



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen

Profil géométrique type pour tous les types de véhicules

Standard profile of cross sections for all vehicle types

**ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Dipl.-Ing. (Univ.) G. Santel
Prof. P. Spacek**

**Forschungsauftrag VSS 2000/469 auf Antrag des
Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS**

November 2010

1317

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Swiss federal roads authority. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Supply: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen

Profil géométrique type pour tous les types de véhicules

Standard profile of cross sections for all vehicle types

**ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Dipl.-Ing. (Univ.) G. Santel
Prof. P. Spacek**

**Forschungsauftrag VSS 2000/469 auf Antrag des
Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung
Peter Spacek

Mitglieder
Gerko Santel
Thomas Weber
Nicolas Latuske

Federführende Fachkommission

Fachkommission 2: Projektierung

Begleitkommission

Präsident
Micaël Tille / Manuel Hermann

Mitglieder
Markus Graf
Thomas Hirt
Frank Rolland
Peter Spacek
Michel Jobin
Charles Häsler

KO-Finanzierung des Forschungsauftrags

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungen	14
Zusammenfassung	15
Résumé	17
Summary	19
1 Einleitung	21
1.1 Ausgangslage	21
1.2 Auftrag	21
1.3 Forschungsziele	21
1.4 Untersuchungsmethodik und Vorgehen	22
1.4.1 Untersuchungsgrößen und Zusammenhänge	22
1.4.2 Erhebungen	23
1.4.3 Messauswertungen	25
1.4.4 Untersuchungsvorgehen	25
2 Vorarbeiten	27
2.1 Bisherige Untersuchungen	27
2.1.1 Erkenntnisse aus der Schweiz	27
2.1.2 Erkenntnisse aus dem Ausland	29
2.2 Untersuchungshypothesen	30
2.3 Breiten des Schweizer Motorfahrzeugparks	31
2.3.1 Grundlagen	31
2.3.2 PW-Park	32
2.3.3 LW-Park	36
2.3.4 Folgerungen bezüglich Normung	39
2.4 Untersuchungsstrecken	40
2.4.1 Strecken ausserorts	41
2.4.2 Strecken innerorts	44
2.4.3 Strecken an Autobahnen	46
2.5 Messeinrichtungen	47
2.5.1 Lasermesssystem	47
2.5.2 Messpfosten	50
2.5.3 Kombination der Messsysteme	52
2.6 Erhebungsgrößen und Einflussvariablen	52
2.6.1 Definition frei fahrender Fahrzeuge	52
2.6.2 Seitlicher Bewegungsspielraum	52
2.6.3 Seitliche Begegnungsabstände	53
2.6.4 Einflussvariablen	54
2.7 Versuchsanordnung	56
2.7.1 Versuchsanordnung an Hauptverkehrsstrassen ausserorts	56
2.7.2 Versuchsanordnung an Hauptverkehrsstrassen innerorts	58
2.7.3 Versuchsanordnung an Autobahnen	59
3 Datenerfassung und -verarbeitung	61
3.1 Versuchsbedingungen	61
3.2 Fahrzeugtypen	62

3.3	Datenverarbeitung.....	63
3.3.1	Datensätze	63
3.3.2	Plausibilitätsprüfung	65
3.4	Methodik der Datenanalyse	67
3.4.1	Vorgehen.....	67
3.4.2	Statistische Tests	68
4	Messergebnisse	70
4.1	Ergebnisse für Strecken ausserorts.....	70
4.1.1	Spuramplitude und Geschwindigkeitsniveau	70
4.1.2	Lage der Fahrzeugtrajektorien	73
4.1.3	Begegnungsabstände	76
4.2	Ergebnisse für Strecken innerorts.....	77
4.2.1	Spuramplitude und Geschwindigkeitsniveau	77
4.2.2	Lage der Fahrzeugtrajektorien	79
4.2.3	Begegnungsabstände	80
4.3	Ergebnisse für Strecken auf Autobahnen	81
4.3.1	Spuramplitude und Geschwindigkeitsniveau	81
4.3.2	Lage der Fahrzeugtrajektorien	83
4.3.3	Begegnungsabstände	84
4.4	Ergebnisse an Strecken mit Trennseln	85
4.4.1	Begegnungen von Motorfahrzeugen und Fahrrädern.....	86
4.4.2	Longitudinale Begegnungsabstände.....	87
4.4.3	Laterale Begegnungsabstände	87
5	Analyse der Messergebnisse.....	89
5.1	Spuramplituden	89
5.1.1	Statistische Beurteilung der Einflussfaktoren.....	89
5.1.2	Fahrzeugstatus	89
5.1.3	Begegnungen.....	92
5.1.4	Fahrzeugkategorie	94
5.1.5	Geschwindigkeiten	96
5.1.6	Fahrstreifenbreiten	101
5.1.7	Seitliche Hindernisse.....	105
5.1.8	Beleuchtungsverhältnisse	109
5.2	Begegnungsabstände	110
5.2.1	Statistische Beurteilung der Einflussfaktoren.....	111
5.2.2	Fahrzeugstatus	111
5.2.3	Anzahl begehender Fahrzeuge.....	113
5.2.4	Fahrzeugkategorie	114
5.2.5	Geschwindigkeiten	118
5.2.6	Fahrstreifenbreiten	121
5.2.7	Seitliche Hindernisse.....	124
5.3	Bestehende Einflüsse	126
6	Quantifizierung der Einflüsse	128
6.1	Festlegung der Einflüsse.....	128
6.1.1	Einflüsse nach Schweizer Norm	128
6.1.2	Massgebende Einflüsse	129
6.2	Bewegungsspielräume	130
6.2.1	Allgemeine Bewegungsspielräume.....	130
6.2.2	Bewegungsspielräume in Tunneln und Galerien	131
6.3	Gegenverkehrszuschläge	132
6.4	Überholzuschläge	133
6.5	Überholung von Zweirädern.....	135

7	Folgerungen und Empfehlungen	137
7.1	Folgerungen aus Erhebungen	137
7.1.1	Grundabmessungen der Verkehrsteilnehmer	137
7.1.2	Bewegungsspielraum.....	137
7.1.3	Gegenverkehrszuschlag	139
7.1.4	Überholzuschlag	141
7.1.5	Zusätzliche lichte Breite	142
7.2	Empfehlungen zur Normung.....	142
7.3	Abschätzung der Auswirkungen	147
	Literaturverzeichnis	151
	Anhänge (auf CD).....	153
	Projektabschluss.....	279
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	283

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzip der Messanordnung auf einem Streckenabschnitt	24
Abbildung 2:	Ablaufschema des Untersuchungsvorgehens	26
Abbildung 3:	Aufbau des Lichtraumprofils der Strasse [SN 640 200a]	28
Abbildung 4:	Summenhäufigkeit der PW-Breiten für das Jahr 2005	33
Abbildung 5:	Summenhäufigkeit der PW-Breiten für die Jahre 1995, 2000 und 2005	34
Abbildung 6:	Anteil der SUVs am Schweizer PW-Fuhrpark im Zeitraum 2000 bis 2005	35
Abbildung 7:	Summenhäufigkeit der SUV-Breiten für die Jahre 2000 und 2005	36
Abbildung 8:	Verteilung der Lastwagen (> 3.5 t) [Koy, 2003]	37
Abbildung 9:	Summenhäufigkeit der LW-Breiten für das Jahr 2005	37
Abbildung 10:	Summenhäufigkeit der LW-Breiten für die Jahre 2000 und 2005	38
Abbildung 11:	Entwicklung der 95 % Percentile für PW-Breiten	39
Abbildung 12:	GNP für den Begegnungsfall LW-LW [m] bei V_B 80 km/h	42
Abbildung 13:	GNP für den Begegnungsfall LW-PW [m] bei V_B 80 km/h	42
Abbildung 14:	LMS mit Lasersensor und Erfassungsrechner (links), getarnt (rechts)	47
Abbildung 15:	Detektierte Fahrzeugkanten eines PW (links) und eines LW (rechts)	48
Abbildung 16:	Koordinatensystem des LMS	49
Abbildung 17:	Ansichten der Messpfosten (links), Aufbau an einer Versuchsstrecke (rechts)	51
Abbildung 18:	Schematische Darstellung des Bewegungsspielraumes	53
Abbildung 19:	Schematische Darstellung des Begegnungsabstandes	54
Abbildung 20:	Versuchsanordnung an Hauptverkehrsstrassen ausserorts, Beispiel Dielsdorf3	58
Abbildung 21:	Versuchsanordnung an Innerortsstrasse mit Treninsel, Beispiel Limmatstrasse	59
Abbildung 22:	Versuchsanordnung an Autobahnen, Beispiel Horgen A3	60
Abbildung 23:	Kriterien für unrealistische Querverschiebungen (Beispiele für Messpfostenabstand von 20 m)	66
Abbildung 24:	Schematische Darstellung zur Lage der Fahrzeugtrajektorie	73
Abbildung 25:	Geschwindigkeitsverteilung der Fahrräder	86
Abbildung 26:	Longitudinale Folgeabstände bei Behinderung	87
Abbildung 27:	Einfluss des Fahrzeugstatus und der Tempolimits auf die mittlere Spuramplitude	90
Abbildung 28:	Einfluss des Fahrzeugstatus auf die mittlere Spuramplitude für schmale, normalbreite und breite Strecken	90
Abbildung 29:	Einfluss des Fahrzeugtyps auf die Spuramplitude für schmale, normalbreite und breite Strecken	95
Abbildung 30:	Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und mittlere Spuramplituden (A_m) an allen Untersuchungsstrecken	97
Abbildung 31:	Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der PW, gegliedert nach Gruppen der Fahrstreifenbreite	98
Abbildung 32:	Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der LW, gegliedert nach Gruppen der Fahrstreifenbreite	99
Abbildung 33:	Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der PW, gegliedert nach Streckentypen	99
Abbildung 34:	Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der LW, gegliedert nach Streckentypen	100

Abbildung 35:	Spuramplituden (A) der PW nach Geschwindigkeiten (V) und Fahrstreifenbreiten.....	101
Abbildung 36:	Spuramplituden (A) der LW nach Geschwindigkeiten (V) und Fahrstreifenbreiten.....	102
Abbildung 37:	Mittlere Spuramplituden (A_m) für Innerortsstrecken, nach Fahrstreifenbreiten.....	103
Abbildung 38:	Mittlere Spuramplituden (A_m) für Ausserortsstrecken, nach Fahrstreifenbreiten.....	103
Abbildung 39:	Mittlere Spuramplituden (A_m) für Autobahnen, nach Fahrstreifenbreiten.....	104
Abbildung 40:	Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreiten.....	104
Abbildung 41:	Mittlere Abweichung der Spurlage von der Fahrstreifenmitte in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreiten.....	105
Abbildung 42:	Mittlere Spuramplituden (A_m) von PW für unterschiedliche Hindernisausprägungen.....	107
Abbildung 43:	Mittlere Spuramplituden (A_m) von PW für unterschiedliche Hindernisabstände.....	107
Abbildung 44:	Mittlere Abweichung der Spurlage von PW von der Fahrstreifenmitte bei unterschiedlichen Hindernisausprägungen in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreiten.....	108
Abbildung 45:	Einfluss des Fahrzeugstatus auf den mittleren Begegnungsabstand ..	112
Abbildung 46:	Einfluss der Anzahl begegnender Fahrzeuge auf den mittleren Begegnungsabstand.....	113
Abbildung 47:	Einfluss der Fahrzeugkategorie auf den mittleren Begegnungsabstand.....	115
Abbildung 48:	Einfluss der Kategorie des begegnenden Fahrzeugs auf den mittleren Begegnungsabstand.....	116
Abbildung 49:	Fahrgeschwindigkeit (V) bei Begegnung und Begegnungsabstand nach massgebendem Begegnungstyp bei Gegenverkehr.....	119
Abbildung 50:	Fahrgeschwindigkeit (V) bei Begegnung und Begegnungsabstand nach massgebendem Begegnungstyp auf Autobahnen.....	119
Abbildung 51:	Änderung der Fahrgeschwindigkeit (ΔV) bei Begegnung mit Gegenverkehr in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit (V)...	120
Abbildung 52:	Begegnungsabstand in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite nach Tempolimitgruppen, auf Strecken mit Gegenverkehrsbetrieb.....	122
Abbildung 53:	Begegnungsabstand in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite nach Tempolimitgruppen, auf Autobahnen.....	122
Abbildung 54:	Begegnungsabstände in Abhängigkeit der Anwesenheit linienförmiger Hindernisse.....	124
Abbildung 55:	Position des LW bei Anwesenheit eines linienförmigen Hindernisses.....	125
Abbildung 56:	Begegnungsabstände in Abhängigkeit der Position des LW bei Anwesenheit linienförmiger Hindernisse.....	126
Abbildung 57:	Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und massgebende Spuramplituden ($A_{85\%}$) an allen Untersuchungsstrecken.....	130
Abbildung 58:	Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und massgebender Begegnungsabstand an Untersuchungsstrecken mit Gegenverkehr ...	132
Abbildung 59:	Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und massgebender Begegnungsabstand an Untersuchungsstrecken mit Überholungen ...	134
Abbildung 60:	Bewegungsspielraum, Vergleich mit SN 640 201.....	138
Abbildung 61:	Bewegungsspielraum für alle Strecken und für normalbreite bis breite Strecken, Vergleich mit SN 640 201.....	138
Abbildung 62:	Gegenverkehrszuschlag, Vergleich mit SN 640 201.....	139
Abbildung 63:	Gegenverkehrszuschlag für alle Strecken und für schmale bis normalbreite Strecken, Vergleich mit SN 640 201.....	140

Abbildung 64:	Überholzuschlag, Vergleich mit SN 640 201	141
Abbildung 65:	Bewegungsspielräume, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m, Vergleich mit SN 640 201	143
Abbildung 66:	Gegenverkehrszuschläge, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m, Vergleich mit SN 640 201	144
Abbildung 67:	Zusammensetzung der minimalen lichten Breite	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	PW-Breiten 2005.....	33
Tabelle 2:	PW-Breiten und Veränderungen für die Jahre 1995, 2000 und 2005	34
Tabelle 3:	SUV-Breiten und Veränderungen für die Jahre 2000 und 2005.....	36
Tabelle 4:	LW-Breiten 2005	38
Tabelle 5:	LW-Breiten und Veränderungen für die Jahre 2000 und 2005.....	39
Tabelle 6:	Empfehlungen für massgebende Fz-Breiten	40
Tabelle 7:	Untersuchungsstrecken ausserorts, Tempolimite 80 km/h.....	43
Tabelle 8:	Untersuchungsstrecken ausserorts, Tempolimite 100 km/h.....	43
Tabelle 9:	Untersuchungsstrecken innerorts, Tempolimite 50 km/h	45
Tabelle 10:	Untersuchungsstrecken innerorts, Tempolimite 30 km/h	45
Tabelle 11:	Untersuchungsstrecken mit Trenninseln	46
Tabelle 12:	Untersuchungsstrecken auf zweistreifigen Autobahnen.....	46
Tabelle 13:	Erfasste Daten für gültige Einzelobjekte.....	49
Tabelle 14:	Zusätzliche Daten im Begegnungsfall	50
Tabelle 15:	Erfasste Fahrzeugdaten eines einzelnen Messpfostens	51
Tabelle 16:	Mindestzeitlücken für Tempolimite 50 km/h, 80 km/h und HLS [Santel, 2010].....	52
Tabelle 17:	Mindeststreckenlängen [Santel, 2010].....	53
Tabelle 18:	Tempolimiten und Betriebsarten an den Untersuchungsstrecken.....	54
Tabelle 19:	Messpfostenabstände an den Untersuchungsstrecken.....	56
Tabelle 20:	Versuchsbedingungen an den Untersuchungsstrecken	62
Tabelle 21:	Zuordnung der Fahrzeugtypen	63
Tabelle 22:	Datensatzattribute der Einzelfahrzeuge.....	64
Tabelle 23:	Gültige Geschwindigkeitsbereiche.....	65
Tabelle 24:	Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden PW an Ausserortsstrecken	71
Tabelle 25:	Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden LW an Ausserortsstrecken	72
Tabelle 26:	Gewichtete Mittelwerte der massgebenden Spuramplituden und der mittleren Geschwindigkeiten für Ausserortsstrecken	73
Tabelle 27:	Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, ausserorts	74
Tabelle 28:	Mittlere Spurlage der LW relativ zur Fahrstreifenmitte, ausserorts	75
Tabelle 29:	Mittlere Begegnungsabstände bei Tempolimite 80 km/h, ausserorts.....	77
Tabelle 30:	Spuramplitude von frei fahrenden PW bei Tempolimite 50 km/h	78
Tabelle 31:	Spuramplitude von frei fahrenden PW bei Tempolimite 30 km/h	78
Tabelle 32:	Spuramplitude von frei fahrenden LW bei Tempolimite 50 km/h.....	79
Tabelle 33:	Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, 50 km/h	79
Tabelle 34:	Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, 30 km/h	80
Tabelle 35:	Mittlere Spurlage der LW relativ zur Fahrstreifenmitte, 50 km/h	80
Tabelle 36:	Mittlere Begegnungsabstände bei Tempolimite 50 km/h, innerorts	81
Tabelle 37:	Mittlere Begegnungsabstände bei Tempolimite 30 km/h, innerorts	81
Tabelle 38:	Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden PW auf Autobahnen.....	82
Tabelle 39:	Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden LW auf Autobahnen.....	82
Tabelle 40:	Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, Autobahnen	83
Tabelle 41:	Mittlere Spurlage der LW relativ zur Fahrstreifenmitte, Autobahnen.....	84
Tabelle 42:	Mittlere Begegnungsabstände auf Autobahnen	84
Tabelle 43:	Detektierte Fahrräder an Untersuchungsstrecken.....	86

Tabelle 44:	Begegnungen von Motorfahrzeugen und Fahrrädern.....	87
Tabelle 45:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden frei fahrender und Pulk-Fahrzeuge	91
Tabelle 46:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden für PW mit und ohne Begegnung	92
Tabelle 47:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden für LW mit und ohne Begegnung	93
Tabelle 48:	Differenzen der mittleren Spuramplituden [cm] für PW und LW mit und ohne Begegnung	93
Tabelle 49:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden nach Fahrzeugkategorien	96
Tabelle 50:	Zur Analyse des Einflusses von seitlichen Hindernissen einbezogene Strecken ausserorts	106
Tabelle 51:	Spuramplitude und Spurlage relativ zur Fahrstreifenmitte von PW bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen	109
Tabelle 52:	Spuramplitude und Spurlage relativ zur Fahrstreifenmitte von LW bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen	109
Tabelle 53:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach Fahrzeugstatus	112
Tabelle 54:	Mittelwerte (μ) der Begegnungsabstände in Relation zur Anzahl begegnender Fahrzeuge.....	114
Tabelle 55:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach Fahrzeugkategorie	116
Tabelle 56:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach Kategorie des begegnenden Fz.....	117
Tabelle 57:	Mittelwerte (μ) der Begegnungsabstände bei Begegnungen mit LW ...	117
Tabelle 58:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach FS-Breitenkategorien für Begegnungen zwischen PW	123
Tabelle 59:	Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach FS-Breitenkategorien für Begegnungen mit LW.....	123
Tabelle 60:	Schematische Darstellung der Einflüsse mit deren Ausprägungen und Einschränkungen	127
Tabelle 61:	Bewegungsspielräume nach Fahrzeugkategorie und Geschwindigkeit.....	131
Tabelle 62:	Massgebende Amplituden in Abhängigkeit der Beleuchtungsverhältnisse	131
Tabelle 63:	Gegenverkehrszuschlag nach Begegnungskategorie und Geschwindigkeit, alle Streckenbreiten	133
Tabelle 64:	Mittelwerte der massgebenden Überholzuschläge nach Querschnittsausprägung und Fahrzeugkategorie.....	134
Tabelle 65:	Begegnungsabstände bei Überholungen von Fahrrädern.....	135
Tabelle 66:	Folgeabstände bei Behinderungen durch Fahrräder	136
Tabelle 67:	Gegenverkehrszuschlag nach Begegnungskategorie und Geschwindigkeit, schmale und normalbreite Strecken	140
Tabelle 68:	Empfehlungen für massgebende Fz-Breiten	142
Tabelle 69:	Bewegungsspielräume, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m.....	143
Tabelle 70:	Gegenverkehrszuschlag, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m	145
Tabelle 71:	Empfohlene Überholzuschläge nach Querschnittsausprägung und Fahrzeugkategorie des überholten Fz	145
Tabelle 72:	Minimale lichte Breite bei Gegenverkehrsbetrieb, Begegnungsfall LW-LW, Vergleich mit SN 640 201	148

Tabelle 73:	Minimale lichte Breite bei Gegenverkehrsbetrieb, Begegnungsfall LW-PW, Vergleich mit SN 640 201.....	148
Tabelle 74:	Minimale lichte Breite bei Richtungsbetrieb auf Autobahnen, Begegnungsfall LW-LW (LW-PW), Vergleich mit SN 640 201	149

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
μ	Mittelwert
σ	Standardabweichung
A_m	mittlere Spuramplitude [cm]
$A_{85\%}$	85 %-Spuramplitude [cm]
EU	Europäische Union
FäG	fahrzeugähnliche Geräte
FB	Fahrbahn
FR	Fahrrad
FS	Fahstreifen
GNP	geometrisches Normalprofil
H_0	Nullhypothese
HVS	Hauptverkehrsstrassen
LMS	Lasermesssystem
LW	Lastwagen
Mfz	Motorfahrzeug
MQ	mittlere Quadrate
n	Stichprobenumfang
PW	Personenwagen
QS	Querschnitt
R^2	Bestimmtheitsmass
RAL	Richtlinie für die Anlage von Landstraßen
RAS	Richtlinie für die Anlage von Straßen
RQ	Regelquerschnitt
RVS	regionale Verbindungsstrasse
SAQ	Summe der Abweichungsquadrate
SN	Schweizer Norm
SS	Sammelstrasse
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SUV	Sport Utility Vehicle
V	Geschwindigkeit [km/h]
V_B	Begegnungsgeschwindigkeit [km/h]
V_m	mittlere Geschwindigkeit [km/h]
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VTS	Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge
ZR	Zweirad

Zusammenfassung

Ausgangslage

Die Normengruppe des VSS¹ „Geometrisches Normalprofil (GNP)“ aus dem Jahre 1992 besteht aus drei Normen. Darin werden die einzelnen Elemente des Strassenquerschnittes definiert, Hinweise zur Bestimmung ihrer Abmessungen angegeben und Empfehlungen zum Vorgehen bei der Erarbeitung des GNP unterbreitet. Im Vordergrund dieser Forschungsarbeit stand die Überprüfung der Norm SN 640 201 (Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer). Sie enthält quantitative Richtwerte zur Bemessung der Elemente des Lichtraumprofils von Strassen. Ein grosser Teil dieser Elemente wie z.B. Bewegungsspielraum, Gegenverkehrs- und Überholzuschlag sind geschwindigkeitsabhängig.

