2.1.2 Quellen der Ablenkung im Straßenverkehr

In Abhängigkeit von der Erhebungsmethode werden in der Literatur unterschiedliche Ablenkungsquellen angeführt. Auch in der Häufigkeit des Auftretens gibt es von Studie zu Studie große Unterschiede. Um das gesamte Spektrum aufzuzeigen, werden im Folgenden Ergebnisse methodisch unterschiedlicher Studien beschrieben.

Naturalistic Driving

Eine groß angelegte amerikanische Naturalistic Driving Studie (N=3.542) zeigte, dass Pkw-Lenkende etwa 50 % der Fahrzeit mit beobachtbaren, in erster Linie visuellen und/oder motorischen Ablenkungsaktivitäten und 20 % der Fahrzeit mit hauptsächlich kognitiven Aktivitäten wie Sprechen oder Singen beschäftigt sind (Dingus, et al., 2016; Dingus, et al., 2019).

Da Hirnaktivitäten und damit kognitive Ablenkung mit Hilfe von Naturalistic Driving Studien nur bedingt analysierbar sind, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der Anteil an der Fahrzeit bei wesentlich mehr als 20 % liegt. Den AutorInnen zufolge ist unabhängig von dem genauen Anteil davon auszugehen, dass kognitive Ablenkung der Verkehrssicherheit eher zuträglich ist als motorische, da die LenkerInnen dadurch generell wacher sind und nicht riskanteren Tätigkeiten wie dem Telefonieren mit dem Smartphone in der Hand oder dem Trinken nachgehen.

Eine Naturalistic Driving Studie des KFV (N=100) ergab, dass grundsätzlich bei der Hälfte der ausgewerteten Videosequenzen eine Nebentätigkeit bzw. Ablenkung zu erkennen war, wobei nicht zwischen kognitiver und sonstiger Ablenkungsart unterschieden wurde. Generell bestätigt diese Studie jedoch, dass mindestens 50 % der Fahrzeit Nebentätigkeiten nachgegangen wird und die Aufmerksamkeit nicht gänzlich bei der Fahraufgabe liegt (Pommer et al., 2016).

In der amerikanischen Studie von Dingus et al. (2016) waren die Lenkenden am häufigsten durch Interaktionen mit Mitfahrenden (15 %) abgelenkt. Am zweit- und dritthäufigsten kam es aufgrund der Bedienung des Smartphones (6 %) oder fahrzeuginterner Technik (4 %) zu Ablenkung. Ablenkung außerhalb des Fahrzeugs stellte mit einem Anteil von 1 % ein geringeres Problem dar. Letzteres erwies sich hingegen in der österreichischen Studie als Problem: In 14 % aller Fälle, in denen es beinahe oder auch tatsächlich zu einem Unfall kam, wurde zeitgleich die Umgebung links und rechts des Fahrzeugs inspiziert. Gespräche mit Mitfahrenden, die der amerikanischen Studie zufolge weitverbreitet sind, wurden in gefährlichen Situationen in der Naturalistic Driving Studie des KFV ebenfalls gehäuft (in 5 % der Fälle) beobachtet.

Verkehrsbeobachtungen

Umfangreiche Erhebungen durch externe Beobachtende in Österreich (N= 37.534) zeigen, dass lediglich 19 % aller Lenkenden während des Fahrens anderen Aufgaben nachgehen. Die häufigste Ablenkungsquelle ist hierbei das Sprechen oder Singen (9 %), die zweithäufigste das Rauchen (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 8: Häufigkeit fahrfremder Tätigkeiten beim Lenken

Nebentätigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Keine	30.337	81%
Sprechen oder Singen	3.451	9%
Rauchen	1.081	3%
Essen oder Trinken	774	2%
Sonstige physische Interaktion	734	2%
Bedienung des Mobiltelefons	709	2%
Telefonieren ohne Freisprecheinrichtung	448	1%
Gesamt	37.534	100%

Quelle: Pommer & Donabauer, 2023

Die scheinbar große Abweichung der Beobachtungsergebnisse von den Naturalistic Driving-Ergebnissen ist – wie bereits eingangs angekündigt – hauptsächlich methodisch zu erklären. Während in Naturalistic Driving-Studien über einen längeren Zeitraum jede Fahrt der ausgewählten ProbandInnen beobachtet wird, konzentrieren sich externe Erhebende auf ausgewählte Örtlichkeiten und beobachten hier eine Vielzahl passierender Lenkender. Der tatsächliche Anteil abgelenkter Lenkender im Straßenverkehr liegt daher vermutlich zwischen diesen beiden Ergebnissen.

Befragung

Den Beobachtungen von außen ist die eigene Wahrnehmung der Lenkenden gegenüberzustellen. Dazu führte das KFV eine österreichrepräsentative Ablenkungsbefragung durch. Von 696 befragten Pkw-LenkerInnen, gaben die meisten (66 %) an, mit Freisprecheinrichtung (FSE) beim Fahren zu telefonieren. Die nächstbeliebtesten Nebentätigkeiten beim Fahren seien Gespräche (64 %), die Bedienung des Fahrzeugentertainmentsystems (61 %) und Musikhören (61 %). 46 % der Befragten geben an, zumindest gelegentlich durch externe Ablenkungsfaktoren (z. B. auffällige

Person am Straßenrand, Baustelle, Werbeplakat) nicht ihre volle Aufmerksamkeit der Fahraufgabe zu widmen. Auffallend wenige TeilnehmerInnen der Befragung gaben an ohne FSE zu telefonieren oder während des Fahrens im Smartphone Nachrichten zu lesen oder schreiben (je 10 %), glauben jedoch, dass andere VerkehrsteilnehmerInnen häufig das Smartphone beim Fahren in der Hand haben. Daher ist davon auszugehen, dass dies Tätigkeiten sind, welche zwar ausgeführt werden, aber ungern selbst berichtet werden. Die Auswertung der Befragung ergab zudem, dass die Altersgruppe der LenkerInnen bis 24 Jahre am häufigsten und die Altersgruppe der LenkerInnen über 65 Jahre am seltensten abgelenkt sei (Gössinger & Schmied, 2022).

2.2.1.3 Moderatorvariablen der Ablenkung

Ob, wann und v.a. mit welchen Auswirkungen Ablenkung beim Fahren auftritt, hängt von einer Vielzahl von vermittelnden Faktoren ab. Die wesentlichsten werden im Folgenden beschrieben.

Geschlecht

Bei der Betrachtung des Ablenkungsverhaltens nach Geschlecht liegt kein einheitlicher Wissensstand vor, um zuverlässige Aussagen zu treffen, welches Geschlecht häufiger abgelenkt ist. Differenzierungen nach Geschlecht können jedoch bei der Art der Ablenkung getroffen werden. So indizieren Untersuchungen, dass Männer häufiger von Dingen außerhalb des Fahrzeugs oder technischen Geräten abgelenkt sind, Frauen hingegen häufiger telefonieren (Kreuzlein et al., 2020). Die Auswertung der 9.366 Videosequenzen der naturalistischen Fahrstudie des KfV ergab, dass Männer (52 %) etwas häufiger abgelenkt sind als Frauen (45 %) (Pommer et al., 2016).

Alter

Neben dem Geschlecht ist es auch interessant zu betrachten, wie es sich mit der Ablenkung in den unterschiedlichen Altersklassen verhält. So zeigt sich, dass jüngere Lenkernde signifikant häufiger Nebentätigkeiten nachgehen als LenkerInnen mittleren und höheren Alters. Besonders in Hinblick auf die geringe Fahrfahrung der jüngeren LenkerInnen ist diese Beobachtung besorgniserregend (Kreuzlein et al., 2020).

Tageszeit

Ein weiterer Differenzierungsindikator ist die Tageszeit, zu welcher sich die Ablenkung abspielt. Fahrfremde Tätigkeiten während des Fahrens sind am Nachmittag wahrscheinlicher als am Morgen, am Abend oder in der Nacht. Des Weiteren ergaben Beobachtungen, dass Ablenkungen unter der Woche signifikant häufiger sind als an Wochenenden, insbesondere in Bezug auf die Nutzung des Mobiltelefons (Kidd et al., 2016; Prat et al., 2017).

Örtlichkeit

Nebentätigkeiten bzw. Ablenkung erfolgt in den meisten Fällen an VLSA (ca. 30 % laut Kidd et al. 2016). Dementsprechend werden am häufigsten im Stillstand Nebentätigkeiten nachgegangen. Bei höheren Geschwindigkeiten spielen sich seltener Ablenkungen ab, dasselbe gilt für anspruchsvolle, prekäre Fahrsituationen. Generell lässt sich feststellen, dass innerorts häufiger Ablenkungen vorkommen als außerorts (Huisingh et al., 2015). Je komplexer somit eine Kreuzung, desto höher die vorherrschende Verkehrsdichte und umso weniger lassen sich LenkerInnen von der Fahraufgabe ablenken (Wierwille, 1993).

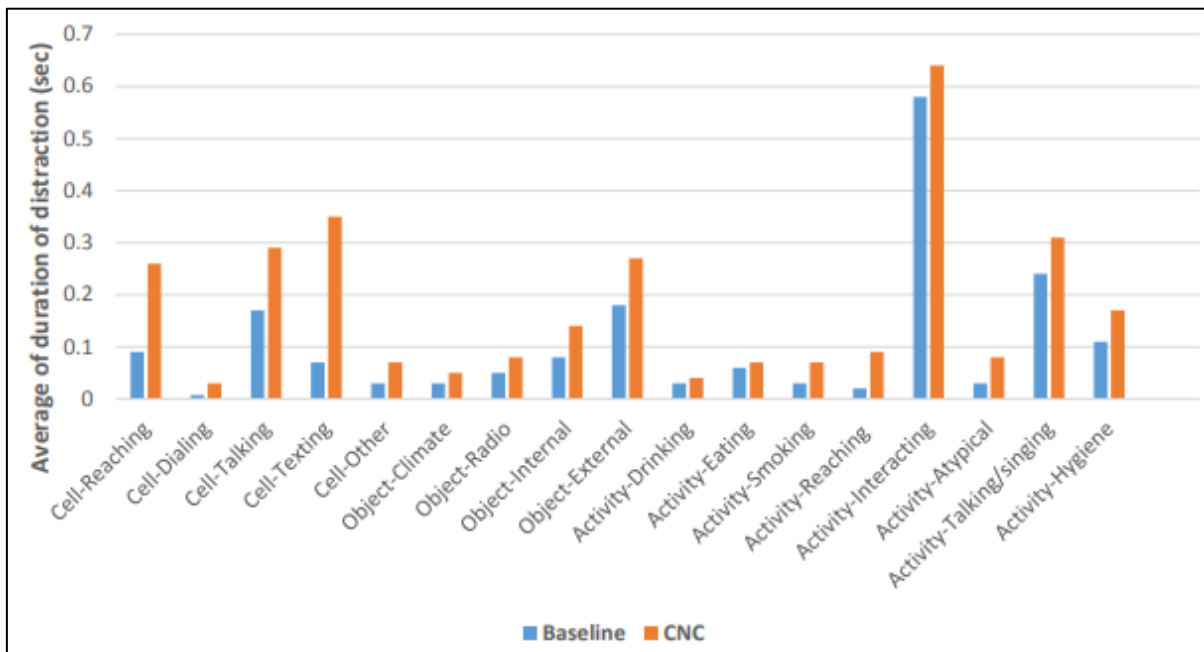
Dauer der Blickabwendung

In der Literatur wird die Dauer einer Blickabwendung zwischen 1,2 und 1,5 Sekunden noch als akzeptabel eingeschätzt, um der Fahraufgabe nachzugehen. Bei länger andauernden Blickabwendungen kann von Ablenkung gesprochen werden, infolge derer mit negativen Auswirkungen auf die Fahrleistung zu rechnen ist. Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass die Blickabwendungen an VLSA selten zwei Sekunden übersteigen. Im Normalfall dauert eine Blickabwendung von der VLSA 1,5 Sekunden an (Metz, 2009; Victor & Harbluk, 2005).

Die folgende Abbildung verdeutlicht die unterschiedliche Dauer der Blickabwendung bei unterschiedlichen Arten von Ablenkungen. Zusätzlich wird zwischen Crash/Near-Crash (CNC), also einem Unfall oder Beinahe-Unfall, und baseline Beobachtungen, also der generellen Auftretenshäufigkeit ohne offensichtliche Folgen, unterschieden. In allen Arten von Ablenkungen ist die Durchschnittsdauer bei Unfällen oder Beinahe-Unfällen höher als bei Beobachtungen ohne gefährliche Situation.

Die höchste Dauer der Ablenkung und somit auch die größte Gefahr für die Verkehrssicherheit weist die Kategorie *Activity-Interacting*, also das Kommunizieren mit Mitfahrenden, auf (Arvin & Khattak, 2020).

Abbildung 12: Korrelation von Ablenkungsdauer mit dem Unfallrisiko



Quelle: Arvin & Khattak, 2020

Gesamtdauer der Ablenkung

Die Gesamtdauer der einzelnen Nebentätigkeiten kann in diesem Zusammenhang gänzlich vernachlässigt werden, da wissenschaftlich belegt ist, dass einzelne Blickabwendungen von der eigentlichen Fahraufgabe in der Regel maximal zwei Sekunden und im Normalfall nur 1,5 Sekunden dauern. Das bedeutet, dass unabhängig von der Gesamtdauer einer Tätigkeit der Blick spätestens nach jeweils zwei Sekunden wieder auf die Straße und damit auf die VLSA gerichtet ist (Metz, 2009).

2.2.1.4 Effekte von Ablenkung auf das Fahrverhalten

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Effekte der unterschiedlichen ablenkenden Aktivitäten auf das Fahrverhalten erläutert. Die Auswirkungen von Ablenkung auf die Verkehrssicherheit hängen dabei von der Verkehrssituation ab. In ruhigen Fahrumgebungen können in der Regel noch ausreichend Informationen verarbeitet werden, aber in verkehrsreichen Situationen nicht. Die negativen Auswirkungen von Ablenkung

variieren je nach Art und Quelle der Ablenkung sowie dem Zeitpunkt, der Intensität, der Wiederaufnahmefähigkeit, der Komplexität, der Dauer, der Häufigkeit und den verbleibenden Auswirkungen der ablenkenden Aktivität. Der Verkehrskontext, die Art der Verkehrsteilnehmenden und persönliche Merkmale wie Alter und Fahrpraxis spielen ebenfalls eine Rolle (Europäische Kommission, 2022).

Telefonieren ohne Freisprecheinrichtung

Beim Telefonieren ohne Freisprecheinrichtung werden mehrere ablenkende Aktionen, wie die Kontaktsuche, das Wählen, die Anrufannahme oder die Gesprächsführung durchgeführt, um das Telefonieren erst zu ermöglichen. Diese Aktionen verursachen unterschiedliche Arten der Ablenkung, wobei manche gefährlicher sind als andere. Häufige Effekte des Telefonierens ohne Freisprecheinrichtung sind ein längerer Blick von der Straße weg, höhere Reaktions- und Erkennungszeiten, verzögertes Bremsen und eine Verengung des Gesichtsfeldes (ibid.)

Telefonieren mit Freisprecheinrichtung

Die Vorteile der Freisprecheinrichtung sind, dass weniger physische und visuelle Tätigkeiten notwendig sind. Jedoch sind die kognitiven Einschränkungen ident mit jenen des Telefonierens ohne Freisprecheinrichtung (Strayer et al., 2013). Auch wenn Forschungen zeigen, dass das Telefonieren mit Freisprecheinrichtung auch positive Effekte, wie etwa das Einhalten von größeren Abständen, hat, wird geschlossen, dass auch diese Art des Telefonierens ein erhöhtes Risiko für die Verkehrssicherheit bedeutet (Ziakopoulos et al., 2018 in: Europäische Kommission, 2022).

Gespräche

Das Führen von Gesprächen mit Mitfahrenden wirkt sich ebenso negativ auf die Verkehrssicherheit aus, soll jedoch laut Gaspar et al. (2014) ein geringeres Risiko als die beiden zuvor genannten Beispiele nach sich ziehen. Guo et al. (2016 in: Europäische Kommission, 2022) zufolge unterhalten sich junge FahrerInnen am häufigsten mit Mitfahrenden. Die Auswirkungen sind höhere Reaktionszeiten und schwerere Verletzungen (Consiglio et al., 2003; Donmez & Liu, 2015 in: Europäische Kommission, 2022).

Smartphone-Bedienung

Die Effekte der Bedienung von Mobilgeräten ähneln jenen des Telefonierens ohne Freisprecheinrichtung. Jedoch werden beim Senden von Nachrichten, Surfen im Internet oder Navigieren noch längere und häufigere Abweichungen vom Blick auf die Straße, langsamere Reaktionen und Probleme die Fahrspur zu halten registriert (Europäische Kommission, 2022).

Bedienung von eingebauten Displays

Die Auswirkungen sind stark abhängig von der jeweiligen Tätigkeit am eingebauten Bildschirm, vom System und wie bzw. mit welcher Vorerfahrung der Bildschirm bedient wird. Durchschnittlich gehen ForscherInnen davon aus, dass sich das Unfall-Risiko um das Doppelte erhöht (Dingus et al., 2016).

Werbetafeln

Werbetafeln, besonders mit bewegten Bildern, emotionaler Aufladung oder im zentralen Gesichtsfeld, verursachen, dass der Blick von FahrerInnen häufiger von der Straße abschweift, langsamere Reaktionen auf plötzliches Bremsen des vorausfahrenden Fahrzeugs und auf Verkehrszeichen, kürzere Abstände zum Vordermann und häufigere Abweichungen von der Fahrspur (Europäische Kommission, 2022).

Essen und Trinken

Laut Dingus et al. (2016) wirken sich sowohl das Essen als auch das Trinken negativ auf das Spurhaltevermögen und die Reaktionszeit aus. Eine höhere Unfallwahrscheinlichkeit konnten die AutorInnen jedoch nur beim Essen, nicht aber beim Trinken feststellen.

Rauchen

Beim Rauchen sind vor allen Blickabwendungen während des Anzündens und Ausdrückens der Zigarette für die Verkehrssicherheit nachteilig. Das Halten der Zigarette hat ähnliche Auswirkungen wie das Halten eines Telefons (Kreuzlein et al., 2020).

2.2.2 Ablenkung an VLSA

Zu Beginn ist die Armut an Studien zu Ablenkung an Verkehrslichtsignalanlagen anzumerken, da die geringe Anzahl an wissenschaftlichen Quellen in Bezug auf die Aussagekraft dieses Kapitels berücksichtigt werden muss.

Die aktuellste der wenigen Studien von Boni et al. (2022) kommt zu dem Schluss, dass durchschnittlich 15 % aller Lenkenden von Kraftfahrzeugen bei einer roten Ampel abgelenkt sind. Die Wahrscheinlichkeit einer Ablenkung Lenkender steigt Boni et al. zufolge um weitere 5 %, wenn sich Lenkende hinter einem Schwerfahrzeug befinden. Das Mobiltelefon stellt dabei mit insgesamt 60 % die häufigste Ablenkungsursache dar. Ablenkung bei Lenkenden, die sich hinter einem Schwerfahrzeug befinden, ist sogar in 80 % der Fälle auf das Smartphone zurückzuführen. Von denjenigen, die während der Rotphase abgelenkt waren, blieben in der angeführten Studie mehr als 25 % auch während der Grünphase abgelenkt und trugen zur Verzögerung durch Ablenkung an der signalisierten Kreuzung bei. Ebenso zeigten die Studienergebnisse von Boni et al., dass die Verzögerung signifikant länger ausfiel als die ablenkende Tätigkeit selbst dauerte. Auf weitere Details dieser sowie älterer Studien wird im Folgenden eingegangen.

2.2.2.1 Ablenkungsursachen

Die Arten von Ablenkungen sind an VLSA ähnlich wie beim Autofahren allgemein (vgl. Kapitel 1). Unterschiedlich ist die Verteilung der Arten der Ablenkungen, die Dauer und die Häufigkeit. Wesentlichen Gründe hierfür sind, dass Lenkende an VLSA einerseits mehr Zeit für fahrfremde Dinge haben, da sie sich nicht aufs Lenken konzentrieren müssen und andererseits die in der Regel große Anzahl externer Ablenkungsquellen im Kreuzungsbereich.

Verteilung der Ablenkungsarten

Das Mobiltelefon ist Ablenkungsursache Nummer 1 an VLSA: Während des Fahrens wird meist die Freisprechfunktion des Smartphones genutzt, beim Stillstand des Kraftfahrzeugs kommt es bei vielen Lenkenden dann vielfach auch zu manuellen Bedienungen, wie etwa Tippen am Smartphone (Boni et al., 2022).

Gefolgt wird das Mobiltelefon von Gesprächen mit Mitfahrenden. Weitere Faktoren von Bedeutung sind Essen und Trinken sowie Reize außerhalb des Fahrzeuges. Boni et al. (2022) kommen in Bezug auf Umgebungsreize zu dem Schluss, dass Ablenkung zunehmend wahrscheinlicher wird, je näher die Spur eines Fahrzeuges am Gehsteig und je näher die Position an der ampelgeregelten Fußgängerquerung ist.

Lenkende von Fahrzeugen, die sich weiter rechts und vorne an der Ampel befinden, werden eher abgelenkt als jene die weiter hinten oder links stehen.

Zur Ablenkung durch Mobiltelefone wurden durch Alshabibi (2021) und Brumfield & Pulugurtha (2011) eigene Studien durchgeführt, welche die Analyse von Ablenkungen durch das Smartphone an VLSA präzisieren. Auf diese wird im folgenden Kapitel eingegangen.

Der Hauptablenkungsfaktor Smartphone

Wie bereits erwähnt, stellt die Ablenkung durch das Mobiltelefon an VLSA die häufigste Ursache für Ablenkung dar. Dabei kann zwischen zwei Arten unterschieden werden. Einerseits das Telefonieren mit oder ohne Freisprecheinrichtung und andererseits alle anderen Tätigkeiten, bei denen der Blick von der Straße auf das Smartphone gerichtet wird und somit keine visuellen Signale im Verkehr mehr aufgenommen werden können.

Erstere werden in den Forschungen nicht nach mit/ohne Freisprecheinrichtung getrennt betrachtet, da das Verwenden einer Freisprecheinrichtung auf die Ablenkung und Reaktionszeit keinen signifikanten Einfluss hat. Generell wurde erforscht, dass das Telefonieren zwar langsamere Reaktionen im Vergleich zu ausschließlich auf den Straßenverkehr fokussierten Lenkenden hervorruft, dies jedoch keinen signifikanten Effekt auf die Leistungsfähigkeit von VLSA hat. Die Reaktionszeit der Telefonierenden ist deutlich kürzer als jene der zweiten Gruppe, der visuell Abgelenkten. Auffallend bei dieser Gruppe ist besonders die große Streuung und daher auch die große Standardabweichung der Reaktionszeiten. Im Vergleich dazu verhält sich die Gruppe der Telefonierenden konstanter (Brumfield & Pulugurtha, 2011; Alam Boni et al., 2022).

Laut Alshabibi (2021) gab es wegen der Verwendung des Mobiltelefons zwar einen signifikanten Anstieg der Anfahrzeit von etwa 0,7 Sekunden, jedoch ist die Verzögerung kaum von Relevanz, da die gesättigte Fahrzeitlücke (eng: saturated headway) nicht signifikant ansteigt. Weiters kamen sie zum Ergebnis, dass die Anfahrzeit sich erhöht, je näher die Handynutzenden der Haltelinie der VLSA sind. Damit gehen Verluste der Leistungsfähigkeit einher, weil die effektive Grünzeit verringert wird. Auf die Position der Abgelenkten wird im weiteren Verlauf der Arbeit noch genauer eingegangen (Alshabibi, 2021).

2.2.2.2 Durchschnittliche Anfahrreaktionszeit mit und ohne Ablenkung

Studien belegen, dass die unter Idealbedingungen erwartete Anfahrreaktionszeit von zwei Sekunden in der Praxis häufig überschritten wird (Alam Boni et al., 2022; Alshabibi, 2021; Çalışkanelli et al., 2017). Für die Verzögerung verantwortlich sind u.a. abgelenkte FahrerInnen. Konkret kann sich die Anfahrreaktionszeit im Vergleich zum Idealfall um 50 % auf drei Sekunden erhöhen (Alam Boni et al., 2022). Auffallend ist, dass die verlorene Anfahrzeit mit zunehmender Zykluszeit schnell ansteigt und dass auf Links- oder Rechtsabbiegespuren niedrigere Werte für die verlorene Anfahrzeit zu beobachten sind. Wie auch bei der Bedienung des Mobiltelefons sind bei den Ablenkungen allgemein große Streuungen der Anfahrreaktionszeit und daher eine große Standardabweichung feststellbar (Çalışkanelli et al., 2017).

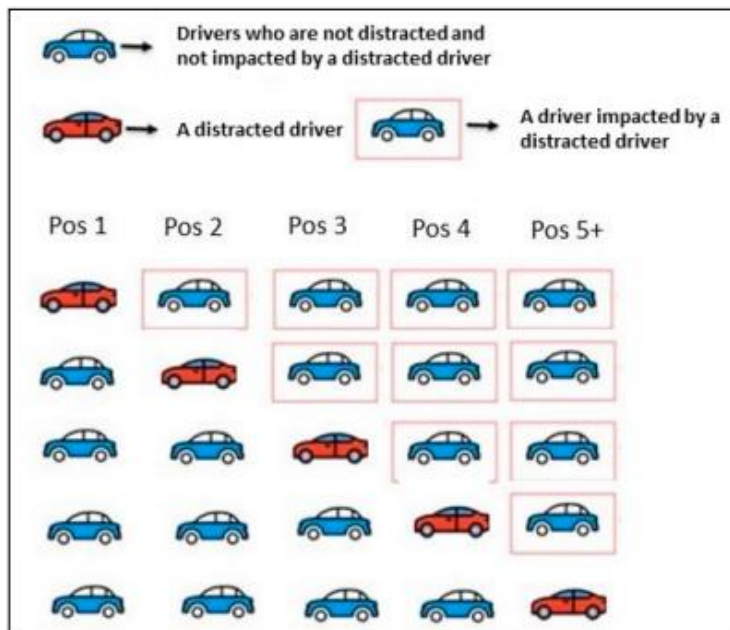
Alam Boni et al. (2022) sagt voraus, dass sich durch den technologischen Fortschritt und die Zunahme von mit Displays ausgestatteten Autos die Anzahl an abgelenkten FahrerInnen in Zukunft erhöhen wird. Damit einhergehend wird auch die durchschnittliche Anfahrreaktionszeit und die Streuung dieser Werte zunehmen.

Ebenso wurde erforscht, dass Ablenkung nicht nur zu signifikant mehr Zeitverlusten, sondern auch zu mehr Vorrangverletzungen führte und somit den Verkehrsfluss und die Kapazität der Kreuzung beeinträchtigte (Alam Boni et al., 2022).

2.2.2.3 Rolle der Warteposition an der VLSA

Die Studie von Alam Boni et al. (2022) untersuchte den Einfluss der Position einer abgelenkten Person an der VLSA und deren Auswirkung auf die Fahrzeuge dahinter. Dabei wurden die Anfahrzeiten der ersten neun Fahrzeuge an Kreuzungen erhoben und analysiert. Abbildung 13 demonstriert dabei das Schema der Studie. Ein rotes Fahrzeug in der Warteschlange deutet auf abgelenkte FahrerInnen hin. Die blauen Fahrzeuge hinter dem roten – mit einer Box umrandet - sind Fahrzeuge, die durch die Ablenkung des Fahrzeuges in Rot beeinflusst werden. Die Lenkenden der blauen Fahrzeuge ohne Box sind die nicht abgelenkten FahrerInnen, die auch von abgelenkten FahrerInnen unbeeinflusst blieben, da sie in der Warteschlange davor starteten.

Abbildung 13: Auswirkungen von Ablenkung in der Warteschlange

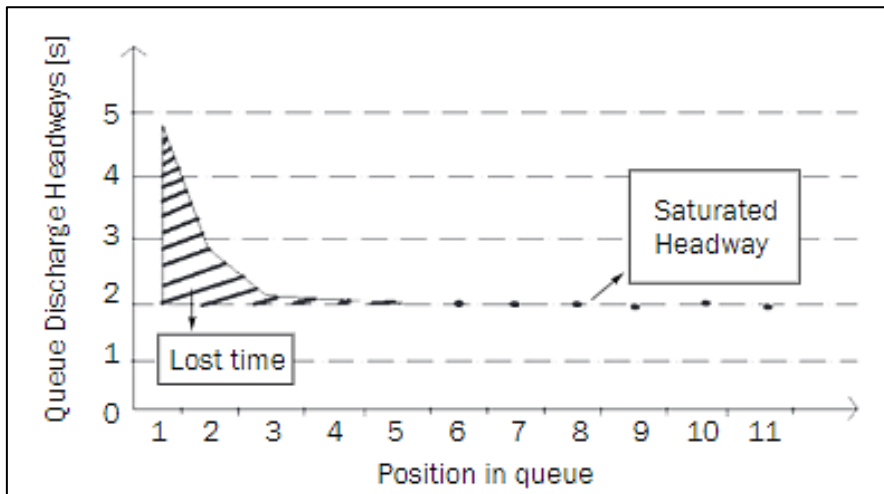


Quelle: Alam Boni et al., 2022

Die Ergebnisse zeigen, dass die langsame Reaktion von abgelenkten FahrerInnen auf Grünlicht auch die Reaktionszeit der nachfolgenden FahrerInnen verzögert. Es besteht jedoch kein linearer Zusammenhang. Die Anfahrtszeit bei Grün war bei abgelenkten Lenkenden signifikant länger als bei nicht abgelenkten, egal an welcher Stelle der Warteschlange sich die abgelenkten FahrerInnen befunden haben. Außerdem zeigte sich, dass selbst Fahrzeuge weit hinter den abgelenkten Fahrenden von der Verzögerung betroffen sind (Alam Boni et al., 2022).

Eine andere Studie hat für unterschiedliche Positionen an der VLSA andere gesättigte Fahrzeitlücken beobachtet. Wenn also keine der Lenkenden bei Grünlicht abgelenkt sind, nimmt die gesättigte Fahrzeitlücke mit zunehmender Startzeit ab. Dies begründet sich auf die zusätzliche Zeit, die Lenkende an den hinteren Positionen der Reihe haben, um sich auf die Abfahrt vorzubereiten. Verdeutlicht wird diese Theorie durch Abbildung 14 (Çalışkanelli et al., 2017).

Abbildung 14: Darstellung der Anfahrreaktionszeit



Quelle: Çalışkanelli et al., 2017

2.2.2.4 Berechnung und Verbesserung der Anfahrreaktionszeit

Die verlorene Anfahrzeit an signalisierten Kreuzungen ist definiert als die zusätzliche Zeit, die die ersten Fahrzeuge in einer Warteschlange benötigen, um nach dem Start der Grünphase zu beschleunigen. Die Forschung geht in der Regel von zwei Sekunden pro Phase aus, jedoch dauert die Verzögerung in der Praxis häufig länger. Faktoren, die die verlorene Anfahrzeit beeinflussen sind Fahrzeugtyp, Längsneigung, FußgängerInnen an der Kreuzung, die individuelle Reaktionszeit und psychologische Faktoren (Çalışkanelli et al., 2017).

Zur Berechnung der effektiven Grünzeit ist es wichtig, die eben genannten Faktoren so präzise wie möglich in eine Formel zu inkludieren. Çalışkanelli et al. (2017) schlagen folgende empirische Funktion für die Vorhersage der Anfahrreaktionszeit von FahrerInnen in der führenden Position einer Warteschlange an einem signalisierten Knotenpunkt vor:

$$t_r = -0.149MNV - 0.136GN + 0.020CYL$$

t_r bezeichnet dabei die Startreaktionszeit in Sekunden. MNV stellt die Art des Fahrmanövers dar. Unter Fahrmanöver versteht man die Richtung, in die das Fahrzeug weiterfährt. Für gradeausfahrende Fahrzeuge wurde hierfür der Faktor 0, für rechtsabbiegende Fahrzeuge der Faktor 1 und für linksabbiegende Fahrzeuge der Faktor 2 festgelegt.

GN steht für das Geschlecht der Lenkenden – Männer erhalten dabei den Faktor 1 und Frauen den Faktor 0. CYL gibt wiederum die Zykluszeit in Sekunden an.

Die Faktoren der Startreaktionszeitformel begründen sich auf folgende Analyseergebnisse:

- Männer haben in der Regel kürzere Reaktionszeiten als Frauen
- Fahrende, die rechts oder links abbiegen wollen, haben kürzere Reaktionszeiten als Fahrende, die geradeaus fahren wollen;
- Längere Zykluszeiten können die Aufmerksamkeit der AutofahrerInnen ablenken und dazu führen, dass sie langsamer auf Lichtsignaländerungen reagieren (Çalışkanelli & Tanyel, 2016).