Die Festlegung dieser Richtwerte erfolgte seinerzeit ohne Erhebungen. Es handelt sich also weitgehend um Erfahrungswerte, die nicht auf empirische Messungen im realen Verkehrsablauf abgestützt sind. Dementsprechend ist in der Norm für die aus Erfahrung abgeleiteten, geschwindigkeitsabhängigen Richtwerte nur eine grobe und lückenhafte Abstufung enthalten. Dies führt bei der Normanwendung zu Unsicherheiten.

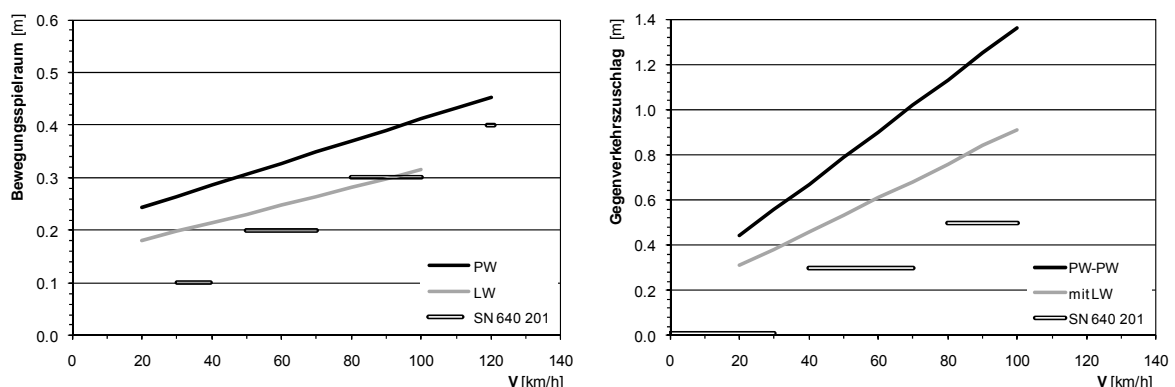
Forschungsziele

Das Ziel der Forschungsarbeit ist die Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für eine allfällige Revision der Norm SN 640 201. Im Vordergrund steht die Ermittlung von statistisch abgesicherten Abmessungen der geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente des GNP. Die entsprechenden Richtwerte sind aus empirisch gewonnenen Daten abzuleiten. Dabei sind Bewegungsspielräume verschiedener Fahrzeuge und Begegnungsabstände zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern auf Strassen mit und ohne Gegenverkehr, in Abhängigkeit von Fahr- bzw. Begegnungsgeschwindigkeit, Fahrstreifenbreite sowie Abstand und Form seitlicher Hindernisse zu ermitteln.

Zur Berücksichtigung der strukturellen Veränderungen im Fahrzeugpark sind ferner auch statistische Erhebungen und Auswertungen der Fahrzeugbreiten durchzuführen.

Ergebnisse

Die statistische Auswertung des schweizerischen Fahrzeugparks ergab sowohl bei den Personen- als auch bei den Lastwagen ca. 5 cm grössere Fahrzeugbreiten als in der bestehenden Norm.



Gemessener Bewegungsspielraum und Gegenverkehrszuschlag im Vergleich mit SN 640 201

Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Bewegungsspielräume und Gegenverkehrs- bzw. Überholzuschläge, wie sie in der bestehenden Norm enthalten ist, konnte durch empiri-

¹ Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

sche Erhebungen grundsätzlich bestätigt werden. Allerdings ergaben sich zwischen den Messergebnissen und den Richtwerten der Norm zum Teil erhebliche Unterschiede (vgl. Abbildungen). Zudem hat sich gezeigt, dass bei den Bewegungsspielräumen und Gegenverkehrs- bzw. Überholzuschlägen zwischen den Kategorien Personenwagen (PW) und Lastwagen (LW) unterschieden werden muss, und dass die Gleichstellung der Grösse von Gegenverkehrs- und Überholzuschlägen in der bestehenden Norm nicht zutreffend ist.

Wichtige Einflüsse auf die Grösse der Bemessungselemente bilden ausserdem die vorhandene Fahrstreifenbreite sowie die linienförmigen Hindernisse seitlich der Fahrbahn.

Die Untersuchung hat ferner gezeigt, dass die empirisch ermittelten Begegnungsabstände bei Überholungen der leichten Zweiräder für den Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 50 km/h den bestehenden Normwerten entsprechen. Allerdings war die Stichprobengrösse bei den vorliegenden Erhebungen beschränkt.

Aus der Untersuchung ergaben sich folgende Folgerungen:

- Bezüglich der Grundabmessungen von PW und LW resultierte, dass sich die Fahrzeugbreiten in den letzten Jahren erhöht haben. Die Opportunität der Erhöhung der bestehenden Normwerte ist jedoch noch zu prüfen.
- Trotz der bei Erhebungen bestätigten Geschwindigkeitsabhängigkeit der Bemessungselemente des Querschnitts bestehen zwischen den Ergebnissen der Messungen und den Richtwerten der Norm zum Teil erhebliche Unterschiede. Zudem muss bei den Richtwerten der geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente des GNP zwischen den Kategorien PW und LW unterschieden werden.
- Die gemessenen Bewegungsspielräume liegen je nach Geschwindigkeit bei den PW ca. 10 bis 15 cm, bei den LW ca. 5 bis 10 cm höher, die Gegenverkehrszuschläge sind um ca. 40 bis 70 cm (PW) und ca. 20 bis 35 cm (LW) grösser als in der Norm. Die Überholzuschläge an HLS sind auf normalbreiten Fahrstreifen und vergleichbaren Geschwindigkeiten deutlich kleiner als die Gegenverkehrszuschläge. Die Unterschiede betragen bei Überholungen von PW ca. 40 cm, bei jenen von LW ca. 25 cm. Die Gleichstellung der Gegenverkehrs- und Überholzuschläge in der bestehenden Norm ist somit nicht zutreffend.
- Neben der Geschwindigkeit werden die Bewegungsspielräume und die Begegnungsabstände auch durch die vorhandene Fahrstreifenbreite sowie die linienförmigen Hindernisse seitlich der Fahrbahn beeinflusst.

Auf Grund der obigen Folgerungen wird empfohlen, die bestehende VSS-Norm SN 640 201 zu revidieren. Indirekt betroffen sind auch die Norm SN 640 200a (Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente) sowie die Norm SN 640 202 (Erarbeitung), in der das Vorgehen überprüft und die Beispiele im Anhang überarbeitet werden sollen. Zu prüfen sind auch die Auswirkungen der Revision auf weitere VSS-Normen.

Mit dieser Untersuchung konnten wichtige Wissenslücken bei den geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselementen geschlossen werden. Bei den Bewegungsspielräumen betreffen sie die Zuschläge in horizontaler Richtung. Die in der Norm enthaltenen Angaben zu den vertikalen Bewegungsspielräumen wurden in dieser Arbeit nicht untersucht. Wie weit sie zutreffen und wie sie abgeleitet wurden, ist nicht bekannt. Allfälliger Forschungsbedarf besteht auch bei den (statischen) Sicherheitszuschlägen, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren.

Die Begegnungsfälle zwischen Motorfahrzeugen und leichten Zweirädern wurden in dieser Forschungsarbeit nur im Bereich der Trenninsel mit verschiedenen Insellängen und bei unterschiedlichen Durchfahrtsbreiten untersucht. Wissenslücken verbleiben für Begegnungsfälle, die im Zuge der offenen Strecke zwischen den einzelnen Inseln entstehen.

Résumé

Situation de départ

Le groupe de normes VSS² «Profil géométrique type» élaborées en 1992 est constitué de trois normes. Elles définissent chaque élément du profil en travers de la route, fournissent des indications pour la détermination de leurs dimensions et soumettent des recommandations quant à la marche à suivre pour l'élaboration du profil géométrique type. Ce travail de recherche visait en premier lieu à évaluer la norme SN 640 201 (Dimensions de base et gabarit des usagers de la route) qui comporte des valeurs indicatives quantitatives permettant le dimensionnement des éléments du gabarit des routes. La plupart de ces éléments – tels que par exemple la marge de mouvement, le supplément pour circulation bidirectionnelle et pour dépassement – dépendent de la vitesse.

Ces valeurs indicatives ont été déterminées jadis sans recensements. Il s'agit donc en grande partie de valeurs d'expérience qui ne se basent pas sur des mesures empiriques effectuées en situation réelle de trafic. La norme ne comporte par conséquent qu'une classification dans les grandes lignes et lacunaire pour les valeurs indicatives qui découlent de l'expérience et dépendent de la vitesse. Il en résulte des incertitudes quant à la mise en application de la norme.

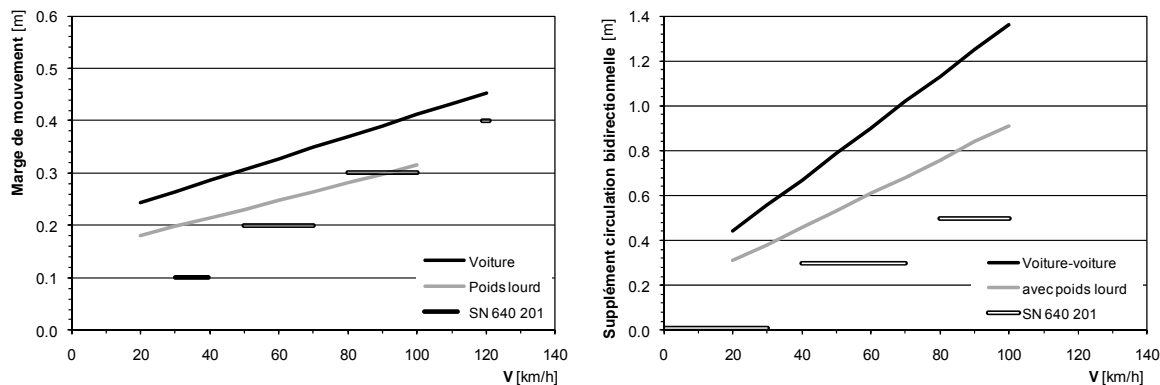
Objectifs de la recherche

L'objectif du travail de recherche était l'élaboration de bases scientifiques pour une éventuelle révision de la norme SN 640 201. Il s'agissait avant tout de déterminer des dimensions d'éléments de mesure du profil géométrique type qui dépendent de la vitesse en s'appuyant sur des statistiques. Les valeurs indicatives y relatives se basent sur des données obtenues de manière empirique. Pour ce faire, les marges de mouvement des divers véhicules et les écarts de croisement entre les usagers de la route (avec et sans circulation bidirectionnelle), devaient être établis en fonction de la vitesse de conduite et de croisement, de la largeur des voies ainsi que de l'écart et de la forme d'obstacles latéraux.

En outre, afin de prendre en compte les modifications structurelles dans le parc de véhicules, des relevés et évaluations statistiques de la largeur des véhicules devaient être effectués.

Résultats

L'évaluation statistique du parc suisse de véhicules a mis en évidence que les voitures de tourisme tout comme les poids lourds sont environ 5 cm plus larges que dans la norme existante.



Comparaison de la marge de mouvement et du supplément pour circulation bidirectionnelle mesurés avec SN 640 201

² Association suisse des professionnels de la route et des transports

Des relevés empiriques ont confirmé le fait que les marges de mouvement et les suppléments pour circulation bidirectionnelle et pour dépassement dépendent de la vitesse. Toutefois, des différences en partie considérables (cf. figures) entre les résultats de mesure et les valeurs indicatives ont été constatées. Par ailleurs, il a été mis en évidence que, pour les marges de mouvement et les suppléments pour circulation bidirectionnelle et pour dépassement, il faut faire la distinction entre les catégories voitures de tourisme et poids lourds. De plus, la mise à égalité des valeurs des suppléments pour circulation bidirectionnelle et pour dépassement n'est pas pertinente dans la norme actuelle.

La largeur existante de la voie et les obstacles linéaires aux abords de la chaussée ont également une influence importante sur la taille des éléments de mesure. La recherche a également mis en évidence le fait que les écarts de croisement (obtenus de manière empirique) lors des dépassements des deux-roues légers pour la fourchette de vitesses de 30 à 50 km/h correspondent aux valeurs figurant dans la norme. La taille des échantillons pour les présents relevés était toutefois limitée.

Les recherches ont mené aux conclusions suivantes:

- S'agissant des dimensions de base des voitures de tourisme et des poids lourds, il a été constaté que les largeurs des véhicules ont augmenté ces dernières années. Il faut cependant encore évaluer s'il est opportun d'augmenter les valeurs existantes figurant dans la norme.
- Malgré la dépendance à la vitesse des éléments de mesure du profil en travers confirmée par des relevés, il existe des divergences partiellement importantes entre les résultats des mesures et les valeurs indicatives de la norme. Par ailleurs, pour les valeurs indicatives des éléments de mesure du profil géométrique type qui dépendent de la vitesse, il faut distinguer la catégorie des voitures de tourisme de celle des poids lourds.
- Les marges de mouvement mesurées sont, selon la vitesse, plus élevées de 10 à 15 cm environ pour les voitures de tourisme et de 5 à 10 cm environ pour les poids lourds. Par ailleurs, les suppléments pour circulation bidirectionnelle sont environ de 40 à 70 cm (voitures de tourisme) et de 20 à 35 cm (poids lourds) supérieurs à ceux de la norme. Sur des voies d'une largeur normale et à des vitesses comparables, les suppléments pour dépassement sur les RGD sont nettement plus petites que les suppléments pour circulation bidirectionnelle. Les différences sont de 40 cm environ pour les dépassements de voiture de tourisme et de 25 cm environ pour les dépassements de poids lourds. La mise à égalité des valeurs des suppléments pour circulation bidirectionnelle et pour dépassement n'est pas pertinente dans la présente norme.
- Les marges de mouvement et les écarts de croisement sont influencés non seulement par la vitesse, mais aussi par la largeur existante de la voie et les obstacles linéaires aux bords de la chaussée.

Sur la base des conclusions susmentionnées, il est recommandé de réviser la norme VSS SN 640 201 et par conséquent également les normes SN 640 200a (Principes généraux, définitions et éléments) et SN 640 202 (Elaboration) – dans lesquelles la procédure doit être évaluée et les exemples élaborés en annexe. Les répercussions de la révision sur d'autres normes VSS doivent également être évaluées.

Cette recherche a permis de combler des lacunes importantes quant aux éléments de mesure dépendant de la vitesse. Pour les marges de mouvement elles concernent les suppléments en direction horizontale. Les valeurs sur les marges de mouvements verticales figurant dans la norme n'ont pas fait l'objet de recherches. Nous ne savons donc pas dans quelle mesure elles sont exactes, ni comment elles ont été établies. Les marges de sécurité (statiques) qui n'ont pas été traitées dans la présente recherche, devraient éventuellement aussi faire l'objet de recherches.

Dans ce travail de recherche, les croisements entre des véhicules automobiles et des deux-roues légers n'ont été étudiés que dans la zone de l'îlot séparateur avec divers longueurs d'îlots et largeurs de passage. Des lacunes demeurent pour les croisements effectués dans le tronçon ouvert entre les îlots.

Summary

Background

The standard package "standard profile of cross sections (GNP)" of the VSS³ from the year 1992 consists of three standards. In these the elements of the road cross section are defined, indications for the derivation of the measurements are given as well as guidelines for the development of the standard profile. The main objective of this research is to verify the standard SN 640 201 (basic measurements). This standard contains quantitative reference values of the dimensioning of the road clearance elements. Some of these elements such as the range of movement and additional space for oncoming and overtaking traffic are speed-dependent.

Most of these reference values were specified without measurements. They were largely based on experience but not supported by empirical measurements in real traffic. As a result only a rough and incomplete appraisal is contained in the standard for the speed-dependent reference values. This leads to uncertainties when using the standard.

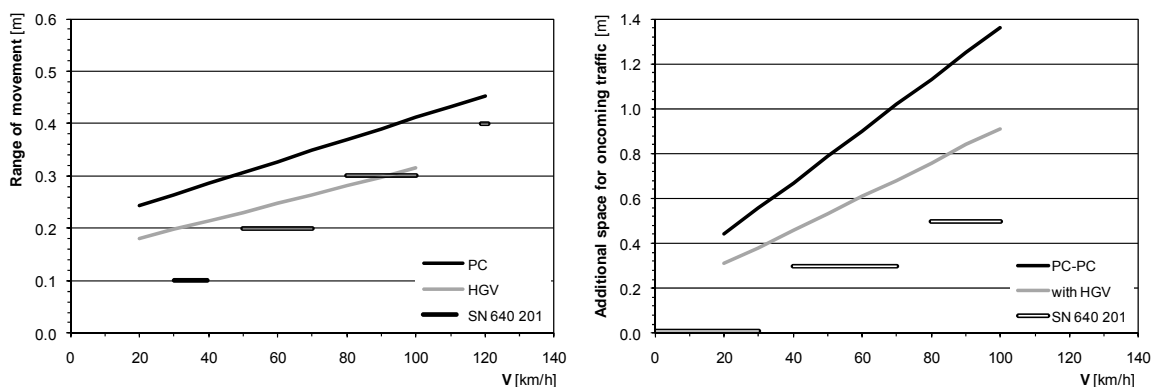
Research aims

The aim of the research is the derivation of scientific bases for a possible revision of the standard SN 640 201. The main objective is to statistically determine the speed-dependent design elements of the standard profile. The corresponding reference values have to be derived from empirical data. Therefore the range of lateral movement and the additional space for oncoming and overtaking traffic for different road users have to be determined based on driving or passing speed, lane width as well as distance and shape of lateral obstacles.

Considering the structural changes in the vehicle fleet, statistical enquiries and analyses concerning the vehicle widths have to be carried out.

Conclusions

The statistical analysis of the Swiss vehicle fleet yielded approximately 5 cm greater vehicle widths than in the existing standard for passenger cars (PC) as well as heavy goods vehicles (HGV).



Measured range of movement and additional space for oncoming traffic compared to SN 640 201

The speed dependence of the range of lateral movement and the additional space for oncoming or overtaking traffic, as it is contained in the existing standard, could in principle be confirmed through empirical measurements. There were found some considerable differences between the measurement results and the reference values of the standard (cf. illustrations). Moreover, the results show that it is necessary to distinguish between the

³ Swiss Association of Road and Transport Experts

categories PC and HGV for the derivation of the range of movement and the additional space for oncoming or overtaking traffic. The equality of the additional space for oncoming traffic and the additional space for overtaking, as it is contained in the existing standard, is not correct.

In addition to this, the available lane widths as well as elongated obstacles next to the road do affect the size of the design elements.

Furthermore the examination has shown that the passing distances to overtake bicycles determined empirically correspond to the existing standard values for the speed range of 30 to 50 km/h. However, the sample size was restricted at the measurements on hand.

From the analyses the following conclusions arose:

- Regarding the basic dimensions of PC and HGV it was determined that the vehicle widths have increased within the last few years. Still remains to be checked how such increase might change the existing standard values.
- There are considerable differences between the results of the measurements and the reference values in the standard. Even though the speed dependence of the design elements of the standard profile was confirmed. Moreover, the research showed that there should be two categories of speed-dependent design elements. It has to be distinguished between the categories PC and HGV.
- The measured ranges of movement depending on the driven speed are for PC approximately 10 to 15 cm and for HGV approximately 5 to 10 cm bigger than in the existing standard. The additional space for oncoming traffic is approximately 40 to 70 cm (PC) and approximately 20 to 35 cm (HGV) bigger than in the existing standard. On normal wide lanes the additional space for overtaking on highways is considerably smaller than the additional space for oncoming traffic at comparable speed levels. The differences are approximately 40 cm at overtaking manoeuvre involving two PC and approximately 25 cm at overtaking manoeuvre involving a HGV. The equality of the additional space for oncoming traffic and overtaking in the existing standard therefore is not correct.
- The range of movement and the passing distances are influenced not only by speed, but also by the available lane width and the presence of elongated obstacles next to the road.

In light of the above conclusions it is recommended to revise the existing VSS standard SN 640 201. The standard SN 640 200a (general principles, concepts and elements) as well as the standard SN 640 202 (acquisition) concerning the general procedure should be checked and the examples in the appendix should be revised. The effects of the revision on other VSS standards also have to be checked.

With this research important gaps in knowledge could be closed at the speed-dependent design elements. They concern the additional space for the range of movement in horizontal direction. The specifications on the vertical range of movement contained in the standard were not examined in this work. Whether they are correct and how they were derived is not known. There is possible research need also at the (static) additional space for safety which was not object of the present research.

The passing cases between motor vehicles and bicycles were examined in this research only in the area of traffic islands with different island lengths and at different carriageway widths. Gaps in knowledge still remain in regards to passing that takes place on the road between single traffic islands.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Normengruppe des VSS⁴ „Geometrisches Normalprofil (GNP)“ aus dem Jahre 1992 besteht aus drei Normen. Darin werden die einzelnen Elemente des Strassenquerschnittes definiert, Hinweise zur Bestimmung deren Abmessungen gegeben und Empfehlungen zum Vorgehen bei der Erarbeitung des GNP unterbreitet.

Im Vordergrund dieser Forschungsarbeit steht die Überprüfung der Norm SN 640 201 (Grundabmessungen). Sie enthält quantitative Richtwerte zur Bemessung der Elemente des Lichtraumprofils von Strassen. Ein grosser Teil dieser Elemente wie z.B. Bewegungsspielraum, Gegenverkehrs- und Überholzuschlag sind geschwindigkeitsabhängig. Das Forschungsvorhaben hat somit auch eine entsprechend hohe Relevanz für die Verkehrssicherheit.

Die Festlegung dieser Richtwerte erfolgte seinerzeit ohne Erhebungen. Es handelt sich also weitgehend um Erfahrungswerte, die nicht auf empirischen Messungen im realen Verkehrsablauf abgestützt sind. Dementsprechend ist in der Norm für die, aus Erfahrung abgeleiteten, geschwindigkeitsabhängigen Richtwerte nur eine grobe und lückenhafte Abstufung enthalten. Dies führt bei der Normanwendung zu Unsicherheiten.

1.2 Auftrag

Auf Grund dieser Ausgangslage wurde das Institut für Verkehrsplanung und Verkehrssysteme (IVT) an der ETH Zürich beauftragt, Bewegungsspielräume verschiedener Fahrzeuge und Begegnungsabstände zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern auf Strassen mit und ohne Gegenverkehr, in Abhängigkeit von Fahr- bzw. Begegnungsgeschwindigkeit, Fahrstreifenbreite, Abstand und Form seitlicher Hindernisse zu ermitteln.

Zur Berücksichtigung der strukturellen Veränderungen im Fahrzeugpark werden ferner auch statistische Erhebungen und Auswertungen der Fahrzeugabmessungen durchgeführt.

1.3 Forschungsziele

Das Ziel der Forschungsarbeit ist die Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen für eine allfällige Revision der Norm SN 640 201. Im Vordergrund steht die Ermittlung von statistisch abgesicherten Abmessungen der geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente des GNP. Die entsprechenden Richtwerte sind aus empirisch gewonnenen Daten abzuleiten.

Die geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente hängen von verschiedenen Kriterien ab, die bei den Erhebungen zu berücksichtigen sind. Die wichtigsten, bei Erhebungen erfassbaren technischen Kriterien, deren Einflüsse mit der vorliegenden Forschungsarbeit quantifiziert werden, umfassen

- Fahrzeugart und gefahrene Geschwindigkeit,
- Breite der Fahrbahn,
- Betriebsart (Fahrbahn mit Einrichtungs- oder Gegenverkehr),
- Hindernisabstand und Art des Hindernisses seitlich der Fahrbahn,
- Art der Begegnungsfälle zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmer-Gruppen und
- Begegnungsgeschwindigkeit.

Im tatsächlichen Verkehrsablauf überlagern sich oft die erwähnten Einflüsse. Bei der Art und Anlage der Erhebung muss deshalb eine artreine Erfassung der einzelnen Einflüsse

⁴ Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

und ihre Superposition gewährleistet werden.

Beim Bewegungsspielraum stellt sich auch die Frage, inwieweit dieser durch die jeweilige Verkehrsdichte beeinflusst wird. Im Vordergrund stehen hier allfällige Unterschiede zwischen den Zuständen „Einzelfahrzeug“ (ungehindert) und „Fahrzeugpulk“ oder „geschlossene Kolonne“.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf die GNP in Tunneln und Galerien. Diesem Umstand wird bei den Erhebungen (Einfluss der seitlichen Hindernisabstände) Rechnung getragen.

Die seitliche Bewegung von Fahrzeugen im Begegnungsfall (in gleicher oder entgegengesetzter Fahrtrichtung) wird normativ durch entsprechende Zuschläge (Überhol- oder Gegenverkehrszuschlag) berücksichtigt. Der so genannte Bewegungsspielraum ist streng genommen vom Begegnungsfall unabhängig. Dennoch sollten allfällige Überlagerungen mit den erwähnten Zuschlägen berücksichtigt werden.

Seitens der Expertenkommission ist nachträglich eine Betrachtung der fahrzeugähnlichen Geräte (FäG) als wünschenswert erachtet worden. Doch wurde der Fokus der Untersuchungen auf die in Ziffer 1.4.1 erwähnten Verkehrsteilnehmer gelegt. Ausschlaggebend hierfür waren unter anderem die nicht oder nur schwer mögliche Erfassung von Personen mit fahrzeugähnlichen Geräten. Da es sich nicht um „Strassenverkehr“ im eigentlichen Sinn handelt, ist eine Erfassung mit den eingesetzten Messgeräten nicht oder nur bedingt möglich. Darüber hinaus konnten keine Orte mit konzentriertem Auftreten von FäG gefunden werden, welche den Anforderungen an geeignete Untersuchungsstrecken (siehe Ziffer 2.4) entsprechen und eine statistisch gesicherte Auswertung ermöglichen.

Durch die neuen Erkenntnisse sollten die Unsicherheiten bei der Anwendung der bestehenden GNP-Normen beseitigt und damit auch Beiträge zur Verbesserung der Verkehrssicherheit erzielt werden.

1.4 Untersuchungsmethodik und Vorgehen

Für die Methodik ist festzulegen, welche Grössen und Zusammenhänge zu ermitteln sind und wie sie quantitativ erfasst werden können.

1.4.1 Untersuchungsgrössen und Zusammenhänge

Messtechnisch ist zwischen den gesuchten Grössen und den Einflussvariablen zu unterscheiden. Zwischen diesen sind entsprechende Zusammenhänge im realen Verkehrsablauf abzuleiten.

Die gesuchten Grössen umfassen

- den Bewegungsspielraum eines ungehindert fahrenden Einzelfahrzeuges und
- die seitlichen Abstände bei Begegnungsfällen zwischen den Verkehrsteilnehmern.

Der Bewegungsspielraum wird als die Amplitude der schlangenförmigen Fahrlinie eines Fahrzeugs auf einem geraden Streckenabschnitt, wie sie beim Fahren als Folge des Lenkspiels, der Fahrbahnunebenheiten, Windeinflüsse usw. entsteht, betrachtet. Die seitlichen Begegnungsabstände zwischen den Fahrzeugen umfassen nach bestehender Norm den Gegenverkehrszuschlag (Strassen mit Gegenverkehr) bzw. Überholzuschlag (Strassen mit Richtungsverkehr). Bei der Erhebung wird jedoch in den seitlichen Abständen auch der (gegebenenfalls reduzierte) Bewegungsspielraum enthalten sein. Die erwähnten Normzuschläge können somit nur indirekt ermittelt werden.

Bei den Einflussvariablen sollen gemäss Ziffer 1.3 quantifiziert werden:

- gefahrene Geschwindigkeit
- Breite der Fahrbahn
- Betriebsart (Fahrbahn mit Einrichtungs- oder Gegenverkehr)
- Hindernisabstand und Art des Hindernisses seitlich der Fahrbahn
- Art der Begegnungsfälle zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmer-Gruppen
- Begegnungsgeschwindigkeit

Für die Messungen wurden gerade und ebene, allenfalls leicht geneigte Streckenabschnitte gesucht. Die Fahrbahnen (mit Richtungs- und Gegenverkehr) wurden hinsichtlich ihrer Breite in die Kategorien „schmal“, „normalbreit“ und „überbreit“ eingeteilt. Bezüglich des seitlichen Hindernisabstands wurden Hindernisse mit einem Abstand grösser oder kleiner 1 m unterschieden. Zu den Hindernisabständen kam als Attribut noch die Hindernisausprägung („punktförmig“/„linienförmig“) hinzu.

Bei den Verkehrsteilnehmergruppen wird unterschieden zwischen solchen für die Ermittlung der Bewegungsspielräume und jenen für die Ermittlung der seitlichen Abstände bei Begegnungen.

Für die Bewegungsspielräume im Fahrbahnbereich werden Personenwagen (PW), Lastwagen und Busse (LW) als „breite“ Fahrzeuge und Fahrräder (FR) einbezogen. Nicht berücksichtigt werden Motorräder, weil sie für die GNP-Bemessung nicht relevant sind.

Für die seitlichen Abstände auf der Fahrbahn werden folgende fünf Begegnungsfälle untersucht:

PW-PW, PW-LW, LW-LW, PW-FR und LW-FR

Die weiter zu berücksichtigende Einflussvariable Fahrgeschwindigkeit hat insofern eine besondere Bedeutung, als sie auch als eine steuernde Grösse aufgefasst werden kann. Sie kann bei beengten Verhältnissen oder bei Fahrzeugbegegnungen angepasst werden. Die Geschwindigkeitshöhe wird in der Grössenordnung durch die Auswahl der Messstrecken in den verschiedenen Kategorien von Strassen bzw. Tempolimiten vorgegeben bzw. beeinflusst.

Neben diesen Einflussvariablen wirken auch *äussere Umweltbedingungen* auf das Fahrverhalten. In dieser Untersuchung werden die Messungen bei folgenden Bedingungen durchgeführt:

Am Tag, ohne Regen, auf Fahrbahnen ohne Unebenheiten.

Aus den beschriebenen Einflussvariablen ergibt sich eine grosse Zahl von Kombinationen. Eine erste Abschätzung aus Basis eigener Erfahrungen und Folgerungen aus der Literatur zeigt, dass allein für Strassen ausserorts mit Gegenverkehr Messungen an ca. 20 verschiedenen Messstrecken erforderlich sind, um statistisch gesicherte Aussagen zu ermöglichen. Deshalb mussten die Messstrecken so ausgewählt werden, dass möglichst viele der Kombinationen an einem Ort erhebungstechnisch abgedeckt werden können. Der Evaluation geeigneter Streckenabschnitte kam deshalb eine grosse Bedeutung zu.

1.4.2 Erhebungen

Die Erfassung der gesuchten Grössen erfolgt mit einer Messeinrichtung des IVT (Messpfosten), die bereits bei mehreren Forschungsprojekten erfolgreich eingesetzt wurden. Mit dieser können neben Fahrtrichtung, Fahrzeuglänge, Durchfahrtszeit und Geschwindigkeit auch die Querabstände der einzelnen Fahrzeuge detektiert und über mehrere Querschnitte verfolgt werden. Zur Erfassung von Begegnungsfällen und vor allem zur Detektion der Bewegungsspielräume und Begegnungsfälle von Fahrzeugen mit Fahrrädern wird ein spezielles Sensorsystem eingesetzt. Dieses basiert auf Laserabtastung und ist in der Lage, die Position beweglicher Objekte zu erfassen und zu verfolgen.

Ein Vorteil dieses Messkonzeptes gegenüber der ebenfalls denkbaren Videobildverarbeitung liegt in einer grösseren Genauigkeit und vor allem in der Flexibilität (keine erhöhten Kamerastandorte an Messstrecken nötig). Weiter können die erhobenen Daten direkt weiterbearbeitet werden. Die zeitaufwändige Videoauswertung entfällt.

Die prinzipielle Messanordnung auf einem Streckenabschnitt ist in folgender Skizze dargestellt. Die Abstände der Messpfosten in der Messrichtung richten sich nach dem zu erwartenden Geschwindigkeitsniveau. Der Abstand zwischen den einzelnen Messpfosten variiert zwischen 15 m bei Messstrecken innerorts und 30 m an HLS (vgl. 2.5.3). Die Länge des Messabschnitts erstreckt sich im Idealfall (Einsatz aller 12 Messpfosten) somit über Strecken von 165 m (innerorts) und 330 m (an HLS).

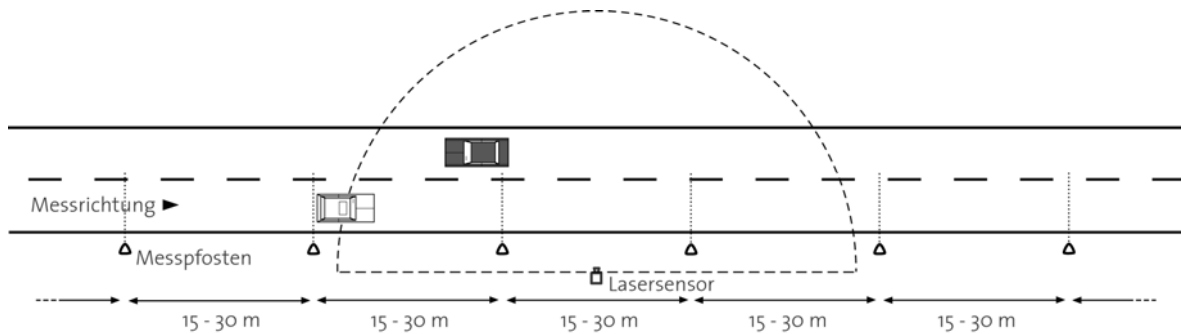


Abbildung 1: Prinzip der Messanordnung auf einem Streckenabschnitt

Mit den Messpfosten wird die zugewandte Fahrzeugseite detektiert. Die Auswertesoftware kann die Spurverläufe der einzelnen Fahrzeuge zwischen den an den Querschnitten gemessenen Stützpunkten durch eine kubische Spline-Interpolation rekonstruieren. Als Bewegungsspielraum eines Fahrzeuges wird die Differenz zwischen dem grössten und dem kleinsten Randabstand innerhalb der Messstrecke definiert (vgl. Ziffer 2.6.2). Hierzu werden jene Situationen aussortiert, in welchen sich innerhalb der Messstrecke keine anderen Fahrzeuge befanden. Umgekehrt werden für die Begegnungsfälle bestimmte Zeitabstände zwischen Fahrzeugen in der Mess- und Gegenrichtung festgelegt.

Mit Hilfe der in einer Reihe aufgestellten Messpfosten werden lediglich die Spurverläufe und Geschwindigkeiten der Fahrzeuge in Messrichtung erhoben. Zur Bestimmung der zugehörigen Fahrzeugbreite sowie zur Feststellung, ob sich für das betrachtete Fahrzeug ein Begegnungsfall ergeben hat, ist ein Abgleich mit den Daten des Lasermesssystems (LMS) notwendig.

Um diesen Abgleich durchführen zu können, war ein erheblicher Aufwand im Bereich der Softwareentwicklung zu betreiben. Neben der Steuerung des Lasermesssystems mussten umfangreiche Routinen zur Datenerhebung und Rohdatenauswertung erstellt werden. Verbunden waren diese Entwicklungen mit den erforderlichen Tests und Validierungsprozessen. Noch vor den Messungen und der Datenanalyse nahmen diese Entwicklungen den Grossteil der Bearbeitungszeit in Anspruch.

Die Begegnungswahrscheinlichkeit von Fahrzeugen im Bereich der relativ kurzen Messstrecken ist bei schwachem Verkehr relativ klein. Aus diesem Grund wurden die Messungen so angelegt, dass auch Verkehrsvorgänge *während der Stosszeiten* erfasst wurden. Bei schwächerem Verkehr traten vorwiegend Bewegungsspielräume ungehindert fahrender Fahrzeuge auf. Bei grösseren Verkehrsdichten konnten überwiegend seitliche Abstände bei Begegnungsvorgängen erfasst werden.

1.4.3 Messauswertungen

Aus der gesamten Stichprobe der Messwerte an einer Messstrecke werden mehrere Teilmengen in folgenden Schritten gebildet:

- Gliederung nach Verkehrsteilnehmern
Bei dieser Gliederung wird in die drei Gruppen PW / LW / ZR sortiert. Anschliessend erfolgt die Gruppierung zu den Vorgängen ohne Begegnung (Messwerte für Bewegungsspielräume) und mit Begegnung (Messwerte für seitliche Begegnungsabstände).
- Gliederung nach Geschwindigkeiten
Für die sortierten Teilmengen werden Geschwindigkeitsverteilungen gerechnet. Die Untersuchungen der Bewegungsspielräume und Begegnungszuschläge geschehen in Abhängigkeit der diskreten Geschwindigkeiten.
- Ermittlung und Verteilung der Bewegungsspielräume
In Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit werden aus den Spurverläufen der ungehinderten Verkehrsteilnehmer die in Ziffer 2.6.2 definierten Bewegungsspielräume ermittelt. Ihre Verteilung bildet die Basis für die Festlegung der geschwindigkeitsabhängigen Normrichtwerte.
- Ermittlung und Verteilung der Gegenverkehrs- /Überholzuschläge
In Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit werden aus den Spurverläufen der an den Begegnungsfällen beteiligten Verkehrsteilnehmer die seitlichen Begegnungsabstände ermittelt. Ihre Verteilung bildet die Basis für die Festlegung der geschwindigkeitsabhängigen Normrichtwerte. Die entsprechenden Gegenverkehrs- oder Überholzuschläge ergeben sich erst nach dem Abzug der Bewegungsspielräume.

In einer gesonderten Auswertung wird auch der Frage des Einflusses grösserer Verkehrsstärken auf die Bewegungsspielräume nachgegangen. Dazu werden Fahrzeugpuls ausgewertet und die Ergebnisse mit jenen von ungehindert fahrenden Einzelfahrzeugen verglichen.

Auf die Auswertung der einzelnen Messstrecken folgt der Vergleich von Messstrecken unterschiedlicher Breite sowie von Messstrecken mit und ohne seitliche Hindernisse. Dabei soll ein möglicher Einfluss dieser Variablen aufgezeigt und quantifiziert werden.

1.4.4 Untersuchungsvorgehen

Das generelle Vorgehen ist in Abbildung 2 dargestellt. Ausgehend von den definierten Forschungszielen wurden die Voraussetzungen für die erforderlichen Erhebungen im realen Verkehrsablauf geschaffen. Einen wesentlichen Anteil hieran stellt die Auswertung der vorhandenen Fachliteratur und der bestehenden Schweizer Normen dar.

Die anschliessenden Messauswertungen bezüglich des Spurverhaltens beziehen die Erkenntnisse aus den statistischen Auswertungen des Schweizer Fahrzeugparks mit ein. Weiter wurden die Einflüsse der einzelnen Faktoren auf das Spurverhalten quantifiziert und allfällige Zusammenhänge aufgezeigt.

Die resultierenden geschwindigkeitsabhängigen Zuschläge bilden, neben den fahrzeugabhängigen Faktoren, Richtwerte zur Dimensionierung der Bemessungselemente des geometrischen Normalprofils. Sie dienen somit als Anhaltspunkte für eine allfällige Anpassung der bestehenden Normung.