Ergebnisse der von Çalışkanelli und Tanyel (2016) durchgeführten Studie sind, dass die Anfahrreaktionszeit für verschiedene Datensätze variieren und somit die Wahl eines Standardwerts für die Anfangsreaktionszeit Verkehrsplanende zu einer Über- oder Unterplanung des Signalisierungssystems verleiten kann. Dasselbe gilt, wenn die regionalen Unterschiede in Bezug auf die gesättigte Fahrzeitlücke durch PlanerInnen unberücksichtigt bleiben.

Zur Verbesserung der Anfahrreaktionszeit empfehlen Studien das Installieren eines Countdown-Timers an VLSA. Dieser lässt die Verkehrsteilnehmenden genau wissen, wie lange ihre Rot- oder Grünphase noch dauert bzw. wann sich das Signal ändert. Durch diese Information können FahrerInnen bereits vor dem Umschalten des Signals die neue Situation antizipieren und Vorbereitungen für das Losfahren oder Stehenbleiben vornehmen. Durch Countdown-Timer kann die Kapazität an ampelgeregelten Kreuzungen erhöht werden.

Eine Studie aus China fand heraus, dass die Installation einen erheblichen Einfluss auf die Reaktionszeit der FahrerInnen hat. Im Durchschnitt verringerten Countdown-Zeitgeber die verlorene Anfahrzeit um 0,6 Sekunden pro Zyklus für Linksabbiegevorgänge und 2,25 Sekunden pro Zyklus für Geradeausfahrende. Rechtsabbiegevorgänge wurden in dieser Studie nicht untersucht (Liu et al., 2012).

2.3 Fahrdynamische Grundlagen

Die fahrdynamischen Grundlagen, insbesondere die Beschleunigung der Fahrzeuge aus dem Stand, spielen eine entscheidende Rolle im Kontext der Verkehrsleistung an ampelgeregelten Kreuzungen. Die Beschleunigung von einem stehenden Zustand aus erfordert ein komplexes Zusammenspiel von mechanischen und physikalischen Prinzipien, das nicht nur die Leistung des Fahrzeugs, sondern auch die Sicherheit der Insassen und anderer Verkehrsteilnehmer beeinflusst. Im Rahmen des Arbeitspaketes wurden umfangreiche Literaturrecherchen zu den Themenkreisen Anfahrverhalten vom PKW an Kreuzungen als auch zu den technischen Eigenschaften der untersuchten Kraftfahrzeuge durchgeführt. Dazu werden die grundlegenden Prinzipien der Beschleunigung von Personenkraftwagen aus dem Stand betrachtet und ihre Auswirkungen auf die Verkehrsleistung an ampelgeregelten Kreuzungen analysiert. Dies umfasst Aspekte wie die Leistungsfähigkeit verschiedener Fahrzeugtypen und die Einflüsse der Fahrzeugmasse.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Haftung der Reifen auf der Straßenoberfläche. Die Beschaffenheit der Fahrbahn, Witterungsbedingungen sowie der Zustand der Reifen spielen eine große Rolle. Eine gute Straßenhaftung ermöglicht eine effiziente Übertragung des Drehmoments auf die Straße und somit eine schnellere Beschleunigung.

Neben Leistungsfähigkeit und Sicherheit spielt auch die Umweltbelastung eine Rolle. Optimierte Phasen können den Kraftstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen reduzieren, insbesondere wenn Fahrzeuge weniger Zeit im Stop-and-Go-Verkehr verbringen.

Grundlegende statistische Daten sind für eine konsistente Analyse des Beschleunigungsverhaltens von Fahrzeugen, beziehungsweise Fahrzeugkollektiven besonders wichtig. Darunter fallen statistische Daten zum Fahrzeugbestand in den das Fahrzeugalter als auch die Fahrzeugkategorie eingehen. Genannt seien an dieser Stelle Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge, Busse also auch einspurige Fahrzeuge wie Motorräder und Mopeds. Weitere Daten betreffen die jährlichen Kilometerleistungen der Fahrzeuge, in die ebenfalls wieder die Altersabhängigkeit einght. Es ist dazu festzuhalten, dass neue Fahrzeuge bis zu einem Fahrzeugalter von zirka acht Jahren höhere durchschnittliche Kilometerleistungen aufweisen als Fahrzeuge, die im Alter darüber liegen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die prozentualen Anteile der bereits genannten Fahrzeugkategorien am Gesamtbestand. Wie zu erwarten war, dominieren PKW mit über 70%. LKW und Omnibusse weisen einen Anteil von etwa 7%, leichte Nutzfahrzeuge zirka 6% auf.

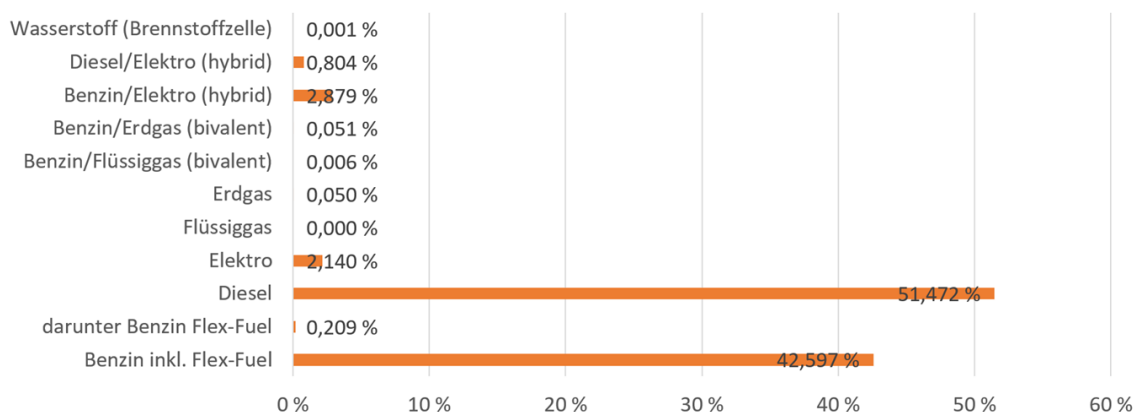
Tabelle 9: Kraftfahrzeugbestand in Österreich

Fahrzeugarten	Anteil in %
Personenkraftwagen Kl. M1	72,5
Motorräder Kl. L3e ¹⁾	3,3
Omnibusse Kl. M2 und M3	0,1
Lastkraftwagen	6,6
<i>davon</i>	
<i>Kl. N1 (bis 3,5t Gesamtgewicht)</i>	88,1
<i>Kl. N2 (über 3,5t bis 12t Gesamtgewicht)</i>	2,6
<i>Kl. N3 (über 12t Gesamtgewicht)</i>	9,3
Sattelzugfahrzeuge	0,3
Wohnmobile	0,4

Quelle: Statistik Austria

Die Grafik Pkw Fahrzeugbestand nach Antriebskonzept enthält weitere wichtige Basisdaten. Fahrzeuge mit Dieselmotor haben einen Anteil von über 50% am Fahrzeugbestand. Benzin Pkw zirka 43% und Elektro Pkw 2 bis 3%. Weitere alternative Antriebe haben keine besonders nennenswerten Anteile.

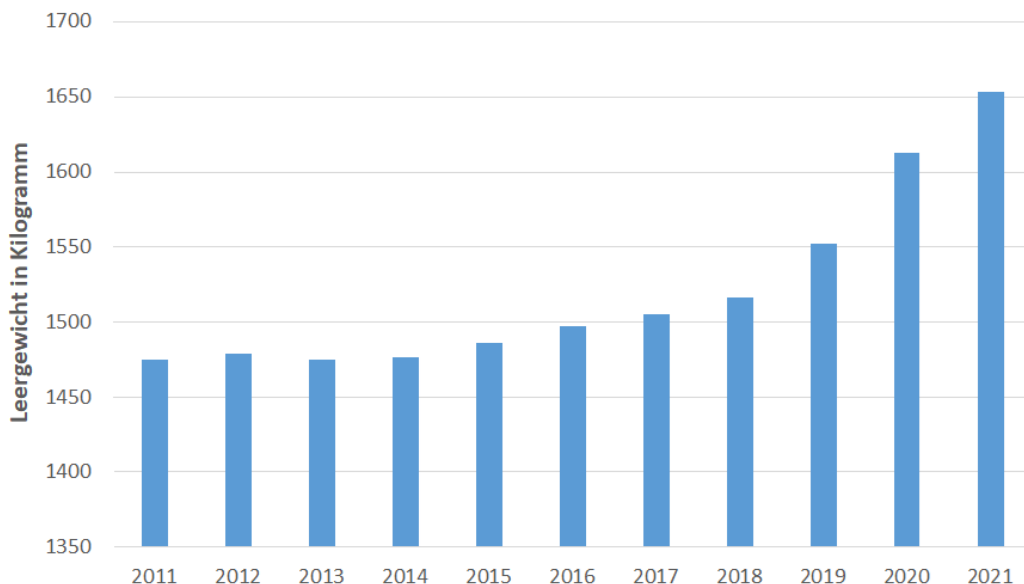
Abbildung 15: Pkw-Anteile der Antriebskonzepte 2022



Quelle: Statistik Austria

Die Grafik Trend Eigengewicht zugelassener Pkw zeigt insgesamt einen signifikant ansteigenden Trend. Ab 2015 ist ein leicht ansteigender Trend des durchschnittlichen Gewichts der neu zugelassenen Fahrzeuge zu erkennen. Dies ist durch die Umstellung zu sogenannten Crossover-Kraftfahrzeugen und SUV bedingt. Ab dem Jahr 2019 kommt ein zusätzlich ansteigender Trend hinzu der höchstwahrscheinlich auf das deutlich höhere Eigengewicht von batterieelektrischen Kraftfahrzeugen zurückzuführen ist. Damit ergibt sich ein Anstieg des mittleren Neuwagengewicht von 1500 kg bis auf 1650 kg. Der Anstieg des Eigengewichts wird in etwa durch einen ähnlichen Anstieg der maximalen Motorleistung der Fahrzeuge kompensiert.

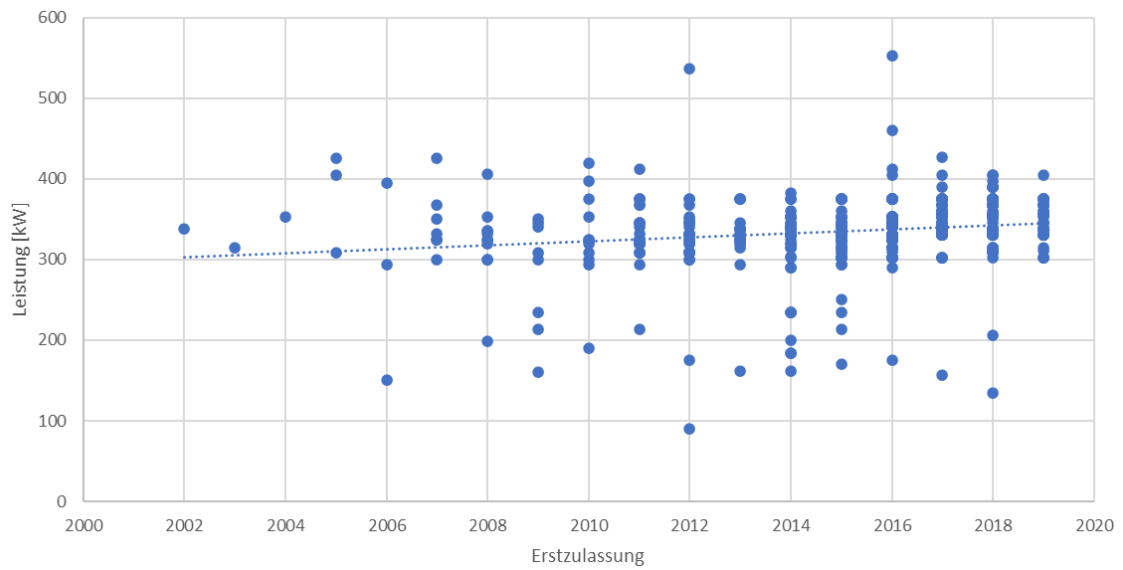
Abbildung 16: Zeittrend Eigengewicht neu zugelassener PKW



Quelle: KBA -BRD

Bei Nutzfahrzeugen ist das maximale Gesamtgewicht durch gesetzliche Regelungen limitiert. Analysierte Leistungsdaten von schweren Lkw ab dem Jahr 2000 zeigen einen Anstieg der mittleren Motorleistung von zirka 10%. Daraus ist also lediglich ein kleiner Anstieg des Beschleunigungsvermögens abzuleiten. Auffallend ist jedoch eine relativ große Streubreite der Motorleistung von knapp 200 bis über 400 Kilowatt je Fahrzeug.

Abbildung 17: Zeittrend der Nennleistung Schwerer LKW in Österreich



Quelle: Statistik Austria, Darstellung: Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher

3 Untersuchungskonzept

Das Untersuchungskonzept umfasst verkehrstechnische Erhebungen, mikroskopische Verkehrssimulationen sowie Erhebungen zum Ablenkungsverhalten.

3.1 Verkehrstechnische Erhebungen

Gemeinsam mit den Ansprechpartnern für inhaltliche Fragen wurden mehrere VLSA Standorte für die empirische Untersuchung festgelegt. Damit konnten die Kenntnisse maßgebender ExpertInnen in die Auswahl der Untersuchungsstellen einfließen.

Die Erhebungsstellen wurden ausgewählt, dass diese einerseits Regelkreuzungen entsprechen und andererseits dabei auch wesentliche erforderliche Parameter für die Leistungsfähigkeitsberechnung erfasst und überprüft werden können. Es wurden daher sowohl Kreuzungen im Stadtbereich als auch außerhalb von Ortsgebieten ausgewählt.

Die Erhebungen wurden in vier Bundesländern – Wien, Niederösterreich, Oberösterreich, Burgenland – und in unterschiedlichen Städten wie Wien, Eisenstadt, Linz und Neusiedl am See durchgeführt. Außerortsbereiche wurden in Niederösterreich, im Bereich Mödling – Shopping City Süd – und Großebersdorf berücksichtigt. Ziel bei der Auswahl war möglichst viele unterschiedliche Anwendungsfälle abzubilden.

Bei acht Kreuzungen mit hohen Verkehrsstärken wurden unter anderem die Auswirkung des Schwerverkehrs sowie unterschiedliche Kreuzungsgeometrien und Längsneigungsverhältnisse untersucht. Dabei konnten verschiedene Umlauf- und Freigabezeiten, Ortsgebiete und Freilandbereiche etc. berücksichtigt werden.

Die Erhebungen wurden für jeden Bereich mit Verkehrsstromerfassung und Geschwindigkeitsmessung mittels Videoerfassungen unter Berücksichtigung der Anforderungen der DSGVO durchgeführt. Bei Verfügbarkeit der Phasenabläufe wurden diese bei der Auswertung berücksichtigt.

Die Erhebungen haben das Ziel, alle relevanten Parameter für die Leistungsfähigkeitsbeurteilung zu erfassen. Vor allem wurden Zeitlücken und Zeitbedarf bezogen auf den Grünzeitbeginn bei unterschiedlichen Anlageverhältnissen erfasst. Dabei wurden sowohl Durchschnittswerte, Quartile sowie Minimal- und Maximalwerte ermittelt. Besonderes Augenmerk wurde Abbiegeströmen geschenkt.

3.2 Mikroskopische Verkehrssimulationen

Die Erhebungen und Analysen dienen als Grundlage für mikroskopische Simulationen. Es wurden fahrdynamische Parameter, Anlageverhältnisse sowie sonstige verkehrstechnische Parameter des Verkehrsflusses aus der Kalibrierung an den Erhebungsergebnissen ermittelt und bei der Simulation berücksichtigt.

Für unterschiedliche VLSA geregelte Kreuzungen wurden Simulationen und Leistungsfähigkeitsermittlungen durchgeführt, um daraus Erkenntnisse für das Berechnungsverfahren abzuleiten. Die simulierten Kreuzungen werden im Kapitel 5 vorgestellt.

Die Simulationen erfolgten mit dem Programm VISSIM (PTV AG). Diese Software ermöglicht eine mikroskopische Simulation der Verkehrsabläufe, welche anschließend im Detail ausgewertet und analysiert wurden.

nast consulting hat in mehreren Bundesländern und bei vielen Aufgabenstellungen unterschiedliche Simulationen an VLSA-geregelten Kreuzungen durchgeführt. Für VLSA wurden Zusatzfunktionen entwickelt, die eine praxisgerechte Simulationen ermöglichen. Evaluierungen haben ergeben, dass nach der Umsetzung der Signalisierung und Ausgestaltung der Kreuzung eine gute Übereinstimmung zwischen dem realen Verkehrsablauf und den Simulationsergebnissen vorlag.

Für die Simulation wurde die Kreuzungsgeometrie, die fahrdynamische Zuweisung der Parameter für die Einzelfahrzeuge, die Durchführung der Simulationen mit Variation der Eingangparameter und die Dokumentation der Ergebnisse vorgenommen.

3.3 Ablenkungsverhalten

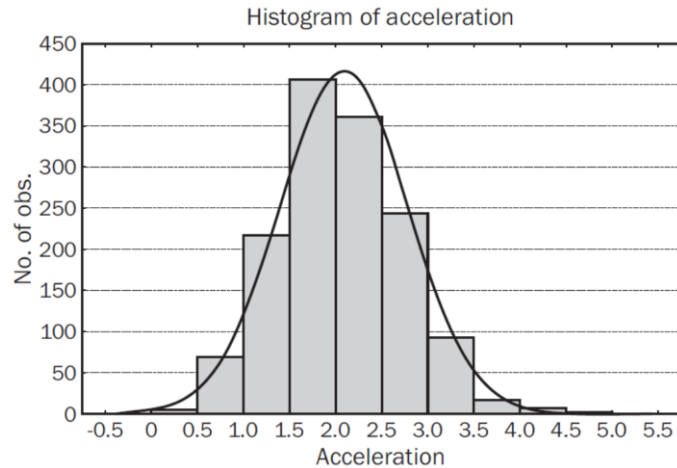
Verkehrsbeobachtungen und deren Ergebnisse geben Aufschluss darüber, ob Ablenkung bei Kraftfahrzeuglenkenden einen Abminderungsfaktor darstellt, der die Leistungsfähigkeit einer Verkehrslichtsignalanlage systematisch negativ beeinflusst. Um diesen Nachweis zu erbringen, wurde erhoben, ob Ablenkung an ausgewählten Pilotkreuzungen zu beobachten ist und wenn ja, wie häufig unterschiedliche Ablenkungsarten auftreten und welche zeitlichen Verluste beim Übersetzen der Kreuzung daraus entstehen. Der Ergebnisvergleich über die Pilotkreuzungen hinweg, sollte zudem zeigen, ob die beobachteten Ergebnisse einer gewissen allgemeinen Systematik folgen, die es zukünftig beim Planen von VLSA zu berücksichtigen gilt

3.4 Fahrzeugdynamische Analyse

Insbesondere zum technischen Beschleunigungsverhalten von Kraftfahrzeugen an Straßenkreuzungen konnte keine aktuellen Daten eruiert werden. Beispielsweise sind Beschleunigungszeiten aus dem Stillstand von Kfz nur bedingt aussagefähig, da in Europa vorkonditionierte Fahrzeuge ab der ersten Bewegung und in den USA typischerweise die Zeit des bereits ca. 30 cm fahrenden Probanden gemessen werden. Relevante Datensätze konnten hauptsächlich aus vorliegender Literatur zur Erforschung des Unfallgeschehens ermittelt werden. Untersucht wurden dabei meist das Bremsverhalten und die zugrunde liegenden Reaktionszeiten und der Umsetzzeiten zwischen verschiedenen Pedalen (A. Reindl 1996). Beispielsweise Gaspedal zu Bremspedal. Weiter Untersuchungen befassen sich mit der Fahrdynamik, sprich Fahrzeugbeschleunigung und Fahrdauer der bereits fahrenden Fahrzeuge (V. Bogdanović 2013 und F. Damian 2023). Der Hauptzweck dieser Forschung bestand darin, die Ergebnisse einer experimentellen Messung von Beschleunigungswerten an signalisierten Kreuzungen des Straßennetzes zu zeigen. Die bei der Messung verwendete Kreuzungen sind im Straßennetz großer Städte üblich. Beschleunigungswerte wurden in der Zeit der Hauptverkehrszeiten gemessen, wenn der Grad der Interaktion zwischen den Fahrzeugen im Verkehrsfluss zunahm. Ziel dieser Arbeit war es, die Beschleunigungswerte zu ermitteln, die bei der Verkehrsflussplanung und -Regelung an geregelten Kreuzungen angewendet werden können. Aus diesem Grund wurden die Extremwerte nicht berücksichtigt. Die grundlegenden Schlussfolgerungen dieser Forschung waren: Die Beschleunigungswerte beim Anfahren eines Fahrzeugs an einer Kreuzung lagen im Bereich von 1,8-2,0 m/s². dem Verlassen der Startlinie sanken die

Werte etwas auf $1,7-1,9\text{m/s}^2$. Die Beschleunigungswerte entsprechen der Normalverteilung.

Abbildung 18: Verteilung der gemessenen Beschleunigungswerte von über 200 Fahrzeugen

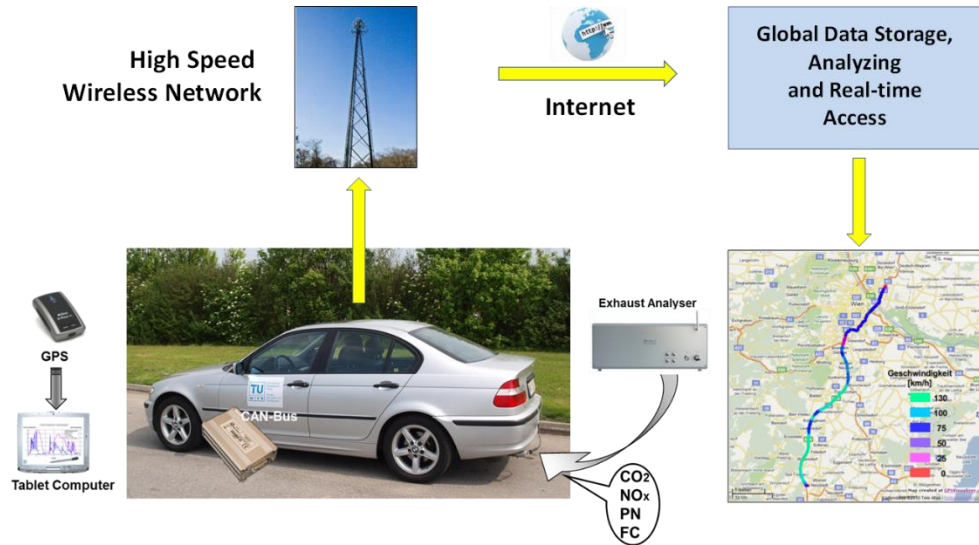


Quelle: Bogdanović 2013

Daraus kann jedoch mit guter Näherung auf die Umsetzzeit von Bremspedal auf Gaspedal im Beschleunigungsfall rückgeschlossen werden. Als typischer Wert für die Summe aus Reaktionszeit und Umsetzzeit wurde aus den Publikationen eine Sekunde ermittelt.

Nachdem für das rein technische Ansprechverhalten eines Fahrzeuges keine belastbaren Daten aus der Literatur vorlagen, griffen wir auf unsere umfangreichen Messdatensätze aus über 100 Realwelt Abgasmessungen zurück. Die Methodik (E. Pucher 2018) basierte auf einer Kombination von hochauflösenden Spezi­alsensoren und dem Auslesen in Echtzeit relevanter Fahrdynamikmesswerte des Fahrzeug Feldbusses, wie die nachfolgende Grafik zeigt. Die Messtechnik ist in ein modernes V2I-System integriert und basiert auf einer Cloud-Infrastruktur mit einer Datenübertragung mittel 4G und 5G. Somit ist eine hoch zeitaufgelöste Erfassung der Fahrzeugbewegungen in Quer- und Längsachse möglich.

Abbildung 19: Echtzeit Realwelt – Vehicle-to-Infrastructure Messsystem OBM 5.0

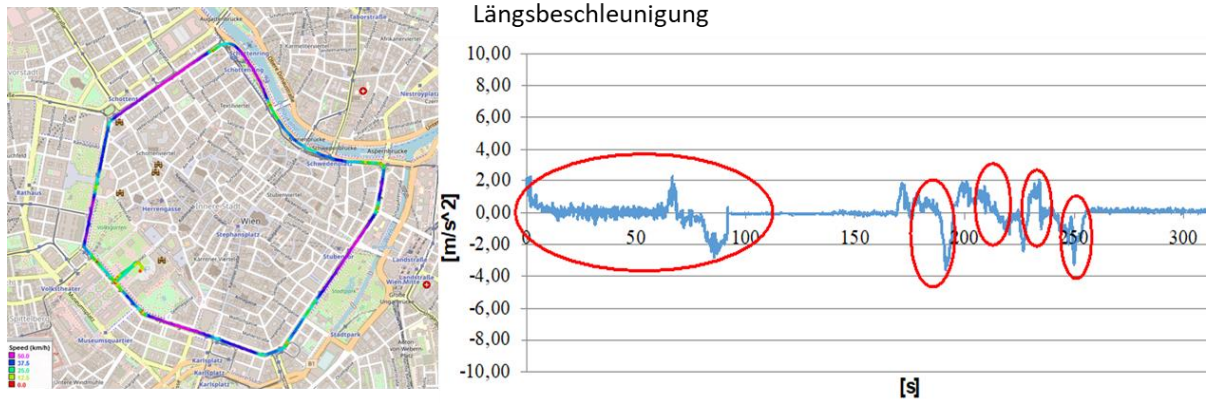


Quelle: Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher

Die Messtechnik ist in ein modernes V2I-System integriert und basiert auf einer Cloud-Infrastruktur mit einer Datenübertragung mittel 4G und 5G. Somit ist eine hoch zeitaufgelöste Erfassung der Fahrzeugbewegungen in Quer- und Längsachse möglich. Die üblicherweise auftretenden Beschleunigungswerte im Rahmen einer Stadtfahrt sind der nachfolgenden Grafik zu entnehmen.

Darin ist links der Geschwindigkeitsverlauf einer Fahrt auf der Wiener Ringstraße in Form des grafischen GPS-Trackings und rechts der typische positive und negative Beschleunigungsverlauf dargestellt. Diese Messwerte bestätigen die vorangegangenen Untersuchungen mit Maximalwerten von zwei m/s^2 positiver und drei m/s^2 negativer Beschleunigung. Dies zeigt auch, das mögliche Beschleunigungsvermögen von Kraftfahrzeugen wird nur zum geringen Teil ausgenutzt.

Abbildung 20: GPS-Tracking einer Testfahrt Wiener Ringstraße und typische Längsbeschleunigungen Mittelklasse Pkw



Quelle: Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher

4 ERHEBUNGEN

4.1 Verkehrstechnische Erhebungen

4.1.1 Untersuchungsdesign

Die Erhebung erfolgte durch Videoaufzeichnungen von unterschiedlichen Kreuzungen. Durch die Videoaufzeichnung können im Nachhinein Auswertungen des Verkehrsgeschehens durchgeführt werden.

Die Befliegung erfolgte mit der Drohne Dreamer 4K des Herstellers Potensic. Dabei erfolgte eine Videoaufnahme der Kreuzung aus einer Flughöhe von etwa 120 m über dem Kreuzungsniveau. Aus dieser Aufnahme konnten in der Nachbereitung halb-automatisiert Informationen über die Zeitpunkte der Fahrzeugpositionen ermittelt werden.

Abbildung 21: Verkehrstechnische Erhebung mit Drohne Dreamer 4K (Hersteller Potensic)



Quelle: nast consulting

Zusätzlich wurde die jeweilige Kreuzung mittels einer Kamera in der Ansicht gefilmt, um Informationen über den Phasenablauf zu erhalten. Das VLSA-Programm sowie Sonderauswertungen für den Aufnahmezeitraum wurden, sofern vorhanden, vom Betreiber der Anlage übermittelt.

Abbildung 22: Verkehrstechnische Erhebung VLSA Phase mittels Kamera



Quelle: nast consulting

An Standorten, wo aufgrund des Luftfahrtgesetzes keine Befliegung möglich war, erfolgte eine Aufnahme mittels Weitwinkelkamera von hohen Gebäuden aus. Diese Aufnahmen wurden ebenfalls im Nachhinein zur halb-automatischen Auswertung verwendet.

Abbildung 23: Verkehrstechnische Erhebung mittels Kamera auf einem Gebäude



Quelle: nast consulting

4.1.2 Definition der Parameter

Es erfolgte eine Auswertung der Videoaufnahmen, wobei für jedes Fahrzeug halbautomatisiert die folgenden in Tabelle 10 beschriebenen Parameter je Fahrstreifen erhoben wurden.

Tabelle 10: Parameter für die Auswertung

Parameter	Beschreibung
Kategorisierung des Fahrzeugs	Pkw, Lieferwagen, Pkw mit Anhänger, Lkw ohne Anhänger, Lkw mit Anhänger, Sattelschlepper, Bus, Straßenbahn, Motorrad, Fahrrad
Überfahren der Haltelinie mit Vorder- und Hinterkanten der Fahrzeuge	Zeitstempel beim Überfahren der Haltelinie mit Vorder- und Hinterkanten der Fahrzeuge
Überfahren einer gedachten Linie beim Ausfahren aus der Kreuzung mit der Vorderkante der Fahrzeuge	Zeitstempel beim Überfahren einer gedachten Linie beim Ausfahren aus der Kreuzung
Fahrtrichtung	gerade, links, rechts
Fahrstreifen	Richtung des Fahrstreifens sowie getrennter oder Mischfahrstreifen
Interaktionen mit bevorrangten Fußgänger- und Radverkehr	ja / nein
Interaktionen mit bevorrangten Fahrzeugen (Abbiegevorgang)	ja / nein
Fahrzeug als Teil einer Kolonne	erstes Fahrzeug einer Kolonne, weiteres Fahrzeug einer Kolonne, Fahrzeug ohne Kolonne
Vorder- und Folgefahrzeug	Information über das voranfahrende und nachfolgende Fahrzeug
VLSA-Phase	VLSA-Phase beim Überquere der Haltelinie mit der Vorderkante, wenn VLSA-Programm vorhanden
Geschwindigkeit	Geschwindigkeit ermittelt aus der Überfahrtszeit und -entfernung
Beschleunigung	Ermittlung der durchschnittlichen Beschleunigung des 1. Fahrzeugs durch vereinfachte Annahme (Geschwindigkeit 0 km bei Überfahren der Haltelinie und gleichmäßige Beschleunigung bis zur Ausfahrt der Kreuzung)
Radius	Radius in m (bei Abbiegerelationen)

Quelle: nast consulting

Aus den ermittelten Parametern wurden die Brutto- und Nettozeitlücke zum voranfahrenden Fahrzeug ermittelt. Weiters wurde die Position in der Kolonne sowie die durchschnittliche Geschwindigkeit für den zurückgelegten Streckenabschnitt ermittelt.

Bei Vorhandensein eines Phasenablaufdiagrammes für Anlagen mit Fixzeitprogramm bzw. des VLSA-Protokolls bei komplexen Programmen mit Anmeldungen für den ÖV und Verlängerung mittels Dehnfugen wurde das Überfahren der Haltelinie der aktuellen Phase zugeordnet sowie die vergangene Zeit zwischen der Phase Grün und dem Überfahren der Haltelinie ermittelt.

4.1.3 Standorte

4.1.3.1 Großebersdorf – B7 Brünner Straße / Julius-Raab-Straße

Die Kreuzung B7 Brünner Straße / Julius-Raab-Straße befindet sich in unmittelbarer Nähe der ASt Eibesbrunn der S1 Wiener Außenring Schnellstraße. Neben der Anbindung an die S1 Wiener Außenring Schnellstraße stellt die B7 Brünner Straße eine bedeutende Hauptverkehrsstraße zwischen Niederösterreich und Wien dar. Die Kreuzung weist aufgrund mehrerer über die Julius-Raab-Straße erschlossener Logistikunternehmen einen hohen Schwerverkehrsanteil auf. Auf der B7 Brünner Straße befindet jeweils ein gemischt geführter Gerade- und Rechtsabbiegestreifen sowie ein Linksabbiegestreifen. In der Julius-Raab-Straße befindet sich ein Rechtsabbiegestreifen sowie ein gemischt geführter Gerade- und Linksabbiegestreifen.

Die Freigabe auf der Julius-Raab-Straße und dem gegenüberliegenden Feldweg erfolgt verkehrabhängig mittels Anmeldung durch Schleifen. Weiters ist eine Verlängerung der Grünzeit des Linksabbiegers aus Richtung Süden im Zuge der B7 Brünner Straße vorgesehen.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beträgt 70 km/h.

Die Erhebung erfolgte am 16.09.2022 zwischen 8 und 9 Uhr.

Abbildung 24: Luftbild B7 Brünner Straße / Julius-Raab-Straße



Quelle: Google Maps, nast consulting

4.1.3.2 Vösendorf – B17 Triester Straße / Rampe A2

Die Kreuzung B17 Triester Straße / Rampe A2 hat eine hohe verkehrliche Bedeutung. Die B17 wird einerseits an die A2 angebunden. Andererseits ist die B17 Triester Straße eine bedeutende Nord-Süd-Verbindung in den Süden Wiens. Die Rampe der Anschlussstelle weist in Fahrtrichtung zur Kreuzung gesehen eine Steigung bis zu ca.4% auf.

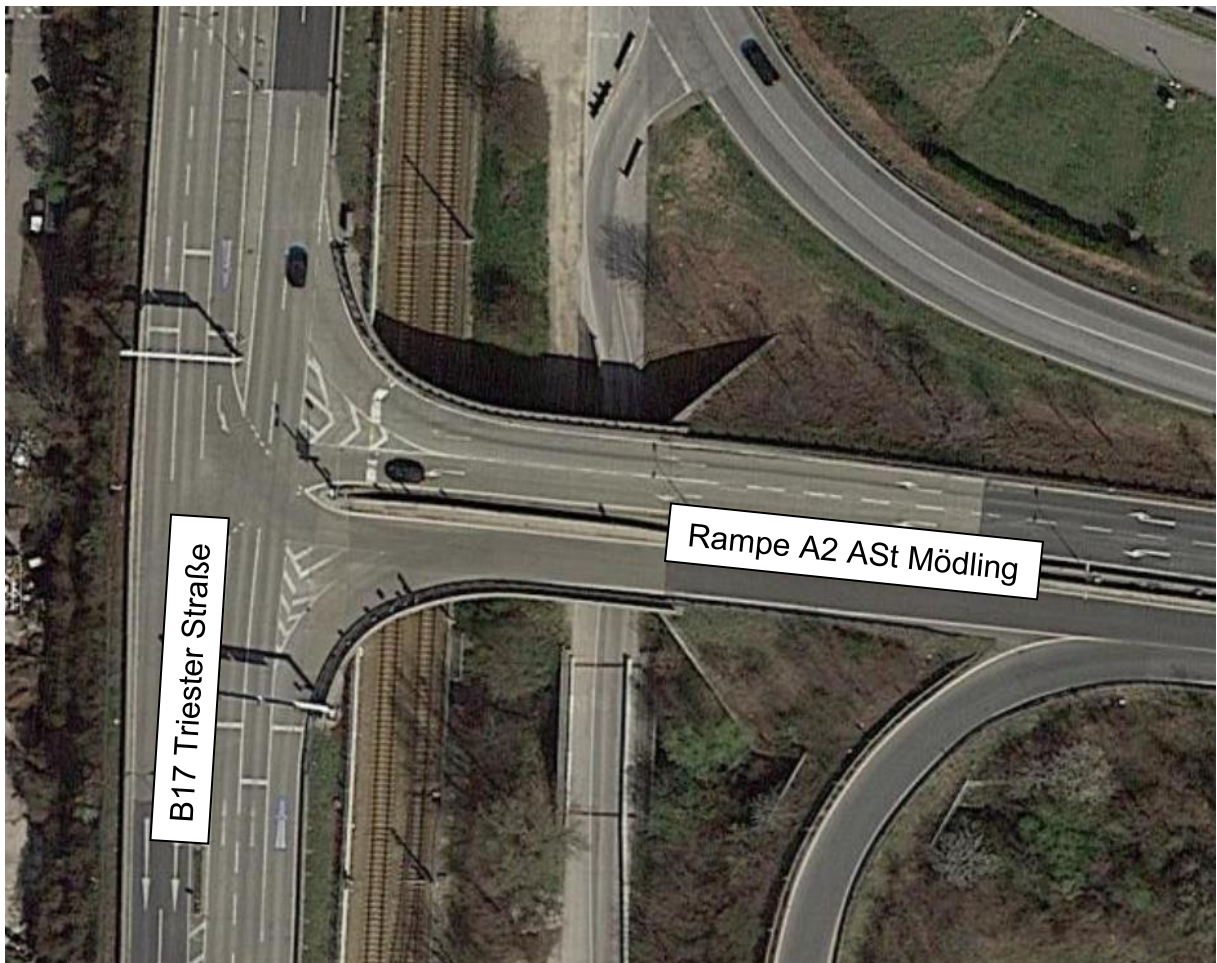
Die B17 Triester Straße weist jeweils zwei Geradeausfahrstreifen und jeweils einen Rechts- und einen Linksabbiegestreifen auf. Auf der Rampe von der A2 Süd Autobahn ist jeweils einen Rechts- und Linksabbiegestreifen vorhanden.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beträgt 70 km/h.

Die VLSA weist Stausonden für die Verlängerung der jeweiligen Grünzeit auf. Ein Rückstau auf die Rampe der A2 Süd Autobahn soll so verhindert werden.

Die Erhebung erfolgte am 21.09.2022 zwischen 7 und 8 Uhr.

Abbildung 25: Luftbild B17 Triester Straße / Rampe A2



Quelle: Google Maps

4.1.3.3 Neusiedl am See – B51 Wiener Straße / Hirschfeldspitz / Kurzes Hirschfeld / Äußeres Hirschfeld

Die Kreuzung B51 Wiener Straße / Hirschfeldspitz / Kurzes Hirschfeld / Äußeres Hirschfeld befindet sich Nahe der B50 Burgenland Straße und der A4 Ost Autobahn und stellt eine wichtige Anbindung für Neusiedl am See dar. Infolge der Anbindung „Äußeres Hirschfeld“ ergibt sich eine 5-armige Kreuzung. Unmittelbar vor der Kreuzung befindet sich auf der B51 Wiener Straße im Süden die Haltestelle „Neusiedl am See Hirschfeldspitz“, die von mehreren Buslinien frequentiert wird. Die Haltestelle ist als Randhaltestelle mit Busbucht ausgeführt.

Die B51 Wiener Straße weist im Kreuzungsbereich 3 Fahrstreifen auf: einen Rechtsabbiegestreifen, einen gemischt geführten Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen, sowie einen Linksabbiegestreifen.

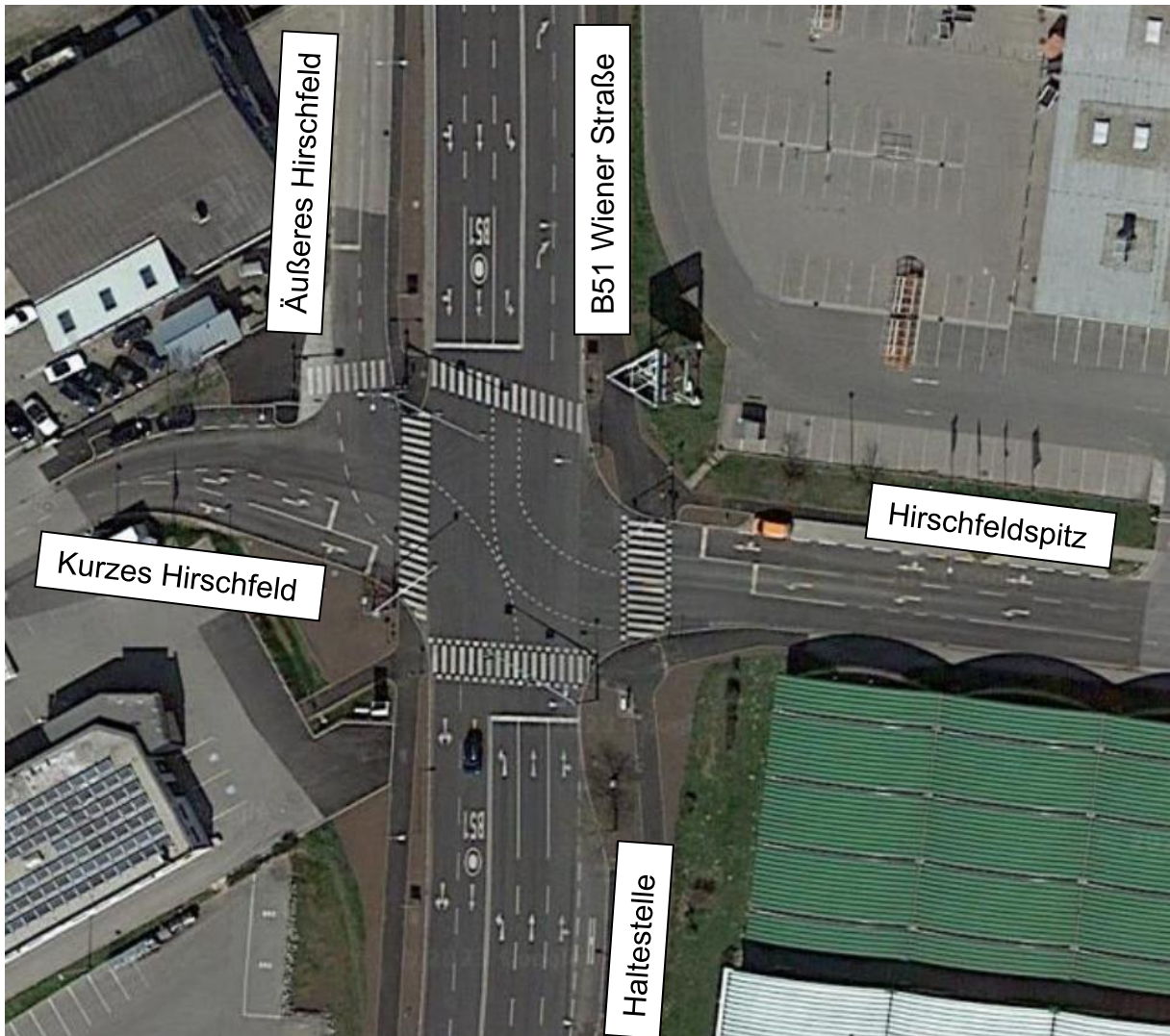
Die Freigabe der Linksabbiegestreifen werden erfolgt nach Anmeldung mittels Schleifensonde.

„Hirschfeldspitz“ und „Kurzes Hirschfeld“ weisen jeweils einen gemischt geführten Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen, sowie ein Linksabbiegestreifen auf. Die Freigabe dieser Relationen erfolgt nach Anmeldung mittels Schleifensonde. An der Zufahrt „Äußeres Hirschfeld“ befindet sich ein Fahrstreifen, der ebenfalls verkehrabhängig freigegeben wird.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Die Erhebung erfolgte am 22.09.2022 zwischen 16 und 17 Uhr.

Abbildung 26: Luftbild B51 Wiener Straße / Hirschfeldspitz / Kurzes Hirschfeld / Äußeres Hirschfeld



Quelle: Google Maps

4.1.3.4 Wien – B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße

Die Kreuzung weist aufgrund mehrerer Straßenbahnlinien eine komplexe Verkehrsführung auf. Aufgrund der Anlage der Kreuzung wurde der nördliche Teil der B7 Brünner Straße und Schloßhofer Straße in die Auswertung miteinbezogen.

Auf der B7 Brünner Straße befindet sich ein gemischt geführter Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen sowie ein Linksabbiegestreifen. In der Schloßhofer Straße ist ein getrennt geführter Rechtsabbiegestreifen und ein gemischt geführter Geradeaus- und Linksabbiegestreifen vorhanden. Auf der B7 Brünner Straße wird die Straßenbahn am Gleiskörper in Fahrbahnmitte vom übrigen Fahrzeugverkehr getrennt und in der Schloßhofer Straße auf der Fahrbahn gemischt mit dem Kfz-Verkehr geführt.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Die VLSA weist eine Beeinflussung durch die Straßenbahn auf. Aufgrund der zahlreichen dynamischen Beeinflussungen auf die VLSA wurde zur Analyse der Signalzeitenplan der MA 33 Wien leuchtet verwendet.

Die Erhebung erfolgte am 27.09.2022 zwischen 16 und 17 Uhr.

Abbildung 27: Luftbild B7 Brünnner Straße / Schloßhofer Straße



Quelle: Google Maps

4.1.3.5 Linz – Hafenstraße / Straßerau / Untere Donaulände

Die Kreuzung Hafenstraße / Straßerau / Untere Donaulände weist an 3 Armen ein hohes Verkehrsaufkommen auf. Nördlich der Hafenstraße befindet sich die ASt Hafenstraße der A7 Mühlkreis Autobahn. Der Arm Straßerau führt zur Neuen Eisenbahnbrücke, die eine wichtige Donauquerung für den Kfz-Verkehr darstellt. Die Untere Donaulände bindet das Linzer Stadtzentrum an. Die östliche Hafenstraße erschließt als Sackgasse ein Gewerbegebiet. Über die Kreuzung werden wichtige Radverkehrsrelationen geführt.

Die Hafenstraße im Norden weist 4 Fahrstreifen im Kreuzungsbereich auf: einen Fahrstreifen für Busse, einen Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen, einen Geradeausstreifen, sowie einen Linksabbiegestreifen. Die Freigabe für den Busstreifen erfolgt im Vor- oder Nachlauf des Hauptsignals auf der Hafenstraße.

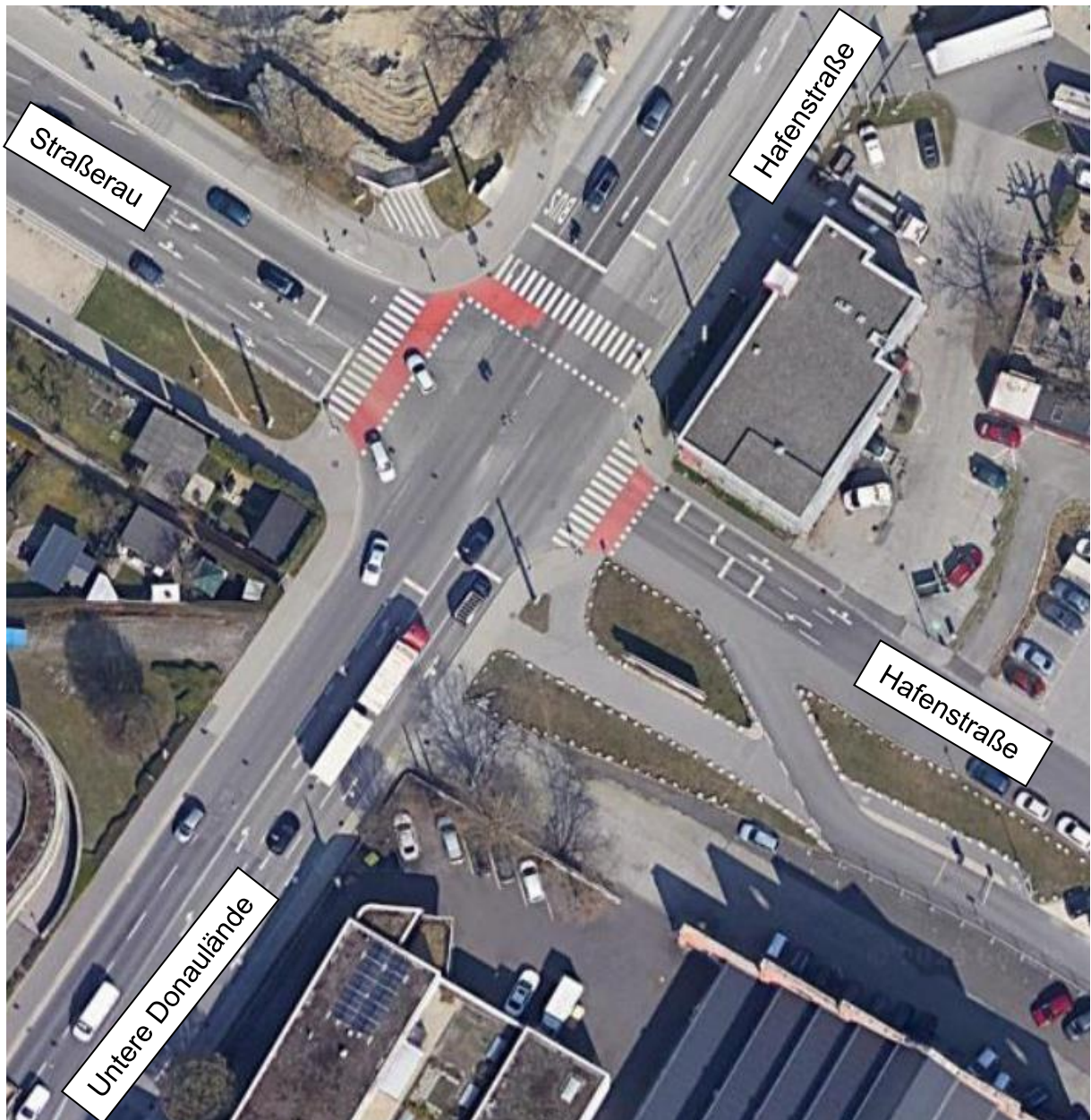
In der Straßerau befindet sich ein Rechtsabbiegestreifen, ein gemischt geführter Geradeaus- und Linksabbiegestreifen sowie ein Linksabbiegestreifen. Während der Erhebung wurde jedoch die Verkehrsführung geändert, sodass der Linksabbiegestreifen gesperrt war. Auf der Unteren Donaulände befindet sich ein Rechtsabbiegestreifen, ein gemischt geführter Geradeaus- und Linksabbiegestreifen sowie ein Linksabbiegestreifen. In der Hafenstraße Ost befindet sich ein gemischt geführter Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen sowie ein Linksabbiegestreifen.

Bei allen Armen der Kreuzung sind im VLSA-Programm Dehnfugen eingefügt, an denen die Grünzeit je nach Phase um bis zu 15 Sekunden verlängert werden kann. Da eine Aufzeichnung des Signalprogramms nicht zur Verfügung steht kann aufgrund der zahlreichen Dehnpunkte das genaue Signalprogramm nicht nachvollzogen werden.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Die Erhebung erfolgte am 01.06.2023 zwischen 16 und 17 Uhr.

Abbildung 28: Luftbild Hafenstraße / Straßerau / Untere Donaulände



Quelle: Google Maps

4.1.3.6 Eisenstadt – Koordinierte VLSA B50 Ödenburgerstraße (Kreuzung mit Lobzeile und Bahnstraße)

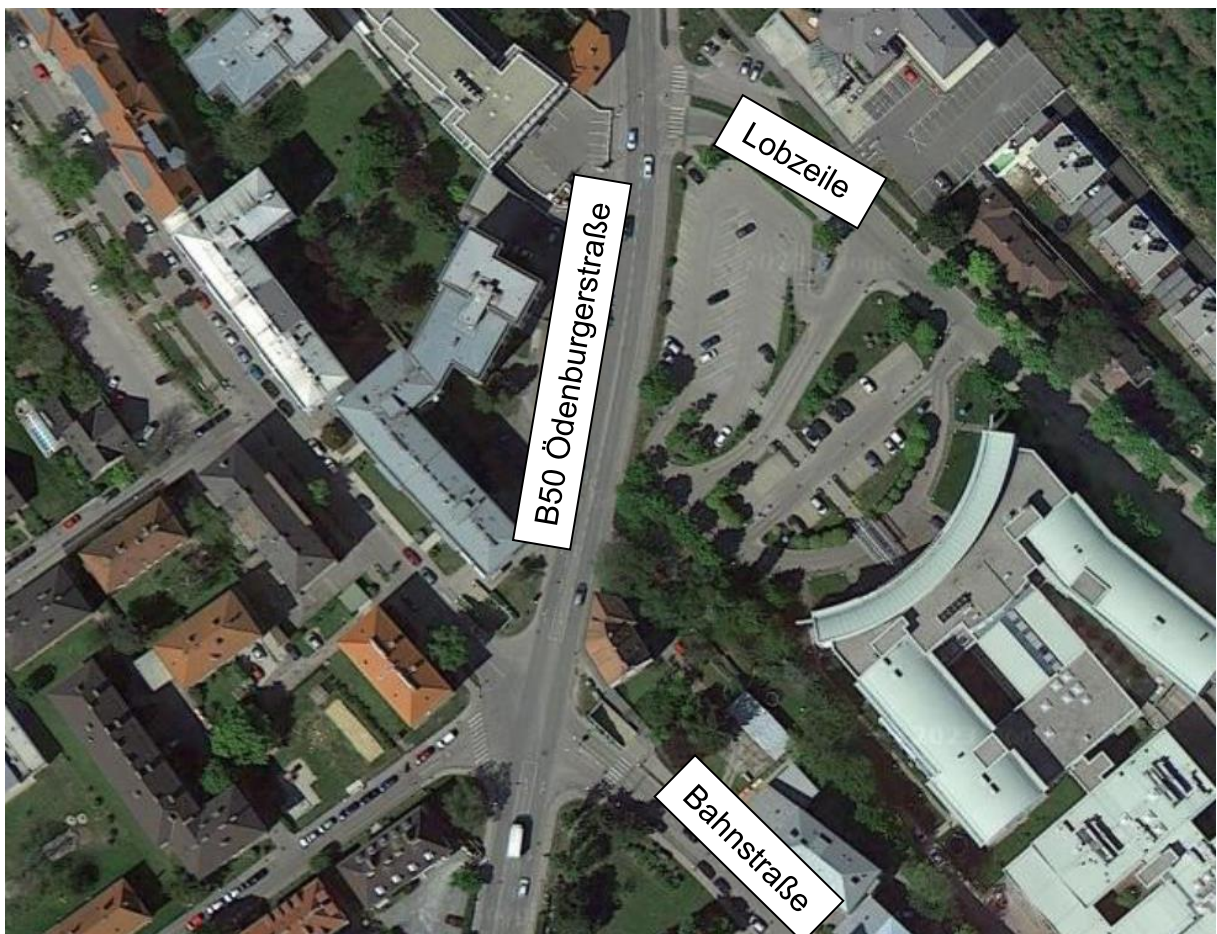
Im Zuge der B50 Ödenburgerstraße sind die Kreuzungen mit der Feldstraße, Lobzeile und Bahnstraße mit einer koordinierten VLSA ausgestattet.

In der Untersuchung wurde die Koordinierung der Kreuzung Lobzeile und Bahnstraße analysiert.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit auf der B50 Ödenburgerstraße beträgt 50 km/h und auf den restlichen Relationen 30 km/h.

Die Erhebung erfolgte am 29.06.2023 zwischen 16 und 17 Uhr.

Abbildung 29: Luftbild B50 Ödenburgerstraße (Kreuzung mit Lobzeile und Bahnstraße)



Quelle: Google Maps

4.1.3.7 Wien – Museumsplatz / Burggasse

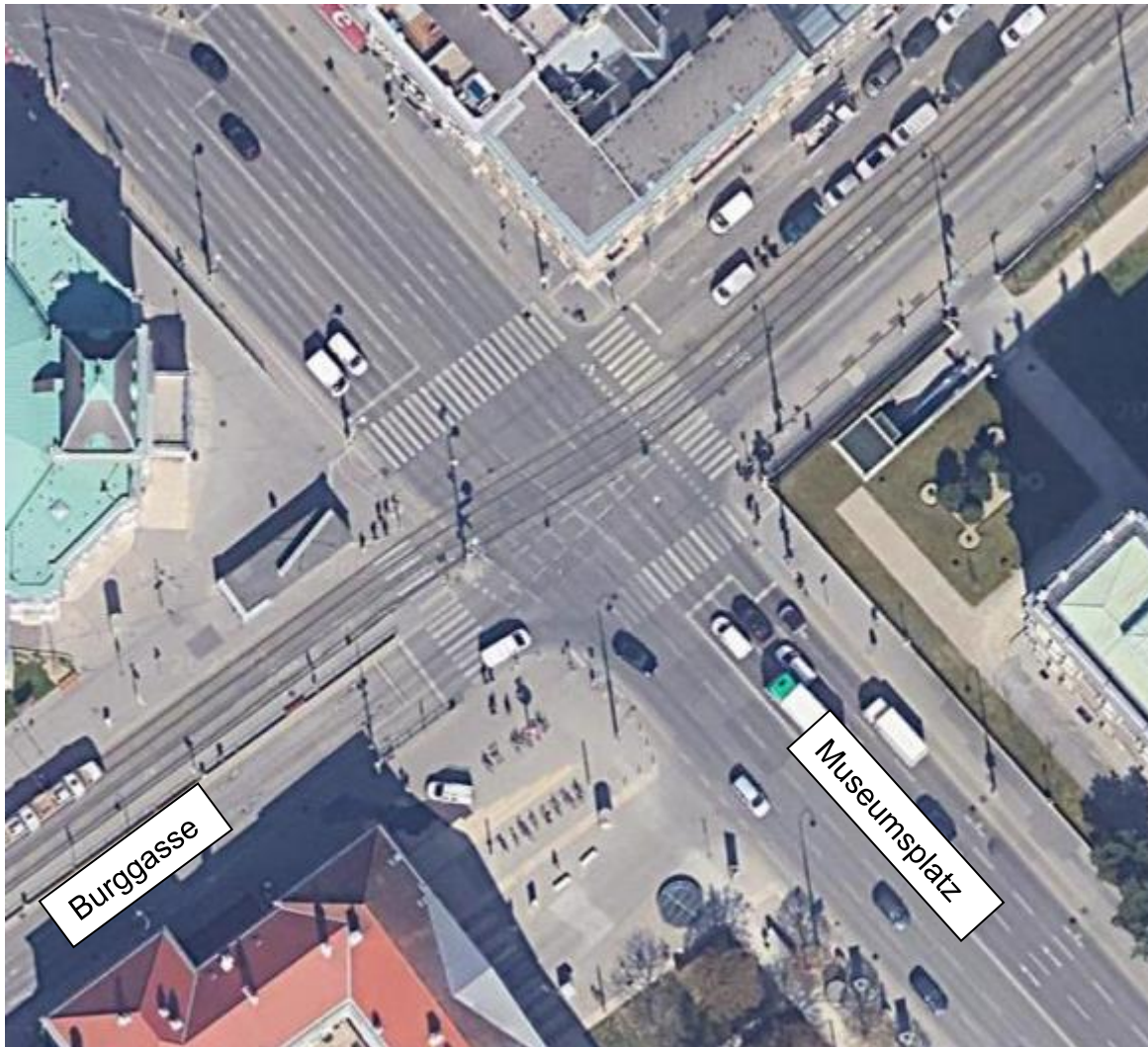
Die Kreuzung Museumsplatz / Burggasse wurde wegen der Interaktion zwischen abbiegenden Fahrzeugkern aus der Burggasse und dem Fußverkehr gewählt. Der Schutzweg über den Museumsplatz hat hohe Bedeutung für den Fußverkehr. In der Burggasse existieren 3 Fahrstreifen: ein Rechtsabbiegestreifen, ein gemischt geführter Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen, sowie ein Linksabbiegestreifen. Am gemischt geführten Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen sowie am Linksabbiegestreifen ist jeweils eine vorgezogene Haltelinie für den Radverkehr ausgeführt.

Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit in der Burggasse beträgt 30 km/h und auf dem Museumsplatz 50 km/h.

Im Phasenablauf erfolgt die Freigabe für Fußgänger am Schutzweg 4 Sekunden vor dem Fahrzeugverkehr in der Burggasse. Für den Fußgängerverkehr beträgt die Freigabezeit 12 Sekunden. Für den Fahrzeugverkehr in der Burggasse endet die Grünzeit 6 Sekunden nach dem Grünzeitende für den Fußgängerverkehr.

Die Erhebung erfolgte am 18.01.2023 zwischen 16 und 17 Uhr.

Abbildung 30: Luftbild Museumsplatz / Burggasse



Quelle: Google Maps

4.1.3.8 Wien – B221 Neubaugürtel / Urban-Loritz-Platz

Auf der B221 Neubaugürtel befinden in sich Fahrtrichtung Norden vor dem Urban-Loritz-Platz insgesamt 4 Fahrstreifen mit den Fahrrichtungen gerade-rechts, gerade, gerade, und gerade-links. Die Haltelinie des gemischt geführten Linksabbiegers ist rückversetzt. Weiters queren Straßenbahngleise von der Westbahnstraße und dem Urban-Loritz-Platz. Auf der Seite der Westbahnstraße können Fußgänger parallel zur B221 Neubaugürtel queren. Auf der Seite des Urban-Loritz-Platz befindet sich unmittelbar neben der B221 Neubaugürtel eine Radfahrüberfahrt sowie eine von der Straße versetzte Fußgängerquerung.

Aufgrund der komplexen Verkehrsführung im Kreuzungsbereich wird die Kreuzung durch eine Lichtsignalanlage mit Fixzeitprogramm gesteuert.

Die Erhebung erfolgte am 06.11.2023 zwischen 16:30 und 17:30 Uhr.

Abbildung 31: Luftbild B221 Neubaugürtel / Urban-Loritz-Platz



Quelle: Google Maps

4.2 Erhebungen zum Ablenkungsverhalten

4.2.1 Untersuchungsdesign

Testerhebungen führten neben einer Ausweitung der eingesetzten Methoden – ursprünglich waren lediglich Beobachtungen vor Ort geplant, die letztlich durch Videoaufzeichnungen ergänzt wurden – zur Auswahl der endgültigen Pilotkreuzungen. Während ursprünglich stark befahrene und weniger stark befahrene sowie komplexe vs. einfache Kreuzungen untersucht werden sollten, wurde die Auswahl am Ende auf mutmaßlich stark frequentierte, weniger komplexe VLSA eingeschränkt. Einerseits war es nur so möglich, unbeeinflusstes LenkerInnenverhalten zu beobachten, andererseits war realistischerweise nur bei stark befahrenen Kreuzungen mit einem Einfluss von Ablenkung auf die VLSA-Leistungsfähigkeit zu rechnen.

Insgesamt wurden, wie bereits angesprochen, fünf Pilotkreuzungen ausgewählt. An jeder dieser Kreuzungen sollte in weiterer Folge zu den Verkehrsspitzen – 6.30 bis 8.30 Uhr und 15.30 bis 17.30 Uhr – beobachtet werden. Letztlich war dies jedoch nur bei drei der fünf Kreuzung möglich, da an zwei Kreuzungen in der Früh ein zu geringes Verkehrsaufkommen zu beobachten war, was Ablenkungseffekte unmöglich messbar machte.

Durchgeführt wurden die Erhebungen von April bis Juli 2023 mit Hilfe

- a) eines Verkehrszählungsbogens,
- b) zweier Verhaltensbeobachtungsbögen und
- c) einer Videokamera.

Für die Verkehrszählung und die Verhaltensbeobachtung waren dabei insgesamt drei ErheberInnen vonnöten, die sich möglichst unauffällig am Straßenrand positionierten. Der/die VerkehrszählerIn und einer der VerhaltensbeobachterInnen standen dabei in der Nähe der Haltelinie und der/die zweite VerhaltensbeobachterIn etwa 10 m davon entfernt. Die unscheinbare Videokamera wurde ebenfalls in der Nähe der Haltelinie platziert, wobei sie sowohl das erste bei Rotlicht wartende Fahrzeug sowie die Haltelinie und eine der VLSA gleichzeitig aufnehmen musste, um zeitliche Rückschlüsse zu ermöglichen. Alle aufgezeichneten Videos wurden im Anschluss an die anonyme Auswertung der Anfahrzeiten wieder gelöscht.

Abbildung 32: Videokamerasetting



Quelle: KFV

Die Verhaltensbeobachtung konzentrierte sich ausschließlich auf die Geradeausfahrenden, die bei den ausgewählten Kreuzungen bewusst von den Abbiegenden getrennt waren. Des Weiteren wurde nur während der Rotphase das Verhalten der wartenden LenkerInnen beobachtet, da nur so beim Umschalten auf Grün eventuelle Anfahrverzögerungen aufgrund von Ablenkung gemessen werden konnten. Konkret wurde bei Rotlicht das Verhalten der Lenkenden in den ersten drei Fahrzeugen durch ErheberInnen beobachtet. Weitere ErheberInnen notierte Auffälligkeiten in den Fahrzeugen vier bis sechs.