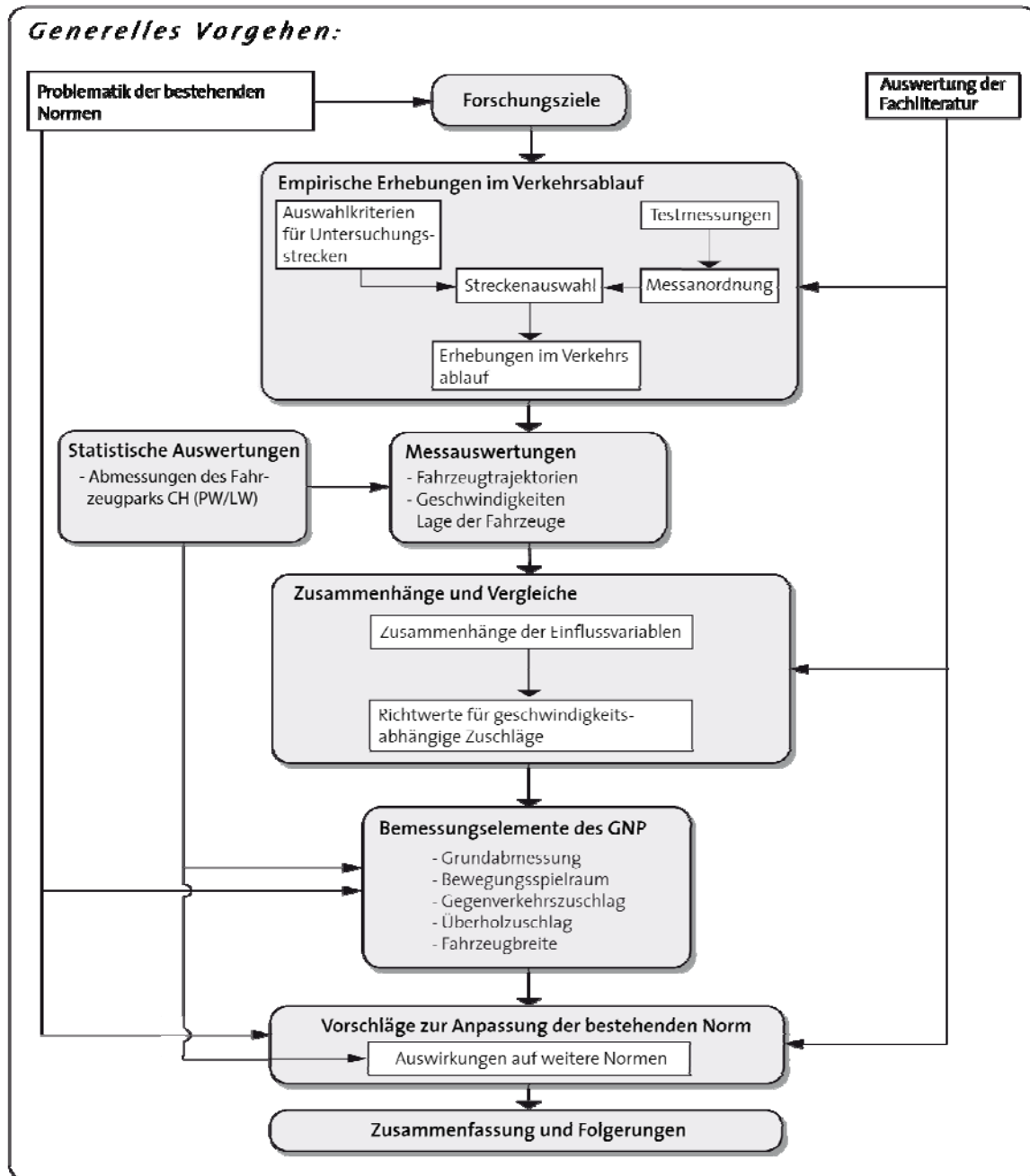


Abbildung 2: Ablaufschema des Untersuchungsvorgehens

2 Vorarbeiten

2.1 Bisherige Untersuchungen

Vorab kann festgehalten werden, dass bis dato nur wenige Quellen existieren welche sich direkt oder mittelbar mit den Zusammenhängen von Fahrverhalten und vorhandenen beziehungsweise benötigten Fahrbahnbreiten beschäftigen. Allen voran sind diesbezüglich die Schweizer Normen des VSS zu nennen.

2.1.1 Erkenntnisse aus der Schweiz

Die grundlegenden Erkenntnisse bezüglich der Fahrstreifendimensionierung für die Schweiz sind in den Normen SN 640 200a Geometrisches Normalprofil, Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente [SN 640 200a] und SN 640 201 Geometrisches Normalprofil, Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer [SN 640 201] zusammengestellt.

In der Schweizer Norm 640 200a werden das Vorgehen für das Erarbeiten des GNP festgelegt sowie Begriffe und Bestandteile definiert (vgl. Abbildung 3). Die Norm enthält Grundsätze und Hinweise, die zur Erarbeitung des GNP zu berücksichtigen sind und regelt Zweck und Anordnung der einzelnen Querschnittselemente.

Das GNP ergibt sich aus Art und Breite sowie dem Quergefälle der Fahrstreifen zusammen mit dem Lichtraumprofil der Strasse. Per Definition soll es den Verkehrsteilnehmern ermöglichen, sich sicher sowie gemäss der festgelegten Verkehrsqualität fortzubewegen.

In der SN 640 201 werden Angaben zum Lichtraumprofil verschiedener Verkehrsteilnehmer gemacht. Es werden Grundabmessungen für Fussgänger, Zweiräder, Personenwagen, Lastwagen und weitere Verkehrsteilnehmer sowie Spezialfahrzeuge angegeben. Auch die dazugehörigen Sicherheitszuschläge und geschwindigkeitsabhängigen Bewegungsspielräume sowie Gegenverkehrs- und Überholzuschläge werden separat für die horizontale und gegebenenfalls auch vertikale Richtung aufgeführt.

Anders als in vielen ausländischen Regelwerken, wo mehr oder weniger feste Normalprofile („Regelquerschnitte“) für die einzelnen Strassentypen normativ vorgeschrieben werden, wird mit dem in den VSS-Normen festgelegten Verfahren eine flexible Querschnittsgestaltung angestrebt. Dies bedeutet, dass auch innerhalb eines bestimmten Strassentyps in den Querschnittsabmessungen unterschiedliche GNP abgeleitet werden können. Das VSS-Verfahren ist zudem stark auf die geschwindigkeitsabhängigen Elemente ausgelegt. In den Normen werden hierzu entsprechende Richtwerte angegeben, deren Entstehung nicht in einem entsprechenden Forschungsbericht dokumentiert ist.

Untersuchungen zum Fahrverhalten und zur Position der Fahrzeuge im Querschnitt wurden bereits 1999 von BELOPITOV und SPACEK [Belopitov, 1999] durchgeführt. Die Betrachtungen beziehen sich jedoch ausschliesslich auf das Fahrverhalten in Kurven und sind somit nur bedingt auf das Forschungsvorhaben übertragbar. Es wurde festgestellt, dass Geschwindigkeiten eine grundsätzliche Bedeutung für den Entwurf der Linienführung und letztendlich auch die Gestaltung der Strassenquerschnitte haben. Bei der Betrachtung des Spurverhaltens hat es sich als schwierig herausgestellt, zwischen bewussten und unbewussten oder unbeabsichtigten Handlungen zu unterscheiden. Darüber hinaus wird von wesentlichen Einflüssen durch nicht erfassbare Elemente, wie beispielsweise Bepflanzung, Böschungen und Leiteinrichtungen berichtet. Neben dem Fahrverhalten in Kurven wird auch das Verhalten im angrenzenden Bereich vor und hinter der Kurve betrachtet. Allen Untersuchungsstrecken gingen gerade Streckenabschnitte mit möglichst geringen Längsneigungen voraus. Sowohl das Ausholen vor der Kurve als auch das Hinaustragen nach der Kurve konnten nur im geringen Ausmass festgestellt werden. Für die in der Untersuchung definierten Spurtypen wurden deren Häufigkeiten in verschiedenen Kurven ermittelt.

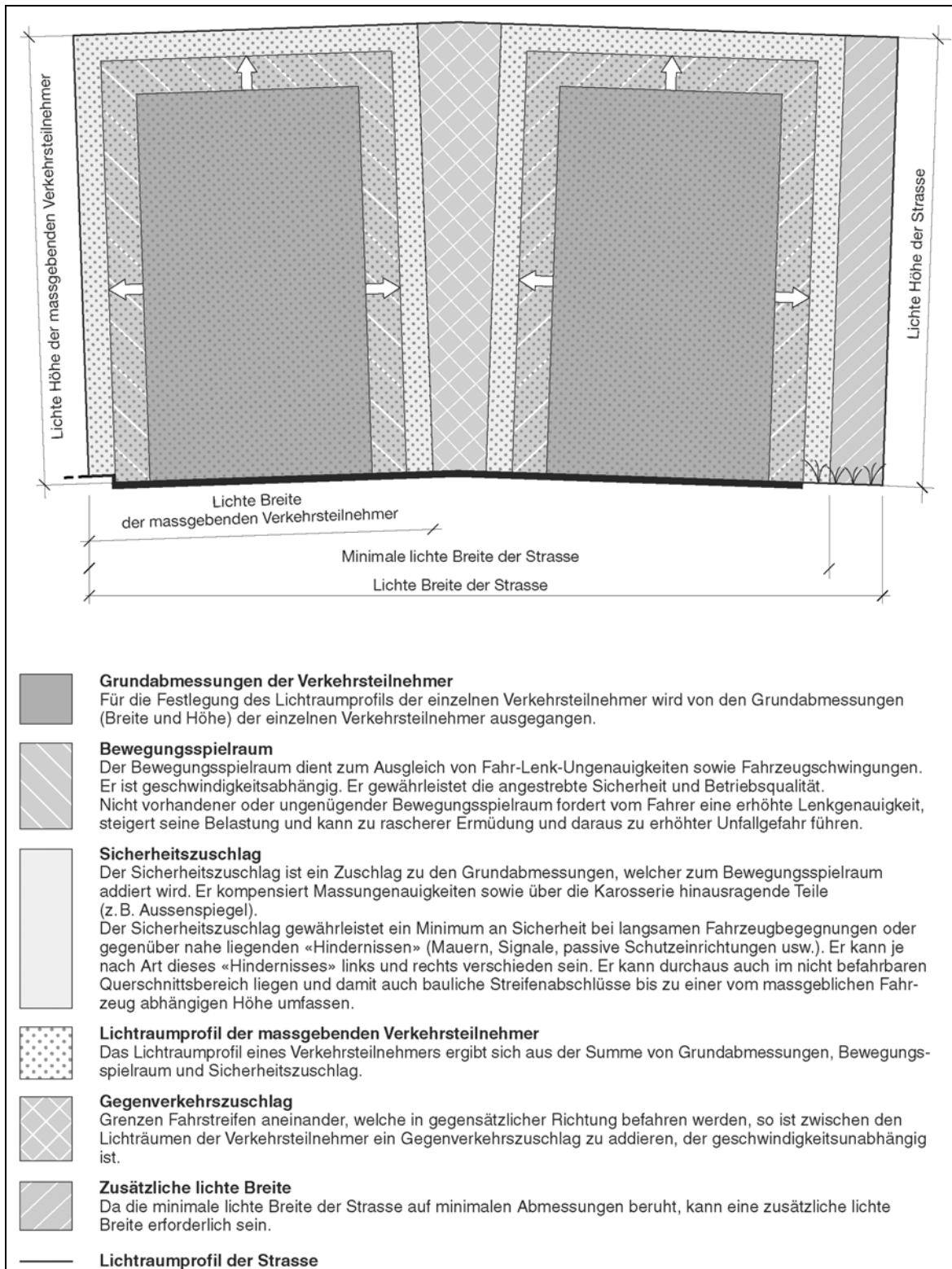


Abbildung 3: Aufbau des Lichtraumprofils der Strasse [SN 640 200a]

BÜHLMANN [Bühlmann, 1990] hat im Jahr 1990 Durchfahrtsbreiten bei baulichen Hindernissen untersucht. Der Fokus der Untersuchungen lag auf der Beurteilung der notwendigen Fahrstreifenbreiten im Bereich von Trenninseln. In diesen Bereichen wurde die Sicherheit von Zweiradfahrern untersucht und Empfehlungen zu den Durchfahrtsbreiten aus Sicht der Zweiradfahrer gegeben. Anhand der Betrachtungen für lange (> 15 m) und kurze (< 15 m) Inseln mit unterschiedlichen Durchfahrtsbreiten, kommt Bühlmann zu der Empfehlung von unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten, je nach vorhandenen Platzverhältnissen und Inselnängen. Bei ausreichenden Platzverhältnissen empfiehlt er für kurze

Inseln eine Durchfahrtsbreite von mindestens 4.00 m und für Lange Inseln mindestens 4.20 m. Sollte dieser Raum nicht zur Verfügung stehen empfiehlt er Durchfahrtsbreiten grösser 3.00 m oder 3.60 m. Im Falle der schmalen Variante kommt es den Untersuchungen zu Folge nur ausnahmsweise zu Überholungen von Radfahrern durch Lastwagen.

Die Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge [VTS, 2007] (Art. 94) begrenzt die Breite der Fahrzeuge auf 2.60 m bei klimatisierten Fahrzeugen und auf 2.55 m für alle übrigen Motorfahrzeuge. Die Breitenbegrenzung der deutschen Strassenverkehrs-Zulassungs-Ordnung [StVZO, 2008] (§ 32) entspricht der Schweizer Verordnung bezüglich der klimatisierten Fahrzeuge. Die allgemeine maximale Fahrzeugbreite beträgt 2.55 m, wird jedoch für Personenwagen auf 2.50 m begrenzt. Die Vorgaben, welche auf der Ebene der europäischen Union für die Mitgliedsstaaten erarbeitet werden, müssen in den einzelnen Ländern in nationales Recht umgesetzt werden. Somit kann von nahezu gleichen Bedingungen in den anderen EU-Mitgliedsstaaten ausgegangen werden.

2.1.2 Erkenntnisse aus dem Ausland

Die Recherchen zu themenbezogener Literatur haben nur wenige Quellen ergeben, welche überwiegend andere Ziele zum Hintergrund hatten. Somit kann ein Grossteil der vorhandenen Literatur nur bedingt für dieses Forschungsvorhaben herangezogen werden. Nachfolgend soll auf einzelne ausländische Quellen näher eingegangen werden.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass Forschungsarbeiten bezüglich der Fahrbahn- beziehungsweise Fahrstreifenbreite hauptsächlich in den 1970-er Jahren in Deutschland durchgeführt wurden.

OELLERS [Oellers, 1976] hat den Einfluss der Fahrbahnbreite auf den Verkehrsablauf auf Richtungsfahrbahnen untersucht. Hintergrund war der Vorschlag eines reduzierten Autobahnquerschnittes (RQ 26) in den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Teil: Querschnitte (RAL-Q). Dieser sah eine Fahrstreifenbreite von 3.50 m statt der sonst üblichen Breite von 3.75 m vor. Diese Forschungsarbeit untersuchte vorhandene feste Fahrbahnbreiten (3.25 m; 3.50 m; 3.75 m) auf Autobahnen und die daraus resultierenden Abstände der Fahrzeuge zur Mittellinie (Mittelmarkierung). Es wurden nur momentane Fahrzeugbewegungen untersucht. Oellers stellte fest, dass sowohl das Vorhandensein eines Standstreifens als auch die Breite der Fahrspur sowie Geschwindigkeit und Art der Fahrzeug Einflüsse auf die seitlichen Abstände zur Mittelmarkierung haben.

Mit Hilfe von Lichtschranken haben LENZ und BURGER [Lenz, 1975] das Spurverhalten von Krafffahrzeugen auf einer zweispurigen Landstraße untersucht. Geprüft wurde, inwieweit unterschiedliche Geschwindigkeiten, Fahren im Pulk, allfälliger Gegenverkehr und unterschiedliche Fahrstreifenbreiten die laterale Fahrzeugposition beeinflussen. Ergebnisse dieser Untersuchung waren, dass Fahrzeuge mit Geschwindigkeiten unter 100 km/h ungefähr in der Mitte des Fahrstreifens oder leicht nach rechts versetzt fahren. Mögliche Unterschiede bedingt durch das Geschwindigkeitsniveau lagen im Rahmen der Messgenauigkeit. Bei Gegenverkehr wurde eine Verschiebung der Fahrspur frei fahrender Fahrzeuge um 15 cm nach rechts festgestellt. Für Fahrzeuge im Pulk konnten Regelmässigkeiten erfasst werden. So fährt beispielsweise das zweite Fahrzeug meistens nach links versetzt und das dritte Fahrzeug nach rechts versetzt. Allgemein wurde für Fahrzeugpuls eine leicht nach links versetzte Position festgestellt. Eine Begründung hierfür sehen die Autoren in beabsichtigten Überholvorhaben.

Aufbauend auf eine ausführliche Analyse von PW- und LW-Breiten untersuchten KNOFLACHER und SCHOPF [Knoflacher, 1981] die notwendige Fahrstreifenbreite in Abhängigkeit von Fahrzeugbreite und Fahrgeschwindigkeit. Hierzu wurden Versuchsfahrten mit mehreren Fahrern und unterschiedlichen Fahrzeugen durchgeführt. Aus den Versuchen wurden Bewegungs- und Sicherheitsräume sowie Gegenverkehrszuschläge abgeleitet. Schlussendlich wird empfohlen die Fahrstreifenbreiten in Ortsgebieten zu reduzieren. Bei einer Tempolimite von 80 km/h wird für LW eine Fahrstreifenbreite von 3.50 m und für PW von 3.05 m als erforderlich erachtet. Fahrstreifen auf Hochleistungsstrassen

sollen eine Breite von 3.50 m aufweisen.

BARK, DURTH und MATTHESS [Bark, 1991] haben bei der Überprüfung der Regelmasse von Strassenquerschnitten innerhalb von Ortschaften das Spurverhalten mittels Videoauswertung untersucht. Basierend auf den Untersuchungen wurden Empfehlungen für die Querschnittsbemessung und allfällige Zuschläge gegeben. Im Rahmen der Untersuchungen konnte kein Einfluss der Geschwindigkeit auf das Spurverhalten festgestellt werden. Ebenso wenig konnte ein Zusammenhang zwischen der nutzbaren Fahrbahnbreite oder der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeit im Begegnungsfall nachgewiesen werden. Als Regelwerte der Fahrbahnbreite für den Begegnungsfall PW-PW werden 4.50 m (minimal 4.00 m), für den Begegnungsfall PW-Grossfahrzeug 5.50 m (minimal 4.75 m) und für den Begegnungsfall Grossfahrzeug-Grossfahrzeug 6.00 m (minimal 5.75 m) empfohlen. Zusätzlich sollen der Fahrbahn bei Hochborden 0.25 m und bei Parkständen im Wechsel mit Bäumen 0.15 m zugeschlagen werden.

Der Begriff „Bewegungsspielraum“ ist in den deutschen Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte bereits seit den 60er Jahren enthalten und wurde in Abhängigkeit vom Strassentyp angegeben. Anders als bei uns wird jedoch der Gegenverkehrs- / Überholzuschlag in den aktuellen Richtlinien [RAS-Q, 1996] nicht separat ausgewiesen. Zudem umfasst der Bewegungsspielraum auch ein „Sicherheitsabstand für überstehende Fahrzeugteile“ (was dem Sicherheitszuschlag in der Schweizer Norm [SN 640 200a] entspricht). Die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Bewegungsspielraumes kann somit in den Richtlinien [RAS-Q, 1996] nur bedingt und indirekt über die theoretische Grösse „Entwurfsgeschwindigkeit“ hergestellt werden. Zur Quantifizierung des Bewegungsspielraumes enthalten die deutschen Richtlinien lediglich die Angabe, dass „die Breite je nach Regelquerschnitt zwischen 0.25 und 1.25 m festgelegt“ ist.

Wesentlich in den Richtlinien [RAS-Q, 1996] sind auch die Ausgangsmasse für den Kraftfahrzeugverkehr (was den Grundabmessungen der Verkehrsteilnehmer in der Schweizer Norm [SN 640 200a] entspricht, vgl. Abbildung 3). Die Breite dieser Ausgangsmasse beträgt in den Richtlinien [RAS-Q, 1996] 2.50 m. In einer Fussnote wird hierzu aufgeführt, dass diese Breite „nicht identisch mit der maximal zulässigen Breite eines Fahrzeugs ist, die in europaweit gültigen Regelungen auf 2.55 m, in bestimmten Sonderfällen auf 2.60 m festgelegt ist“ (vgl. dazu die Erhebungen in Ziffer 2.3)

In den US-amerikanischen Regelwerken wird das Thema der geschwindigkeitsabhängigen Bemessung des Bewegungsspielraumes nicht thematisiert. Beispielsweise wird in den Empfehlungen [AASHTO, 2001] die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Fahrbahnbemessung erwähnt, quantitativ angegeben wird jedoch nur die resultierende Fahrstreifenbreite, die zwischen 2.7 und 3.6 m „gewöhnlich angewendet wird“, wobei die 3.6 m breiten Fahrstreifen auf übergeordneten Strassenkategorien überwiegend verwendet werden. In diesen Empfehlungen werden Angaben über den Einfluss der Fahrstreifenbreite auf verschiedene Aspekte, insbesondere die Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität gemacht.

2.2 Untersuchungshypothesen

Aus den bisherigen Erkenntnissen und darüber hinausgehenden Überlegungen lassen sich entsprechende Untersuchungshypothesen ableiten. Entsprechend der vorliegenden Aufgabenstellung beziehen sie sich auf den Bewegungsspielraum bzw. die lateralen Spuramplituden (vgl. Ziffer 2.6) und auf die Begegnungsabstände der Fahrzeuge.