Unterschieden wurden hierbei folgende Ablenkungsarten, da sich diese in früheren Untersuchungen am häufigsten fanden:

- Sprechen (Anmerkung: Eine Unterscheidung danach, ob der/die Lenkende mit sich selbst, Mitfahrenden oder über eine Freisprecheinrichtung kommuniziert, war dabei von außen nicht möglich.)
- Telefonieren ohne Freisprecheinrichtung (d.h., dass Smartphone wurde mit der Hand ans Ohr gehalten)
- Bedienung des Smartphones
- Rauchen
- Essen oder Trinken
- Sonstige Tätigkeiten
- Reize außerhalb des Fahrzeugs¹

Zusätzlich zu den Ablenkungsarten wurde die Fahrzeugart und Warteposition der abgelenkten LenkerInnen notiert, da diese Faktoren als Moderatorvariablen eingestuft worden. Außerdem wurden Alter und Geschlecht der Lenkenden geschätzt, um eventuelle Gruppenunterschiede ausschließen zu können. Fahrzeugfarben und beobachtbare Verzögerungen wurden darüber hinaus lediglich erhoben, um die Videodaten mit den Beobachtungsdaten abgleichen zu können.

Neben den genannten Faktoren wurde aus der Verhaltensbeobachtung die Auslastung des beobachteten Fahrstreifens in der beobachteten Fahrtrichtung abgeleitet. So flossen am Ende nur die Ampelphasen in die Ablenkungsauswertung ein, in denen mindestens sechs Fahrzeug bei Rotlicht warteten. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass jeweils eine hohe Verkehrsstärke gegeben und somit ein messbarer Einfluss von Ablenkung auf die VLSA-Leistungsfähigkeit potenziell möglich war.

Die Verkehrszählung erfolgte in jeder Grünphase innerhalb des jeweils zweistündigen Beobachtungszeitraums. Es wurden jedoch ausschließlich die Fahrzeuge erfasst, die sich auf dem beobachteten Fahrstreifen in beobachteter Fahrtrichtung befanden.

¹ Die Ablenkung durch die BeobachterInnen wurde dabei nicht mitkodiert, um das Ergebnis nicht zu verfälschen. Prinzipiell waren die Beobachtenden relativ unauffällig, lediglich im Freiland kam es seitens der Lenkenden häufiger zu Blickzuwendungen, da hier im Normalfall keine Personen am Straßenrand stehen bzw. gehen.

Die Fahrzeugarten wurden entsprechend der RVS 05.04.32 Verkehrslichtsignalanlagen unterschieden, um sie anschließend in Pkw-Einheiten umrechnen zu können.

- Fahrrad
- Moped, Motorrad
- Pkw
- Lkw, Bus, Traktor
- Gelenkbus, Sattelschlepper
- Lkw mit Anhänger, Traktor mit Anhänger

Kleintransporter wurden im Verkehrszählbogen gesondert erfasst, da dies in KFV-Erhebungen in der Regel der Fall ist. Für die Auswertung hatte dies jedoch keinerlei Relevanz, da Kleintransporter hier wieder den Pkw zugeordnet wurden. Auf Wunsch der Ansprechpartner für inhaltliche Fragen wurden von den VerkehrszählerInnen außerdem die Gelb- und Rotlichtüberfahrten erfasst.

Die Videoaufzeichnungen erfolgten jeweils über den zweistündigen Beobachtungszeitraum hinweg. Im Nachhinein wurden alle Grünlichtphasen analysiert, denen laut Beobachtungsbögen eine Rotlichtphase mit mindestens sechs wartenden Fahrzeugen und damit ein hohes Verkehrsaufkommen voran ging. Ergebnis der Videoanalyse waren die genauen Anfahrzeiten, d.h. wie lange die ersten sechs Fahrzeuge nach dem Umschalten von Rot auf Grün bis zum Erreichen der Haltelinie benötigt haben. Diese Anfahrzeiten wurden in weiterer Folge mit den erhobenen Ablenkungsdaten verschnitten, um Phasen mit und ohne Ablenkung gegenüberstellen zu können.

4.2.2 Standorte

In mehreren Sitzungen mit den Ansprechpartnern für inhaltliche Fragen wurden diverse Vorschläge abgewogen und letztlich die im Folgenden beschriebenen Kreuzungen ausgewählt.

4.2.2.1 Wien – Schemmerlstraße / Mittelfeldgasse (Pilotkreuzung 1)

Koordinaten: 48.165358, 16.415113

Beobachtungszeitraum: Dienstag, 18.04.2023 von 15:30 bis 17:30 Uhr

Die erste Pilotkreuzung liegt in einer 50er-Zone im 11. Wiener Gemeindebezirk. Hier wurde lediglich am Nachmittag in Richtung Schwechat beobachtet (siehe roter Pfeil in Abbildung 33), da sich in Gegenrichtung unmittelbar vor der Ampelkreuzung eine häufig angefahrene Bushaltestelle ohne Haltebucht befindet, die die Beobachtungen verfälschen würde (siehe orangener Kreis in Abbildung 33). Die drei Beobachtenden positionierten sich, wie in der folgenden Abbildung durch ein grünes Icon angedeutet, entlang des rechten Fahrbahnrandes mit deutlichem Abstand zueinander.

Abbildung 33: Pilotkreuzung 1 – Schemmerlstr./Mittelfeldg., 1110 Wien



Quelle: Google Street View

4.2.2.2 Wien – Wientalstraße / Brauhausbrücke (Pilotkreuzung 2)

Koordinaten: 48.199184, 16.254559

Beobachtungszeiträume: Mittwoch, 28.06.2023 von 6:30 bis 8:30 und 15:30 bis 17:30 Uhr

Die zweite Pilotkreuzung liegt im Bereich Wiener Westeinfahrt im 13. Bezirk. Hier kam es unmittelbar nach der Beobachtung aufgrund einer Sperre der Westausfahrt zu einer geänderten Streckenführung. Obgleich diese bereits im Juni vorbereitet wurde, konnte keinerlei Einfluss auf die Erhebung festgestellt werden.

Beobachtet wurde, wie der rote Pfeil in Abbildung 34 zeigt, lediglich der ganz rechte Fahrstreifen stadteinwärts, da nur dort alle Fahrzeuge problemlos eingesehen werden konnten. Das Gelände zwischen Gehsteig und Fahrbahn bewirkte hierbei, dass die Beobachtenden sehr unauffällig und gleichzeitig sicher erheben konnten.

Abbildung 34: Pilotkreuzung 2 – Wientalstr./Brauhausbrücke, 1130 Wien



Quelle: Google Street View

4.2.2.3 Wien – Brünner Straße / Angerer Straße (Pilotkreuzung 3)

Koordinaten: 48.260093, 16.399101

Beobachtungszeiträume: Donnerstag, 29.06.2023 von 6:30 bis 8:30, 15:30 bis 17:30 Uhr

Pilotkreuzung 3 im 21. Wiener Gemeindebezirk wurde aus zweierlei Fahrrichtungen betrachtet, da die Verkehrsstärke in der Früh stadteinwärts (vgl. Abbildung 35) und am Nachmittag stadtauswärts in Richtung Mistelbach (vgl. Abbildung 36) größer ausfiel. Beobachtet wurde jeweils der geradeaus führende Fahrstreifen, wobei sich die Beobachtenden am Gehsteigrand platzierten.

Abbildung 35: Pilotkreuzung 3 – Brünner Str./Angerer Str., Hermann-Bahr-Str., 1210 Wien, Fahrrichtung A22 stadteinwärts



**Abbildung 36: Pilotkreuzung 3 – Brünner Str./Angerer Str., Hermann-Bahr-Str., 1210 Wien,
Fahrrichtung Mistelbach stadtauswärts**



Quelle: Google Street View

4.2.2.4 Deutsch-Wagram – B8/L6 (Pilotkreuzung 4)

Koordinaten: 48.295688, 16.558739

Beobachtungszeitraum: Dienstag, 11.07.2023 von 15:30 bis 17:30 Uhr

Die vierte Pilotkreuzung befindet sich in Niederösterreich. Sie konnte aufgrund der örtlichen Verkehrsführung und Verkehrsstärke lediglich am Nachmittag in Richtung Deutsch-Wagram beobachtet werden.² Die Kreuzung wurde ausgewählt, da sie häufiger als viele andere Kreuzungen von Schwerverkehr frequentiert wird. Auf diese Weise sollte geprüft werden, welche Rolle Ablenkung bei längeren und schweren Fahrzeugen in Bezug auf die VLSA-Leistungsfähigkeit spielt.

Abbildung 37: Pilotkreuzung 4 – B8/L6, 2232 Deutsch-Wagram



Quelle: Google Street View

² Richtung Deutsch-Wagram war das Verkehrsaufkommen in der Früh sehr gering. In Gegenrichtung war aufgrund der Wien-PendlerInnen in der Früh zwar die nötige Verkehrsstärke gegeben, der relevante Fahrstreifen erlaubte jedoch im Kreuzungsbereich neben dem Geradeausfahren mehrere Abbiegeszenarien und somit kein unverfälschtes Beobachten potenzieller Ablenkungseffekte.

4.2.2.5 St. Pölten – B1a/Purkersdorfer Straße (Pilotkreuzung 5)

Koordinaten 48.199894, 15.656720

Beobachtungszeit: Donnerstag, 13.07.2023 von 6:30 bis 8:30, 15:30 bis 17:30 Uhr

Kreuzung 5 befindet sich im Freiland in einer 70er-Zone in der Nähe von St. Pölten. In der Früh wurde entsprechend der Verkehrsstärke der geradeaus führende Fahrstreifen in Richtung St. Pölten beobachtet, nachmittags der geradeaus führende Fahrstreifen Richtung A1 und S33. Da im Kreuzungsbereich keine Aufstellmöglichkeit für die Beobachtenden gegeben war, positionierten sie sich, wie in Abbildung 38 und Abbildung 39 mittels Icons angedeutet, am Feldrand.

Abbildung 38: Pilotkreuzung 5 – B1a/Purkersdorfer Str., 3100 St. Pölten, Fahrtrichtung St. Pölten



Quelle: Google Street View

Abbildung 39: Pilotkreuzung 5 – B1a/Purkersdorfer Str., 3100 St. Pölten, Fahrtrichtung A1/S33



Quelle: Google Street View

5 MIKROSKOPISCHE SIMULATIONEN

Wie bereits eingangs erwähnt wurden die Erhebungsergebnisse als Grundlage für mikroskopische Simulationen verwendet. Für unterschiedliche VLSA-Anlagen und Verkehrsfrequenzen wurde die Leistungsfähigkeit ermittelt, um genauere Werte für die Abminderungsfaktoren in Ergänzung zu den derzeit in der RVS 05.04.32 angeführten Wertebereichen abzuleiten.

Die Simulationen erfolgten mit VISSIM der PTV AG.

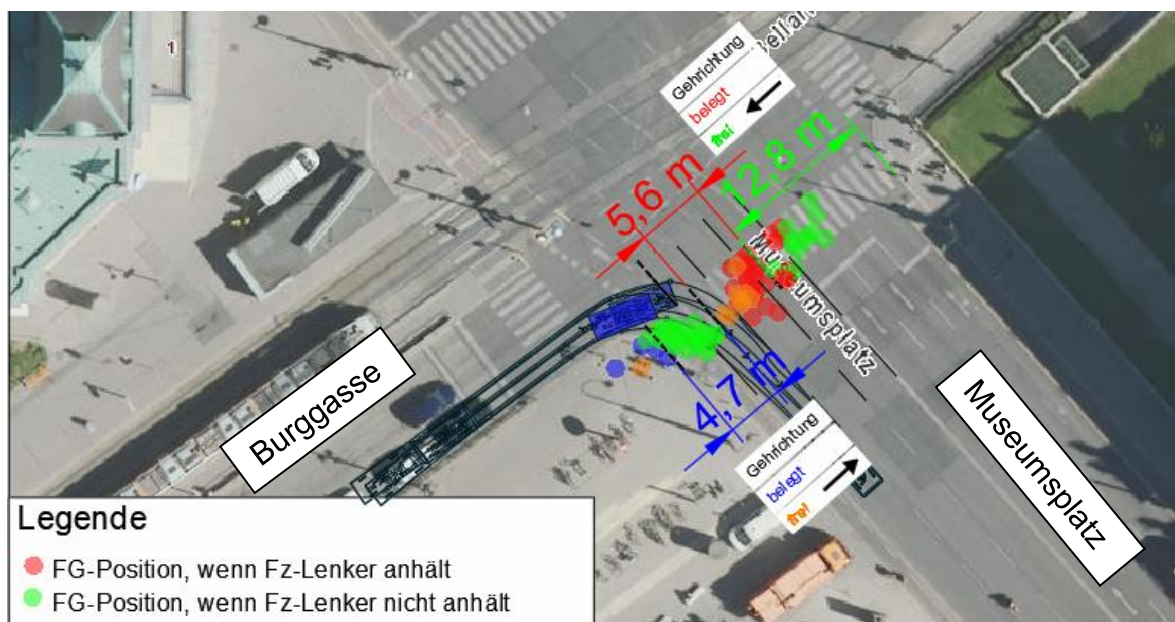
5.1 Simulationen des Fußgänger- und Radverkehrs

Zur Ableitung von Abminderungsfaktoren für variierende Fußgänger- und Radverkehrsströme wurden unterschiedliche Standardlayouts von Kreuzungsgeometrien simuliert.

5.1.1 Referenzfall

Als Referenz- und Kalibrierungsfall wurde die Kreuzung Museumsplatz / Burggasse herangezogen, für den detaillierte Parameter aus den Erhebungsergebnissen abgeleitet wurden. Die folgende Abbildung zeigt die Konfliktflächen, die in der Simulation zugrunde gelegt wurden.

Abbildung 40: Definition der Konfliktflächen für den Referenzfall

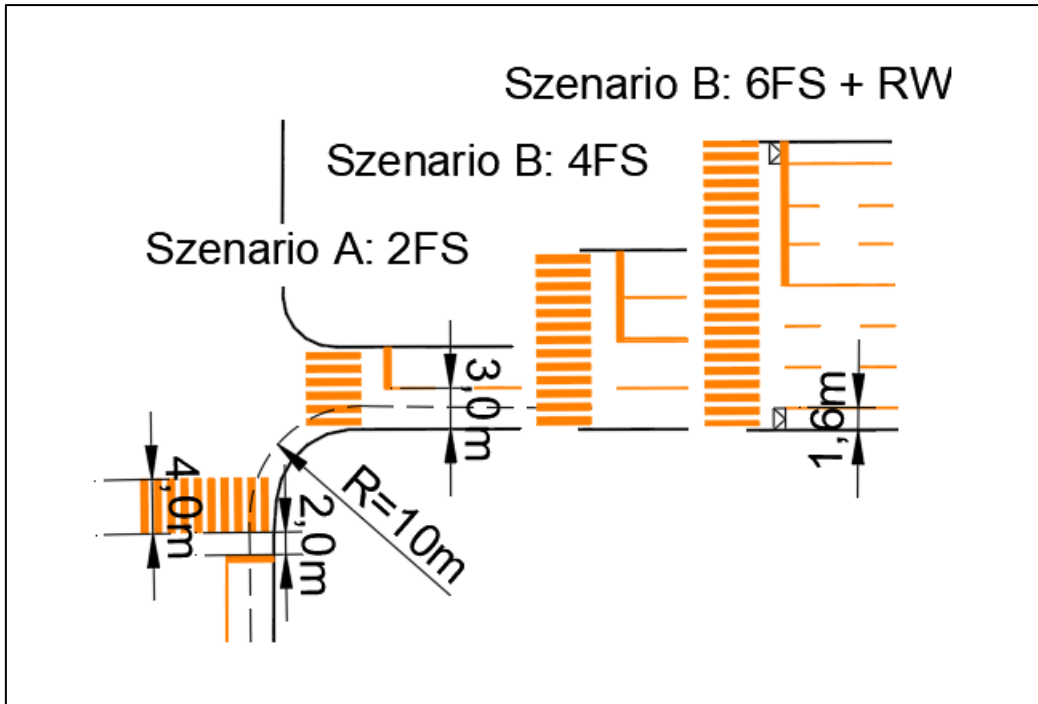


Quelle: Googlemaps, nast consulting

5.1.2 Standardfälle

In einem weiteren Schritt wurde die Kreuzungsgeometrie wie in der folgenden Abbildung dargestellt variiert.

Abbildung 41: Variierung der Grundannahmen für die Simulation



Quelle: nast consulting

6 AUSWERTUNGEN

6.1 Verkehrstechnik

6.1.1 Einleitung

Die Bruttozeitlücken wurden aus der Differenz der Zeitpunkte der Überfahrten aufeinander folgender Fahrzeuge über die Haltelinie ermittelt. Die Zeitpunkte aus den Videoaufzeichnungen wurden durch Beobachter ermittelt, da sich eine rein automatische softwaregestützte Auswertung als zu ungenau erwies. Dieses aufwendigere Auswertungsverfahren ermöglichte gleichzeitig eine Qualitätssicherung der Daten. Aus den Daten für Einzelfahrzeuge wurden aggregierte Werte (Mittelwert, Median, Quartile) berechnet.

Im Zuge der Videobeobachtungen wurden Situationen identifiziert, welche für einen regulären Verkehrsablauf atypisch sind (z.B. Überfahrten über die gesamte Kreuzung während der Rotzeit, Auftreten von Einsatzfahrzeugen). Die Daten derartiger Beobachtungen wurden bei der Analyse ausgeschlossen, um standardisierte Rahmenbedingungen zu erhalten.

Fahrzeuge, die sich während einer Rotphase an die Kreuzung annäherten und die Haltelinie mit der Vorderkante bereits bei der Rotphase überfahren, wurden hinsichtlich der Zeitlücken wie folgt korrigiert: Die negative Zeitdifferenz zwischen Überfahrzeitpunkt und dem Zeitpunkt des Beginns der Freigabezeit wurde durch einen Korrekturwert ersetzt. Der Korrekturwert wurde durch die typische Zeitdauer zwischen der Überfahrt der Vorderkante und der Hinterkante des Fahrzeugs festgelegt. Damit können realistische Werte für die Berechnung der Zeitlücken gefunden werden.

Wie bereits angeführt wurden Fahrzeuge, die die gesamte Kreuzung bei Rotlicht überquert haben, aus der Auswertung ausgeschieden. Weiters wurden Fahrzeuge aus der Auswertung ausgeschlossen, die während der Freigabezeit zugunsten anderer wartepflichtiger Verkehrsteilnehmer auf ihre ungehinderte Durchfahrt verzichteten, im Kreuzungsbereich wendeten oder die durch Bodenmarkierung vorgeschriebene Fahrtrichtung missachteten. Dies betrifft ebenfalls lediglich Einzelfahrzeuge.

Derartige Fahrmanöver konnten vor allem auch im Zusammenhang mit der Querung von Einsatzfahrzeugen während der Freigabezeit beobachtet werden.

Fahrzeuge wurden einer Kolonne zugeordnet, wenn diese vor der Lichtsignalanlage angehalten haben oder wenn zufließende Fahrzeuge in ihrem Fahrverhalten durch Kolonnenfahrzeuge beeinflusst werden.

6.1.2 Anzahl der beobachteten Fahrzeuge

In der folgenden Tabelle wird die Anzahl an erhobenen Fahrzeugen sowie die Anzahl der Fahrzeuge im Kolonnenverkehr nach Fahrzeugklasse getrennt dargestellt.

Tabelle 11: Statistische Daten zu den erhobenen Fahrzeugen

Fahrzeugklasse	Anzahl an Fahrzeugen	%Anteil	Anzahl an Fahrzeugen in Kolonne	%Anteil
Bus	86	1,0	38	0,6
Liefer	785	8,8	530	9,0
Lkw m. Anh.	24	0,3	15	0,3
Lkw o. Anh.	158	1,8	99	1,7
Motorrad	211	2,4	146	2,5
Pkw	7.415	83,4	4.921	83,9
Pkw m. Anh.	40	0,4	22	0,4
Rad	82	0,9	64	1,1
Sattel	51	0,6	25	0,4
Straßenbahn	44	0,5	6	0,1
Gesamtergebnis	8.896	100,0	5.866	100,0

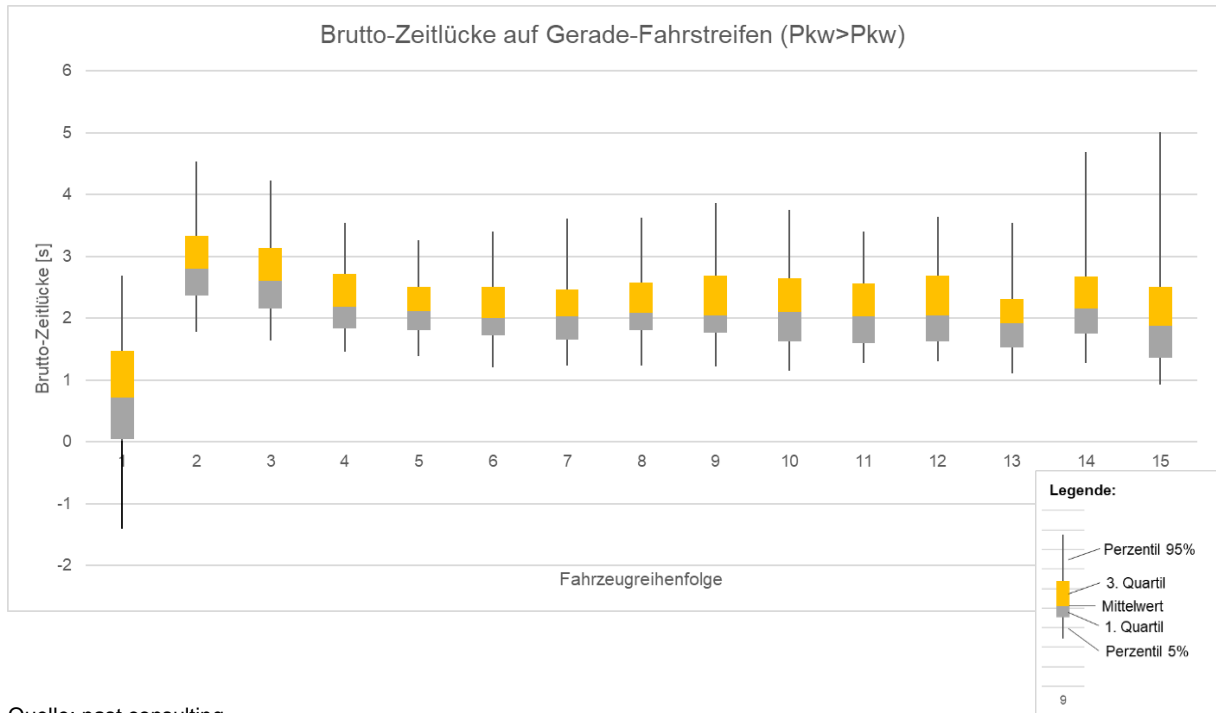
Quelle: nast consulting

Es dominierten Pkws, gefolgt von Lieferfahrzeugen und Lkw ohne Anhänger.

6.1.3 Bruttozeitlücken Vorderkante Haltelinie

In der folgenden Abbildung sind die Brutto-Zeitlücken zwischen Pkws auf Geradeausfahrstreifen in Abhängigkeit der Fahrzeugposition als Box-Plot-Diagramm dargestellt.

Abbildung 42: Brutto-Zeitlücke auf Geradeausfahrstreifen (Pkw>Pkw)



Quelle: nast consulting

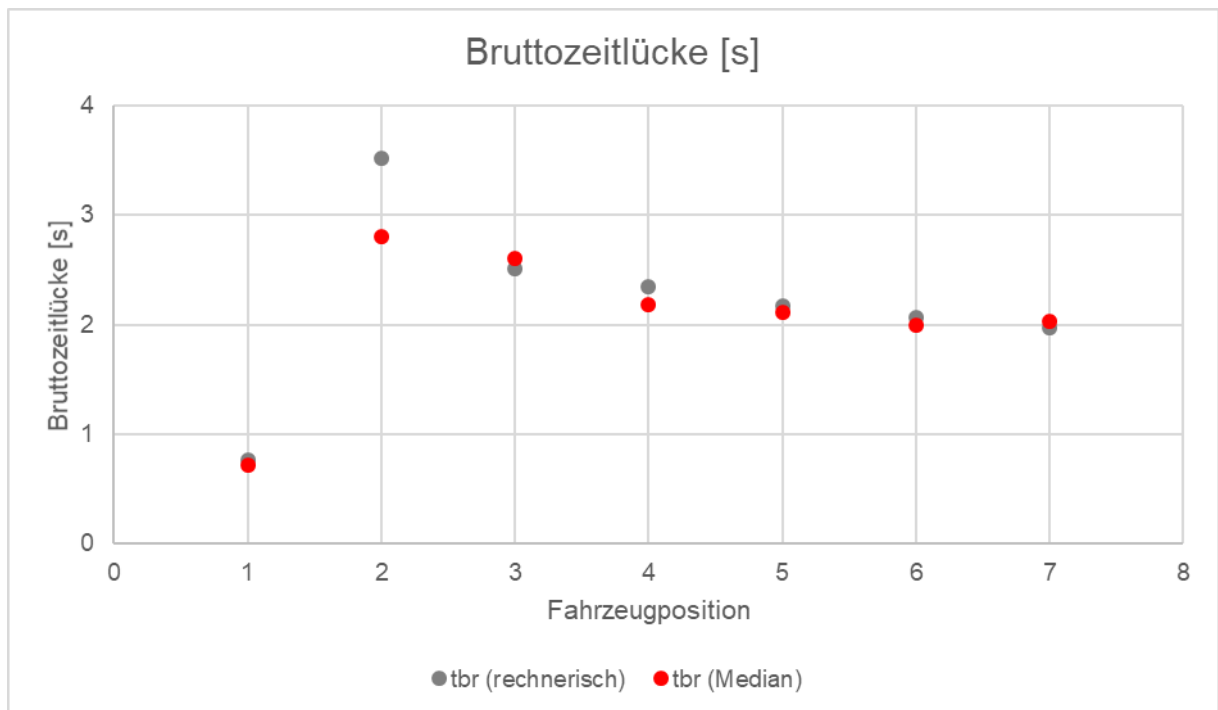
Es zeigt sich, dass Fahrzeuge in erster Position unterdurchschnittliche Zeitlücken zum Beginn der Freigabezeit aufweisen. Der Median beträgt 0,7 s. Offensichtlich bereiten sich LenkerInnen bereits während der vorangehenden 2 s Rotgelb-Phase auf den Anfahrvorgang vor, sodass die Haltelinie nur mit geringem Zeitverzug überfahren werden kann. Bei frühzeitigem Überfahren der Haltelinie sind beim Fahrzeug in 1. Position auch negative Werte möglich.

Das zweite und dritte Fahrzeug weist eine deutlich höhere Zeitlücke auf, was auch mit dem Beschleunigungsvorgang in ursächlichem Zusammenhang zu sehen ist.

Dieser Effekt wird kann durch eine einfache kinematische Berechnung veranschaulicht werden: Wird eine Anfahrbeschleunigung von 2 m/s^2 , eine mittlere Fahrzeuglänge von 5 m, ein Abstand zwischen Fahrzeugen vor dem Anfahren aus dem Stand von ca. 1 m, ein

Abstand des ersten Fahrzeuges von 0,2 m zur Haltelinie, ein Zeitverlust des 1. Fahrzeuges vor dem Anfahren von 0,3 s und ein Zeitverlust der Folgefahrzeuge von jeweils 1,5 s angenommen, so ergibt sich das in nachfolgender Abbildung 43 dargestellte den erhobenen Medianwerten gegenübergestellte Ergebnis.

Abbildung 43: Bruttozeitlücke der Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrzeugposition – Gegenüberstellung der erhobenen Werte (Median) mit den fahrdynamisch berechneten Werten



Quelle: nast consulting

Offensichtlich ist die tatsächliche Verlustzeit des gegenüber den folgenden Fahrzeugen der VLSA näheren zweiten Fahrzeuges entsprechend den empirisch gewonnenen Werten kürzer als bei rechnerischen Annahmen. Dies kann aus der Differenz zwischen dem erhobenen Medianwert und dem errechneten Wert geschlossen werden.

Die Zeit zwischen Beginn der Freigabe und der Überfahrt des 4. Fahrzeuges beträgt entsprechend den empirischen Daten durchschnittlich 8,3 s. Damit ergibt sich eine durchschnittlicher Zeitbedarf von ca. 2,1 s pro Fahrzeug für die ersten vier Fahrzeuge.

Ab dem 5. Fahrzeug ergaben sich nahezu gleichbleibende Brutto-Zeitlücken von etwa 2 Sekunden. Aus der folgenden Tabelle 12 geht die Verteilung der Zeitlücken zwischen Pkws in Abhängigkeit der Fahrzeugposition im gesättigten Verkehrsstrom auf Geradeausfahrstreifen hervor.

Die folgende Tabelle zeigt den Median der Zeitlücken von Pkws auf Geradeausfahrstreifen, die Pkws folgen. Sämtliche Bruttozeitlücken wurden auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test) geprüft. Es konnte aber keine Signifikanz festgestellt werden. Das 5% und 95% Perzentil sowie das 1. und 3. Quartil zeigen die Streuung der Zeitlücken. Es zeigt sich, dass insbesondere bei den Fahrzeugpositionen 14 und 15 bereits größere Streuungen auftreten, jedoch die Anzahl der Beobachtungen gering ist.

Tabelle 12: Bruttozeitlücke in Sekunden zum Vorderfahrzeug in Abhängigkeit der Fahrzeugposition der Kolonne

Fahrzeugposition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Perzentil 5%	-0,96	1,78	1,64	1,46	1,38	1,20	1,23	1,23	1,22	1,16	1,28	1,31	1,11	1,27	0,93
1. Quartil	0,04	2,37	2,15	1,83	1,81	1,72	1,65	1,80	1,77	1,63	1,60	1,63	1,53	1,75	1,37
Median	0,72	2,80	2,60	2,18	2,11	2,00	2,04	2,09	2,05	2,10	2,04	2,05	1,92	2,15	1,88
3. Quartil	1,48	3,34	3,13	2,72	2,50	2,50	2,47	2,57	2,69	2,65	2,56	2,69	2,31	2,68	2,51
Perzentil 95%	2,69	4,54	4,23	3,54	3,26	3,40	3,61	3,63	3,87	3,76	3,40	3,64	3,54	4,69	5,01
Anzahl an Pkw	149	247	464	209	194	159	138	110	109	93	70	55	48	32	20

Quelle: nast consulting

Die Sättigungsverkehrsstärke kann ebenfalls bei gesättigten Verkehrsströmen durch Zählung ermittelt werden. In der folgenden Tabelle werden jene Umläufe betrachtet, in denen ein gesättigter Verkehrsfluss vorlag. Anhand der Grünzeit sowie der Anzahl der Fahrzeuge wurde die durchschnittliche Brutto-Zeitlücke sowie die daraus resultierende Sättigungsverkehrsstärke berechnet. Weiters wird die Anzahl der Fahrzeuge mit einer größeren Länge als Pkw/Lieferwagen (Lkw mit und ohne Anhänger, Bus, Sattelschlepper, Pkw mit Anhänger) angeführt.