Hypothesen zu den Spuramplituden

- *Der Status eines Fahrzeuges, ob es frei fahrend ist oder durch mindestens ein vorausfahrendes Fahrzeug beeinflusst wird, hat Auswirkungen auf die Grösse der lateralen Spuramplitude.*
- *Fahrzeuge, denen ein anderes Fahrzeug entgegenkommt, oder die auf Autobahnen von einem anderen Fahrzeug überholt werden, weisen signifikant unterschiedliche laterale Spuramplituden zu Fahrzeugen ohne Begegnung auf.*

- *Fahrzeuge unterschiedlicher Fahrzeugkategorien (LW, PW, ZR) nehmen unterschiedlich grosse Bewegungsspielräume bzw. laterale Spuramplituden in Anspruch.*
- *Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge hat einen signifikanten Einfluss auf die Grösse der lateralen Spuramplitude.*
- *Die Fahrstreifenbreite hat einen signifikanten Einfluss auf die Grösse der lateralen Spuramplitude.*
- *Seitliche Hindernisse haben in Abhängigkeit ihrer Ausprägung und ihres Abstandes zum Fahrbahnrand Einfluss auf das laterale Spurverhalten, beschrieben durch die Grösse der Spuramplitude und die Lage der mittleren Fahrzeugsur.*
- *Die Beleuchtungsverhältnisse haben Einfluss auf das laterale Spurverhalten. Bei Dunkelheit weisen Fahrzeuge eine grössere mittlere Spuramplitude sowie eine Verschiebung der mittleren Spurlage auf.*

Hypothesen zu den Begegnungsabständen

- *Der Status eines Fahrzeugs, ob es frei fahrend ist oder durch mindestens ein vorausfahrendes Fahrzeug beeinflusst wird, hat Auswirkungen auf den Abstand zwischen sich begegnenden Fahrzeugen. Dieser Einfluss ist abhängig von der Begegnungsart (Kreuzen / Überholen).*
- *Die Anzahl der begegnenden Fahrzeuge hat Einfluss auf die Grösse des Begegnungsabstandes.*
- *Die Fahrzeugkategorie der an der Begegnung beteiligten Fahrzeuge hat einen Einfluss auf die Grösse des lateralen Abstandes zwischen beiden Fahrzeugen. Dies betrifft sowohl die Kategorie des Fahrzeugs in Messrichtung sowie jene des entgegenkommenden Fahrzeugs auf Strecken mit Gegenverkehr als auch auf Autobahnen, die Kategorie des Fahrzeugs auf dem Normalfahrstreifen sowie jene des überholenden Fahrzeugs.*
- *Die gefahrene Geschwindigkeit hat einen signifikanten Einfluss auf den Begegnungsabstand zweier Fahrzeuge. Dieser ist abhängig von der Betriebsform und der Fahrzeugkategorie.*
- *Ein entgegenkommendes Fahrzeug hat Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit. Im Falle einer Begegnung wird die Geschwindigkeit reduziert.*
- *Die Fahrstreifenbreite hat sowohl für Begegnungen zwischen PW als auch für Begegnungen mit LW einen signifikanten Einfluss auf die Grösse des lateralen Begegnungsabstandes.*
- *Linienförmige Hindernisse haben einen Einfluss auf die Grösse der lateralen Begegnungsabstände. Sie führen zu geringeren Abständen zwischen entgegenkommenden Fahrzeugen.*

2.3 Breiten des Schweizer Motorfahrzeugparks

In der VSS-Norm 640 201 [SN 640 201] werden die folgenden Breiten als Grundabmessung für die Verkehrsteilnehmer angegeben: 1.80 m für Personenwagen und 2.50 m für Sachtransportfahrzeuge bzw. Lastwagen.

Dem Untersuchungsvorhaben liegt insbesondere die Vermutung zu Grunde, dass in den letzten Jahren eine deutliche Änderung der Fahrzeugbreite der sich im Verkehr befindenden Fahrzeuge stattgefunden hat. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde der Motorfahrzeugpark der Gruppen Personenwagen (PW) und Lastwagen (LW) mit über 3.5 t Gesamtgewicht, welche in der Schweiz zugelassen sind, auf die Entwicklung der Breiten hin untersucht. Die vorliegende Untersuchung soll Aufschluss darüber geben, ob sich die Breiten der PW und LW gegenüber der eingangs erwähnten Normgrundlage geändert haben.

2.3.1 Grundlagen

Das Bundesamt für Strassen stellt jährlich einen Datensatz mit dem Bestand des Motorfahrzeugparks der Schweiz zur Verfügung. Der der vorliegenden Auswertung zugrundeliegende Datensatz spiegelt den Stand des Fahrzeugparks im November 2005 wieder. Zu

diesem Zeitpunkt betrug der Gesamtbestand der sich im Verkehr befindenden Fahrzeuge 5'092'195. Davon werden ausschließlich die 3'936'337 PW und 338'169 LW und Lieferfahrzeuge für die Auswertung betrachtet.

Die Betrachtungszeitpunkte liegen bei den PW auf den Jahren 1995, 2000 und 2005, bei den LW auf den Jahren 2000 und 2005. Da der Auswertung einzig der eingangs erwähnte Datensatz von 2005 vollständig zur Verfügung steht, nimmt die Datendichte umso drastischer ab, je weiter sich der Betrachtungszeitpunkt in der Vergangenheit befindet. Dies ist darin begründet, dass in der oben genannten Grundgesamtheit keine Fahrzeuge enthalten sind, welche vor dem November 2005 abgemeldet worden sind. Die Auswertung für die Jahre 1995 und 2000 beruht somit auf den Fahrzeugen, welche 1995 beziehungsweise 2000 angemeldet waren und sich auch zum Zeitpunkt der Datenzusammenstellung (Nov. 2005) noch im Verkehr befanden. Auf Grund der zu geringen Anzahl von Fahrzeugen wird das Jahr 1995 bei der Betrachtung der LW-Breiten nicht berücksichtigt.

2.3.2 PW-Park

Die oben genannte Grundgesamtheit der PW reduziert sich für das Jahr 2005 auf 3'639'994 Fahrzeuge und stellt für die Auswertung die Basis von 100 % dar. Die Reduktion kommt auf Grund des Wegfalls jener PW zustande, für welche im vorliegenden Datensatz keine Typenscheinnummer oder Breite angegeben ist. Auf Grund der bis November 2005 bereits wieder abgemeldeten Fahrzeuge, reduziert sich die Anzahl der PW für das Jahr 2000 auf 891'869 Fahrzeuge (25 %) und für das Jahr 1995 auf 180'789 Fahrzeuge (5 %).

Verteilung der PW-Breiten 2005

In Abbildung 4 ist die Summenhäufigkeit der PW-Breiten für das Jahr 2005 aufgetragen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengetragen. Dabei wurden die Percentile 80, 85, 90, 95 und 99 % betrachtet. Die Wahl der Percentile erfolgte in Anlehnung an die Forschungsarbeit zur Geometrie von Parkieranlagen [Stauber, 2005]. STAUBER und NÄF wählten hier hohe Quantile für Manöver, bei denen kein Spielraum für Korrekturen besteht. Dieser obere Percentil-Bereich dient üblicherweise als Grundlage für die Normung. Fahrzeuge mit geringeren Breiten sind für die Bemessung von Strassenquerschnitten nicht von massgebender Bedeutung. Des Weiteren ist in Tabelle 1 der relative Anteil der Personenwagen angegeben, welcher eine Breite von 1.80 m überschreitet. Die in der Schweizer Norm [SN 640 201] zitierte massgebende PW-Breite von 1.80 m entspricht im Jahr 2005 dem Percentil von 89 %. Das heisst, nur 11 % der Personenwagen waren in diesem Jahr breiter als die in der Norm angegebene Grundabmessung.

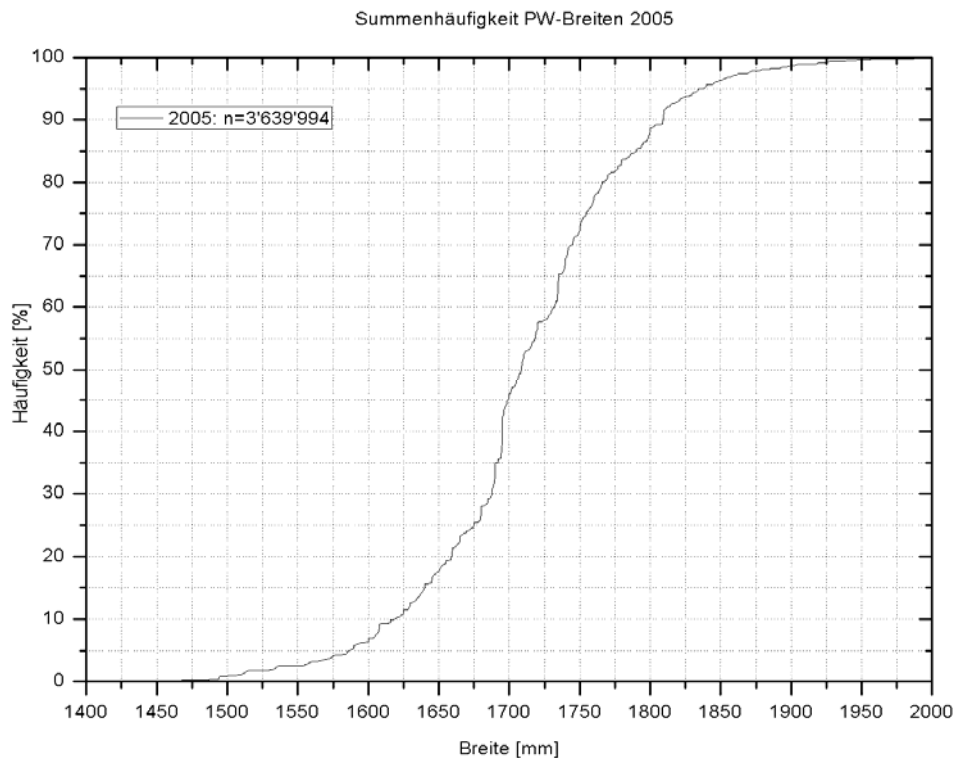


Abbildung 4: Summenhäufigkeit der PW-Breiten für das Jahr 2005

Aus Tabelle 1 sind ausserdem die massgebenden Percentile der Personenwagen ersichtlich. Maximal muss für das Jahr 2005 von einer Breite von 1.92 m (99 %) ausgegangen werden. Die Breite, welche von 85 % der immatrikulierten Personenwagen nicht überschritten wird, beträgt 1.79 m.

Tabelle 1: PW-Breiten 2005

Percentile	Breite [mm]
99 %	1918
95 %	1834
90 %	1809
85 %	1789
80 %	1765
Mittelwert	1713
Anteil Breite > 1800 mm	11 %

Veränderung der PW-Breiten zwischen den Jahren 1995, 2000 und 2005

In Abbildung 5 ist die Summenhäufigkeit der PW-Breiten für die Jahre 1995, 2000 und 2005 aufgetragen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgelistet. Hierbei wurden die gleichen Percentile betrachtet wie bereits für das Jahr 2005.

Das Jahr 1995 ist insofern von besonderer Bedeutung, als davon ausgegangen werden muss, dass dies auch die Datenlage zur Zeit der Entstehung der massgebenden Schweizer Normen darstellt.

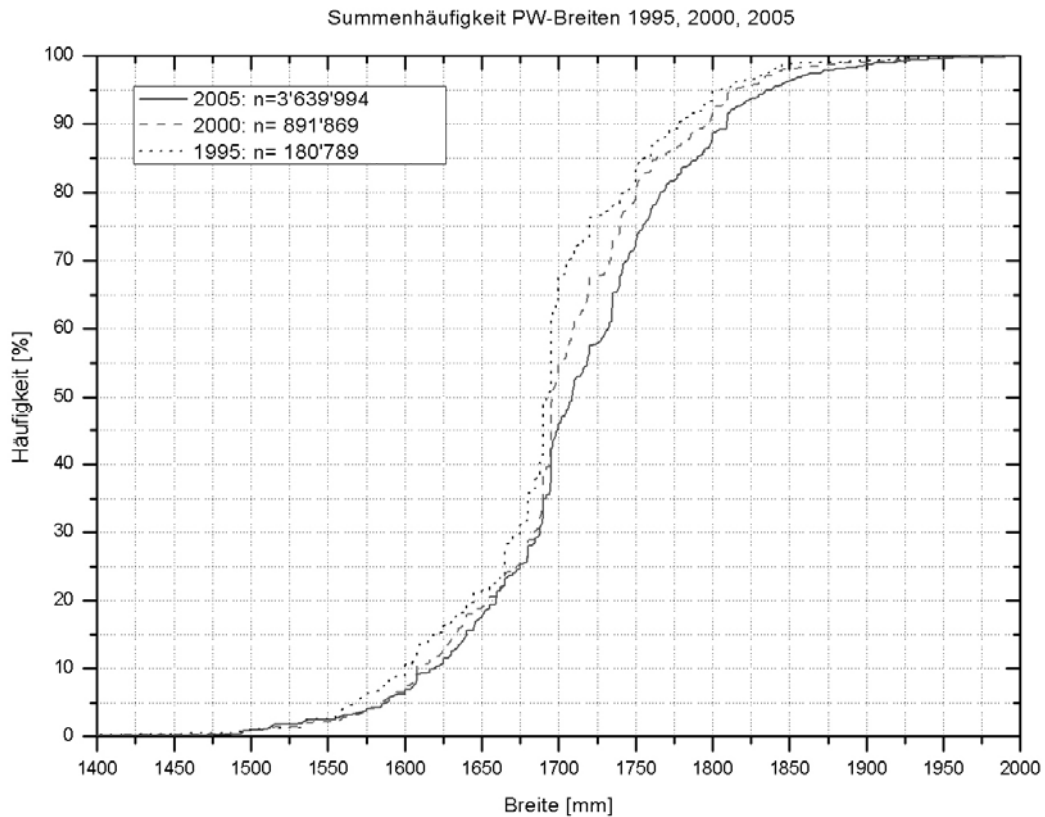


Abbildung 5: Summenhäufigkeit der PW-Breiten für die Jahre 1995, 2000 und 2005

Tabelle 2: PW-Breiten und Veränderungen für die Jahre 1995, 2000 und 2005

Percentile	Breite [mm]	Differenz [mm]	Breite [mm]	Differenz [mm]	Breite [mm]
	2005	2005/2000	2000	2000/1995	1995
99 %	1918	31	1887	24	1863
95 %	1834	20	1814	10	1804
90 %	1809	14	1795	18	1777
85 %	1789	26	1763	7	1756
80 %	1765	15	1750	5	1745
Mittelwert	1713	11	1702	11	1691
Anteil Breite > 1800 mm	11 %	-	7 %	-	5 %

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich wird, hat ein nahezu stetiger Anstieg der Breiten pro Perzentil und 5-Jahresintervall stattgefunden. Dieser Sachverhalt bestätigt sich durch den Anstieg des Mittelwertes. Sowohl im Zeitraum von 1995 bis 2000 als auch von 2000 bis 2005 nimmt die mittlere Breite der Personenwagen um jeweils 11 mm zu. Insbesondere von 2000 bis 2005 kann eine überdurchschnittliche Zunahme der hohen Percentile festgestellt werden. Darüber hinaus fällt auf, dass 1995 nur 5 % der PW breiter als 1.80 m waren, während es im Jahr 2000 bereits 7 % waren. Im Jahr 2005 war der Anteil mit 11 % mehr als doppelt so gross wie 1995.

Abschliessend kann gesagt werden, dass nicht nur die Breite der PW von 1995 bis 2005 erheblich zugenommen hat, sondern auch der Anteil der PW, welche breiter als 1.80 m sind. Allerdings muss die stark unterschiedliche Stichprobengrösse berücksichtigt werden.

Allradgetriebene Personenwagen (SUV)

Ausgangspunkt der folgenden Untersuchung ist die Vermutung, dass ein Zusammenhang

zwischen der Zunahme des Anteils von PW, welche breiter als 1.80 m sind (2005: 11 %) und der Zunahme der sogenannten „Sport Utility Vehicles“ (SUV) in der Schweiz besteht. Bei SUVs handelt es sich um PW, deren Karosseriemerkmale an das Erscheinungsbild von Geländewagen angelehnt sind. In der Regel verfügen sie über Allradantrieb, eine deutlich grössere Bodenfreiheit und dadurch bedingt eine grössere Fahrzeughöhe als übliche PW. Dieser Untersuchung liegt die Definition zugrunde, dass es sich bei SUVs um allradgetriebene PW handelt, deren Höhe 1.65 m und mehr beträgt.

Im Jahr 2005 befanden sich 235'006 PW dieser Definition im Verkehr. Bezogen auf den auswertbaren PW-Fuhrpark der Schweiz (3.64 Mio. PW) bedeutet dies einen Anteil von knapp 6.5 %. Die Anzahl an diesen SUVs, welcher sich bereits im Jahr 2000 im Verkehr befanden beläuft sich auf 46'220. Bezogen auf den PW-Fuhrpark des Jahres 2000 ergibt dies einen Anteil von 5.2 %.

In Abbildung 6 ist die Entwicklung des relativen Anteils der im Verkehr befindlichen SUVs am Schweizer PW-Fuhrpark für den Zeitraum von 2000 bis 2005 dargestellt. Es ist in diesem Zeitraum eine stetige relative Zunahme von 5.2 % auf knapp 6.5 % zu erkennen.

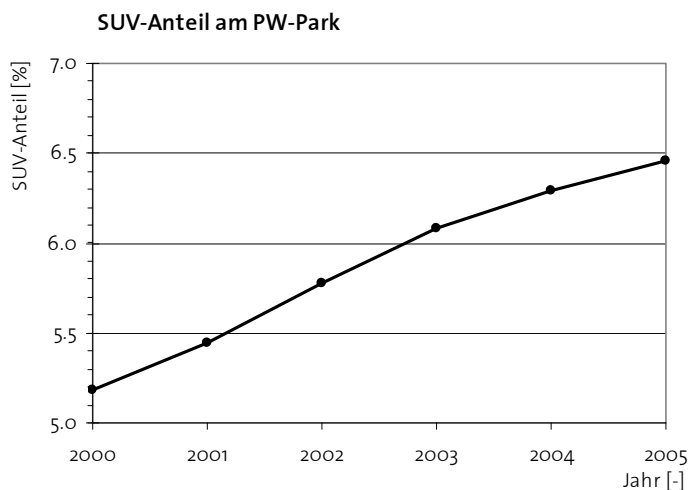


Abbildung 6: Anteil der SUVs am Schweizer PW-Fuhrpark im Zeitraum 2000 bis 2005

In Abbildung 7 sind die Summenhäufigkeiten der SUV-Breiten für die untersuchten Zeitpunkte 2000 und 2005 aufgetragen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgelistet. Es werden jeweils die bereits oben genannten Percentile untersucht. Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass SUVs, die 2000 im Verkehr waren, durchschnittlich um knapp 6.0 cm schmaler waren als diejenigen im Jahr 2005 und sich diese Veränderung relativ gleichmässig für alle Häufigkeiten vollzogen hat. Die SUVs haben somit massgeblich zu den grösseren PW-Breiten beigetragen.

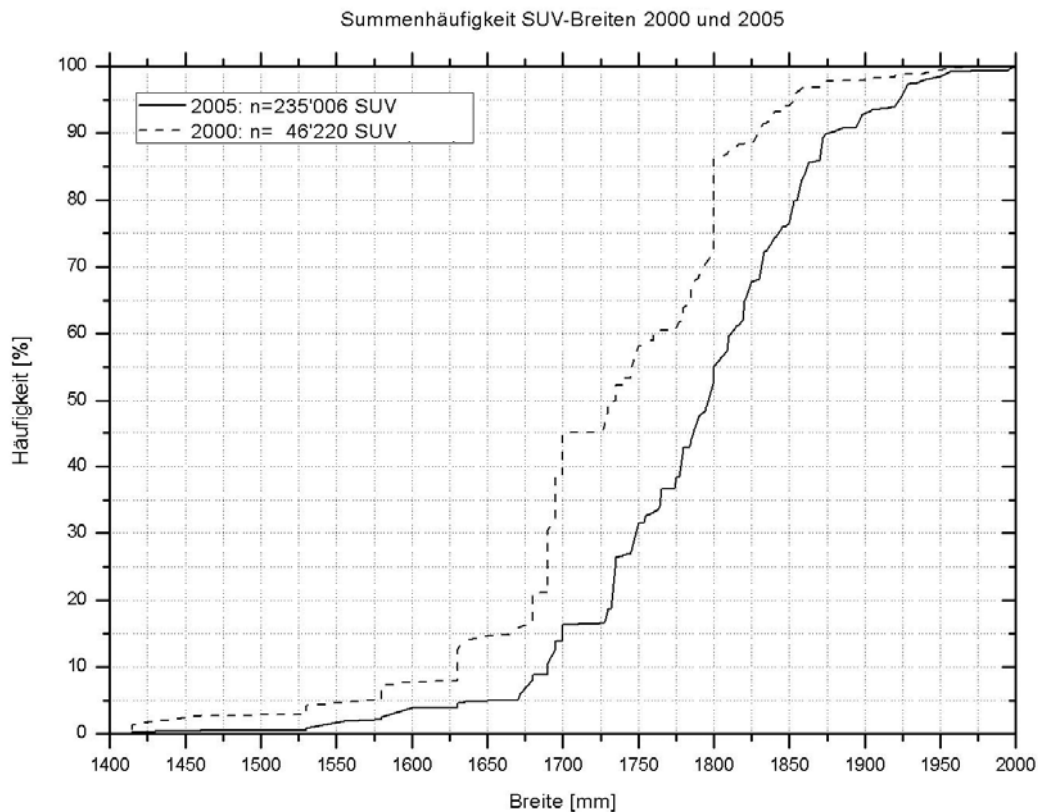


Abbildung 7: Summenhäufigkeit der SUV-Breiten für die Jahre 2000 und 2005

Tabelle 3: SUV-Breiten und Veränderungen für die Jahre 2000 und 2005

Percentile	Breite [mm]	Differenz [mm]	Breite [mm]
	2005	2005/2000	2000
99 %	1950	12	1938
95 %	1920	67	1853
90 %	1874	48	1826
85 %	1860	60	1800
80 %	1855	55	1800
Mittelwert	1789	59	1730

2.3.3 LW-Park

Da für die Bemessung des Fahrbahnquerschnitts oftmals die Breite von LW massgebend ist, wird der Fokus bei der Auswertung der LW-Breite auf ≥ 2.00 m gelegt. Zudem konzentriert sich die Betrachtung der Untersuchung der LW-Breiten jener LW, die breiter als 2.00 m sind, ausschliesslich auf schwere Sattelmotorfahrzeuge, Lastwagen, Sattel-schlepper und Gelenkbusse. Somit fallen aus der eingangs erwähnten Grundgesamtheit die Lieferwagen wegen des zulässigen Gesamtgewichts von unter 3.5 t und der zu geringen Breite heraus. Im Rahmen der Untersuchung wurden LW-Marken nicht betrachtet, deren Anzahl im Verkehr weniger als 1'000 Fahrzeuge ausmachen. Dieser Schritt war notwendig, da die Breiten für Fahrzeuge dieser Marken nicht vorhanden waren. Die Abbildung 8 zeigt die Anzahl Zulassungen der einzelnen Marken welche 2003 von KOY und SPACEK im Rahmen der Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten in Steigungen und Gefällen [Koy, 2003] ausgewertet wurden.