Tabelle 13: Beobachtete Sättigungsverkehrsstärken bei gesättigten Umläufen

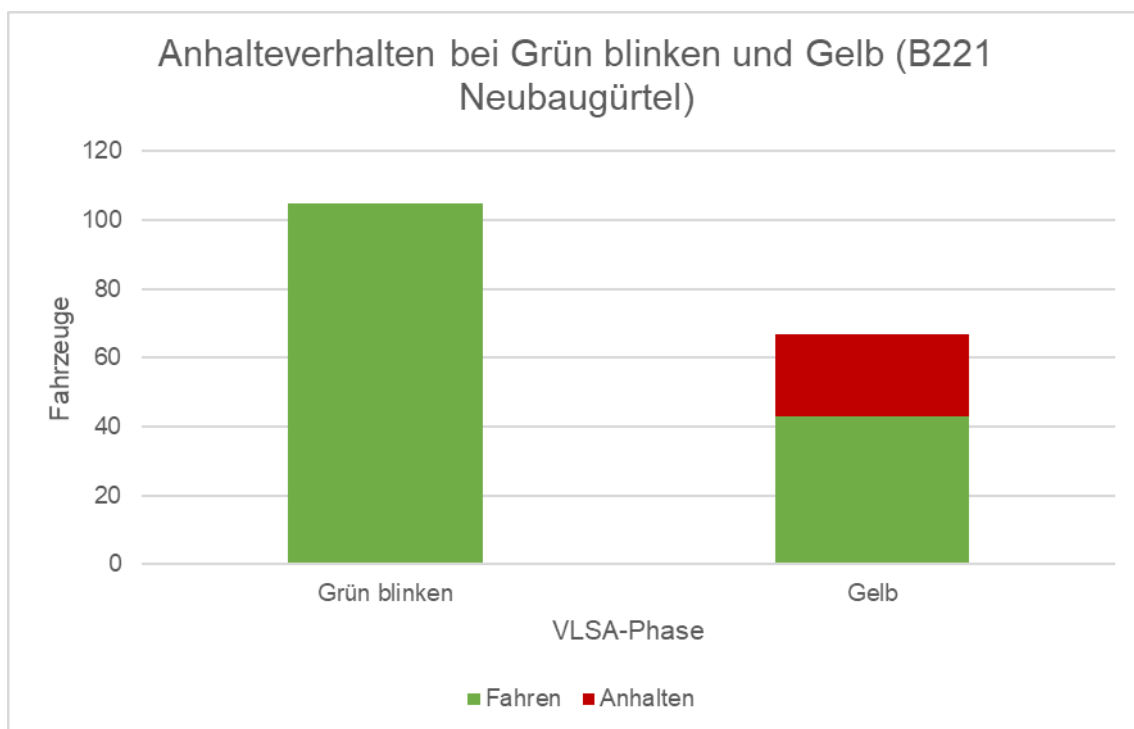
Relation	Grünzeit	Anzahl an Fz	Durchschnittliche Brutto-Zeitlücke [s]	Sättigungsverkehrsstärke [Fz/h]	Fahrzeuge, länger als Pkw/Liefer
Vösendorf Rampe A2 (Linksabbieger)	00:00:50	22	2,3	1.584	1
	00:00:50	25	2,0	1.800	1
	00:00:50	21	2,4	1.512	1
	00:00:50	21	2,4	1.512	1
	00:00:50	19	2,6	1.368	1
	00:00:50	21	2,4	1.512	1
	00:00:50	28	1,8	2.016	1
Kurzes Hirschfeld (alle Richtungen)	00:00:15	9	1,7	2.160	1
	00:00:14	5	2,8	1.286	1
Urban-Loritz-Platz (Gerade)	00:00:30	15	2,0	1.800	0
	00:00:30	17	1,8	2.040	0
	00:00:30	16	1,9	1.920	0
	00:00:30	15	2,0	1.800	0
	00:00:30	14	2,1	1.680	0

Quelle: nast consulting

6.1.4 Verhalten bei Grünblinken und Gelb

In der folgenden Abbildung wird das Anhalteverhalten bei Grünblinken und Gelb an der B221 Neubaugürtel für den 2. und 3. Fahrstreifen (Geradeausfahrtstreifen) dargestellt. Bei dieser Verkehrsrelation zeigte sich, dass alle ankommenden Fahrzeuge während des Grünblinkens die Kreuzung überquerten. Während der Gelbzeit überquerten etwa 2/3 der Fahrzeuge, während 1/3 anhält.

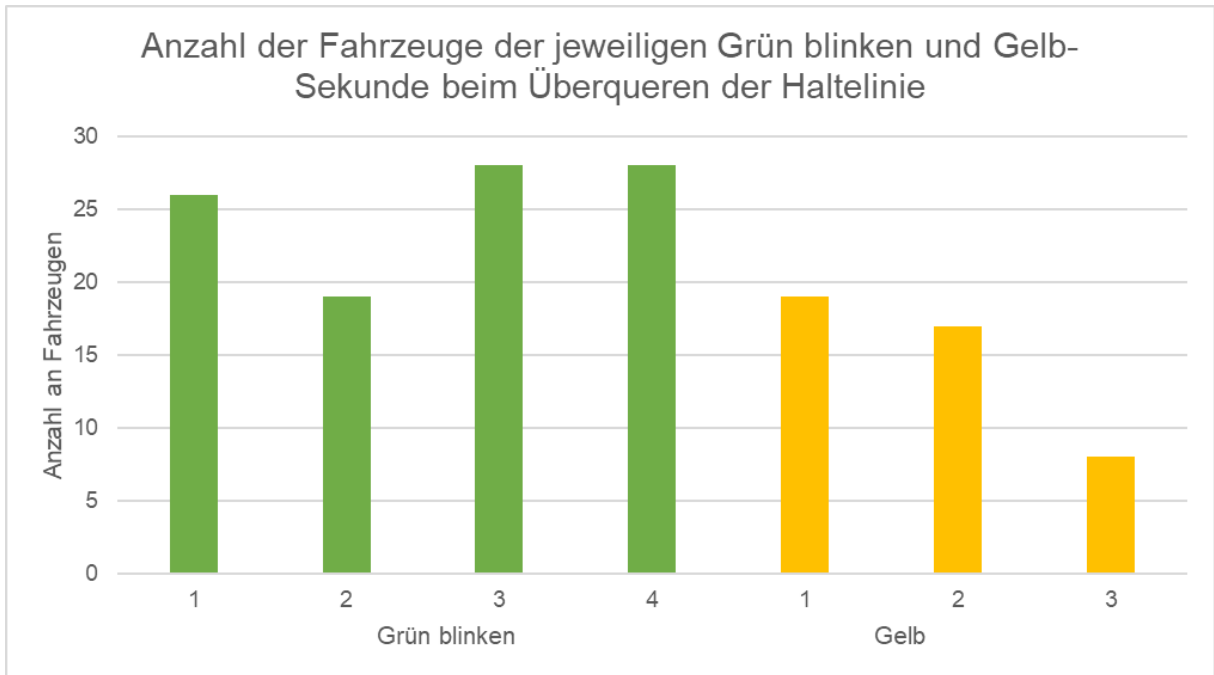
Abbildung 44: Anhalteverhalten bei Grünblinken und Gelb an der B221 Neubaugürtel (2. und 3. Fahrstreifen) bei 29 Umläufen



Quelle: nast consulting

Während der Gelbzeit werden die ersten beiden Sekunden häufig für die Überfahrt genutzt, während die Anzahl der Überfahrten in der letzten Gelb-Sekunde relativ gering ist.

Abbildung 45: Anzahl der überfahrenden Fahrzeuge der jeweiligen Grünblinker- und Gelb-Sekunde (29 Umläufe der Kreuzung B221 Neubaugürtel)



Quelle: nast consulting

In weiterer Folge wurde das Fahrverhalten bei allen Umläufen analysiert, in denen der Fahrzeugzufluss größer als der Abfluss war und somit im Rückstaubereich wartende Fahrzeuge nicht während eines Umlaufes die Kreuzung passieren konnten.

Es zeigte sich, dass bei den ausgewählten Umläufen während der Gelbphase 12 Fahrzeuge die Haltelinie überquerten und während der Rotphase 1 Fahrzeug. Insgesamt überquerten während der 19 Umläufe 13 Fahrzeuge und somit durchschnittlich 0,7 Fahrzeuge/Umlauf die Haltelinie nach Ende der Freigabezeit.

In der folgenden Tabelle werden die Fahrzeuge entsprechend der Gelb- und Rotsekunde zugeordnet.

Tabelle 14: Anzahl der Kolonnen-Fahrzeuge, die die Haltelinie nach Ende der Freigabezeit überfahren (19 Umläufe)

Phase	Anzahl der Fahrzeuge
Gelbphase	
1. Sekunde	3
2. Sekunde	7
3. Sekunde	2
Rotphase	
1. Sekunde	1
Summe	13

Quelle: nast consulting

6.1.5 Sättigungsverkehrsstärken

Zur Berechnung von Sättigungsverkehrsstärken konnten Auswertungen mehrerer Kreuzungen herangezogen werden. Auf der Kreuzung B221 Neubaugürtel / Urban-Loritz-Platz wurden während Umläufen mit gesättigtem Verkehrsstrom auf Geradeausfahrtstreifen Auswertungen vorgenommen. Während der Grünzeit von 30 Sekunden passierten zwischen 15 und 17 Fahrzeugen die Kreuzung. Daraus resultiert eine Brutto-Zeitlücke zwischen 2,1 und 1,8 Sekunden. Am Linksabbiegestreifen von der Rampe A2 auf die B17 Triester Straße zeigte sich bei einzelnen Umläufen eine Sättigungsverkehrsstärke von teilweise über 2.000 KFZ/h pro Stunde. Die detaillierten Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 15: Kapazität bei gesättigten Umläufen

Relation	Grünzeit	Anzahl an Kfz	Durchschnittliche Brutto-Zeitlücke [s]	Sättigungsverkehrsstärke [Kfz/h]	Fahrzeuge, länger als Pkw/Lieferwagen
Rampe A2 (Linksabbieger)	00:00:50	22	2,3	1.584	1
	00:00:50	25	2,0	1.800	1
	00:00:50	21	2,4	1.512	1
	00:00:50	21	2,4	1.512	1
	00:00:50	19	2,6	1.368	1
	00:00:50	21	2,4	1.512	1
	00:00:50	28	1,8	2.016	1
Kurzes Hirschfeld	00:00:15	9	1,7	2.160	1
	00:00:14	5	2,8	1.286	1
Urban-Loritz-Platz (Gerade)	00:00:30	15	2,0	1.800	0
	00:00:30	17	1,8	2.040	0
	00:00:30	16	1,9	1.920	0
	00:00:30	15	2,0	1.800	0
	00:00:30	14	2,1	1.680	0

Quelle: nast consulting

6.1.6 Abminderungsfaktoren

6.1.6.1 Schwerverkehr

In der folgenden Tabelle werden die Brutto- und Netto-Zeitlücken zwischen unterschiedlichen Fahrzeugarten des Schwerverkehrs und Pkws bei Geradeausfahrstreifen dargestellt.

Tabelle 16: Zeitbedarf von Schwerverkehrsfahrzeugen bei Gerade-Fahrt

Fahrzeug- klasse	Mittelwert der Brutto- Zeitlücke zum Folge- fahrzeug im Kolonnenverkehr bei Haltelinie [s]	Mittelwert der Brutto- Zeitlücke zum Vorder- fahrzeug im Kolonnenverkehr bei Haltelinie [s]	Summe der beiden Zeitlücken [s]
Lkw ohne Anhänger	3,2 (18)	3,2 (23)	6,4
Sattel- schlepper	4,1 (9)	4,3 (8)	8,4
Bus	4,4 (12)	3,9 (12)	8,3
Lkw mit Anhänger	5,1 (6)	3,3 (2)	(8,4) 9,4 ¹
Pkw	2,0 (2.097)		4,0

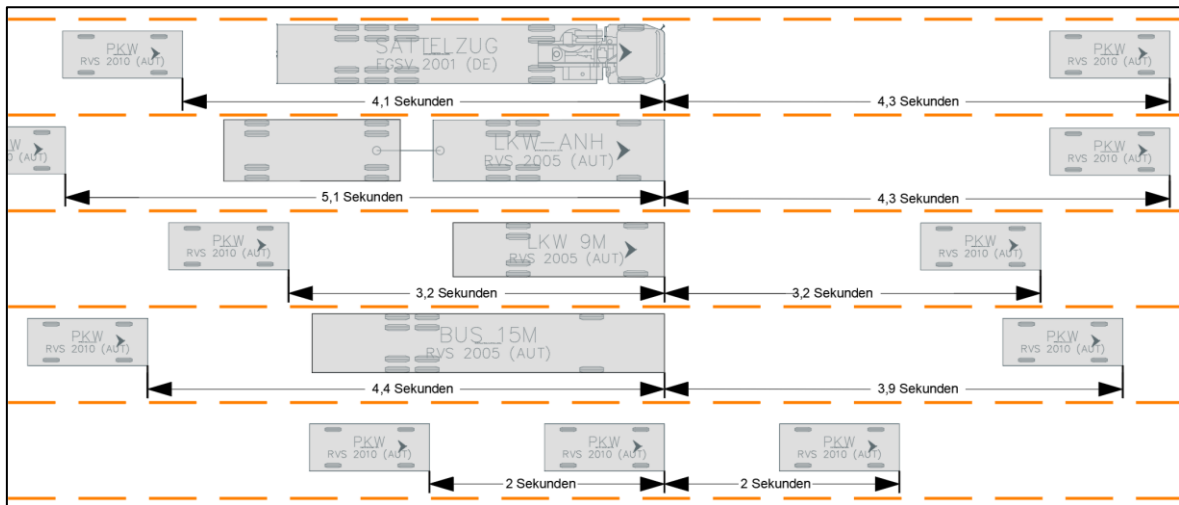
¹Erläuterung: Aufgrund der geringen Fallzahl der Lkw mit Anhänger wird für die Bruttozeitlücke zum Vorderfahrzeug für Lkw mit Anhänger jene der Sattelschlepper übernommen

Quelle: nast consulting

Es zeigt sich, dass der Zeitbedarf für Lkws im Kolonnenverkehr etwa 1,6 mal so groß ist wie für Pkws. Für die übrigen Schwerverfahrzeuge ist der Zeitbedarf etwa 2,1 mal so groß.

In der folgenden Abbildung wird die Zuordnung der ermittelten mittleren Brutto-Zeitlücken dargestellt.

Abbildung 46: Darstellung repräsentativer Brutto-Zeitlücken



Quelle: nast consulting

6.1.6.2 Längsneigungen

Im Zuge der Erhebungen wurden Kreuzungen mit positiver und negativer Längsneigung von max. 4 % berücksichtigt. In beiden Fällen konnte im Vergleich zu Kreuzungen mit geringerer Längsneigung kein Leistungsverlust bzw. -gewinn statistisch signifikant bestätigt werden.

6.1.6.3 Abbiegeradius

Im Zuge der Erhebungen wurden zur Analyse des Einflusses des Abbiegeradius beim Rechtsabbiegen auf die Leistungsfähigkeit eigens geführte Rechtsabbiegefahrstreifen ohne Beeinflussung durch parallel geführten Fußgänger- oder Radverkehr herangezogen.

Tabelle 17: Mittlere Zeitlücken für unterschiedliche Kurvenradien beim Rechtsabbiegen

Radius (Fahrstreifenmitte) des Rechtsabbiegers [m]	Mittelwert der Brutto-Zeitlücke zum Vorderfahrzeug [s]
15-22 m	2,3
10-15 m	2,7

Quelle: nast consulting

6.1.6.4 Fußgänger- und Radverkehr

Anhaltebereitschaft

Bei der Kreuzung Museumsplatz / Burggasse sowie der B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße wurde bei rechtsabbiegenden Fahrzeugen die Anhaltebereitschaft gegenüber dem Fußgängerverkehr am parallel verlaufenden Schutzweg ermittelt. Dabei wurde kurz vor Überqueren des Schutzwegs die Position des Fußgängers markiert. Bei Anhalten des Fahrzeugs wurde die Position des Fußgängers rot, bei Weiterfahrt grün markiert.

Bei den Rechtsabbiegern aus der Burggasse vom Geradeaus-Rechtsabbiegefahrstreifen sowie bei Rechtsabbiegern aus der Schloßhofer Straße auf die B7 Brünner Straße zeigt sich, dass aufgrund der Breitenverhältnisse im Straßenraum Fußgänger nach Möglichkeit umfahren werden.

Abbildung 47: Anhaltebereitschaft Museumsplatz / Burggasse



Quelle: Google Maps, nast consulting

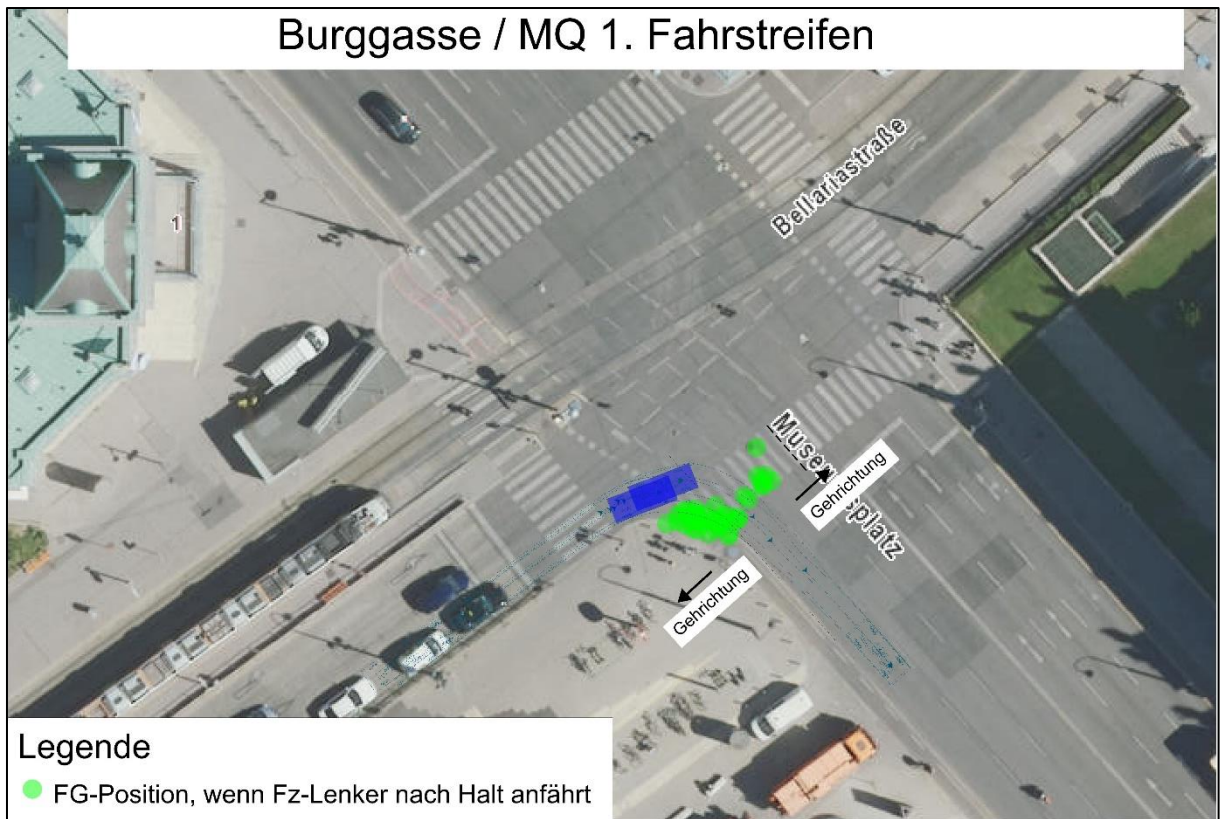
Abbildung 48: Anhaltebereitschaft B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße



Quelle: Google Maps, nast consulting

In der folgenden Abbildung wird die Position der Fußgänger beim Anfahren der Abbieger aus dem Stillstand dargestellt. In der Mehrheit der Beobachtungen zeigte sich, dass aufgrund der Breitenverhältnisse im Straßenraum Fußgänger umfahren werden.

Abbildung 49: Position des Fußgängers bei Anfahren nach Halt Museumsplatz / Burggasse



Quelle: Google Maps, nast consulting

Abbildung 50: Position des Fußgängers bei Anfahren nach Halt B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße

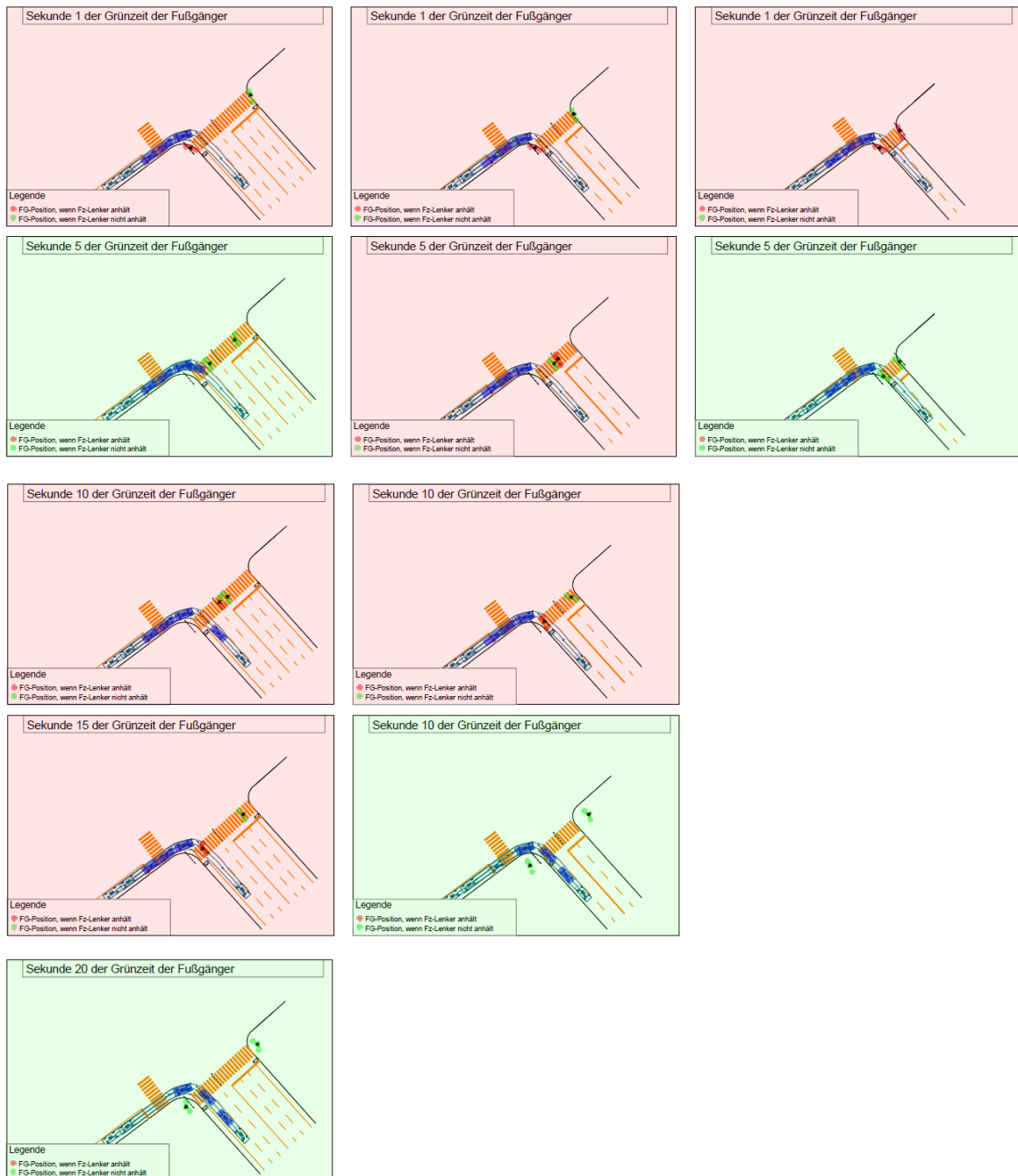


Quelle: Google Maps, nast consulting

Problemstellung sich kreuzender Fußgängerströme

Es zeigt sich, dass insbesondere bei hohem Fußgängerverkehr die Fußgänger zunehmend in Platoons den Schutzweg während der Grün- und Räumzeiten queren und sich die Platoons beider Gehrichtungen im zeitlichen Verlauf überlagern (siehe folgende Abbildungen).

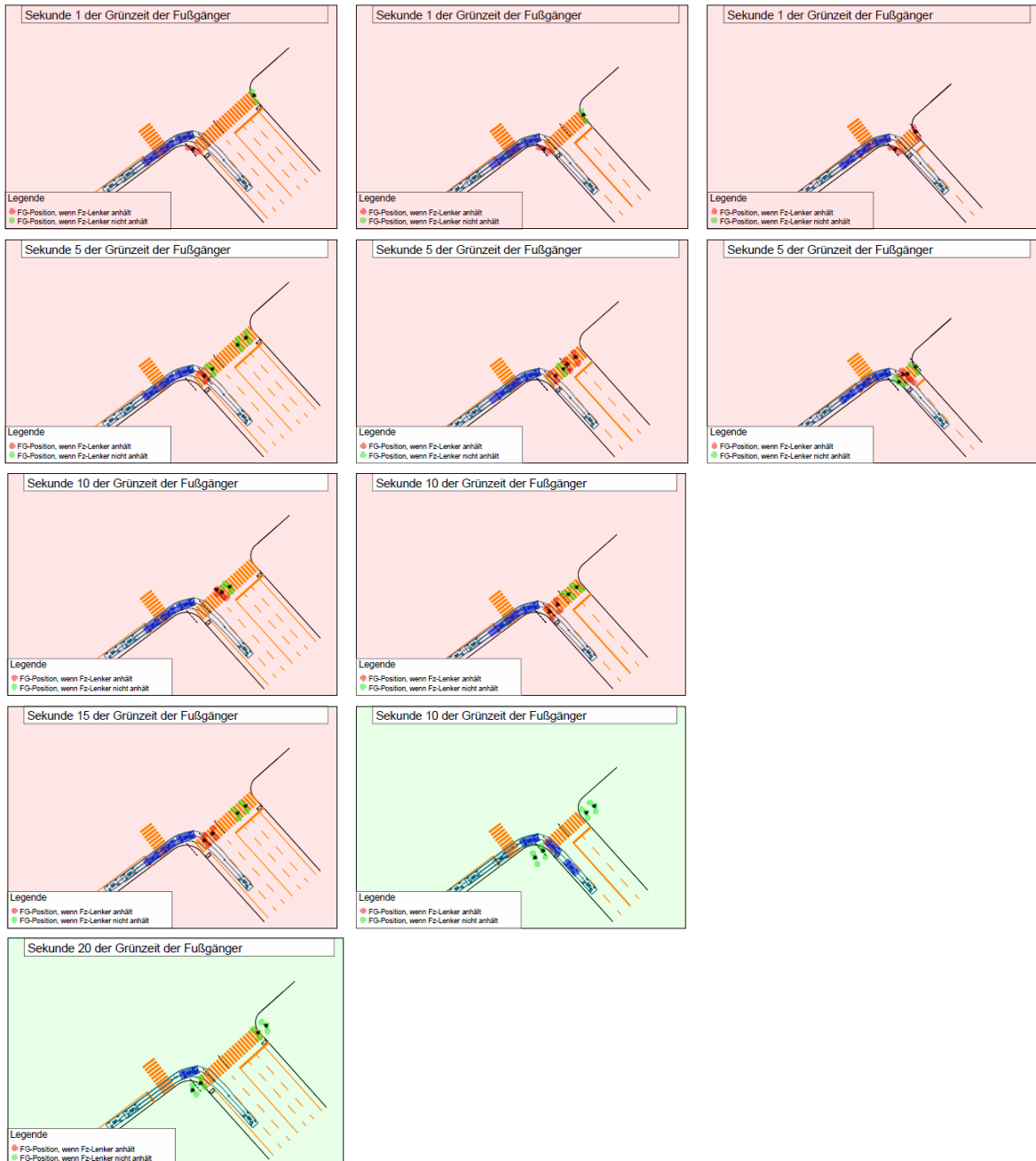
Abbildung 51: Ausgewählte Zeitpunkte bei rechtsabbiegenden Fahrzeugen mit bzw. ohne Konflikt bei einem Fußgängerplatoon pro Querungsrichtung



Quelle: nast consulting

Die obige Abbildung zeigt, dass unter Berücksichtigung von standardisierten Räumzeiten des Fußgängerverkehrs die Abschätzung der Zeiträume für ein konfliktfreies Abbiegen mit rechnerisch möglich ist.

Abbildung 52: Ausgewählte Zeitpunkte bei rechtsabbiegenden Fahrzeugen mit bzw. ohne Konflikt bei mehreren Fußgängerplatoons pro Querungsrichtung



Quelle: nast consulting

Die obige Abbildung zeigt, dass sich mehrere Fußgängerplatoons der beiden Gehrichtungen des Fußgängerverkehrs je nach Kreuzungsgeometrie zu unterschiedlichen Zeitpunkten überlagern.

6.2 Ablenkungsverhalten

Im Folgenden werden die Erhebungsergebnisse für jede Pilotkreuzung dargestellt. Auf eine gemeinsame Auswertung wird dabei bewusst verzichtet, da sich die betrachteten Kreuzungen hinsichtlich Infrastruktur, Verkehrsstärke und -zusammensetzung zu sehr unterscheiden. Um dennoch zu allgemeinen Aussagen zu gelangen, werden alle Ergebnisse in Bezug zur Literatur gesetzt, um abschließend ein fundiertes Fazit ziehen zu können.

Da die Erhebungen zeigten, dass der aus der Verkehrssicherheitsliteratur und früheren Erhebungen bekannte Ablenkungsfaktor „Sprechen am Steuer“ an VLSA zwar häufig zu beobachten ist, gleichzeitig jedoch keinerlei Einfluss auf das Anfahrverhalten hat, weil damit keine visuelle Ablenkung verbunden ist. Deshalb wurde die Entscheidung getroffen, dass „Sprechen“ in den folgenden Auswertungen nicht weiter als Ablenkungsfaktor zu betrachten. D.h. Rotlichtphasen, in denen beim Warten lediglich gesprochen wurde, wurden als Phasen ohne Ablenkung eingestuft. Somit lag nur dann eine Phase mit Ablenkung vor, wenn eine oder mehrere der folgenden Tätigkeiten bei mindestens einem*r wartenden LenkerIn beobachtet wurden:

- Telefonieren ohne Freisprecheinrichtung
- Bedienung des Smartphones
- Rauchen
- Essen oder Trinken
- Sonstige Tätigkeiten
- Reize außerhalb des Fahrzeugs

Um sicherzustellen, dass alle fünf Pilotkreuzungen während der Beobachtungen eine starke Auslastung aufwiesen und somit Ablenkungseffekte auf die Leistungsfähigkeit potenziell möglich waren, wurden lediglich die Ampelphasen in die Auswertung aufgenommen, in denen mindestens sechs Fahrzeuge bei Rot an der jeweiligen VLSA warteten. Da in weiterer Folge betrachtet wurde, wie lange das jeweils sechste Fahrzeug vom Beginn der Grünphase bis zum Erreichen der Haltelinie benötigte, mussten außerdem die Ampelphasen ausgeschlossen werden, in denen der erste Wartende bei Rot bereits vor der Haltelinie stand. Hierbei handelte es sich jedoch um Einzelfälle.

6.2.1 Pilotkreuzung 1

An der Kreuzung Schemmerlstr./Mittelfeldg. wurden am Dienstag, den 18. April 2023 von 15:30 bis 17:30 Uhr in Richtung Schwechat 800 Pkw-E/h beobachtet. Es kam zu 36 Überfahrten bei Gelb und in zwei Fällen zu Rotlichtüberfahrten. Über den 2-stündigen Zeitraum hinweg konnten zudem 78 Ampelphasen beobachtet werden, von denen jedoch letztlich nur 58 Ampelphasen (74%) verwertbar waren, weil die Kreuzung nur zu diesen Zeitpunkten ausgelastet war.

Wie die folgende Tabelle zeigt, war in etwa zwei Drittel der 58 verwertbaren Phasen (n=37) mindestens ein/e FahrzeughalterIn abgelenkt. Dies scheint sich den Videoauswertungen zufolge negativ auf die Leistungsfähigkeit der VLSA auszuwirken: Während nach Rotlichtphasen, in denen keine Ablenkung bei den Wartenden beobachtet werden konnte, das sechste wartende Fahrzeug nach durchschnittlich 14,57 sec die Haltelinie erreichte, gelang dies nach Rotlichtphasen mit Ablenkung erst nach durchschnittlich 15,29 sec. Demzufolge führte Ablenkung an Pilotkreuzung 1 zu einem Zeitverlust von etwa eine dreiviertel Sekunde.

Tabelle 18: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Pilotkreuzung 1

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen ($\hat{=}$ 58 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	14,57 sec	21	36%
Phasen mit Ablenkung	15,29 sec	37	64%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	+0,71 sec		

Quelle: KFV

Tabelle 19 verdeutlicht, dass Ablenkung an der Pilotkreuzung 1 zwar auftrat, in den meisten Fällen aber nur ein/e wartende LenkerIn abgelenkt war. Mit Abstand am häufigsten (ca.

40% der Fälle) waren die Wartenden mit dem Tippen am Smartphone beschäftigt. Darüber hinaus wurden im Fahrzeug auch immer wieder die Bedien- und Anzeigeelemente der Mittelkonsole (Lüftung, Navigationssystem etc.) bedient bzw. auf dem Beifahrersitz oder der Rückbank nach etwas gegriffen bzw. etwas gereicht (ca. 27 %). Dem Essen bzw. Trinken und Rauchen sowie ablenkenden Faktoren außerhalb des Fahrzeugs kam lediglich eine untergeordnete Rolle zu.

Tabelle 19: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Pilotkreuzung 1

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	21	25	11	1	-	-	-

Quelle: KFV

Wie Tabelle 35 zeigt, gab es Unterschiede in der Auftretenshäufigkeit von Ablenkung nach der Warteposition. So waren die Lenkenden des vierten bis sechsten Fahrzeugs am häufigsten abgelenkt und der/die erste Wartende am seltensten.