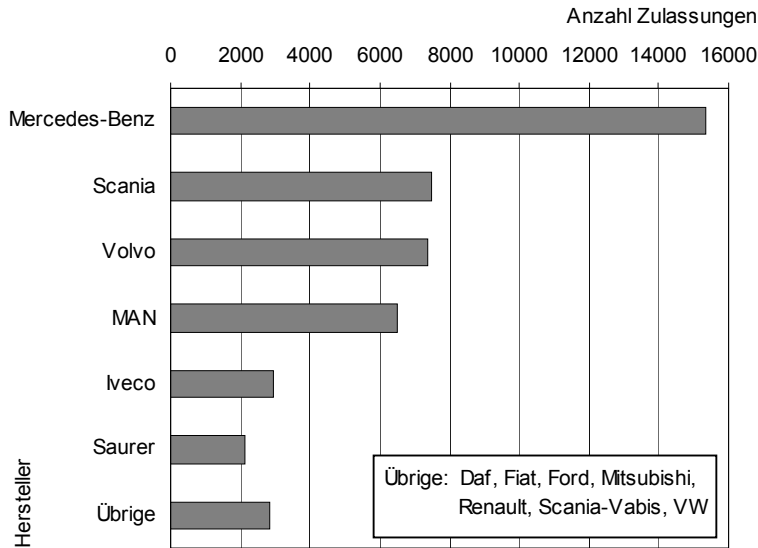


Abbildung 8: Verteilung der Lastwagen (> 3.5 t) [Koy, 2003]

Nach diesen Kriterien reduziert sich die in Ziffer 2.3.1 erwähnte Anzahl von 338'169 auf 55'125 LW. Hauptgrund dieser Reduktion ist der Wegfall von ca. 250'000 Lieferfahrzeugen. Da ebenfalls sämtliche Fahrzeuge herausfallen, für welche entweder keine Breitenangaben vorhanden sind bzw. gefunden werden konnten oder denen keine Typenscheinnummer zugeordnet ist, erfährt die Grundgesamtheit schliesslich eine Reduktion auf 26'052 LW. Diese Anzahl wird für das Jahr 2005 als 100 % angenommen, die Anzahl für das Jahr 2000 beträgt 5'951 LW (ca. 23 %).

Verteilung der LW-Breiten 2005

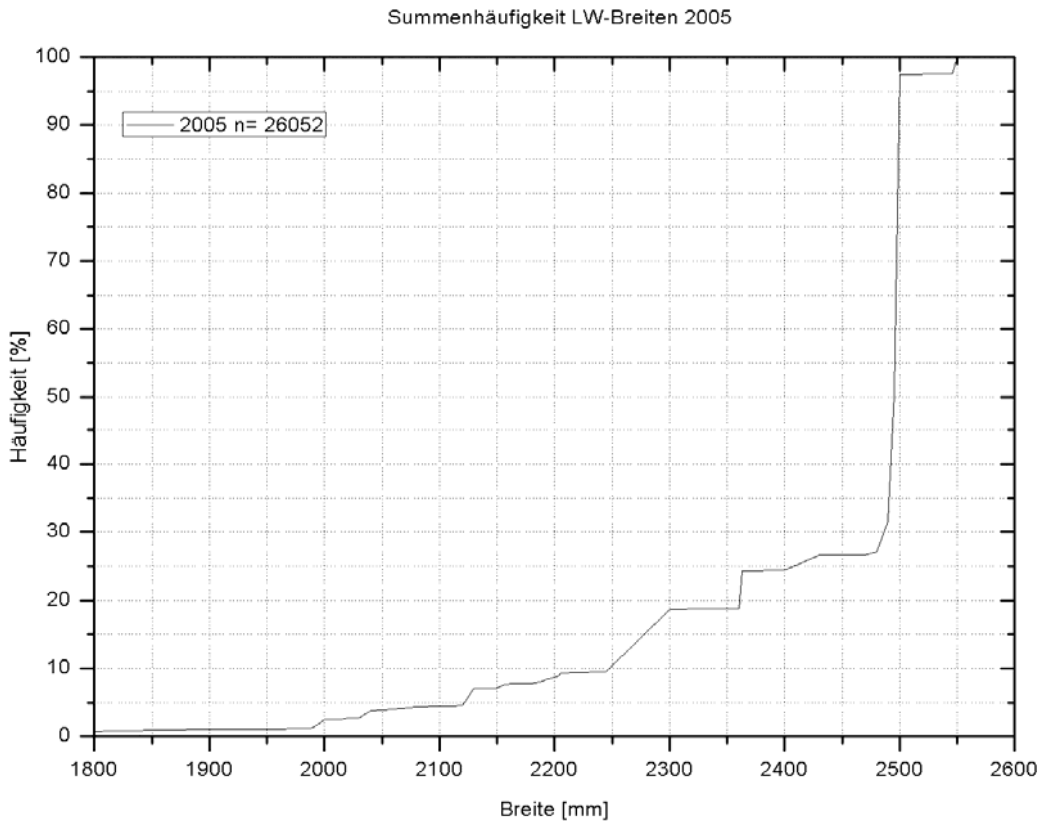


Abbildung 9: Summenhäufigkeit der LW-Breiten für das Jahr 2005

In Abbildung 9 ist die Summenhäufigkeit der LW-Breiten für das Jahr 2005 aufgetragen.

Die aus dieser Darstellung resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgelistet. Deutlich zu erkennen ist, dass ca. 70 % der LW eine Breite von über 2.48 m aufweisen. Die gültige Fassung der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge [VTS, 2007] erlaubt eine Breite von 2.55 m für Motorwagen und 2.60 m für klimatisierte Fahrzeuge (Kühltransportwagen). Der dominierende Anteil (ca. 97 %) der Lastwagen im Jahr 2005 war demnach um 5.0 cm schmaler als das momentan zulässige Maximum. Der Anteil der LW mit einer Breite grösser als 2.50 m lag im Jahr 2005 lediglich bei 3 %.

Tabelle 4: LW-Breiten 2005

Percentile	Breite [mm]
99 %	2549
95 %	2500
90 %	2499
85 %	2499
80 %	2498
Mittelwert	2429
Anteil Breite > 2500 mm	3 %

Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass die Breiten der 80, 85, 90, und 95 %-Percentile nur geringfügig variieren. Die mittlere Breite des Schweizer LW-Fuhrparks liegt bei 2.43 m.

Veränderung der LW-Breiten zwischen den Jahren 2000 und 2005

Wie bei den PW interessieren auch bei den LW die Veränderungen zwischen den Zeiträumen von 2000 und 2005.

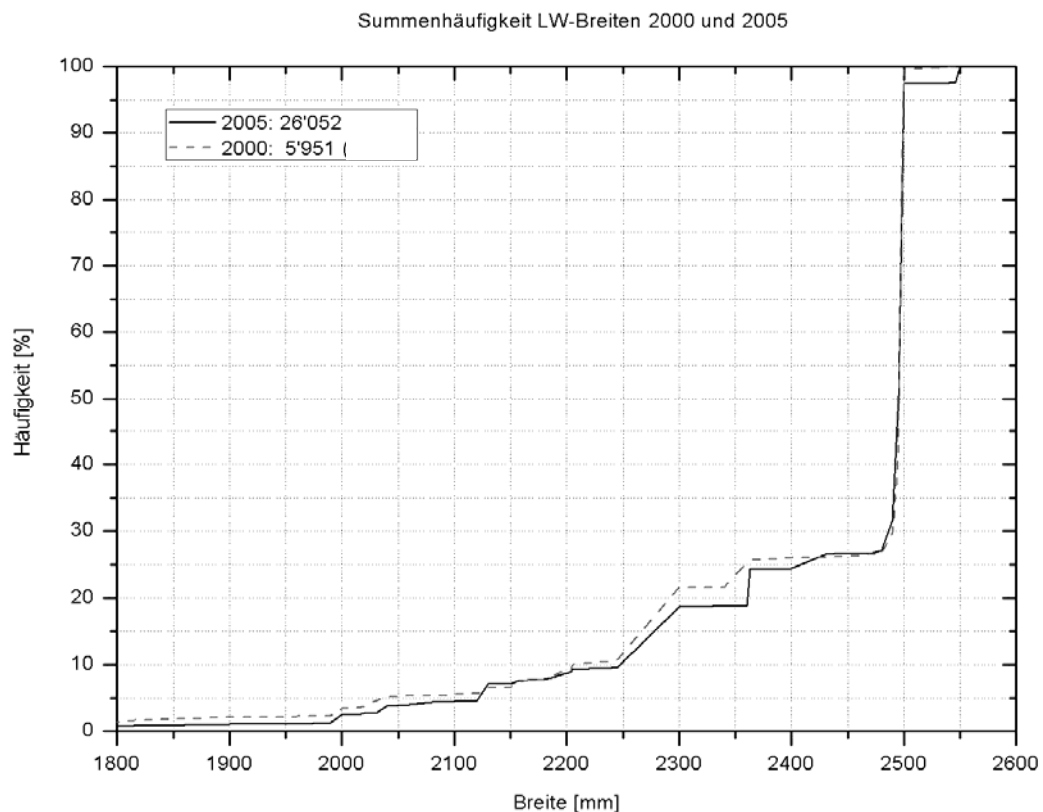


Abbildung 10: Summenhäufigkeit der LW-Breiten für die Jahre 2000 und 2005

In Abbildung 10 ist die Summenhäufigkeit der LW-Breiten für die Jahre 2000 und 2005

aufgetragen. Die aus dieser Darstellung resultierenden Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgelistet. Es ist ersichtlich, dass sich der LW-Fuhrpark in diesem Zeitraum nur geringfügig verändert hat. Insbesondere der Anteil der Fahrzeuge mit einer Breite im Bereich von 2.48 bis 2.50 m ist quasi identisch. Auffällig ist lediglich die Veränderung bei Fahrzeugen breiter als 2.50 m. Während im Jahr 2000 nur 1 % der LW breiter war als 2.50 m, waren es 2005 bereits 3 %.

Tabelle 5: LW-Breiten und Veränderungen für die Jahre 2000 und 2005

Percentile	Breite [mm]	Differenz [mm]	Breite [mm]
	2005	2005/2000	2000
99 %	2549	50	2499
95 %	2500	1	2499
90 %	2499	0	2499
85 %	2499	0	2499
80 %	2498	0	2498
Mittelwert	2429	9	2420
Anteil Breite > 2500 mm	3 %	-	1 %

Die grössere Anzahl LW, welche breiter als 2.50 m sind führte dazu, dass das 95 %-Percentil im Zeitraum von 2000 bis 2005 einen Zuwachs von 5.0 cm erfuhr. Die mittlere Breite aller immatrikulieren LW hat sich in diesem Zeitraum lediglich um knapp 1.0 cm von 2.42 m auf 2.43 m vergrössert.

2.3.4 Folgerungen bezüglich Normung

Die heutige Normengruppe „GNP“ entstand zwischen 1990 und 1992 auf Basis des damaligen Schweizer Fahrzeugparks. Deshalb interessieren insbesondere die Veränderungen der Fahrzeugbreiten zwischen dem damaligen Zeitraum und dem aktuell ausgewerteten Stand von 2005.

In Anlehnung an Tabelle 2 kann man davon ausgehen, dass die nach Schweizer Norm [SN 640 201] massgebende Personenwagenbreite von 1.80 m im Jahre 1992 einem Percentil von etwa 95 % entsprach. Berücksichtigt man die Entwicklung bis zum Jahr 2005, wo das 95 % Percentil bereits 1.834 m betrug, scheint zum heutigen Zeitpunkt eine massgebende PW-Breite von 1.85 m angemessen (vgl. Abbildung 11).

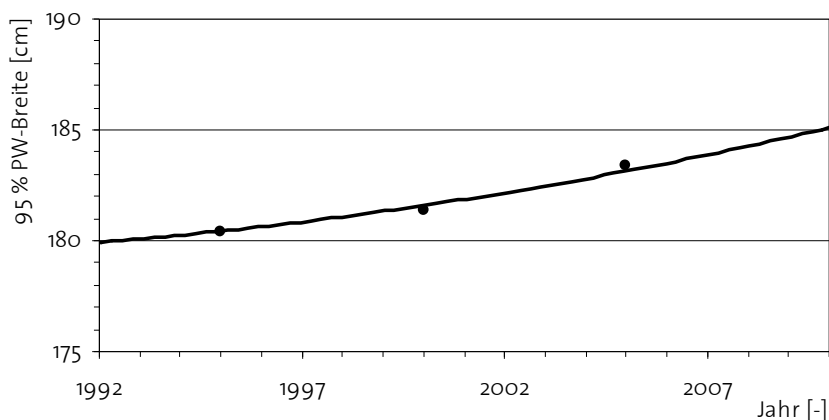


Abbildung 11: Entwicklung der 95 % Percentile für PW-Breiten

Überträgt man die Anforderungen der aktuell gültigen Norm welche eine massgebende

PW-Breite in Höhe des damaligen 95 % Percentiles vorsieht, kann die Empfehlung ausgesprochen werden, den auf 1.85 m aufgerundeten Wert als heute massgebende Breite anzunehmen (vgl. Tabelle 6).

Anders als bei den PW wird für die Lastwagen empfohlen, statt der 95 %-Percentile die 99 %-Percentile als massgebend für die Normung der Grundabmessung festzulegen. Diese erhöhte Sicherheitsanforderung ist insofern gerechtfertigt, als der Begegnungsfall LW-LW für die Bemessung der Querschnitte des überwiegenden Teils öffentlicher Strassen massgebend ist (vgl. VSS-Normgruppe „Strassentypen“). Die Festlegung der 99 %-Percentile würde gemäss Tabelle 5 einer Erhöhung der Lastwagenbreite auf 2.55 m entsprechen.

Für diese Erhöhung spricht auch die Tatsache, dass sich die Lastwagenbreite im obersten Häufigkeitsbereich zwischen den Jahren 2000 und 2005 deutlich erhöht hat (Zunahme um 5 cm, vgl. Tabelle 5) und dass sich diese Entwicklung mit grosser Wahrscheinlichkeit auch zwischen 2005 und 2010 fortgesetzt hat. Bei der obigen Normempfehlung muss zudem berücksichtigt werden, dass die in der Auswertung nicht einbezogenen ausländischen Lastwagen aus dem EU-Raum, deren Anteil auf unseren Strassen bedeutend ist, häufig Abmessungen im oberen Breitenbereich aufweisen. Allerdings muss in diesem Zusammenhang angemerkt werden, dass in den immer noch gültigen deutschen Richtlinien für die Bemessung von Strassenquerschnitten [RAS-Q, 1996] nach wie vor von einer Lastwagenbreite von 2.50 m ausgegangen wird (vgl. Ziffer 2.1.2).

Tabelle 6 zeigt die nach aktueller Norm massgebenden Fahrzeugbreiten und die Empfehlungen, welche sich aus der Analyse der Veränderungen im Schweizer PW- und LW-Fuhrpark ableiten lassen.

Tabelle 6: Empfehlungen für massgebende Fz-Breiten

Fz-Typ	Fz-Breite [m]	
	PW	LW
bisher [SN 640 201]	1.80	2.50
Empfehlung	1.85	2.55

2.4 Untersuchungsstrecken

Für die Forschungszwecke wurde in einem ersten Schritt eine Vielzahl von geeigneten Streckenabschnitten benötigt. Gesucht wurden ausreichend lange, gerade Abschnitte mit nur geringer Längsneigung. Neben den in Ziffern 2.4.1 ff. erwähnten Anforderungen an die Untersuchungsstrecken wurde stets auch eine relative geografische Nähe zum Domizil der Forschungsstelle angestrebt.

Eine erste Unterteilung der Untersuchungsstrecken erfolgte anhand ihrer Lage und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Die unterschiedlichen Geschwindigkeitsregime haben gemäss Schweizer Norm [SN 640 200a] durch den geschwindigkeitsabhängig dimensionierten Bewegungsspielraum der Verkehrsteilnehmer unmittelbar Einfluss auf das GNP. Für die Untersuchung wurde zwischen Innerortsstrassen mit Tempolimit 50 km/h, Ausserortsstrassen mit Tempolimit 80 bzw. 100 km/h und Autobahnen unterschieden. Generell handelt es sich bei diesen Typen um verkehrsorientierte Strassen. Zusätzlich wurden Erhebungen an Innerortsstrassen mit Tempolimit 30 km/h durchgeführt. Damit konnte das gesamte für Normungszwecke relevante Spektrum abgedeckt werden.

Zusätzlich wurden einstreifige Streckenabschnitte mit Trenninseln gesucht. Auf diesen wurden Vorgänge bei Begegnungen zwischen Motorfahrzeugen und leichtem Zweiradverkehr erfasst.

Als Untersuchungsstrecken auf Ausserortsstrassen wurden Abschnitte von Hauptverkehrsstrassen (HVS) und regionalen Verbindungsstrassen (RVS) gewählt. Auf den betrachteten Strecken galten zulässige Höchstgeschwindigkeiten von 80 km/h und in zwei

Fällen (Autostrassen) 100 km/h. Die Strecken befinden sich in den Kantonen Zürich, Thurgau, Aargau, Luzern und Schaffhausen.

Innerorts erfolgten die Untersuchungen weitestgehend auf HVS und Sammelstrassen (SS) im Kanton Zürich. Um eine mögliche Behinderung der Messung durch Fussgänger auszuschliessen wurden Strecken an Ortsein- und Ausfahrten gewählt. Bedingt durch die Lage innerhalb bebauter Gebiete gilt in diesen Abschnitten die Tempolimit 50 km/h. An Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h konnte die Beeinflussung durch Fussgänger nicht gänzlich ausgeschlossen, durch eine gezielte Auswahl jedoch minimiert werden. Neben dem Kriterium der übermässigen Beeinflussung durch den Langsamverkehr ausserhalb der Fahrbahn, schränkten Ansprüche an Geometrie und angrenzender Nutzung die Auswahl stark ein, sodass lediglich zwei Strecken mit Tempolimit 30 km/h in der Stadt Zürich herangezogen werden konnten.

Die Messungen zur Erfassung der Begegnungsvorgänge von Motorfahrzeugen (Mfz) und Fahrrädern auf Innerortsstrecken bei Tempolimit 50 km/h wurden an Strecken mit Trenn- oder Leitinseln im Stadtgebiet von Zürich durchgeführt.

Die Gruppe der Untersuchungsstrecken auf Autobahnen zeichnet sich durch Tempolimiten von 120 km/h und in einem Fall 100 km/h aus. Betrachtet wurden Autobahnen mit baulicher Richtungstrennung. Geeignete Strecken konnten in den Kantonen Zürich, Thurgau, Graubünden und Aargau gefunden werden.

Bei der Wahl der Strecken wurde ein allfälliger Einfluss des Fahrbahnzustandes nach Möglichkeit ausgeschlossen. Neben den bereits genannten Anforderungen wurde darauf geachtet, dass sich die Fahrbahnoberfläche in einem guten Zustand befindet. Insbesondere ein signifikanter Einfluss von Fahrbahnunebenheiten wie beispielsweise Spurrillen und Belagsschäden konnte somit ausgeschlossen werden. Grössere Längs- und Querneigungen, Krümmungen sowie Inhomogenitäten in der Fahrbahnoberfläche wurden durch die gezielte Streckenwahl vermieden.

Als wichtige Einflussfaktoren wurden für jede Untersuchungsstrecke die Fahrstreifenbreite, die Fahrbahnbreite, die seitliche Hindernisfreiheit sowie allfällige Besonderheiten (z.B.: Tramgleise, Velomarkierungen und Einmündungen) dokumentiert. Detaillierte Angaben und Situationsskizzen zu den einzelnen Messstrecken und den durchgeführten Messungen sind dem ANHANG I zu entnehmen.

2.4.1 Strecken ausserorts

Insgesamt wurden 21 Untersuchungsstrecken an Ausserortsstrassen mit einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h festgelegt. Diese können in verschiedene Teilgruppen in Abhängigkeit ihrer Fahrbahnbreite eingeordnet werden. Für die vorliegende Untersuchung wurde die Einteilung bezüglich der Fahrbahnbreite in die Kategorien „schmal“, „normalbreit“ und „überbreit“ vorgenommen.

Als normalbreit gilt hier eine Fahrbahnbreite, welche maximal für den Begegnungsfall LW-LW bei einer Begegnungsgeschwindigkeit (V_B) von 80 km/h und minimal für den Begegnungsfall LW-PW (mit ausserhalb der Fahrbahn liegenden äusseren Sicherheitszuschlägen) dimensioniert ist (vgl. [SN 640 201]).