Tabelle 20: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Pilotkreuzung 1

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	3	8	6	12	10	11

Quelle: KFV

6.2.2 Pilotkreuzung 2

An der Kreuzung Wientalstr./Brauhausbrücke wurden am Mittwoch, den 28. Juni 2023 sowohl von 6:30 bis 8:30 Uhr als auch von 15:30 bis 17:30 Uhr stadteinwärts beobachtet. Während in der Früh 948 Pkw-E/h beobachtet wurden, war die Verkehrsdichte am Nachmittag mit 732 Pkw-E/h wesentlich geringer. Kaum Unterschiede zeigten sich hingegen in der Anzahl der Gelb- und Rotlichtüberfahrten.

So fuhren am Morgen 23 Lenkende bei Gelb und zwei bei Rot, am Nachmittag lag die Anzahl der Regelmisssachtenden bei 20 und drei. Sowohl in den Morgenstunden also nachmittags konnten in dem jeweils 2-stündigen Beobachtungszeitraum 66 Ampelphasen registriert werden. Verwertbar, d.h. ausreichend ausgelastet, waren davon jedoch nur 45 (68%) bzw. 51 (77%) Ampelphasen.

Morgenspitze

Tabelle 21 zeigt, dass wie schon bei der ersten Pilotkreuzung etwa in zwei Drittel der verwertbaren Phasen (n=45) mindestens ein/e FahrzeuglenkerIn abgelenkt ist. Im Unterschied zu Pilotkreuzung 1 wirkt sich dies jedoch nicht auf die Leistungsfähigkeit der VLSA aus: Sowohl nach Rotlichtphasen ohne Ablenkung als auch nach Rotlichtphasen mit Ablenkung benötigt das sechste anführende Fahrzeug im Durchschnitt 14,90 sec bis zum Erreichen der Haltelinie. Demzufolge führte Ablenkung an Pilotkreuzung 2 während der Morgenspitze zu keinem Zeitverlust.

Tabelle 21: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Morgenspitze Pilotkreuzung 2

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen ($\hat{=}$ 45 Phasen mit mind.6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	14,90 sec	14	31%
Phasen mit Ablenkung	14,90 sec	31	69%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	0 sec		

Quelle: KFV

Tabelle 22 zeigt, dass an Pilotkreuzung 2 vormittags in den meisten Fällen ein bis zwei Lenkende pro Rotlichtphase abgelenkt waren. Am häufigsten waren die Wartenden, wie schon an Pilotkreuzung 1, durch das Tippen am Smartphone abgelenkt (ca. 37% der Fälle), aber auch die Bedienung der vertikalen Mittelkonsole oder das Hantieren mit anderen

Gegenständen innerhalb des Fahrzeugs wurden oft beobachtet (ca. 32%). Wesentlich häufiger als an Pilotkreuzung 1 wurde außerdem das Essen bzw. Trinken beobachtet, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass einige Lenkende am Weg zur Arbeit ihr Frühstück einnehmen. Keinerlei Bedeutung haben zu dieser Zeit das Rauchen und ablenkende Faktoren außerhalb des Fahrzeugs.

Tabelle 22: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Morgenspitze Pilotkreuzung 2

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	8	16	10	5	-	-	-

Quelle: KFV

Tabelle 23 verdeutlicht, dass Ablenkung an jeder der sechs Wartepositionen beobachtbar. Am häufigsten waren jedoch die Lenkenden des ersten und fünften Fahrzeugs abgelenkt.

Tabelle 23: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Morgenspitze Pilotkreuzung 2

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	12	5	10	8	12	4

Quelle: KFV

Nachmittagsspitze

Wie in Tabelle 39 zu sehen, ist am Nachmittag sogar in über 70% der verwertbare Ampelphasen (n=51) mindestens ein/e FahrzeuglenkerIn abgelenkt ist. Ähnlich wie in der Früh wirkt sich dies aber nahezu gar nicht auf die Anfahrtszeiten bei Grün aus. Nach Rotlichtphasen mit Ablenkung benötigt das sechste anführende Fahrzeug im Durchschnitt nur 0,07 sec länger bis zum Erreichen der Haltelinie als nach Rotlichtphasen mit Ablenkung. D.h. auch zu dieser Tageszeit führte Ablenkung an Pilotkreuzung 2 zu keinem bedeutsamen Zeitverlust.

Tabelle 24: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 2

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen (≙ 51 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	14,68 sec	15	29%
Phasen mit Ablenkung	14,75 sec	36	71%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	+0,07 sec		

Quelle: KfV

Tabelle 25 zeigt, dass wie schon am Vormittag ein bis zwei Lenkende je Rotlichtphase in irgendeiner Form abgelenkt waren. Darüber hinaus ist auffällig, dass erstmals auch gehäuft Phasen auftreten, in denen drei der sechs Wartenden abgelenkt sind. Mit Abstand am häufigsten waren die Wartenden, wie schon am Vormittag, durch das Tippen am Smartphone abgelenkt (ca. 45% der Fälle), aber auch die Bedienung der Mittelkonsole oder das Hantieren mit anderen Gegenständen wurde oft beobachtet (ca. 27%). Das Essen bzw. Trinken und Rauchen spielten nur eine untergeordnete Rolle. Ablenkung außerhalb des Fahrzeugs konnte zudem gar nicht beobachtet werden.

Tabelle 25: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 2

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	3	15	11	9	1	-	-

Quelle: KfV

Wie schon am Vormittag war Ablenkung während der Rotlichtphase an jeder der sechs Wartepositionen zu beobachten. Mit Abstand am häufigsten waren jedoch die Lenkenden des zweiten und dritten Fahrzeugs abgelenkt (vgl. Tabelle 26).

Tabelle 26: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 2

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	10	19	16	6	5	12

Quelle: KFV

6.2.3 Pilotkreuzung 3

An der Kreuzung Brünner Str./Angerer Str. wurde am Donnerstag, den 29. Juni 2023 von 6:30 bis 8:30 Uhr stadteinwärts und von 15:30 bis 17:30 Uhr in Richtung Mistelbach beobachtet. Während in der Früh nur 271 Pkw-E/h beobachtet wurden, lag die Verkehrsdichte am Nachmittag mit 369 Pkw-E/h etwas höher. Dennoch fiel die Verkehrsstärke an dieser Kreuzung insgesamt deutlich geringer aus als erwartet, weshalb der Einfluss von Ablenkung auf die Leistungsfähigkeit der VLSA nur bedingt messbar war. Erfreulich war an Pilotkreuzung 3, dass weder am Morgen noch am Nachmittag Rotüberfahrten beobachtet wurden. Gelbüberfahrten kamen hingegen immer wieder vor, wobei nachmittags doppelt so viele registriert wurden wie in der Früh ($n_{\text{morgens}}=9$ vs. $n_{\text{nachmittags}}=18$). Insgesamt konnten im 2-stündigen Beobachtungszeitraum 70 bis 72 Ampelphasen beobachtet werden. Leider waren jedoch nur wenige dieser Phasen mit mindestens sechs wartenden Fahrzeugen ausgelastet. Darüber hinaus mussten viele Phasen ausgeschlossen werden, weil das erste Fahrzeug erst hinter der Haltelinie zum Stillstand gekommen war und somit zum Zeitpunkt des Umschaltens auf Grün bereits die Linie überquert hatte. So flossen am Ende lediglich 28 bzw. 24 Ampelphasen in die Auswertung ein.

Morgenspitze

Wie Tabelle 27 zeigt, spielt Ablenkung an Pilotkreuzung 3 eine wesentlich größere Rolle. In über 80% der Phasen war zumindest ein/e LenkerIn abgelenkt. Die Ampelphasen mit und ohne Ablenkung unterscheiden sich zudem auf den ersten Blick deutlich. So erreicht das sechste Fahrzeug erst 0,6 sec später die Haltelinie, wenn mindestens einer der

Wartenden während der Rotlichtphase abgelenkt war. Dieser scheinbar deutliche Zeitverlust durch Ablenkung darf in diesem Fall jedoch nicht verallgemeinert werden, da lediglich 5 Phasen ohne Ablenkung zum Vergleich zur Verfügung standen.

Tabelle 27: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Morgenspitze Pilotkreuzung 3

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen (\cong 28 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	13,74 sec	5	18%
Phasen mit Ablenkung	14,33 sec	23	82%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	+ 0,59 sec		

Quelle: KFV

In den meisten Fällen waren ein bis zwei Lenkende pro Rotlichtphase abgelenkt (vgl. Tabelle 28). Am häufigsten wurden die Wartenden dabei beobachtet, wie sie am Smartphone tippten (in 33% der Fälle) oder Tätigkeiten im Fahrzeug wie beispielsweise der Bedienung der Mittelkonsole nachgingen (27%). Erstmals häufiger wurden an dieser Kreuzung rauchende Lenkende registriert (18%).

Tabelle 28: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Morgenspitze Pilotkreuzung 3

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	5	12	4	7	-	-	-

Quelle: KFV

In Bezug auf die Warteposition zeigte sich, dass Ablenkung am häufigsten beim ersten, zweiten und sechsten Fahrzeug auftraten (vgl. Tabelle 29).

Tabelle 29: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Morgenspitze Pilotkreuzung 3

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	9	9	1	6	7	9

Quelle: KFV

Nachmittagsspitze

Am Nachmittag wurden mit 87% noch mehr Phasen mit Ablenkung registriert (siehe Tabelle 30). Die Anfahrverzögerung, die sich daraus ergibt, fällt jedoch mit 0,4 sec etwas niedriger aus als in der Früh. Nachdem nur drei Phasen beobachtet wurden, in denen keinerlei Ablenkung auftrat, lässt sich der gemessene Zeitverlust aber abermals nicht generalisieren.

Tabelle 30: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 3

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen (≙ 24 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	14,02 sec	3	13%
Phasen mit Ablenkung	14,41 sec	21	87%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	+ 0,39 sec		

Quelle: KFV

Neuerlich waren je Rotlichtphase ein bis zwei Lenkende in irgendeiner Form abgelenkt (vgl. Tabelle 31). Erstmals wurden die Wartenden am häufigsten bei Tätigkeiten innerhalb des Fahrzeugs wie der Bedienung der Mittelkonsole beobachtet (40% der Fälle). Auch das Smartphone spielte mit 30% neuerlich eine beachtliche Rolle, während andere Formen der Ablenkung nur vereinzelt auftraten.

Tabelle 31: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 3

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	3	8	9	4	-	-	-

Quelle: KFV

Wie Tabelle 32 zeigt, war Ablenkung an jeder Warteposition zu beobachten. Etwas häufiger waren dabei der/die erste und zweite LenkerIn davon betroffen.

Tabelle 32: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 3

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	8	8	5	4	7	6

Quelle: KFV

6.2.4 Pilotkreuzung 4

Die vierte Pilotkreuzung befindet sich im niederösterreichischen Deutsch-Wagram. Hier wurde am Dienstag, den 11. Juli 2023 von 15:30 bis 17:30 Uhr ortseinwärts beobachtet. Mit einer Verkehrsstärke von 874 Pkw-E/h war die Kreuzung erwartungsgemäß sehr stark ausgelastet und vermehrt von Kleintransportern und Schwerverkehr frequentiert. Von den 63 beobachteten Ampelphasen konnten jedoch trotzdem nur 48 (76%) in die Auswertung einbezogen werden, da die einzelnen Phasen zwar ausgelastet waren, aber immer wieder die Haltelinie beim Warten überfahren wurde. Darüber hinaus kam es häufiger als an allen anderen Pilotkreuzungen zum Gelbüberfahren (n=36). Außerdem passierten drei Fahrzeuge bei Rot die Kreuzung.

Wie Tabelle 33 zeigt, trat in etwa 70% der Rotlichtphasen Ablenkung auf. Des Weiteren ergab sich daraus erstmals eine sehr deutliche Verzögerung aufgrund von Ablenkung. So erreichte das sechste Fahrzeug im Durchschnitt eine Sekunde später die Haltelinie, wenn zuvor mindestens eine/r der Wartenden abgelenkt war.

Tabelle 33: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Pilotkreuzung 4

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen ($\hat{=}$ 48 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	15,28 sec	14	29%
Phasen mit Ablenkung	16,29 sec	34	71%
Differenz_{ohne-mit Ablenkung}	+ 1,01 sec		

Quelle: KFV

Wie bei den vorhergehenden Kreuzungen auch waren maximal zwei Lenkende während des Wartens abgelenkt (vgl. Tabelle 34). Im Unterschied zu Pilotkreuzung 1 bis 3 führten jedoch Tätigkeiten innerhalb des Fahrzeugs (z.B. Bedienung der Mittelkonsole, Suchen oder Reichen von Gegenständen) am häufigsten zu Ablenkung (30% der Fälle). Darüber hinaus wurden jeweils 20% der Lenkenden bei Tippen am Smartphone, Rauchen oder abschweifenden Blicken in die Umgebung beobachtet.

Tabelle 34: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Pilotkreuzung 4

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	14	16	14	4	-	-	-

Quelle: KFV

Neuerlich wurde an allen Wartepositionen Ablenkung registriert. Am häufigsten waren hierbei der/die zweite, fünfte und sechste LenkerIn betroffen (siehe Tabelle 35).

Tabelle 35: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Pilotkreuzung 4

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	7	13	4	6	13	13

Quelle: KFV

6.2.5 Pilotkreuzung 5

Die fünfte Pilotkreuzung liegt wie Pilotkreuzung 4 in Niederösterreich. Im Unterschied zu allen anderen Kreuzungen befindet sie sich im Freiland in einer 70er-Zone. Hier wurde am Donnerstag, den 13. Juli 2023 von 6:30 bis 8:30 Uhr in Richtung St. Pölten und von 15:30 bis 17:30 Uhr in Richtung A1 und S33 beobachtet. In der Früh wurde auf dem beobachteten Fahrstreifen eine Verkehrsstärke von 504 Pkw-E/h festgestellt, am Nachmittag lag diese mit 674 Pkw-E/h etwas höher. Generell konnten mit 74 und 82 Ampelphasen in den jeweils zwei Stunden sehr viele Ampelphasen erfasst werden, eine Vielzahl war jedoch für die Auswertung nicht verwertbar, da die Kreuzung nicht immer ausgelastet war. So flossen nur 28 von 74 morgendlichen Phasen (38%) und 54 von 82 Nachmittagsphasen (66%) in die Auswertung ein.

Rotüberfahrten spielten an der ausgewählten Freilandkreuzung generell keine Rolle. Gelbüberfahrten traten hingegen, wie auch an den anderen Pilotkreuzungen, immer wieder auf ($n_{\text{morgens}}=14$, $n_{\text{nachmittags}}=22$).

Morgenspitze

Ähnlich wie an den anderen Pilotkreuzungen zeigte sich in etwa zwei Drittel der Phasen Ablenkung während der Rotlichtphase (vgl. Tabelle 36). Erstmals führte diese jedoch nicht zu einer Zeitverzögerung beim Anfahren, sondern sogar zu einem Zeitgewinn von einer halben Sekunde. D.h. die Kreuzung wurde von den sechs wartenden Fahrzeugen im Durchschnitt schneller überquert, wenn zuvor mindestens ein/e der Lenkenden während der Rotlichtphase abgelenkt war. Da diesem Ergebnis jedoch eine relativ geringe Anzahl an Phasen zugrunde liegt, kann diese Differenz bestenfalls als eine Tendenz gewertet werden.

Tabelle 36: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Morgenspitze Pilotkreuzung 5

	Ø Zeit des 6. Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen ($\hat{=}$ 28 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	15,38 sec	9	32%
Phasen mit Ablenkung	14,92 sec	19	68%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	- 0,46 sec		

Quelle: KFV

Wie Tabelle 37 zeigt, war in den meisten Ampelphasen lediglich ein/e Wartende abgelenkt. Am häufigsten geschah dies durch Tätigkeiten innerhalb des Fahrzeugs wie die Bedienung der Mittelkonsole (35% der Fälle). Das Tippen am Smartphone spielte im Unterschied zu allen anderen Pilotkreuzungen als Ablenkungsfaktor keine Rolle.

Tabelle 37: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Morgenspitze Pilotkreuzung 5

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	9	13	5	1	-	-	-

Quelle: KFV

Ablenkung war, wie Tabelle 38 zeigt, an jeder der sechs Warteposition von Zeit zu Zeit zu beobachten. Wartende an Position 1 und 3 ließen sich dabei geringfügig häufiger ablenken als der Rest.

Tabelle 38: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Morgenspitze Pilotkreuzung 5

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	6	4	6	3	3	4

Quelle: KFV

Nachmittagsspitze

Am Nachmittag wurden erstmals etwa gleich viele Phasen mit und ohne Ablenkung registriert (siehe Tabelle 39). Dabei zeigte sich, dass Ablenkung während der Rotphase zu einer geringfügigen Verzögerung beim Anfahren führte.

Tabelle 39: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 5

	Ø Zeit des Fahrzeugs bis zur Haltelinie	Absolute Anzahl der beobachteten Phasen	%-Anteil an allen beobachteten Phasen ($\hat{=}$ 54 Phasen mit mind. 6 wartenden Fahrzeugen)
Phasen ohne Ablenkung	14,05 sec	25	46%
Phasen mit Ablenkung	14,36 sec	29	54%
Differenz _{ohne-mit Ablenkung}	+ 0,31 sec		

Quelle: KFV

Wurde Ablenkung beobachtet, so waren je Phase nie mehr als zwei Wartende gleichzeitig abgelenkt (vgl. Tabelle 40) und wie schon in der Früh zeigte sich, dass die meisten durch das Hantieren im Fahrzeug abgelenkt waren (40% der Fälle). Während das Tippen am Smartphone in den Morgenstunden an Pilotkreuzung 5 keinerlei Bedeutung hatte, war es am Nachmittag bei 20% der abgelenkten Lenkenden zu sehen.

Tabelle 40: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 5

Anzahl abgelenkter LenkerInnen	0	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung über alle Phasen	25	19	10	-	-	-	-

Quelle: KFV

Wie auch an den anderen Pilotkreuzungen trat Ablenkung an jeder der sechs Wartepositionen gelegentlich auf (siehe Tabelle 41). Am häufigsten war dies jedoch an Position 2 und 4 zu beobachten.

Tabelle 41: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 5

Warteposition des Fahrzeugs	1	2	3	4	5	6
Häufigkeit von Ablenkung je Position	4	10	7	12	1	5

Quelle: KFV

6.2.6 Zusammenfassung der Erhebungsergebnisse

Die Erhebungen haben gezeigt, dass Ablenkung an VLSA häufig auftritt. So konnte in etwa zwei Drittel aller beobachteten Rotlichtphasen Ablenkung registriert werden. In aller Regel sind dabei ein bis zwei Wartende in irgendeiner Form abgelenkt. Mit Abstand am häufigsten wird dabei das Smartphone bedient. Darüber hinaus wird anderen Tätigkeiten im Fahrzeug nachgegangen, wie beispielsweise der Bedienung der Mittelkonsole (z.B. Lüftung, Navigationssystem, Radio). Andere Ablenkungsfaktoren wie Essen bzw. Trinken, Rauchen oder Umgebungsreize spielen in diesem Zusammenhang kaum eine Rolle.

An welcher Warteposition Lenkende bei Rot zum Stehen kommen, scheint keinerlei Einfluss darauf zu haben, ob sie sich eher oder eher nicht ablenken lassen. An jeder der fünf Pilotkreuzungen fallen Lenkende unterschiedlicher Positionen durch ihr Ablenkungsverhalten auf.

Auch die zeitlichen Auswirkungen von Ablenkung auf das Anfahren lassen sich anhand der Erhebungsergebnisse nicht befriedigend klären. Während an einigen Pilotkreuzungen Verzögerungen von bis zu 1 sec gemessen wurden, zeigten die Befunde anderer Kreuzungen, dass es sogar zu einem bis zu 0,5 sec schnelleren Anfahren oder zumindest zu keinerlei Zeitverlusten kommt. Ob die Anzahl der beim Warten abgelenkten LenkerInnen hier eventuell eine Rolle spielt, konnte nicht überprüft werden, da zu selten zwei oder mehr Wartende gleichzeitig abgelenkt waren. Naheliegender scheint jedoch, dass es individuelle Merkmale der Lenkenden und der jeweiligen Kreuzung sind, die auf den Ablenkungsfaktor einen moderierenden Effekt haben.

7 Analysen

7.1 Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Abminderungsfaktoren

Zum Vergleich der unterschiedlichen Berechnungsansätze wurden Standardfälle definiert, für welche die Leistungsfähigkeit nach der RVS 05.03.32 (Österreich), dem HBS (Deutschland) und dem HCM (USA) berechnet wurden, um die Auswirkungen unterschiedlicher Abminderungsfaktoren darzustellen.

7.1.1 Fahrstreifen Gerade

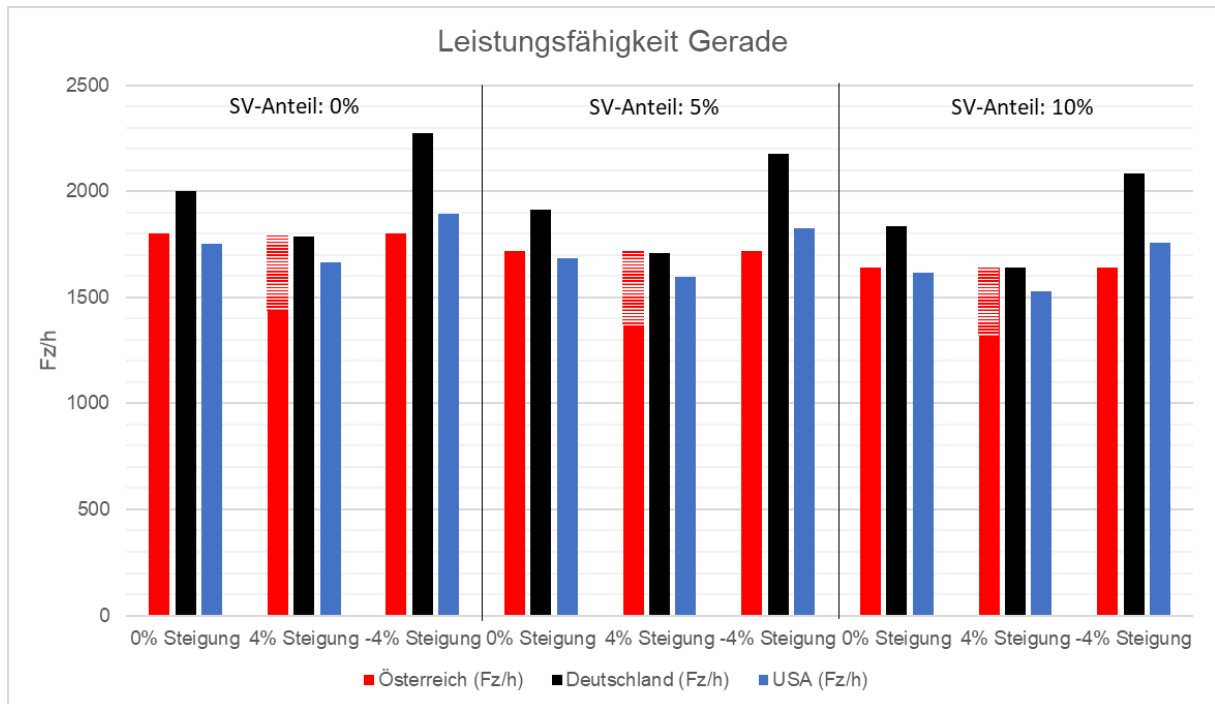
Abbildung 53 zeigt die Leistungsfähigkeit für definierte Fälle auf einem Geradeausfahrstreifen. Die Fahrstreifenbreite wird mit 3,5 m angenommen. Damit kommt in der Berechnung gemäß HBS und HCM kein Korrekturfaktor zur Anwendung.

Bei der Berechnung wurde der Schwerverkehrsanteil von 0 %, 5 % und 10 % zu Grunde gelegt.

Weiters wird die Längsneigung mit den Werten -4 %, 0 % und +4 % variiert. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der folgenden Abbildung gemäß RVS 05.04.32 in Rot, jene entsprechend HBS in Schwarz und gemäß HCM in Blau dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Leistungsfähigkeit gemäß RVS 05.04.32 nur durch den Schwerverkehrsanteil beeinflusst wird. Bei der Berechnung gemäß HBS ist ein starker Einfluss der Längsneigung erkennbar. Die Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von der Längsneigung ist bei Berechnung gemäß HBS stärker als bei der Berechnung gemäß HCM ausgeprägt.

Abbildung 53: Leistungsfähigkeitsvergleich Gerade

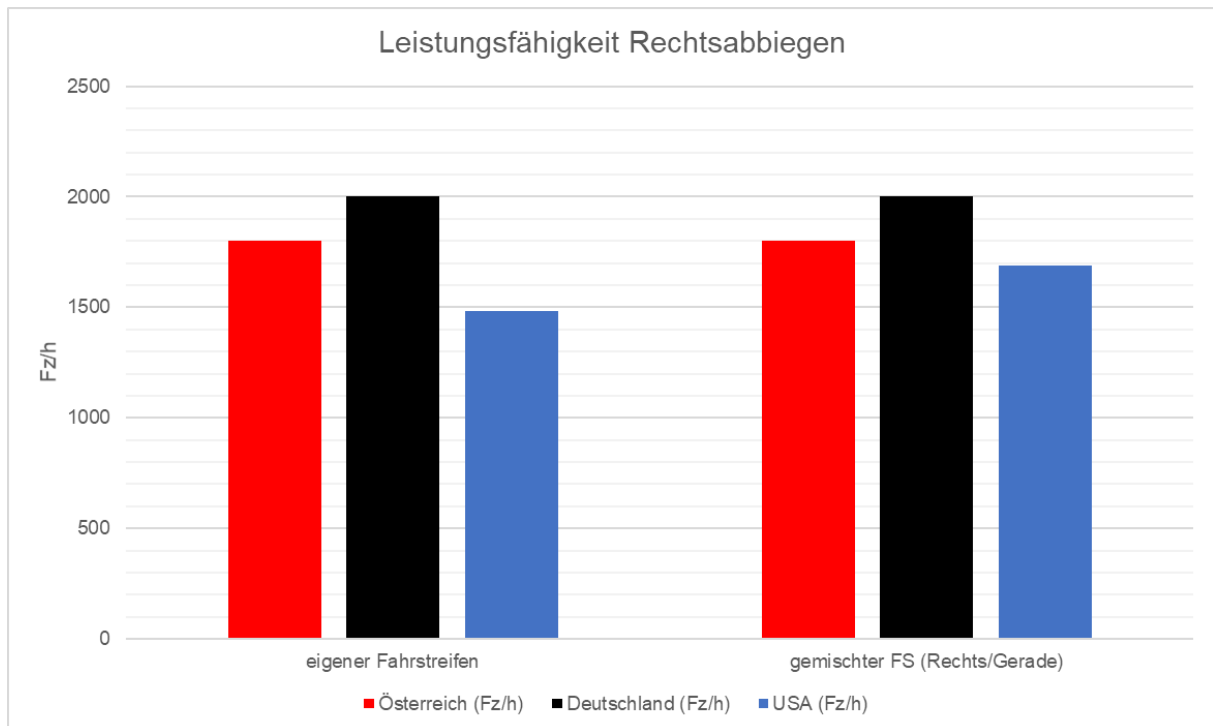


Quelle: nast consulting

7.1.2 Rechtsabbiegen

Die Abbildung 54 zeigt die Leistungsfähigkeit beim Rechtsabbiegen von einem Rechtsabbiegefahrstreifen und einem Geradeaus-Rechtsabbiegefahrstreifen. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 0 % und die Fahrstreifenbreite 3,5 m. Es existiert kein Fußgänger- oder Radverkehr. Der Radius ist mit 20 m festgelegt. Auf dem gemischt geführten Fahrstreifen beträgt der Anteil der Rechtsabbieger 20 %. Nach dem im HBS angeführten Berechnungsverfahren ergibt sich die größte Leistungsfähigkeit.

Abbildung 54: Leistungsfähigkeitsvergleich Rechtsabbiegen (eigener Fahrstreifen und gemischter Fahrstreifen)



Quelle: nast consulting

7.1.3 Linksabbiegen

In den Untersuchungsländern Österreich, Deutschland und USA existieren die Varianten des gesichert geführten und ungesichert geführten Linksabbiegers sowie zeitweilig gesichert geführte Linksabbieger.

In Abbildung 55 wird die Leistungsfähigkeit von Linksabbiegern auf einem Linksabbiegefahrstreifen dargestellt. Der Schwerverkehrsanteil wird mit 0 % und die Fahrstreifenbreite mit 3,5 m, kein Fußgänger- oder Radverkehr und ein Abbiegeradius von 20 m festgelegt.

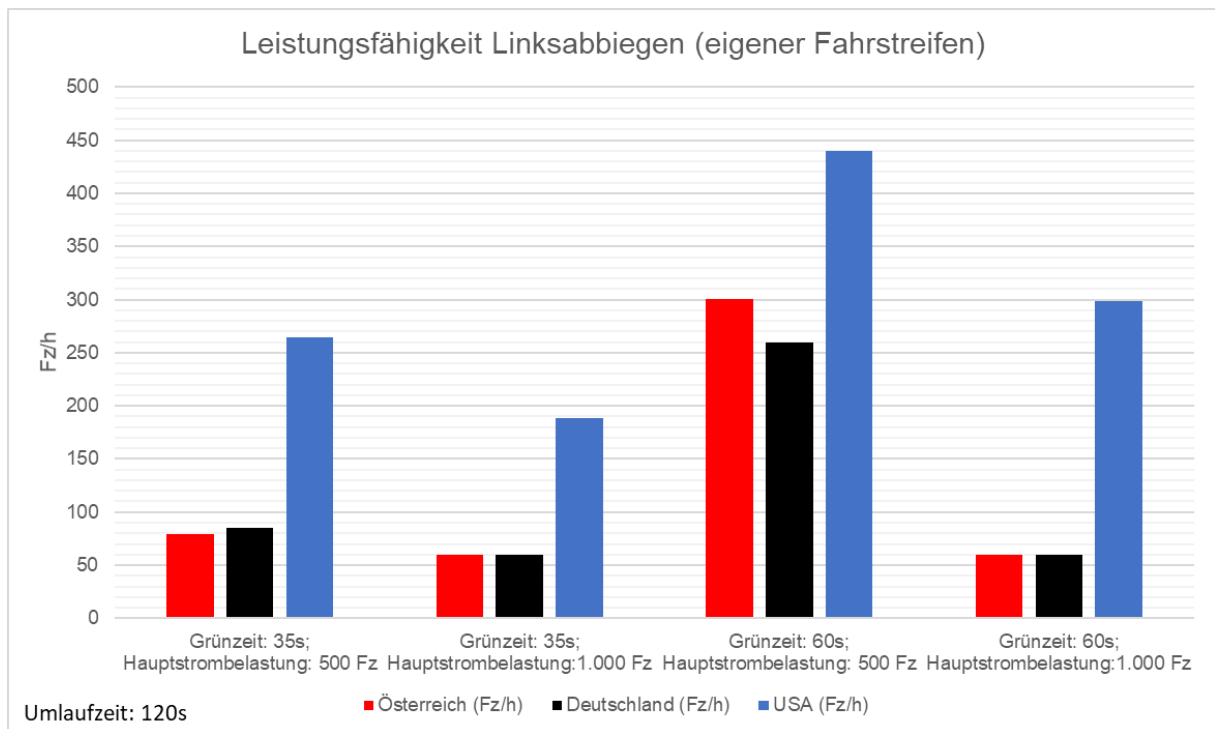
Die Umlaufzeit zur Berechnung ist mit 120 s, die Grünzeit für den Linksabbieger mit 35 s und 60 s angenommen.

Die Hauptstrombelastung des Fahrstreifens der entgegengesetzten Fahrtrichtung wurde mit 500 Fahrzeugen pro Stunde sowie 1.000 Fahrzeugen pro Stunde definiert.

Es zeigt sich, dass bei einem Verkehrsaufkommen von 1.000 Fahrzeugen pro Stunde auf dem Fahrstreifen für die entgegengesetzte Fahrtrichtung die Leistungsfähigkeit für den links abbiegenden Verkehrstrom in Österreich und Deutschland lediglich aus dem Abfluss der einfahrenden Fahrzeuge während der Räumphase resultiert. Für die Berechnung wird angenommen, dass zwei Fahrzeuge pro Umlauf in die Kreuzung einfahren und wieder abfließen können.

Generell zeigt sich, dass entsprechend dem HCM Verfahren der USA eine teilweise deutlich überhöhte Leistungsfähigkeit resultiert.

Abbildung 55: Leistungsfähigkeitsvergleich Linksabbiegen (eigener Fahrstreifen)



Quelle: nast consulting

7.2 Vergleich der Berechnungen laut Richtlinie

Bei dem Vergleich der Richtlinien RVS 05.04.32, HBS und HCM zeigt sich, dass in Österreich zur Umrechnung des Schwerverkehrs höhere Umrechnungsfaktoren als in Deutschland angewendet werden. In den USA wird der Schwerverkehr in Verbindung mit der Längsneigung berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass der Schwerverkehr im österreichischen Berechnungsverfahren den größten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit aufweist.

Die Längsneigung hat im deutschen Berechnungsverfahren den größten Einfluss. Negative Längsneigungen (Gefälle zur Kreuzung hin) führen zu einer deutlichen Erhöhung der Sättigungsverkehrsstärke.

Die Fahrstreifenbreite wurde in all diesen Fällen mit 3 m angenommen, sodass es zu keinem Einfluss durch einen Anpassungsfaktor kommt. Dieser ist im HCM und im HBS vorgesehen. Zu beachten ist, dass in Deutschland lediglich der stärkste Einfluss aus Radius, Längsneigung und Fahrstreifenbreite in die Berechnung der Abminderung der Grundsättigungsverkehrsstärke miteinbezogen werden.

7.3 Ableitung von Abminderungsfaktoren

7.3.1 Schwerverkehr

Für die Umrechnung der Fahrzeugfrequenz aus (KFZ/h) in PKW-Gleichwerte (Pkw-E/h) wurde der Zeitbedarf zweier Fahrzeuge der gleichen Klasse dem Zeitbedarf zweier Pkw gegenübergestellt. Daraus lassen sich die Umrechnungsfaktoren für Schwerverkehrsfahrzeuge in Pkw-E ableiten.

Tabelle 42: Umrechnungsfaktoren für Pkw-E auf Basis der Erhebungsergebnisse

Fahrzeug- klasse	Summe der beiden Zeitlücken [s]	Summe der Zeitlücken von zwei Pkw [s]	Faktor Pkw-E
Lkw ohne Anhänger	6,4	4,0	1,6
Sattel- schlepper	8,4	4,0	2,1
Bus	8,3	4,0	2,1
Lkw mit Anhänger	9,4	4,0	2,4
Pkw	4,0	4,0	1,0

Quelle: Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (1998a), Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (1998b), nast consulting

7.3.2 Längsneigungen

Die höchste Längsneigung der untersuchten Kreuzungen wies die Rampe der A2 an der Kreuzung B17 Triester Straße in Vösendorf auf. Die Rampe hat eine positive Längsneigung (Steigung) von bis zu etwa 4% in Fahrtrichtung zur Kreuzung mit der B17 gesehen. An dieser Kreuzung konnte im Vergleich zu Kreuzungen mit geringer Längsneigung kein Leistungsfähigkeitsverlust festgestellt werden.

Die Zufahrtsrelation mit der geringsten Längsneigung ist die Burggasse an der Kreuzung mit der Museumsstraße. Sie beträgt bis zu 3,9 % Richtung Kreuzung fallend. Hier konnte kein Leistungsfähigkeitsgewinn im Vergleich zu Kreuzungen mit geringer Längsneigung festgestellt werden.

7.3.3 Abbiegeradius

Für die Ermittlung eines Abminderungsfaktors für das Rechtsabbiegen wurden Rechtsabbiegefahrstreifen ohne Behinderung durch parallel geführten Fußgänger- und Radverkehr herangezogen.

Tabelle 43: Berechneter Abminderungsfaktor für den Radius beim Rechtsabbiegen

Radius (Fahrstreifenmitte) des Rechtsabbiegers [m]	Mittelwert der Brutto-Zeitlücke zum Vorderfahrzeug im Kolonnenverkehr bei Haltelinie [s]	Abminderungsfaktor
15-22 m	2,3	0,87
10-15 m	2,7	0,85

Quelle: nast consulting

7.3.4 Fußgänger- und Radverkehr

7.3.4.1 Probleme bei der Anwendung mathematischer Berechnungsansätze

Im Zuge von VLSA 2.0 wurden eigene mathematische Berechnungsansätze entwickelt, mit denen Abminderungsfaktoren für geringes und hohes Fußgänger- und Radverkehrsaufkommen mit hoher Zuverlässigkeit ermittelt werden sollen.

Dabei stand auch die Anforderung im Vordergrund, ein einfach anwendbares Berechnungsverfahren zu entwickeln.

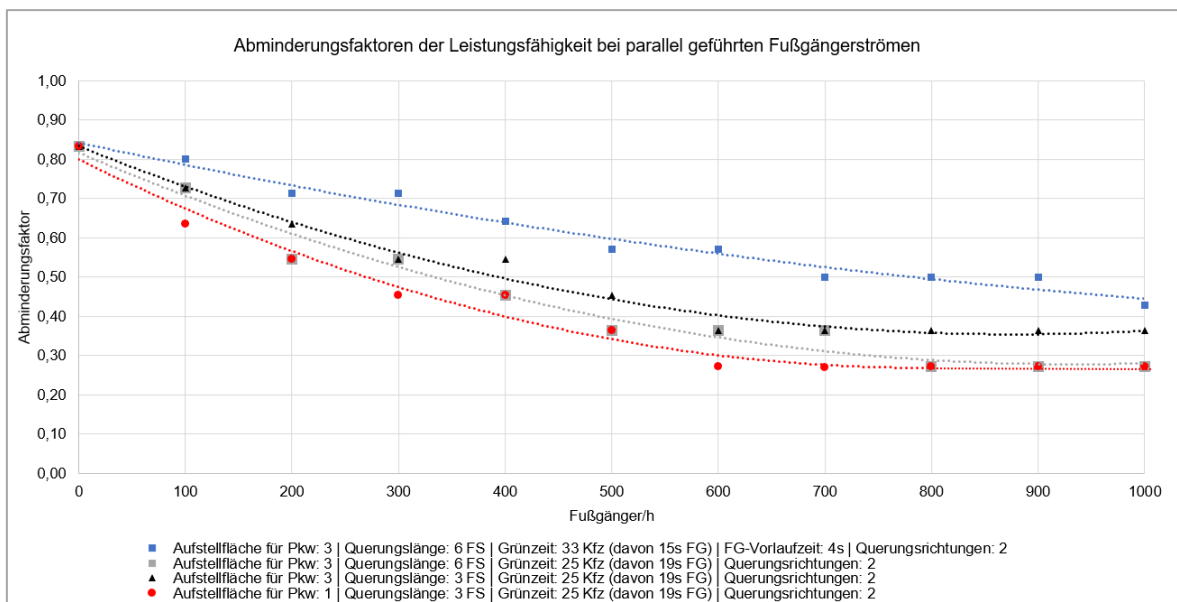
Der Berechnungsansatz erwies sich für geringe Fußgängerfrequenzen als zuverlässig, war aber bei höheren Fußgängerfrequenzen aufgrund der Überlagerung der Platoons beider Querungsrichtungen für eine Abschätzung der Durchlässigkeit für den abbiegenden Fahrzeugstrom nicht ausreichend sicher.

Aus diesem Grund wurden in einem weiteren Schritt die aus den mikroskopischen Simulationen Abminderungsfaktoren ermittelt.

7.3.4.2 Zusammenstellung der Erkenntnisse aus den mikroskopischen Simulationen

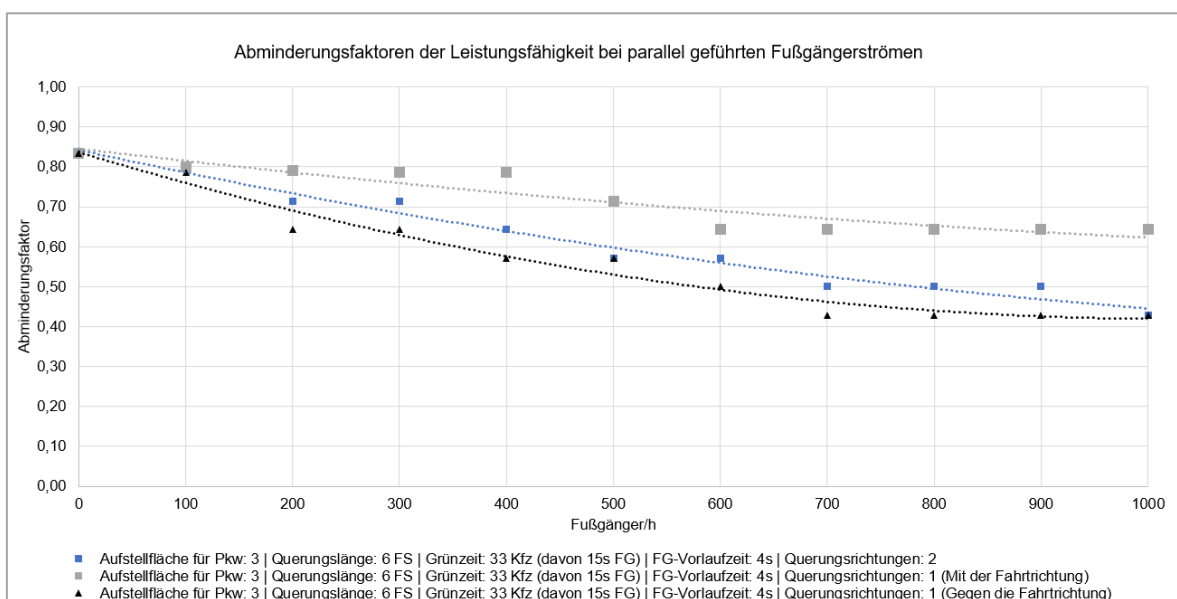
Die folgenden Abbildungen enthalten Empfehlungen für Abminderungsfaktoren für unterschiedliche Kreuzungssituationen. Die Modellannahmen sind in Kapitel 5.1.2 festgehalten.

Abbildung 56: Empfehlungen für Abminderungsfaktoren Fußgänger aufkommen I



Quelle: nast consulting

Abbildung 57: Empfehlungen für Abminderungsfaktoren Fußgänger aufkommen I



Quelle: nast consulting

7.4 Räumzeiten

In der folgenden Auswertung wurde jeweils das letzte räumende Fahrzeug analysiert, das nach Ende der Freigabezeit die Haltelinie als frei fahrendes Fahrzeug überfährt und die Kreuzung überquert. Bei der Geradeausfahrt konnten insgesamt 11 Fahrzeuge, davon 10 Pkws und 1 Lieferwagen, untersucht werden.

Die Räumgeschwindigkeit beträgt gemäß RVS 05.04.32 12 m/s. Dies entspricht 43,2 km/h. Im Zuge der Untersuchung zeigte sich, dass die Geschwindigkeit grundsätzlich ausreichend für die Berechnung der Zwischenzeiten ist. Die durchschnittliche Räumgeschwindigkeit ergab sich zu 51,2 km/h. Lediglich in einem Fall wurde die in der RVS 05.04.32 zu Grunde gelegte Räumgeschwindigkeit von 43,2km/h unterschritten.

Tabelle 44: Geschwindigkeit des letzten räumenden Fahrzeugs nach Ende der Freigabezeit

Mittelwert der Geschwindigkeit [km/h]	Minimale Geschwindigkeit [km/h]	Maximale Geschwindigkeit [km/h]
51,2	35,9	59,9

Quelle: nast consulting

7.5 Ablenkungsverhalten

Die Ergebnisse der Literaturanalyse zum Thema „Ablenkung an VLSA“ suggerieren, dass Ablenkung bei der Gestaltung von Signalzeitplänen berücksichtigt werden kann, aber dies nicht zwingend notwendig ist. So ist etwa jeder Siebte beim Warten an lichtsignalgeregelten Kreuzungen abgelenkt. Häufig hält diese Ablenkung dann bis in die Grünphase an, was Auswirkungen auf die Anfahrzeiten und im Schluss dann auch auf die Leistungsfähigkeit von Verkehrsknoten haben kann. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch, dass AutofahrerInnen in der Regel nicht länger als zwei Sekunden abgelenkt sind und sich dadurch die Reaktionszeit nicht signifikant verlängert, sondern sich häufig eine ähnliche Dauer wie bei nicht abgelenkten FahrerInnen ergibt.

Ebenso schwierig ist es, den richtigen Faktor für die Formel zur Berechnung der Leitungsfähigkeit zu finden. Streuungen in der Dauer von Ablenkungen würden PlanerInnen dazu verleiten, das Signalisierungssystem zu über- oder unterplanen. Jeder Verkehrsknoten müsste nach Ablenkung-stiftenden Faktoren untersucht werden, um das Signalisierungssystem zu optimieren. Wenn jedoch die berechnete Leistungsfähigkeit einer VLSA nicht erreicht und eine veränderte Zeitschaltung diskutiert wird, kann das Thema Ablenkung im Einzelfall mitberücksichtigt werden.

An von Schwerverfahrzeugen stark befahrenen Routen oder Verkehrsknoten mit langen Zykluszeiten können im Sinne eines Pilot-Projektes der Effekt von Countdown-Timern, wie sie in vielen anderen Ländern für Kraftfahrzeuge und in Österreich bereits für Fußgehende und Radfahrende bereits existieren, untersucht werden. Laut Studien verbessert sich die Anfahrtsreaktionszeit bei der Installation von Countdown-Timern signifikant. Ein eventueller Zeitverlust beim Anfahren infolge von Ablenkung könnte so vermutlich gänzlich ausgeglichen werden.

Sowohl die Literatur als auch die Erhebungen bestätigen, dass Ablenkung beim Warten an einer VLSA gehäuft auftritt, da das Fahrzeug zum Stillstand kommt und somit mehr Ressourcen für ablenkende Tätigkeiten zur Verfügung stehen. Während in der Literatur davon ausgegangen wird, dass ca. 15% der bei Rotlicht Wartenden abgelenkt sind, lag dieser Anteil mit ca. zwei Drittel in den Erhebungen wesentlich höher. Der Grund hierfür ist vermutlich in den unterschiedlichen Messmethoden zu suchen, weshalb sich kein allgemeingültiger Anteil bestimmen lässt.

Auch in Bezug auf die Art der Ablenkung an VLSA gibt es Unterschiede zwischen der Literatur und den Ergebnissen der Erhebungen. So werden in der Literatur all die Ablenkungsfaktoren, die auch in die Beobachtungsbögen Eingang gefunden haben, angeführt. Im Zuge der Erhebungen traten die meisten jedoch nur sehr vereinzelt auf. Lediglich bezüglich des Hantierens mit dem Smartphone ergab sich ein eindeutiger Konsens, nämlich dass dieses ablenkende Verhalten mit Abstand am häufigsten zu beobachten ist.

Die Moderatorvariablen wie Geschlecht und Alter der Lenkenden, Tageszeit, Örtlichkeit der VLSA, Verkehrsdichte oder Warteposition beim Anfahren, die in der Literatur berichtet werden, konnten in den Erhebungen nicht bestätigt werden, da die Ergebnisse hierzu von Kreuzung zu Kreuzung sehr unterschiedlich ausfielen und dementsprechend keine Verallgemeinerung erlaubten.

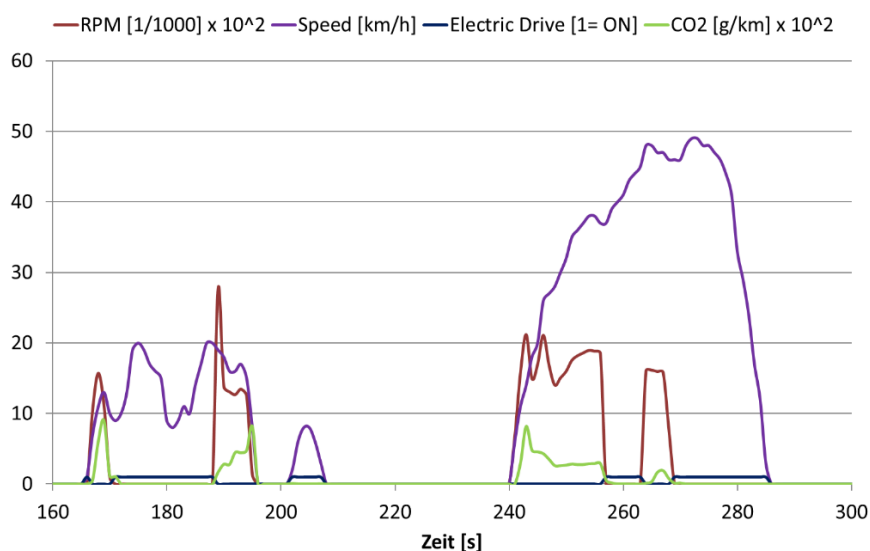
Ein Zeitverlust durch Ablenkung beim Anfahren nach Rotlicht ist sowohl aufgrund der Literatur- als auch der Erhebungsergebnisse denkbar. Da einerseits die Anzahl der zugrundeliegenden Studien sehr begrenzt ist und andererseits die interindividuelle Streuung bei der Anfahrzeit sehr groß ist, lässt sich die Verzögerung jedoch nicht eindeutig beziffern und auch nicht generalisieren. Nichtsdestotrotz wird in der Literatur ein ablenkungsbedingter Zeitverlust von 0,7 sec genannt. Im Zuge der Erhebungen wurden demgegenüber Werte zwischen -0,5 und 1 sec gemessen, also teilweise sogar ein Zeitgewinn infolge von Ablenkung beim Warten. Demzufolge kann Ablenkung die Leistungsfähigkeit einer VLSA sowohl negativ als auch positiv beeinflussen und dies in jedem Fall nur in sehr geringem Ausmaß.

7.6 Fahrzeugdynamik

Die Daten der Realwelt Abgasmessungen liegen für Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Lkw, Busse und Motorräder [A.F. Gruber 2020] mit unterschiedlichen Antriebssystemen vor. Genannt sein Diesel- und Benzinantriebe mit und ohne Automatikgetriebe, Hybridantriebe sowie batterieelektrische Antriebe.

Weiters wurden folgende technischen Merkmale in die Betrachtungen miteinbezogen: Turboaufladung des Verbrennungsmotors, Allradantrieb, Start-Stopp Einrichtung des Verbrennungsmotors sowie die automatische Haltefunktion der Fußbremse. Über der Zeit veränderliches Leistungsgewicht des durchschnittlichen Kfz. Besonderes Augenmerk verdienen Fahrzeuge mit kombinierten Antriebssystemen – Hybride. In der besonderen Ausprägung der sogenannten Plug-in Hybride, die sowohl elektrisch, verbrennungsmotorisch als auch kombiniert betrieben werden können [E. Pucher 2018]. An ampelgeregelten Kreuzungen können Fahrzeuge verzögerungsfrei und geräuschlos beschleunigen, wenn sie elektrisch fahren. Dies trägt ebenso zur Reduzierung von CO₂-Emissionen bei, was insbesondere in städtischen Gebieten mit hoher Verkehrsdichte von Vorteil ist. Die nachstehende Grafik verdeutlicht jedoch, dass eine hohe Abhängigkeit von der Leistung der Elektromaschine und der vom Hersteller vorgegebenen Regelcharakteristik gegeben ist.

Abbildung 58: Beschleunigungsverhalten und Antriebseigenschaften Plug-in Hybrid Pkw Wien Ringstraße

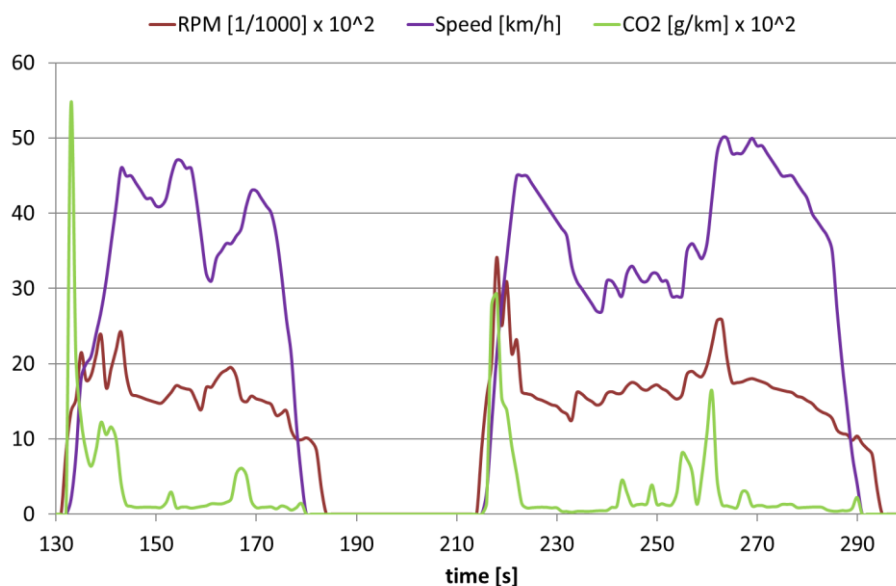


Quelle: Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher

In dem vorliegenden Diagramm wurde der Beschleunigungsvorgang mittels dem Verbrennungsmotor eingeleitet, erst im höheren Geschwindigkeitsbereich wurde die Antriebsstrategie auf rein elektrisch umgeschaltet. Ansprechzeit und Beschleunigung liegen auf einem sehr guten Niveau. Bei Sekunde 240 ist das gleichzeitige Hochfahren des Motors als auch die Beschleunigung des Fahrzeugs gut zu erkennen.

Im Gegensatz dazu wird in der untenstehenden Grafik das längsdynamische Verhalten eines Fahrzeugs mit Benzin Verbrennungsmotor und Start-Stop Einrichtung dargestellt [A.F. Gruber 2019]. Der Geschwindigkeitszuwachs des Fahrzeugs erfolgt mit zirka zwei Sekunden Verzögerung relativ zum startenden Motor. Ersichtlich nach Sekunde 210.

Abbildung 59: Beschleunigungsverhalten und Antriebseigenschaften Benzin Pkw mit Start/Stop Wien Ringstraße



Quelle: Zivilingenieurkanzlei Prof. Dr. Ernst Pucher

Aus den gezeigten und einer Vielzahl weiterer Untersuchungsergebnisse wurden für Pkw technische Ansprechzeiten zwischen 0,2 Sekunden und 1,2 Sekunden berechnet.

Dabei wirkten sich Automatikgetriebe, Allradantrieb (bei niedrigen Reibbeiwerten der Straßenoberfläche), Elektroantrieb und Haltefunktion der Fußbremse als Zeitverkürzung aus. Turboaufladung, manuelles Getriebe und Start-Stopp Einrichtung des Motors wirken sich als Zeit verlängernd aus. Die gleichen Daten können für leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 Tonnen Gesamtgewicht verwendet werden. Für schwere Nutzfahrzeuge ist mit einer Verdoppelung der genannten Zeiten zu rechnen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Es ist derzeit gegenüber dem Stand vor 20 Jahren eine erheblich größere Spreizung der Ansprechzeit des Fahrzeugantriebs festzustellen.
- Bei leichten Fahrzeugen wie Pkw ist beim Anfahren mit einer Verzögerungszeit, als Summe von Reaktionszeit, Umsetzzeit und technischer Ansprechzeit, von 1,0 bis 2,2 Sekunden im zu rechnen.
- Für den darauffolgenden Beschleunigungsvorgang gilt: Im Alltagsverkehr werden bei leichten Fahrzeugen typischerweise maximal 30% der maximalen Antriebsleistung beim Beschleunigen im Stadtverkehr eingesetzt.
- Die Beschleunigung selbst wird im Bereich 1,5 bis 2,5 m/s² durchgeführt.
- Diese Werte werden auch von Stadtbussen erreicht.
- Beladene Schwerfahrzeuge erreichen im Realbetrieb lediglich ein Viertel der Beschleunigungswerte der Pkw.

8 EMPFEHLUNGEN

8.1 Verkehrstechnik

8.1.1 Leistungsfähigkeiten

Die Sättigungsverkehrsstärke wurde in der RVS 05.04.32 zwischen 1.800 Pkw/h und 2.000 Pkw/h angenommen. In den durchgeführten Untersuchungen wurden aktuelle Werte unter realen Bedingungen ermittelt, die den Wert von 1.800 Pkw/h untermauern.

Die Leistungsfähigkeit wird je Grünphase ermittelt und auf Basis der Anzahl von Umläufen auf die stündliche Fahrzeugfrequenz umgerechnet.

Während einer Phase sind drei charakteristische Zeitbereiche für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit maßgebend:

1. Phase des Grünzeitbeginns: diese betrifft die ersten vier bis fünf Fahrzeuge. Das erste Fahrzeug hat nur eine kurze Anfahrzeit, da dieses Fahrzeug an der Haltelinie steht. Die weiteren nachfolgenden Fahrzeuge weisen längere Zeitlücken auf.
2. Phase der Grünzeit zwischen 5. Fahrzeug und Grünzeitende: die Zeitlücken zwischen diesen Fahrzeugen sind nahezu gleich. Ab dem 5. Fahrzeug konnte auch kein Einfluss Dauer der Grünzeit die Zeitlücken festgestellt werden.
3. Phase nach Grünzeitende: nach Grünzeitende (inkl. Grünblinken), insbesondere während der auf die Grünzeit folgenden Gelbzeit, fahren Fahrzeuge über die Haltelinie in die Kreuzung ein. Gegenüber Signalisierung ohne Grünblinken (wie z.B. in Deutschland) können FahrzeuglenkerInnen in Österreich früher den Beginn der bevorstehenden Gelbphase erkennen. Dies hat offensichtlich einen wesentlichen Einfluss auf das Verhalten der Fahrzeuglenker, die nach Grünzeitende einfahren. Dahingehend liegen bislang noch keine Vergleichswerte aus dem Ausland vor.

Es ist wesentlich, diese drei Bereiche zuerst getrennt zu bewerten und anschließend zusammenzufassen sind. Bei sehr kurzen Grünzeiten wird aufgrund der längeren Zeitlücken der ersten Fahrzeuge (2. bis 5. Fahrzeug) die Leistungsfähigkeit geringer sein als bei sehr langen Grünzeiten, bei denen die ersten Fahrzeuge nur einen geringeren Anteil am Verkehrsstrom während der Grünzeit aufweisen.

Während in Österreich eine Rot-Gelb-Zeit vor der Freigabe zwei Sekunden beträgt wird, beträgt diese in Deutschland nur eine Sekunde bzw. werden in den USA null Sekunden angesetzt. Ein Frühstart aufgrund der längeren Rot-Gelb-Zeit wurde bei den durchgeführten Erhebungen kaum beobachtet. Das 1. Fahrzeug weist allerdings eine deutlich geringere Zeitlücke auf.

Die einfahrenden Fahrzeuge nach Grünzeitende wurden ermittelt, ein Vergleich mit Signalanlagen ohne Grünblinken ist mangels Datenverfügbarkeit nicht möglich. Eine Abhängigkeit der Anzahl der nach Grünzeitende passierenden Fahrzeuge vom Verkehrsaufkommen konnte nicht beobachtet werden.

Die Zeitlücken während der Grünzeit (mit Ausnahme der ersten Fahrzeuge) schwanken zwischen 1,8 und 2,2 Sekunden – der gemessene Durchschnitt liegt bei 2,0 Sekunden.

8.1.2 Geschwindigkeiten

Verkehrslichtsignalanlagen an Kreuzungen und Schutzwegen dürfen gemäß RVS 05.04.32 bis zu einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h betrieben werden. Dies gilt für Verkehrslichtsignalanlagen im Ortsgebiet und im Freiland.

Der größte Teil der Verkehrslichtsignalanlagen befindet sich an Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit zwischen 30 km/h und 70 km/h. Der Zusammenhang zwischen Verkehrsdichte und Verkehrsfrequenz wird als Fundamentaldiagramm bezeichnet. Aus dem Fundamentaldiagramm lässt sich der Zusammenhang zwischen Verkehrsfrequenz und Verkehrsgeschwindigkeit ableiten. Im Allgemeinen ergibt sich die maximale Leistungsfähigkeit im Streckenbereich bei Geschwindigkeiten zwischen 60 km/h und 90 km/h.

Im Bereich von Verkehrslichtsignalanlagen in Ortsgebieten liegen empirische Befunde nicht vor. Im Zuge der Erhebungen war es auch nicht möglich, Strecken mit einer höchstzulässigen Fahrgeschwindigkeit von 70 km/h zu untersuchen, für die für allgemeine Schlussfolgerungen abgeleitet werden können. Es muss darauf hingewiesen werden, dass bei Geschwindigkeiten von 70 km/h entsprechend den derzeitigen Richtlinien die Überfahrtszeit um eine Sekunde erhöht wird.

Bei geringen Geschwindigkeiten, z.B. 30 km/h, ist auch eine geringere Leistungsfähigkeit zu erwarten, wenn von einer gleichbleibenden Nettozeitlücke zwischen den Fahrzeugen ausgegangen wird. Auch dafür liegen allerdings keine Untersuchungen vor.

Die Unterschiede der Leistungsfähigkeit sind sehr wohl beim Anfahren, während der Phase, als auch nach Grünzeitende zu berücksichtigen. Aufgrund der erhöhten Überfahrtszeit ist bei höheren Geschwindigkeiten unter Berücksichtigung der zusätzlichen Überfahrtszeit keine oder nur eine äußerst verringerte Änderung der Leistungsfähigkeit gegeben. Bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h ist ebenfalls keine wesentliche Änderung zu erwarten. Beim Anfahren wird sich für den Kreuzungsbereich keine Änderung ergeben.

Mögliche Veränderungen sind daher nur beim Verkehrsablauf während der Grünzeit möglich. Dies gilt auch, wenn bei koordinierten Verkehrslichtsignalanlagen der Verkehrsstrom zur Kreuzung fährt, ohne dass ein Reststau gegeben war. Es können daher Zeitlücken eine Zeit lang über oder unter 2,0 Sekunden betragen. Es wird davon ausgegangen, dass diese Unterschiede nicht die Regel sind. Es ist auch zu beachten, dass bei den Erhebungen Schwankungen in den Zeitlücken beobachtet wurden.

Aufgrund fehlender gegenteiliger Befunde wird davon ausgegangen, dass der Einfluss der Geschwindigkeiten auf die Leistungsfähigkeit nicht maßgebend ist. Bei der Dimensionierung der Verkehrslichtsignalanlagen müssen daher die Geschwindigkeiten weiterhin nicht explizit berücksichtigt werden.

8.1.3 Abminderungsfaktoren

8.1.3.1 Schwerverkehr

Auf Basis der Analysen ergeben sich laut folgender Tabelle aktualisierte Äquivalenzwerte für den Schwerverkehr, welche gegenüber den Richtlinien RVS 03.05.11 und 05.04.32 abweichen. Dabei wird eine Rundung auf 0,5 Pkw-E vorgeschlagen.

Tabelle 45: Umrechnung von Pkw-Einheiten von Schwerverkehrsfahrzeugen bei Gerade-Fahrt

Fahrzeug	Pkw-E			
	RVS 05.04.32 (VLSA)	RVS 03.05.11 (Knoten)	HBS 2015	Empfehlung auf Basis von VLSA 2.0
Pkw	1,0	1,0	1,00	1,0
Lkw	2,0	1,5	1,75	1,5
Sattel-schlepper	3,0	2,0	2,50	2,0
Bus	2,0	1,5	1,75	2,0
Lkw mit Anhänger	4,0	2,0	2,50	2,5

Quelle: nast consulting

8.1.3.2 Längsneigungen

Der Einfluss der Längsneigungen auf die Leistungsfähigkeit ist ab einer bestimmten Steigung in Fahrtrichtung zur Kreuzung gesehen relevant. Vor allem bei höherem Schwerverkehrsanteilen ist dies zu berücksichtigen. Durch die verbesserte Motorisierung und Getriebetechnik der Schwerfahrzeuge ist der Einfluss dieses Faktors deutlich geringer als in den vergangenen Jahrzehnten.

Bei den durchgeführten Erhebungen wurden keine Längsneigungen über oder unter 4 % untersucht. Bei positiver Längsneigung bis 4 % konnten keine merkablen Abminderungen der Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Aus dem Ausland liegen dahingehend keine entsprechenden aktuellen Untersuchungen vor. Es ist daher davon auszugehen, dass bis +/- 4 % Längsneigung keine maßgebliche Verringerung oder Erhöhung der Leistungsfähigkeit gegeben ist, die für Richtlinien relevant wäre.

Auch für Schwerfahrzeuge konnte dieser Einfluss relativ gering nicht nachgewiesen werden, so dass er nicht in die Leistungsfähigkeitsberechnungen einbezogen werden sollte.

Verkehrslichtsignalanlagen mit größerer Längsneigung als 4 % im Kreuzungsbereich sowie in den Zufahrtsbereichen haben nur einen äußerst geringen Anteil an den gesamten Verkehrslichtsignalanlagen. Für diese wenige Fälle sind im jeweiligen Bedarfsfall Sonderuntersuchungen (z.B. Erhebungen oder Simulationen) durchzuführen.

8.1.3.3 Abbiegeradius

Im Zuge der Analysen konnten der in der RVS 05.04.32 angeführte Wertebereich der Abminderungsfaktoren für das Rechtsabbiegen bestätigt werden. Zu beachten ist, dass die Abminderungen durch den Radius nur bei Relationen ohne parallelgeführten Geh- oder Radweg maßgebend ist.