Die Fahrbahnbreite für den Begegnungsfall LW-LW setzt sich aus der Grundabmessung zweier LW mit jeweils 2.50 m, pro Fahrstreifen einem linken und rechten Bewegungsspielraum à 0.30 m und jeweils einem inneren und äusseren Sicherheitszuschlag innerhalb der Fahrbahn von 0.30 m zusammen. Mit einem Gegenverkehrszuschlag von 0.50 m ergibt sich so eine Gesamtbreite von 7.90 m (vgl. Abbildung 12).

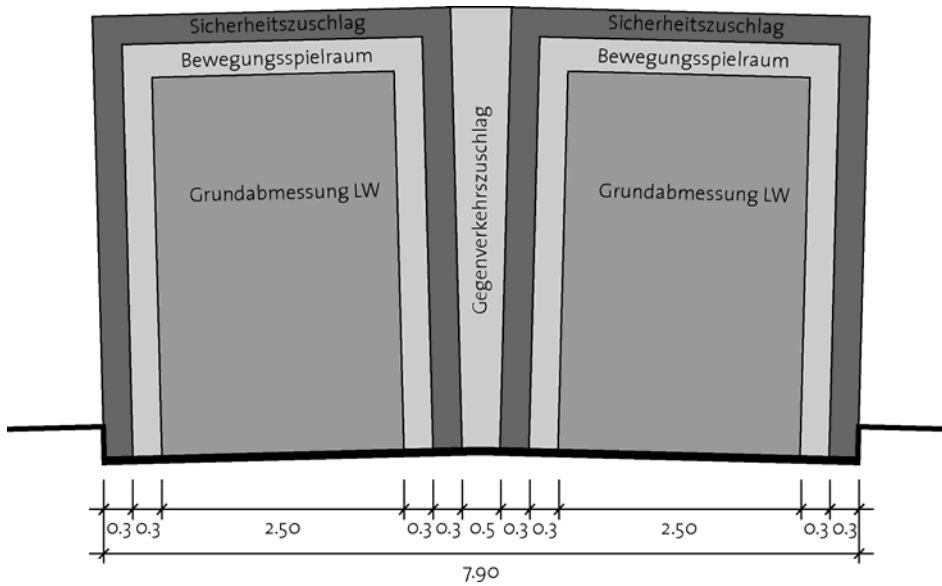


Abbildung 12: GNP für den Begegnungsfall LW-LW [m] bei V_B 80 km/h

Bei dem Begegnungsfall LW-PW wird davon ausgegangen, dass sich die äusseren Sicherheitszuschläge nicht im Fahrbahnbereich befinden. Für PW-Grundabmessungen von 1.80 m Breite und einem Sicherheitszuschlag für PW von 0.20 m resultiert eine minimale Fahrbahnbreite von 6.50 m (vgl. Abbildung 13).

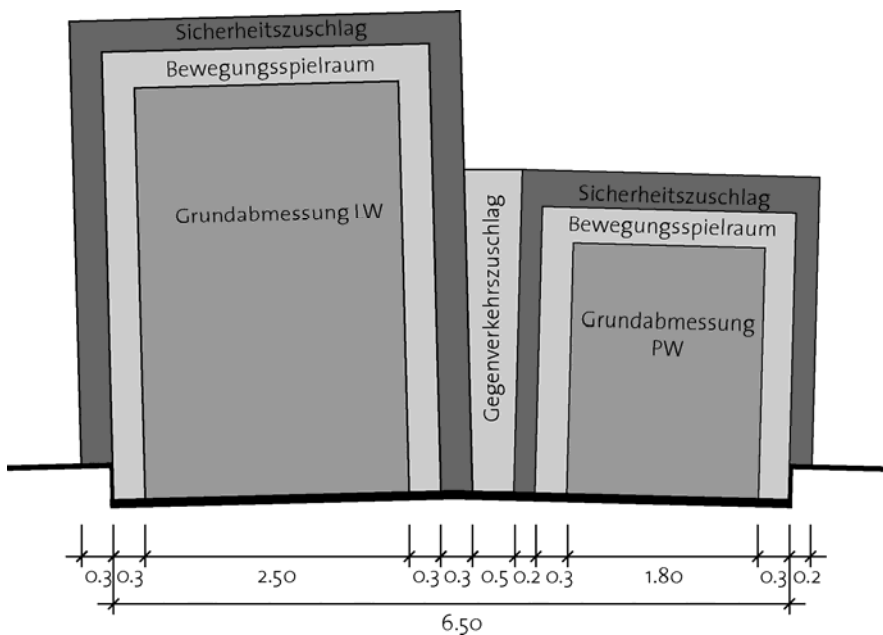


Abbildung 13: GNP für den Begegnungsfall LW-PW [m] bei V_B 80 km/h

Es wird demnach folgende Aufteilung bei einer Tempolimit 80 km/h angewandt:

- schmal: Fahrbahnbreite < 6.50 m
- normalbreit: Fahrbahnbreite 6.50 m bis 7.90 m
- überbreit: Fahrbahnbreite > 7.90 m

In allen drei Kategorien wurden Untersuchungsstrecken mit unterschiedlicher Hindernisausprägung und unterschiedlichem Hindernisabstand ausgewählt. Betrachtet wurden Strecken ohne Hindernisse, mit punktförmigen Hindernissen und mit linienförmigen Hindernissen, in Abständen von unter und über 1.00 m. Diese Festlegung erfolgte in Anlehnung an die Schweizer Norm SN 640 020, (bzw. SN 640 020a [SN 640 020a]). Darin wird der Mindestabstand von 1.00 m als Referenzzustand für zweistreifige Strassen ohne bau-

liche Richtungstrennung definiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die 21 Ausserortsstrecken mit Tempolimite 80 km/h unterteilt nach Fahrbahnbreiten sowie allfälliger Hindernisbeschaffenheit (vgl. ANHANG I).

Tabelle 7: Untersuchungsstrecken ausserorts, Tempolimite 80 km/h

Hindernisart (Abstand)	Fahrbahnbreite		
	< 6.50 m	6.50 m - 7.90 m	> 7.90 m
keine Hindernisse	Künten	Aarau1, Dielsdorf3, Thayngen, Wehntalerstrasse	Affoltern2
punktförmig	> 1 m	Steinmaur	Dielsdorf1 Affoltern1, Beringen*
	< 1 m	Embrach, Unterneerach	Aarau2, Dielsdorf2 Paradies*
linienförmig	> 1 m	Flaach	Bülach, Diessenhofen
	< 1 m	Hüntwangen	Kreuzlingen Mumpf*

* inklusive Radstreifenbreite

Als punktförmige Hindernisse gelten kompakte Hindernisse, welche sich nur über ein Teilstück der Untersuchungsstrecke erstrecken und nicht einen durchgehenden linienförmigen Charakter haben. Hierzu zählen beispielsweise Einzelbäume, Beleuchtungs- und Überlandleitungsmasten.

Leitschranken, Stützmauern, Steilböschungen sowie dichte und hohe strassenbegleitende Hecken zählen zu den linienförmigen Hindernissen. Sie sind parallel zur Fahrbahn ausgerichtet und unterscheiden sich von den punktförmigen Hindernissen hauptsächlich durch die deutlich grössere Ausdehnung in Längsrichtung. Die linienförmige Art der Hindernisausprägung lässt einen kontinuierlicheren Einfluss auf das Fahrverhalten erwarten.

Zur Simulation der Verhältnisse in Tunneln und Galerien wurde eine Messstrecke mit einem massiven linienförmigen Hindernis gewählt. Insbesondere aus Gründen der Sicherheit des Messpersonals sowie der Vermeidung eines wesentlichen Eingriffs in den Verkehrsablauf musste auf eine Tunnelmessung verzichtet werden. Alternativ wurden bei Mumpf (AG), an einer Strecke mit seitlicher Stützmauer, Erhebungen am Tage und bei Dunkelheit durchgeführt.

Zwei weitere Messungen wurden an der Umfahrungsstrasse/10 bei Littau durchgeführt (vgl. Tabelle 8). Hierbei handelt es sich um eine Hochleistungsstrasse ohne bauliche Richtungstrennung (Autostrasse) mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Analog zu den Untersuchungsstrecken ausserorts mit Tempolimite 80 km/h ermöglicht die Erhebung auf Autostrassen die Auswertung des Fahrverhaltens auf Strassen mit Gegenverkehr bei einer höheren Tempolimite.

Tabelle 8: Untersuchungsstrecken ausserorts, Tempolimite 100 km/h

Hindernisart	Fahrbahnbreite
keine Hindernisse	7.80 m Littau1
linienförmig	Littau2

Die Abschnitte an der Umfahrungsstrasse/10 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer seitli-

chen Hindernisfreiheit. Während die Strecke Littau1 seitlich durch eine Leitschranke begrenzt wird, befindet sich an der Strecke Littau2 eine bis zu 10 m hohe Stützmauer im Abstand von 2.60 m zum rechten Fahrstreifenrand. Beide Abschnitte verfügen über je einen Fahrstreifen pro Fahrtrichtung mit einer Breite von jeweils 3.90 m. Dies führt zu der in Tabelle 8 angegebenen Fahrbahnbreite von 7.80 m. Zusätzlich verfügen beide Strecken über einen Standstreifen. An der Strecke Littau1 hat dieser eine Breite von 1.50 m, in Littau2 eine Breite von 2.60 m.

2.4.2 Strecken innerorts

Die Untersuchungsstrecken innerhalb geschlossener Ortschaften können grundsätzlich in drei Gruppen eingeteilt werden. Als Unterscheidungsmerkmale dienen hierzu die vorhandenen Streckeneigenschaften sowie die zulässigen Geschwindigkeiten im Bereich der Messabschnitte:

- Strecken innerorts, Tempolimit 50 km/h
- Strecken innerorts, Tempolimit 30 km/h
- Streckenabschnitte mit Trenninseln

Während zur Bestimmung der Bewegungsspielräume die Fahrverläufe von Einzelfahrzeugen über längere Abschnitte erhoben wurden, fanden die Erhebungen zur Bestimmung der Begegnungs- bzw. Überholzuschläge von Mfz und Fahrrädern an vergleichsweise kurzen Strecken statt. Bei diesen wird die Fahrbahn durch unterschiedlich lange Trenninseln oder Haltestelleninseln des öffentlichen Verkehrs begrenzt.

Strecken innerorts, Tempolimit 50 km/h

Analog der Annahme zu den Untersuchungsstrecken bei Tempolimit 80 km/h, findet bei den Strecken mit Tempolimit 50 km/h eine Unterteilung in normalbreite und breite Strecken statt. Als „breit“ gelten die Fahrbahnen, deren Querschnitt für den Begegnungsfall „LW-LW mit jeweils innerem und äusserem Sicherheitszuschlag“ in der Fahrbahn gemäss Schweizer Norm [SN 640 201] bemessen wurden. Dieser Wert liegt für eine Begegnungsgeschwindigkeit von 50 km/h bei 7.30 m.

Demnach wird folgende Aufteilung bei einer Tempolimit von 50 km/h angewandt:

- normalbreit: Fahrbahnbreite \leq 7.30 m
- breit: Fahrbahnbreite $>$ 7.30 m

Schmale Fahrbahnen fehlen, da die Untersuchungen an Hauptverkehrs- und Sammelstrassen, nicht jedoch an Erschliessungsstrassen (ES) durchgeführt wurden.

Insgesamt wurden fünf Untersuchungsstrecken betrachtet. Hiervon entfallen zwei auf die Kategorie „breit“ und drei auf die Kategorie „normalbreit“ (vgl. Tabelle 9). Zu der Strecke Schweighofstrasse (ZH) und jener in Maur ist zusätzlich anzumerken, dass in beiden Fällen linienförmige, seitliche Hindernisse bestehen. Bei der Strecke Schweighofstrasse (ZH) handelt es sich hierbei um eine Böschung mit einer dichten Hecke, in einem seitlichen Abstand von ca. 1.30 m. Entlang der Strecke in Maur befindet sich eine hohe Stützmauer in einem Abstand von 1.00 m seitlich neben der Fahrbahn. Punktförmige Hindernisse wurden im Umfeld der innerörtlichen, urbanen Strassenräume nicht gesondert berücksichtigt.

Tabelle 9: Untersuchungsstrecken innerorts, Tempolimite 50 km/h

Hindernisart	(Abstand)	Fahrbahnbreite	
		≤ 7.30 m	> 7.30 m
keine Hindernisse		Bachenbülach	Schöffliisdorf, Nänikon
linienförmig	> 1 m	Schweighofstrasse ZH	
	≤ 1 m	Maur	

Mit Ausnahme der Schweighofstrasse (ZH) wurde bei der Wahl der Strecken eine Lage im Bereich der Ortsein- und Ausfahrten gewählt. Dies diente insbesondere dem Zweck, übermässige Störungen der Messungen durch den nicht motorisierten Langsamverkehr gering zu halten. Auch der zentrumsbedingte Parksuchverkehr sowie Störungen des Verkehrsablaufs durch Parkiervorgänge traten in diesen Lagen selten bis gar nicht auf.

Strecken innerorts, Tempolimite 30 km/h

Für Beobachtungen im Bereich innerörtlicher Strecken mit einer Zonensignalisation von 30 km/h konnten zwei genügend lange Strecken gefunden werden. Die speziellen Anforderungen an die gesuchten Streckenabschnitte schränkten die Auswahl signifikant ein. Die Abschnitte mussten sowohl gerade sein, nach Möglichkeit keine Einfahrten aufweisen, über einen konstanten Querschnitt verfügen und eine geforderte Mindestlänge (vgl. Ziffer 2.6.2) besitzen. Gerade diese Aspekte werden in den Tempo-30-Zonen vermieden.

Die beiden gewählten Strecken verfügen über eine Fahrbahnbreite von 5.50 m (vgl. Tabelle 10). Analog zu den obigen Annahmen, gemessen an den Empfehlungen in der Schweizer Norm [SN 640 201], entspricht dieses eher normalbreiten Fahrbahnen. Der angenommene Begegnungsfall LW-PW mit den äusseren Sicherheitszuschlägen ausserhalb des Fahrbahnbereichs, wird für eine Begegnungsgeschwindigkeit von 30 km/h gemäss der Norm mit einer Breite von 5.20 m bemessen. Der Begegnungsfall LW-PW kann insofern als Bemessungsgrundlage angenommen werden, da die betrachteten Strecken vom Lieferverkehr mässig bis stark frequentiert werden oder im Fall Zollikerstrasse sogar Kante des öffentlichen Linienbusnetzes sind und somit regelmässig von breiteren Fahrzeugen befahren werden.

Tabelle 10: Untersuchungsstrecken innerorts, Tempolimite 30 km/h

Hindernisart	Fahrbahnbreite
keine Hindernisse	5.50 m
	Sonneggstrasse (ZH)*, Zollikerstrasse (ZH)

* inklusive Radstreifenbreite

Während bei Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h gezielt die Ortsrandlage gesucht wurde, befinden sich diese Strecken innerhalb geschlossener Ortschaften. Diese Strecken weisen neben einer grösseren Frequentierung durch Radfahrer und Fussgänger auch einen höheren Anteil, an Park- bzw. Parksuchverkehr auf.

Streckenabschnitte mit Trenninseln

Zur Beobachtung des Überhol- und Abstandverhaltens beim Begegnungsfall Motorfahrzeug – Fahrrad wurden Messungen an sechs Untersuchungsstrecken mit langen und kurzen Trenninseln durchgeführt. Hintergrund der gesonderten Betrachtung sind die Fragen, bei welcher Fahrstreifenbreite zwischen Insel und Gehweg die Fahrzeuglenker ein vorausfahrendes Fahrrad überholen, welchen seitlichen Abstand sie dabei einhalten und ob diese Bereitschaft in Abhängigkeit zur Insellänge steht. Somit stellen die Fahrstreifenbreite sowie die Insellänge die charakteristischen Merkmale der Untersuchungsstrecken dar. Eine Fahrstreifenbreite von 3.40 m wurde als Maximalwert für normalbreite Fahrstreifen

fen angenommen. Diese Breite ergibt sich aus der Bemessung von Fahrstreifen mit Inseln im Bereich von Knotenpunkten nach Schweizer Norm [SN 640 262] ohne Berücksichtigung des Zuschlags für den leichten Zweiradverkehr. Im Bereich der Knotenausfahrt wird in der Norm eine Fahrstreifenbreite von 3.40 m im Regelfall und 3.30 m bei örtlich beschränkten Verhältnissen angegeben. Diese Breiten geben den Abstand zwischen Fahrbahnrand und Trenninsel an und gelten für Knoten innerhalb von Ortschaften. Fahrstreifen mit einer grösseren Breite werden im Rahmen der Untersuchung demnach als überbreit eingestuft. Tabelle 11 zeigt die betrachteten Untersuchungsstrecken. Alle Strecken befinden sich im Stadtgebiet von Zürich.

Tabelle 11: Untersuchungsstrecken mit Trenninseln

Länge der Trenninsel	Fahrbahnbreite	
	≤ 3.40 m	> 3.40 m
< 15 m		Irchelstrasse, Wehntalerstrasse
15 bis 30 m		Altstetterstrasse
> 30 m	Limmatstrasse, Weinbergstrasse	Hofwiesenstrasse

Wichtig bei der Streckenauswahl war insbesondere eine möglichst hohe Frequentierung durch Fahrradfahrer. Zusätzlich wurde auf eine möglichst geringe Beeinflussung durch kreuzende Fussgänger sowie die Notwendigkeit, die Messeinrichtung für den Fahrzeuglenker unauffällig aufzustellen besonderen Wert gelegt. Messungen an Strecken mit kurzen Trenninseln wurden bei Fussgängerübergängen vorgenommen. Bei den Strecken mit einer Insellänge von über 30 m handelt es sich um Strecken im Bereich von Tramhaltestellen. Diese Inseln erstrecken sich über die gesamte Länge einer Tramkombination und weisen jeweils Längen von rund 60 m auf. Alle Messungen an Trenninseln wurden innerhalb der Stadt Zürich durchgeführt. An allen Orten gilt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Eine Unterscheidung bezüglich seitlicher Hindernisse wurde nicht vorgenommen.

2.4.3 Strecken an Autobahnen

An Autobahnen wurde an insgesamt fünf Untersuchungsstrecken das Fahrverhalten erhoben. Bei den Strecken handelte es sich um Autobahnen mit baulich getrennten Richtungsfahrbahnen. Anhand der Richtlinie des ASTRA zu Nationalstrassenprojekten [Pfister, 2002] kann die Annahme getroffen werden, dass Fahrbahnen auf zweistreifigen Hochleistungsstrassen, deren Fahrstreifen zusammen eine Breite von 7.75 m überschreiten, als normal- bis überbreit bezeichnet werden können. Fahrbahnen mit einer Breite von 7.50 m und weniger gelten als schmal.

Tabelle 12: Untersuchungsstrecken auf zweistreifigen Autobahnen

Standstreifen	Fahrbahnbreite	
	≤ 7.50 m	≥ 7.75 m
vorhanden	Wigoltingen A7	Horgen A3, Frauenfeld A7
fehlt	Kloten A51, Thuisis A13	

In Tabelle 12 sind die Untersuchungsstrecken an Autobahnen nach Fahrstreifenbreite und dem Kriterium „mit und ohne Standstreifen“ unterschieden. Alle vorhandenen Standstreifen verfügen dabei mindestens über die Standardbreite von 2.50 m. Da ein vorhandener Standstreifen mit zum Fahrraum gezählt werden muss, sind je nach Ausbaustandard Auswirkungen auf das Fahrverhalten zu erwarten.

Die Strecke auf der A13 bei Thuisis verfügt über Fahrstreifenbreiten von 3.50 m auf dem

Normalfahrstreifen und 3.05 m auf dem Überholfahrstreifen. Mit einer Gesamtfahrstreifenbreite von 6.55 m liegt sie somit deutlich im schmalen Bereich. Auf Grund des eingeschränkten Querschnitts gilt auf diesem Abschnitt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. An allen anderen Strecken sind 120 km/h zulässig.

Besonders zu erwähnen ist die Strecke auf der A7 bei Wigoltingen. Die Strecke befindet sich in einem Einschnitt. Im Abstand von 1.00 m hinter der Leitschranke erstreckt sich eine ca. 3.50 m hohe Stützmauer, welche als linienförmiges Hindernis ebenfalls Einfluss auf das Fahrverhalten nehmen kann.

2.5 Messeinrichtungen

Zur Erhebung des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens kamen hier zwei verschiedene Messsysteme zum Einsatz. Zum einen ein Lasermesssystem, dessen Einsetzbarkeit im Zusammenhang mit diesem Forschungsprojekt entwickelt werden musste und als zweites ein in vielen vorangegangenen Projekten bewährtes System, bestehend aus zwölf Messpfosten des IVT.

2.5.1 Lasermesssystem

Das Lasermesssystem (LMS) wurde entwickelt um die Position beweglicher Objekte im Sensorfeld zu erfassen und diese zu verfolgen. Fahrzeuge, welche sich im Sensorfeld befinden, werden anhand der dem Sensor zugewandten Fahrzeugflanke erkannt. Neben der aktuellen Position, welche mit 70 Hz abgetastet wird, können so zusätzlich Fahrzeugdaten wie Länge und Breite sowie Geschwindigkeit als Funktion der Positionsänderung bestimmt werden. Das System besteht im Wesentlichen aus dem Lasersensor und einem Erfassungsrechner. Beide werden autonom über eine 24 V-Batterie betrieben und erlauben eine maximale Einsatzdauer von ca. 6 Stunden.