Bei Vorhandensein von Fußgänger- und/oder Radverkehr ist nur die Abminderung durch den Fußgänger- und Radverkehr maßgebend.

8.1.3.4 Fahrstreifenbreite

Die Fahrstreifenbreite hatte bei allen untersuchten Kreuzungen, bei denen die Breite jeweils über 3 m liegt, keinen maßgebenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Bei geringen Fahrstreifenbreiten, die nur sehr selten auftreten, sind gesonderte Untersuchungen vorzunehmen.

8.1.3.5 Fußgänger- und Radverkehr

Einfach anwendbare mathematische Berechnungsansätze können nur ein geringes Fußgängeraufkommen ausreichend abbilden, sind aber bei höheren Frequenzen aufgrund der Überlagerung der Platoons der beiden Querungsrichtungen nicht ausreichend zuverlässig.

Aus diesem Grund wurden Wertebereiche für Abminderungsfaktoren aus den mikroskopischen Simulationen als Hilfestellung für unterschiedliche Anwendungsfälle ermittelt.

Die Diagramme in Kapitel 7.3.4 liefern Empfehlungen für die Anwendung unterschiedlicher Werte von Abminderungsfaktoren für verschiedene Kreuzungssituationen und Fußgänger-aufkommen.

Bei Leistungsfähigkeitsverminderung infolge von Fußgänger- bzw. Radfahrerverkehr ist der Abbiegeradius während der Freigabe- und Räumzeit der Fußgänger und Radfahrer nicht zu berücksichtigen. Der Abbiegeradius ist erst nach Ende der Räumzeit der Fußgänger bzw. Radfahrer relevant. Die Anzahl der Fahrzeuge zwischen Haltelinie und Fußgängerübergang ist jedenfalls als abfließender Verkehr zu berücksichtigen.

8.1.4 Koordinierungen

Bei Koordinierungen von zumindest zwei Anlagen entfallen für die nachfolgende Kreuzung die längeren Anfahrzeitlücken, sofern die Fahrzeuge mit fliegendem Start in die Kreuzung einfahren können und nicht durch wartende Fahrzeuge behindert werden. Im koordinierten Verkehrsfluss können in diesem Fall die Zeitlücken während der Hauptgrünzeit von Beginn an berücksichtigt werden, was einen entsprechenden Leistungsfähigkeitsvorteil ergibt.

Bei vielen Kreuzungen ist ein einbiegender Verkehr einer nicht koordinierten Relation der vorhergehenden Kreuzung gegeben, der in der Regel während der Rotphase der stromabwärts gelegenen Kreuzung eintrifft.

Aus der Analyse des untersuchten Bereiches mit Koordinierung lässt sich nicht ableiten, dass die Zeitlücken im koordinierten Verkehrsstrom an der nachfolgenden Kreuzung geringer sind, als auf einer nicht koordinierten Kreuzung nach einer gewissen Zeit ab Freigabebeginn (z.B. ab dem 5. bis 6. Fahrzeug).

Grundsätzlich sollte in den Richtlinien die rechnerische Grundleistungsfähigkeit nicht höher angesetzt werden. Koordinierte Anlagen dienen einem homogenen Verkehrsfluss, der Minimierung des Energieverlustes bei Fahrzeugen ohne Rekuperation und der Komforterhöhung für FahrzeuginsassInnen.

8.1.5 Umfeld der Kreuzung

Bei den untersuchten Kreuzungen wurde kein maßgeblicher Unterschied zwischen Verkehrslichtsignalanlagen im Ortsgebiet und Verkehrslichtsignalanlagen im Freiland festgestellt.

8.1.6 Räumzeiten

Die erhobenen Daten geben keinen Anlass, die bestehenden Parameter für die Ermittlung der Räumzeit gemäß RVS 05.04.32 zu verändern. Die Räumgeschwindigkeiten weisen ausreichende Reserven auf.

8.1.7 Staulänge

Die erhobenen Daten zeigen keinen Anlass, die bestehenden Parameter der Staulängen zu verändern.

8.1.8 Witterung

Bei der Leistungsfähigkeit von Signalanlagen werden trockene Fahrbahn und witterungsbedingt gute Sichtverhältnisse zu Grunde gelegt. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen wie z.B. nasser Fahrbahn, Glätte sowie starkem Nebel ist eine Reduktion der Leistungsfähigkeit, insbesondere aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten und des größeren Sicherheitsabstandes zwischen den Fahrzeugen, gegeben.

8.2 Ablenkungsverhalten

Es konnten nur geringe, zumeist deutlich unter einer Sekunde liegende Zeitverluste für einzelne Freigabephase ermittelt werden. Im Berechnungsverfahren sind daher keine Zuschläge für Zeitverluste durch Ablenkungen erforderlich.

Sowohl die einschlägige Literatur als auch die Erhebungen im Zuge des Projekts haben gezeigt, dass Ablenkung an VLSA gehäuft auftritt. Es kann davon ausgegangen werden, dass während den meisten Rotlichtphasen zumindest ein*e Wartende abgelenkt ist - in der Regel durch die Bedienung des Smartphones oder aufgrund anderer Handlungen innerhalb des Fahrzeugs. Ob Ablenkung in weiterer Folge zu einem verzögerten Anfahren und damit zu einer verminderten Leistungsfähigkeit der VLSA führt, lässt sich jedoch anhand der Befunde nicht eindeutig sagen. So ist es aufgrund der Erhebungsergebnisse einerseits

denkbar, dass Ablenkung die Leistungsfähigkeit einer VLSA mindert, andererseits ist es aber auch möglich, dass sie die Leistungsfähigkeit gar nicht oder sogar positiv beeinflusst.

Ein genereller Abminderungsfaktor ist daher nicht Ziel führend. Weiterhin kommen derartig geringe Verzögerungen nur an voll ausgelasteten Kreuzungen wirklich zum Tragen. Bereits das Halten des ersten Fahrzeuges auf oder gar Überfahren der Haltelinie, wie es mehrfach beobachtet wurde, kann einen Zeitverlust von unter einer Sekunde ausgleichen.

Das Projektteam kommt daher in Abstimmung mit dem beratenden Konsortium zu dem Schluss, dass es nicht zielführend ist, Ablenkung als Abminderungsfaktor im Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit einer VLSA zu berücksichtigen.

8.3 Fahrzeugdynamik

Die Beurteilung ergibt sich aufgrund aktueller Messergebnisse und der Zusammensetzung des Fahrzeugkollektives. Zukünftig wird der Anteil der Fahrzeuge mit Start-/Stop-Automatik, Elektroantrieb sowie autonomem Fahrbetrieb zunehmen. Entsprechend den jeweiligen Sicherheitsbestimmungen kann daher die Leistungsfähigkeit unter Umständen abnehmen.

8.4 Empfehlungen für die Überarbeitung der RVS-Richtlinie 05.04.32

Die Änderungsvorschläge für die bestehende RVS sind im Anhang 11.4 angeführt. In roter Schrift bzw. rot durchgestrichen sind die vorgeschlagenen Änderungen seitens des Projektteams.

9 KURZFASSUNG

Zur Planung von Verkehrslichtsignalanlagen in Österreich wird die Richtlinie RVS 05.04.32 „Planen von Verkehrslichtsignalanlagen“ maßgebend als Grundlage herangezogen. Die aktuell gültige Fassung wurde im Oktober 1998 veröffentlicht. In der Zwischenzeit hat es wissenschaftliche und technische Neuerungen gegeben sowie eine Vielzahl neuer Einwirkungen auf LenkerInnen (Ablenkung) und Änderungen im Fahrzeugkollektiv. Aus diesem Grund erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts VLSA 2.0 eine Überprüfung der Parameter und des methodischen Ansatzes sowie der dahinterliegenden Annahmen.

Im Projekt erfolgte eine entsprechende Überprüfung anhand von detaillierten Analysen auf Basis von Literaturrecherchen, Erhebungen sowie mikroskopischen Simulationen. Verkehrstechnische Erhebungen wurden an acht Kreuzungen in Wien, Niederösterreich, Oberösterreich und im Burgenland durchgeführt. Daraus erfolgte die Ableitung der verkehrstechnischen Parameter für unterschiedliche Fahrzeugkategorien. Auf Einzelfahrzeugebene wurden beispielsweise Fahrtrichtung, Abbiegevorgang, Zeitlücke, Geschwindigkeit, VLSA-Phase beim Überfahren der Haltelinie, etc. bestimmt. Für komplexe Situationen wie z.B. Abbiegemanöver und Interaktionen mit parallel geführtem Fußgänger- und/oder Radverkehr wurden auf Basis der identifizierten Parameter umfassende mikroskopische Simulationen und Bewertungen durchgeführt. Weiters erfolgte eine Auswertung des Ablenkungsverhaltens an fünf Kreuzungen in Wien und Niederösterreich. Hierbei wurden neben den unterschiedlichen Arten der Ablenkung auch mögliche Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit geprüft. Zusätzlich erfolgte eine Analyse des Fahrzeugkollektivs auf Österreichs Straßen, um Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit aus diesem Blickwinkel beurteilen zu können.

Auf Basis der Auswertungen und Analysen wurden entsprechende Empfehlungen zusammengestellt. Diese umfassen einerseits allgemeine Erkenntnisse und andererseits konkrete Vorschläge für die Überarbeitung der RVS 05.04.32. Der Großteil der angesetzten Parameter und methodischen Ansätze besitzt weiterhin Gültigkeit. Die Sättigungsverkehrsstärke mit 1.800 Pkw/h wurde bestätigt.

Zur Umrechnung des Schwerverkehrs in Pkw-E erfolgte eine Empfehlung zur Reduktion der Umrechnungsfaktoren auf Basis der ermittelten Zeitlücken. Bei der Abminderung von abbiegenden Fahrzeugströmen durch den parallel geführten Fußgänger- und Radverkehr

wurden für Standardsituationen Anwendungshilfen der Abminderungsfaktoren zusammengestellt. Weiters wurden Vorschläge für Abminderungsfaktoren für repräsentative Kurvenradien ausgewiesen.

Die Erkenntnisse zeigen ferner, dass Längsneigungen bis ± 4 % sowie Auswirkungen reduzierter Fahrstreifenbreiten bis 3,0 m bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit nicht mehr explizit berücksichtigt werden sollten.

Die Ergebnisse der Ablenkungsuntersuchung kommen zu dem Schluss, dass kein gesonderter Faktor für die Ablenkung zu etablieren ist. Es zeigten sich deutliche Schwankungen bei allen erfassten Kreuzungen und nur geringfügige Änderungen bei den Zeitlücken.

Aus Sicht der Fahrzeugtechnik kommt es aufgrund der Antriebstechnik (Diesel, Benzin, Eklektisch), Getriebe (Automatik- und Schaltgetriebe) und der technischen Ausstattung (Haltefunktion der Fußbremse, Start-Stopp Einrichtung, Turboaufladung) zu einer stärkeren Spreizung der technischen Ansprechzeiten, die allerdings in den Zeitlücken repräsentiert werden.

10 VERZEICHNISSE

10.1 Literaturverzeichnis

Alam Boni, J.; Kyung Hyun, K.; Mattingly, S. P. (2022). Characterizing Technology's Influence on Distractive Behavior at Signalized Intersections. *Transactions on Transport Sciences*, 13(3), 4-13.

Allianz Versicherungs-AG (2023). Gefährliche Alleskönner. Moderne Technik lenkt Fahrer zu stark ab. Verfügbar unter: <https://www.allianz.de/presse/mitteilungen/gefaehrliche-alleskoenner-moderne-technik-lenkt-fahrer-zu-stark-ab/> [12.06.2023]

Alshabibi, N. (2021). Impact Assessment of Driver Distraction by Cellphone on Start-up Lost-time and Average Saturation Headway at Signalized Intersections Based on Vehicle Position in the Queue. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 49(4).

Arvin, R. & Khattak, A.J. (2020). Driving impairments and duration of distractions: Assessing crash risk by harnessing microscopic naturalistic driving data. *Accident, Analysis and Prevention*, Sept. 2020.

Bayly, M.; Young, K.; Regan, M. (2009). Sources of Distraction inside the Vehicle and Their Effects on Driving Performance. In: *Driver Distraction. Theory, Effects, and Mitigation*, 1st Edition, Chapter 12, Publisher: CRC Press, Editors: Michael A Regan, John D Lee, Kristie L Young.

Bogdanović, V., et.al. (2013): "The Research of Vehicle Acceleration at Signalized Intersections". *Promet – Traffic&Transportation*, Vol. 25, No. 1, 33-42

Brumfield, R. M. & Pulugurtha, S. S. (2011). Effect of Driver Cell Phone Use on Queue Discharge Patterns at Signalized Intersections. *Transportation Research Record*, 2257(1), 71-79.

Çalışkanelli, S. P.; Coşkun Atasever, F.; Tanyel, S. (2017). Start-up Lost Time and its Effect on Signalized Intersections in Turkey. *Promet – Traffic & Transportation*, 29(3), 321-329. Available from: <https://traffic.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/2214> [13.06.2023]

Çalışkanelli, S. P. & Tanyel S. (2016). Investigating the Driver Response Time at Signalized Intersections. Transport, 2016.

Dingus, T. A.; Guo, F.; Lee, S.; Antin, J. F.; Perez, M.; Buchanan-King, M.; Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 113(10), 2636–2641.

Damian, F., et.al. (2023): “Experimental Study on Longitudinal Acceleration of Urban Buses and Coaches in Different Road Maneuvers”. Sensor, 23, 3125. <https://doi.org/10.3390/s23063125>

Department for Transport (2018): Traffic Signs Manual. London.

Dingus, T. A.; Owens, J. M.; Guo, F.; Fang, Y.; Perez, M.; McClafferty, J.; Buchanan-King, M.; Fitch, G. M. (2019). The prevalence of and crash risk associated with primarily cognitive secondary tasks. Safety Science, Vol. 119, Nov. 2019, 98-105.

Europäische Kommission (2022). Road safety thematic report – Driver distraction. European Road Safety Observatory. Brüssel, Europäische Kommission, Generaldirektion für Verkehr und Mobilität.

Federal Highway Administration (2022): Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. 2009 Edition Including Revision 1 dated May 2012, Revision 2 dated May 2012 and Revision 3 dated July 2022. Washington, D.C.

Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (1998a): RVS 05.04.31 Einsatzkriterien. Wien.

Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (1998b): RVS 05.04.32 Planen von Verkehrslichtsignalanlagen. Wien.

Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (1998c): RVS 05.04.33 Ausführung, Abnahme, Betrieb, Installation. Wien.

Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (2005): RVS 03.05.11 Knoten, Planungsgrundsätze. Wien.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (2015): Richtlinien für Lichtsignalanlagen. Köln.

Geistefeldt, J.; Schmitz, J.; Wu, N. (2022). Modeling Adjustment Factors for Pedestrians and Bicycles on Turning Vehicle Movements at Signalized Intersections

Gössinger, M. & Schmied, S. (2022). Ablenkung im Straßenverkehr – Nebentätigkeiten. Erhebungen und Befragungen. Unveröffentlichter Bericht des KFV.

Greenshields, B. D.; Schapiro, D; Ericksen, E. L. (1947): Traffic Performance at Urban Street Intersections. Yale Bureau of Highway Traffic, Technical Report No. 1, New Haven (USA).

Gruber, A. F., Pucher, E., Spitzwieser, C. (2019): "NOx and PN Emissions from Vehicles with SI-Engines with Stop-Start Systems in Urban Traffic"; "Proceedings of the 29th CRC REAL WORLD EMISSIONS WORKSHOP", Long Beach, 15 S.

Gruber, A. F., Pucher, E., Spitzwieser, C. (2020): "IoT Based Real-World Emission Analysis of Motorcycles"; in: "Digital Conversion on the Way to Industry 4.0", M.N. Durakbasa et al. (Hrg.); Springer Nature Switzerland AG, ISBN: 978-3-030-62784-3, 10 S.

Huisingh, C.; Griffin, R.; McGwin JR, G. (2015). The prevalence of distraction among passenger vehicle drivers: a roadside observational approach. In: Traffic injury prevention, 16 (2), 140-146.

Huth, V.; Saez, Y.; Brusque, C. (2015). Drivers' phone use at red traffic lights: A roadside observation study comparing calls and visual-manual interactions. Accident Analysis and Prevention, 2015, 74, 42-48.

Kettwich, C. (2014). Ablenkung im Straßenverkehr und deren Einfluss auf das Fahrverhalten, Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie - Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.

Kidd, D. G.; Tison, J.; Chaudhary, N. K.; McCartt, A. T.; Casanova-Powell, T.D. (2016). The influence of roadway situation, other contextual factors, and driver characteristics on the prevalence of driver secondary behaviors. In: Transportation research part F: traffic psychology and behaviour (41), 1-9.

Krause, R. (2002): „Anfahrbeschleunigungen im alltäglichen Straßenverkehr“. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 4, S. 105 - 108

Kreußlein, M.; Schleinitz, K.; Krems, J. (2020). Häufigkeit von Ablenkung beim Autofahren. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.

Lee, J. D.; Young, K. L.; Regan, M. A. (2009). Defining driver distraction. In: Regan, M. A., Lee, J. D. & Young, K. L. (Hrsg.): Driver distraction: Theory, effects and mitigation, 191-213. Boca Raton: CRC Press.

Liu, P.; Yu, H.; Wang, W.; Ma, J.; Wang, S. (2012). Evaluating the Effects of Signal Countdown Timers on Queue Discharge Characteristics at Signalized Intersections in China. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2286(1), 39–48.

Metz, B. (2009). Worauf achtet der Fahrer? Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben. Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Pommer, A. & Donabauer, M. (2023). Gurt 2023. Sicherungsquoten in Österreich, Standarderhebungen des KFV. Wien: KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit).

Pommer, A.; Donabauer, M.; Winkelbauer, M.; Schneider, F.; Robatsch, K. (2016). KFV - Sicher Leben. Band #1. 100-Car Study Österreich. Wien: KFV (Kuratorium für Verkehrssicherheit).

Powelleit, M., et.al. (2015): „Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver“. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft 100, ISBN 978-3-95606-146-2

Prat, F.; Gras, M. E.; Planes, M.; Fontmayolas, S.; Sullman, M.J. (2017). Driving distractions: an insight gained from roadside interviews on their prevalence and factors associated with driver distraction. In: Transportation research part F: traffic psychology and behaviour (45), 194-207.

Pucher, E., Gruber, A.F., Innerkofler, M., Buhmann, M. (2018): "Performance Analysis of Vehicle-Specific Methods and Sensors for Autonomous Vehicles"; Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018, Wien; Springer, ISBN: 978-3-319-92266-9; S. 451 - 463.

Pucher, E., Gruber, A. F., Eidmann, A., Spitzwieser, C. (2018): "Real-World Emission Analysis of Euro 6 Plug-In Hybrid and Diesel Cars"; in: "Proceedings of th 28th CRC REAL WORLD EMISSIONS WORKSHOP", Los Angeles, 6 S.

Reindl, A. (1996): „Untersuchungen zum Betätigungsverhalten von Fahrzeugpedalen in einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe“. Diplomarbeit, Westsächsischen Hochschule Zwickau, Fakultät Kraftfahrzeugtechnik

Road Research Laboratory (1963): A method for measuring saturation flow at traffic signals. Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Road Note 34, Crowthorne (UK).

Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute VSS (1997): Lichtsignalanlagen. Abschätzen der Leistungsfähigkeit.

Statistik Austria (2023): Kfz-Bestand. Wien. In: <https://www.statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/fahrzeuge/kfz-bestand> [09.01.2024]

Strayer, D. L.; Cooper, J. M.; Turrill, J.; Ward, N. (2013). Measuring Cognitive Distraction in the Automobile (Issue June). Washington D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety. Available from: <https://doi.org/10.1177/0018720815575149> [12.06.2023]

Tefft, B. C. (2018). Reducing crash risk and improving traffic safety: research on driver behavior and performance. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, 88(8), 30-34.

Transportation Research Board (2016): Highway Capacity Manual. 6th Edition | A Guide For Multimodal Mobility Analysis. Washington, D.C.

Victor, T. & Harbluk, J. (2005). Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty. Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour, March 2005.

Wierwille, W. (1993). Visual and Manual Demands of In-car Controls and Displays. In: Smith, Solame, editors. Automotive Ergonomics. New York: Taylor and Francis.

10.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite (Deutschland).....	12
Abbildung 2: Formeln zur Berechnung des Einflusses der Längsneigung auf die Leistungsfähigkeit (USA).....	12
Abbildung 3: Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite (Deutschland).....	13
Abbildung 4: Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung der Fahrstreifenbreite (Deutschland).....	14
Abbildung 5: Definition von Konfliktflächen (Österreich).....	16
Abbildung 6: Definition der Konfliktfläche (Deutschland).....	17
Abbildung 7: Berechnung Sättigungsverkehrsstärke und Zeitwertbedarf (Deutschland).....	20
Abbildung 8: Berechnung des Anpassungsfaktor des Schwerverkehrs (Deutschland).....	21
Abbildung 9: Zusatztafel Grünpfeil für den Fahrradverkehr.....	23
Abbildung 10: Grünpfeilschild für Rechtsabbieger.....	24
Abbildung 11: Standardfall für einen geteilt-signalisierten Linksabbieger mit einem teilweise gesichert geführten Linksabbieger („dog house“).....	24
Abbildung 12: Korrelation von Ablenkungsdauer mit dem Unfallrisiko.....	31
Abbildung 13: Auswirkungen von Ablenkung in der Warteschlange.....	37
Abbildung 14: Darstellung der Anfahrreaktionszeit.....	38
Abbildung 15: Pkw-Anteile der Antriebskonzepte 2022.....	41
Abbildung 16: Zeittrend Eigengewicht neu zugelassener PKW.....	42
Abbildung 17: Zeittrend der Nennleistung Schwerer LKW in Österreich.....	43
Abbildung 18: Verteilung der gemessenen Beschleunigungswerte von über 200 Fahrzeugen.....	47
Abbildung 19: Echtzeit Realwelt – Vehicle-to-Infrastructure Messsystem OBM 5.0.....	48
Abbildung 20: GPS-Tracking einer Testfahrt Wiener Ringstraße und typische Längsbeschleunigungen Mittelklasse Pkw.....	49
Abbildung 21: Verkehrstechnische Erhebung mit Drohne Dreamer 4K (Hersteller Potensic).....	50
Abbildung 22: Verkehrstechnische Erhebung VLSA Phase mittels Kamera.....	51
Abbildung 23: Verkehrstechnische Erhebung mittels Kamera auf einem Gebäude.....	51
Abbildung 24: Luftbild B7 Brünner Straße / Julius-Raab-Straße.....	54
Abbildung 25: Luftbild B17 Triester Straße / Rampe A2.....	56
Abbildung 26: Luftbild B51 Wiener Straße / Hirschfeldspitz / Kurzes Hirschfeld / Äußeres Hirschfeld.....	58
Abbildung 27: Luftbild B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße.....	60
Abbildung 28: Luftbild Hafensstraße / Straßerau / Untere Donaulände.....	62
Abbildung 29: Luftbild B50 Ödenburgerstraße (Kreuzung mit Lobzeile und Bahnstraße).....	63
Abbildung 30: Luftbild Museumsplatz / Burggasse.....	65
Abbildung 31: Luftbild B221 Neubaugürtel / Urban-Loritz-Platz.....	66
Abbildung 32: Videokamerasetting.....	68

Abbildung 33: Pilotkreuzung 1 – Schemmerlstr./Mittelfeldg., 1110 Wien	71
Abbildung 34: Pilotkreuzung 2 – Wientalstr./Brauhausbrücke, 1130 Wien.....	72
Abbildung 35: Pilotkreuzung 3 – Brünner Str./Angerer Str., Hermann-Bahr-Str., 1210 Wien, Fahrtrichtung A22 stadteinwärts.....	73
Abbildung 36: Pilotkreuzung 3 – Brünner Str./Angerer Str., Hermann-Bahr-Str., 1210 Wien, Fahrtrichtung Mistelbach stadtauswärts.....	74
Abbildung 37: Pilotkreuzung 4 – B8/L6, 2232 Deutsch-Wagram.....	75
Abbildung 38: Pilotkreuzung 5 – B1a/Purkersdorfer Str., 3100 St. Pölten, Fahrtrichtung St. Pölten	76
Abbildung 39: Pilotkreuzung 5 – B1a/Purkersdorfer Str., 3100 St. Pölten, Fahrtrichtung A1/S33 ..	77
Abbildung 40: Definition der Konfliktflächen für den Referenzfall	78
Abbildung 41: Variierung der Grundannahmen für die Simulation.....	79
Abbildung 42: Brutto-Zeitlücke auf Geradeausfahrstreifen (Pkw>Pkw)	82
Abbildung 43: Bruttozeitlücke der Fahrzeuge in Abhängigkeit von der Fahrzeugposition – Gegenüberstellung der erhobenen Werte (Median) mit den fahrdynamisch berechneten Werten .	83
Abbildung 44: Anhalteverhalten bei Grünblinken und Gelb an der B221 Neubaugürtel (2. und 3. Fahrstreifen) bei 29 Umläufen.....	86
Abbildung 45: Anzahl der überfahrenden Fahrzeuge der jeweiligen Grünblinken- und Gelb- Sekunde (29 Umläufe der Kreuzung B221 Neubaugürtel)	87
Abbildung 46: Darstellung repräsentativer Brutto-Zeitlücken.....	91
Abbildung 47: Anhaltebereitschaft Museumsplatz / Burggasse	92
Abbildung 48: Anhaltebereitschaft B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße	93
Abbildung 49: Position des Fußgängers bei Anfahren nach Halt Museumsplatz / Burggasse	94
Abbildung 50: Position des Fußgängers bei Anfahren nach Halt B7 Brünner Straße / Schloßhofer Straße	95
Abbildung 51: Ausgewählte Zeitpunkte bei rechtsabbiegenden Fahrzeugen mit bzw. ohne Konflikt bei einem Fußgängerplatoon pro Querungsrichtung	96
Abbildung 52: Ausgewählte Zeitpunkte bei rechtsabbiegenden Fahrzeugen mit bzw. ohne Konflikt bei mehreren Fußgängerplatoons pro Querungsrichtung	97
Abbildung 53: Leistungsfähigkeitsvergleich Gerade	116
Abbildung 54: Leistungsfähigkeitsvergleich Rechtsabbiegen (eigener Fahrstreifen und gemischter Fahrstreifen)	117
Abbildung 55: Leistungsfähigkeitsvergleich Linksabbiegen (eigener Fahrstreifen)	118
Abbildung 56: Empfehlungen für Abminderungsfaktoren Fußgängeraufkommen I.....	122
Abbildung 57: Empfehlungen für Abminderungsfaktoren Fußgängeraufkommen I.....	122
Abbildung 58: Beschleunigungsverhalten und Antriebseigenschaften Plug-in Hybrid Pkw Wien Ringstraße	126
Abbildung 59: Beschleunigungsverhalten und Antriebseigenschaften Benzin Pkw mit Start/Stop Wien Ringstraße	127

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren unterschiedlicher Fahrzeuge	10
Tabelle 2: Umrechnung unterschiedlicher Fahrzeuge (Österreich)	11
Tabelle 3: Anpassungsfaktor für Fahrstreifenbreite (USA)	13
Tabelle 4: Minimale Gelbzeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (Österreich)	18
Tabelle 5: Minimale Gelbzeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (Deutschland)	18
Tabelle 6: Minimale Gelbzeiten in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (USA)	18
Tabelle 7: Einfluss auf die Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Ländern	22
Tabelle 8: Häufigkeit fahrfremder Tätigkeiten beim Lenken	28
Tabelle 9: Kraftfahrzeugbestand in Österreich	41
Tabelle 10: Parameter für die Auswertung	52
Tabelle 11: Statistische Daten zu den erhobenen Fahrzeugen	81
Tabelle 12: Bruttozeitlücke in Sekunden zum Vorderfahrzeug in Abhängigkeit der Fahrzeugposition der Kolonne	84
Tabelle 13: Beobachtete Sättigungsverkehrsstärken bei gesättigten Umläufen	85
Tabelle 14: Anzahl der Kolonnen-Fahrzeuge, die die Haltelinie nach Ende der Freigabezeit überfahren (19 Umläufe)	88
Tabelle 15: Kapazität bei gesättigten Umläufen	89
Tabelle 16: Zeitbedarf von Schwerverkehrsfahrzeugen bei Gerade-Fahrt	90
Tabelle 17: Mittlere Zeitlücken für unterschiedliche Kurvenradien beim Rechtsabbiegen	91
Tabelle 18: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Pilotkreuzung 1	99
Tabelle 19: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Pilotkreuzung 1 ..	100
Tabelle 20: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Pilotkreuzung 1	100
Tabelle 21: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Morgenspitze Pilotkreuzung 2	101
Tabelle 22: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Morgenspitze Pilotkreuzung 2	102
Tabelle 23: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Morgenspitze Pilotkreuzung 2	102
Tabelle 24: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 2	103
Tabelle 25: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 2	103
Tabelle 26: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 2 ..	104
Tabelle 27: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Morgenspitze Pilotkreuzung 3	105
Tabelle 28: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Morgenspitze Pilotkreuzung 3	105
Tabelle 29: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Morgenspitze Pilotkreuzung 3	106
Tabelle 30: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 3	106
Tabelle 31: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 3	107

Tabelle 32: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 3..	107
Tabelle 33: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Pilotkreuzung 4	108
Tabelle 34: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Pilotkreuzung 4..	109
Tabelle 35: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Pilotkreuzung 4.....	109
Tabelle 36: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Morgenspitze Pilotkreuzung 5.....	111
Tabelle 37: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Morgenspitze Pilotkreuzung 5.....	112
Tabelle 38: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Morgenspitze Pilotkreuzung 5	112
Tabelle 39: Vergleich von Phasen ohne und mit Ablenkung, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 5	113
Tabelle 40: Häufigkeit von Ablenkung über alle beobachteten Rotlichtphasen, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 5.....	113
Tabelle 41: Häufigkeit von Ablenkung nach Warteposition, Nachmittagsspitze Pilotkreuzung 5..	114
Tabelle 42: Umrechnungsfaktoren für Pkw-E auf Basis der Erhebungsergebnisse	119
Tabelle 43: Berechneter Abminderungsfaktor für den Radius beim Rechtsabbiegen	120
Tabelle 44: Geschwindigkeit des letzten räumenden Fahrzeugs nach Ende der Freigabezeit	123
Tabelle 45: Umrechnung von Pkw-Einheiten von Schwerverkehrsfahrzeugen bei Gerade-Fahrt	132

11 ANHANG

11.1 Ansprechpartner für inhaltliche Fragen

Wolfgang Kluger-Eigl, BMK

Thomas Lang, ASFINAG

Gernot Lenz, Stadt Wien, MA 33 Wien leuchtet

Stefan Koschatko und Stephan Mayrhofer, Amt der NÖ Landesregierung

Holger Bierbaum und Hannes Steck, Amt der Bgld Landesregierung

11.2 Ablenkungsverhalten – Verkehrszählungsbogen

Startzeit der Erhebung: Nr.:

Farbe 1. Fzg	Fahrer	Phase	↑							Fahrer
			Pkw	Rad	MoMo	Kleintr	Bus, Lkw	Lkw+	Lkw++	
		1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								
		8								
		9								
		10								
		11								
		12								
		13								
		14								
		15								

11.3 Ablenkungsverhalten – Beobachtungsbögen

Startzeit der Erhebung: (hh:mm)

Nr.:

Farbe 1. Fzg	Fahrzeugart							Position	Geschlecht & Alter						Ablenkung						Start zeitverzgt	
	Fahrrad	MoMo	Pkw	Kleintr	Bus/Lkw	Lkw +	Lkw ++		m - j Erw	m - Erw	m - Sen	w - j Erw	w - Erw	w - Sen	Keine	Sprechen	Tel o. FSE	Handy tip	Rauchen	Essen o. r		Sonst. tun
								1														
								2														
								3														

Startzeit der Erhebung: (hh:mm)

Nr.:

Farbe 4. Fzg	Fahrzeugart							Position	Geschlecht & Alter						Ablenkung						Start zeitverzgt	
	Fahrrad	MoMo	Pkw	Kleintr	Bus/Lkw	Lkw +	Lkw ++		m - j Erw	m - Erw	m - Sen	w - j Erw	w - Erw	w - Sen	Keine	Sprechen	Tel o. FSE	Handy tip	Rauchen	Essen o. r		Sonst. tun
								4														
								5														
								6														

11.4 Empfehlungen für die Überarbeitung der RVS-Richtlinie 05.04.32 (nicht öffentlich)