Abbildung 14: LMS mit Lasersensor und Erfassungsrechner (links), getarnt (rechts)

Der *Lasersensor* LMS 291-S05 der Firma Sick ist ein berührungslos arbeitendes Messsystem, welches seine Umgebung zweidimensional abtastet. Als aktiv tastendes System benötigt es keine weiteren passiven Komponenten wie Reflektoren oder Positionsmarken.

An dieser Stelle seien kurz die wichtigsten technischen Merkmale des Lasersensors aufgezeigt:

- Öffnungswinkel: 180°
- Winkelauflösung: 1°
- Abtastfrequenz: 70 Hz
- Messgenauigkeit: ± 35 mm
- Laserklasse 1
- nutzbare Reichweite: ca. 35 m

Von der Möglichkeit, die Winkelauflösung zu verfeinern, wurde kein Gebrauch gemacht, da sich dieses zu Lasten der Abtastfrequenz auswirken würde. Eine hohe Abtastfrequenz ist insbesondere in Bezug auf die Auswertung der Positionsänderungen und somit auf die Erfassung der gefahrenen Geschwindigkeiten wichtig.

Beim *Erfassungsrechner* handelt es sich um ein miniaturisiertes PC-System vom Typ MPCX48. Dies beinhaltet gebräuchliche PC/AT-Elemente. Der Erfassungsrechner steuert den Lasersensor und speichert die erhobenen Daten. Er verfügt über folgende technische Eigenschaften:

- CPU: Intel Celeron M, 1 GHz
- RAM: 504 MB
- Festplattenspeicher: 60 GB
- Betriebssystem: MS-Windows XP Professional

Der Erfassungsrechner wird mittels WLAN von einem Notebook ferngesteuert. Es hat sich als praktikabel herausgestellt, den Rechner nicht über die vorhandenen Schnittstellen via Tastatur und Maus zu steuern, sondern einen Remote-Desktop einzurichten. Es entfällt somit auch das ständige Mitführen eines geeigneten Monitors.

Als Rohdaten werden Punkte in Form von XY-Koordinaten erhoben. Im Bogenabstand von einem Grad, bezogen auf den Sensorstandort, geben diese Punkte die dem Sensor zugewandte Objektfläche auf der Erfassungsebene wieder. In einem ersten Schritt werden die Daten gefiltert und die Punktemengen der bewegten Objekte im Bereich der Fahrbahn von denen des Hintergrundes separiert. Diese Punkte stellen, je nach Position des Objektes, die zugewandte Fahrzeugflanke und im Falle eines sich annähernden Objektes die Fahrzeugfront oder im Falle eines sich entfernenden Objektes das Fahrzeugheck dar (vgl. Abbildung 15).

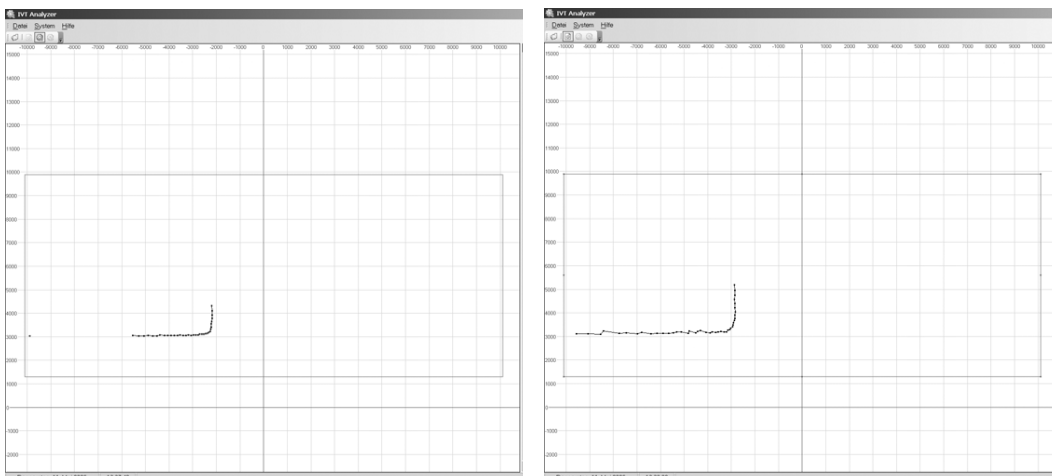


Abbildung 15: Detektierte Fahrzeugkanten eines PW (links) und eines LW (rechts)

Die erfassten Objekte ermöglichen neben der Lokalisierung auch die Bestimmung der Fahrzeugabmessungen (mittlere Breite und Länge) und somit die Einteilung in Fahrzeugklassen. Ein erfasstes Fahrzeug wird im Sensorfeld verfolgt. Über die Zeit können somit

Daten wie die Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrzeugtrajektorien und Bewegungsspielräume erhoben werden. Zudem kann unterschieden werden, ob die Möglichkeit besteht, dass ein Fahrzeug durch Gegenverkehr beeinflusst wurde. Bei Begegnungen im Sensorfeld werden die lateralen Abstände (d) zwischen den Fahrzeugen bestimmt (vgl. Abbildung 16).

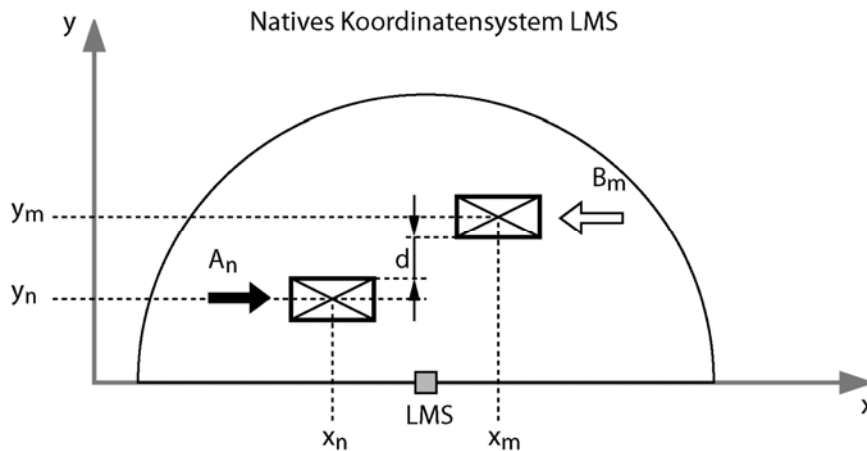


Abbildung 16: Koordinatensystem des LMS

Nachfolgend sind die für jedes gültige Objekt generierten Daten aufgezählt.

Tabelle 13: Erfasste Daten für gültige Einzelobjekte

Daten - LMS	Konkretisierung
Fahrzeug ID	fortlaufende Nummerierung
Fz-Klasse	Person, Zweirad, PW, LW
Fz-Abmessungen	Länge, Breite
Zeitstempel	beim Überfahren definierter Linien im Sensorfeld
Zeitlücke	zum vorgängigen Objekt
mittlere Geschwindigkeit	im Sensorfeld
maximale Amplitude des Bewegungsspielraums	$\max(y_n) - \min(y_n)$
mittlerer Abstand von der X-Achse	$\text{mean}(y_n)$

Sollte für das erfasste Objekt ein Begegnungsfall vorliegen, werden zusätzliche Daten generiert (vgl. Tabelle 14). Im Falle mehrerer Begegnungen, wie zum Beispiel eines entgegenkommenden Fahrzeugpulk, werden die Informationen bezüglich des ersten begegnenden Fahrzeugs berechnet.

Als Attribut für eine Begegnung wird dem Fahrzeug entweder der Wert „vorbei“ oder „behindert“ zugewiesen. „Vorbei“ bedeutet in diesem Fall, dass es sich um mindestens zwei Fahrzeuge handelt, welche das Sensorfeld in die gleiche Richtung durchfahren und das Fahrzeug, welches zuletzt ins Sensorfeld einfährt dieses zuerst verlässt. Es findet somit ein Überholvorgang im Sensorfeld statt. „Behindert“ bedeutet, dass ein Fahrzeug sich einem vorausfahrenden Fahrzeug nähert, verzögert und nicht überholt. Es wird demnach durch das vorausfahrende Fahrzeug bezüglich seiner Wunschgeschwindigkeit behindert.

Tabelle 14: Zusätzliche Daten im Begegnungsfall

Daten - LMS	Konkretisierung
Attribute für Begegnung	„vorbei“, „behindert“
Fahrzeugklasse des begegnenden Fahrzeugs	Person, Zweirad, PW, LW
Abmessungen des begegnenden Fahrzeugs	Länge, Breite
mittlere Geschwindigkeit des begegnenden Fahrzeugs	im Sensorfeld
Begegnungsabstand (d)	falls Begegnung im Sensorfeld
Fahrzeugkoordinaten zum Begegnungszeitpunkt	x_n , y_n und x_m und y_m

Je nach Situation ist es gegebenenfalls notwendig, das Gerät zu tarnen (z.B. mit einem Tarnnetz). Die geringen Abmessungen des LMS ermöglichen einen für den Automobilisten unauffälligen Einsatz (vgl. Abbildung 14). Neben der Bestimmung der lateralen Fahrzeugposition auf geraden Streckenabschnitten kann das System auch zur Erhebung von Fahrzeugen und Fahrzeugbewegungen in Kurven, Knoten und Kreiseln eingesetzt werden.

2.5.2 Messpfosten

Ein zweites Messsystem, welches bei den Erhebungen zum Einsatz kam, besteht aus mehreren Messpfosten. Hierbei handelt es sich um ein System bestehend aus jeweils einem Ultraschalldistanzmesser und einer Infraroteinheit. Jeder Pfosten ist autonom einsetzbar. Die Pfosten werden mit einem separaten Steuergerät programmiert und zeitsynchronisiert. Die erfassten Daten werden auf Speicherkarten abgelegt und zur Auswertung in einen PC eingelesen.

Zur Erhebung des Fahrverhaltens an Untersuchungsstrecken ausserorts kamen bis zu 12 Messpfosten zum Einsatz. Bei den Messungen innerorts wurde die Anzahl der Pfosten auf Grund der zur Verfügung stehenden Streckenlänge reduziert. Anders als der Lasersensor, welcher beide Fahrrichtungen erfasst, wurden mit den Messpfosten nur die Fahrzeuge auf dem den Pfosten zugewandten Fahrstreifen gemessen. Hieraus ergibt sich die Messrichtung für welche das Fahrverhalten erhoben wurde.

Der Einbau der Messeinrichtung in gewöhnliche Leitpfosten dient der besseren Tarnung. Ein Messeinsatz ohne Beeinflussung der Fahrzeuglenker und insbesondere deren Fahrverhalten kann somit gewährleistet werden.

Die Erfassung der Fahrzeuge erfolgt mittels zweier Sensorsysteme. Jeweils zwei Infrarot-sender und Infrarotempfänger überprüfen ununterbrochen die Fahrbahn. Wird ein Fahrzeug detektiert, bestimmt ein Ultraschalldistanzmesser, basierend auf dem Echolot-Prinzip, den Querabstand zum vorbeifahrenden Fahrzeug. Die maximale Erfassungsdistanz beträgt bis zu 9.5 m.

Mit den einzelnen Messpfosten können für jedes Fahrzeug folgende Größen erfasst werden:

Tabelle 15: Erfasste Fahrzeugdaten eines einzelnen Messpfostens

Daten - Messpfosten	Konkretisierung
Fahrzeug ID	fortlaufende Nummerierung
Durchfahrtszeit	in ms
Fahrzeuglänge	in m
Querabstand zum Messpfosten	in cm
Fahrtrichtung	Hin- / Gegenrichtung

Bei der Programmierung oder dem Starten mit dem Steuergerät erfolgt eine automatische Zeitsynchronisierung der einzelnen Messpfosten. Hieraus entsteht die Möglichkeit, ein detektiertes Fahrzeug über mehrere Pfosten zu verfolgen. Dies ermöglicht die Bestimmung der Geschwindigkeit der Einzelfahrzeuge aus der Durchfahrtszeit zwischen den Messpfosten.

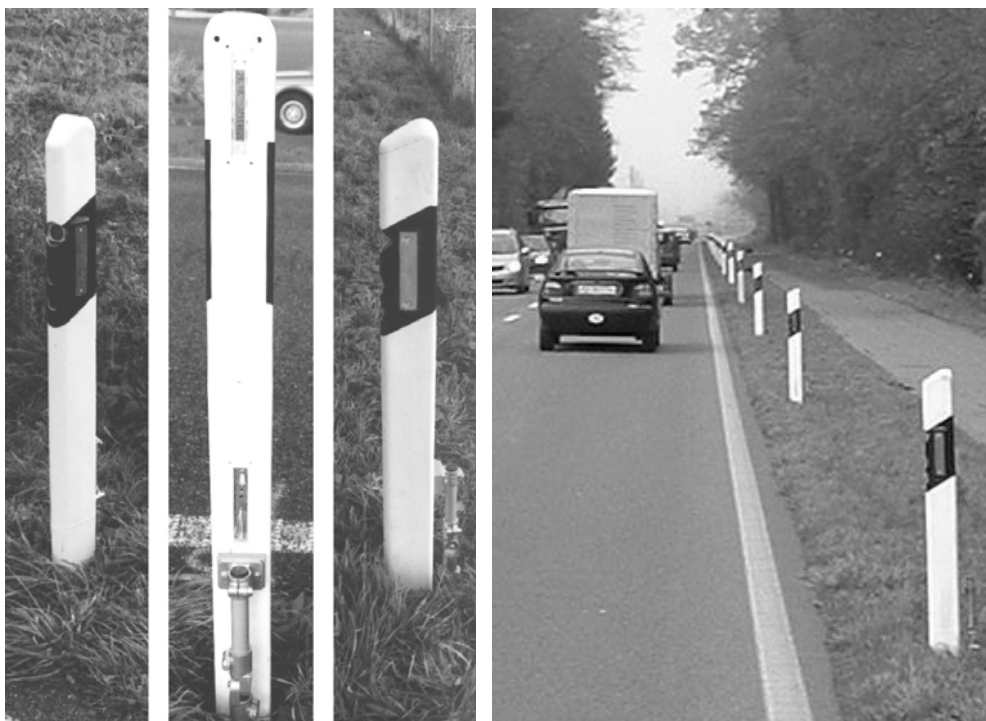


Abbildung 17: Ansichten der Messpfosten (links), Aufbau an einer Versuchsstrecke (rechts)

Die am IVT entwickelte Software ermöglicht unter anderem die Auswertung von Geschwindigkeitsverteilungen in den Abschnitten zwischen jeweils zwei Messpfosten sowie die Auswertung der Spurverteilungen der vorbeifahrenden Fahrzeuge in den Querschnitten der einzelnen Messpfosten.

Ausserdem können Verläufe über die gesamte Messstrecke erstellt werden. Möglich ist die Darstellung von Geschwindigkeitsverläufen und Spurverläufen, basierend auf den Messdaten der Einzelfposten entlang der Untersuchungsstrecke.

Die Einsatzdauer dieser Messeinrichtung ist durch die Kapazität der Speicherkarten und die Kapazität der Akkumulatoren beschränkt. Im Rahmen der durchgeführten Messungen waren sowohl die Speicherkapazität (ca. 4000 Fahrzeuge) als auch die Spannungsversorgung (ca. 7 Stunden) ausreichend.

2.5.3 Kombination der Messsysteme

Das Lasermesssystem und die Messpfosten liefern synchron. In den jeweiligen Datensätzen wurde jedem erfassten Objekt ein Zeitstempel zugeordnet, welcher die Kombination der beiden Messsysteme ermöglicht. Ein Fahrzeug welches vom Lasermesssystem erfasst wurde, kann eindeutig in den Daten identifiziert werden, welche durch die Messpfosten erhoben wurden. So wird auf Basis der mit dem Lasermesssystem erhobenen Daten geprüft, ob ein Fahrzeug durch allfälligen Gegenverkehr beeinflusst wurde und jedem erkannten Fahrzeug das Attribut „unbehindert“ oder „behindert“ zugewiesen. Es findet ein Abgleich der beiden Messsysteme statt. Dabei wird für jedes über die Strecke der Messpfosten verfolgte Einzelfahrzeug anhand der Daten des Lasersensors überprüft, ob eine Begegnung mit einem oder mehreren entgegenkommenden Fahrzeugen stattgefunden hat. Hierzu ist es notwendig, den Fahrverlauf des Gegenverkehrs, welcher nur durch den Lasersensor erfasst wird, auf die restliche Messstrecke zu extrapolieren. Dies erfolgt auf Basis der gemessenen Fahrgeschwindigkeit und der betrachteten Streckenlänge. Hieraus ergibt sich ein Zeitintervall, welches bezüglich der Beeinflussungsgrenzen berücksichtigt wurde. Somit konnte auch eine Begegnung zu Beginn und am Ende der durch die Messpfosten erfassten Strecke indiziert werden. Der Begegnungsabstand konnte in diesem Fall jedoch nicht angegeben werden.

2.6 Erhebungsgrößen und Einflussvariablen

Trotz der durch die gesuchten Begegnungsfälle bedingten unterschiedlichen Streckencharakteristiken, stehen bei allen Messungen jeweils die gleichen Erhebungsgrößen im Fokus. Diese beschreiben die primär gesuchten, teilweise abgeleiteten Größen des Bewegungsspielraumes und der Begegnungsabstände zweier Fahrzeuge.

2.6.1 Definition frei fahrender Fahrzeuge

In Anlehnung an zurückliegende Untersuchungen zu Geschwindigkeiten in Kurven von BELOPITOV/SPACEK [Belopitov, 1999] und zu Geschwindigkeiten in Steigungen von SPACEK/DÜGGELI [Spacek, 1984] wurden in der Forschungsarbeit zum lateralen Fahrverhalten [Santel, 2010] die Bruttofrontzeitlücken definiert, welche ein Fahrzeug zum vorausfahrenden Fahrzeug aufweisen muss, damit dieses keinen Einfluss mehr auf sein Geschwindigkeitsverhalten hat. Die Tabelle 16 zeigt die Mindestzeitlücken, welche als Mindestabstand eines Fahrzeugs zu einem vorausfahrenden Fahrzeug vorhanden sein müssen, um dieses als frei fahrend zu deklarieren.

Tabelle 16: Mindestzeitlücken für Tempolimite 50 km/h, 80 km/h und HLS [Santel, 2010]

Geschwindigkeitsregime	Tempolimite 50 km/h	Tempolimite 80 km/h	HLS
Mindestzeitlücke	2 s	4 s	6 s

Für Hochleistungsstrassen (HLS) bedeutet dies, dass Fahrzeuge, welche einen Abstand von 6 Sekunden und mehr zu ihrem Vorderfahrzeug aufweisen, als frei fahrend gelten. Sie werden demnach in ihrem Geschwindigkeitsverhalten nicht von den vorausfahrenden Fahrzeugen beeinflusst. Gleiches gilt für Ausserortsstrassen mit Tempolimite 80 km/h bei einer Mindestzeitlücke von 4 Sekunden und für Innerortsstrecken mit Tempolimite 50 km/h bei einer Mindestzeitlücke von 2 Sekunden. Die Festlegung für die Streckenabschnitte innerorts wird im Folgenden auch für Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h angewandt.

2.6.2 Seitlicher Bewegungsspielraum

Zur Ermittlung des Bewegungsspielraumes dienen die mit den Messpfosten gewonnenen Daten. Wie im Kapitel 1.4 bereits geschildert, werden die detektierten lateralen Abstände der Fahrzeuge zu den Einzelpfosten betrachtet. Anhand dieser Stützpunkte wird der Fahrverlauf für jedes Fahrzeug mit Hilfe einer kubischen Spline-Interpolation rekonstruiert. Der Bewegungsspielraum eines Mfz ergibt sich aus der maximalen Amplitude

des errechneten Verlaufs. Es wird somit die Differenz der dem Fahrbahnrand nächsten und weitest entfernten Position auf der Messstrecke betrachtet (vgl. Abbildung 18). Um systematische Fehler bei dieser Betrachtung möglichst auszuschliessen, ist ein gerader Streckenverlauf eine zwingende Voraussetzung.

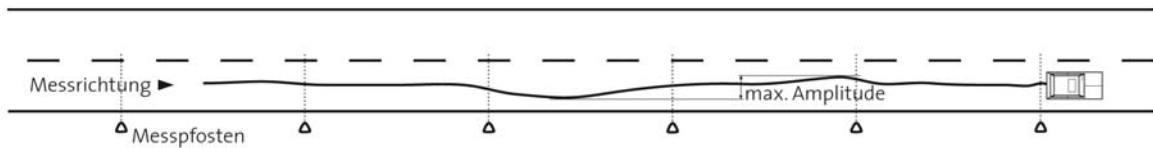


Abbildung 18: Schematische Darstellung des Bewegungsspielraumes

In der Schweizer Norm [SN 640 200a] ist der Bewegungsspielraum als geschwindigkeitsabhängiger Zuschlag zum Ausgleich von Fahr-Lenk-Ungenauigkeiten definiert. Er stellt eine querschnittsbezogene Grösse dar, welche zusammen mit den Grundabmessungen des Verkehrsteilnehmers und dem Sicherheitszuschlag das Lichtraumprofil, definiert durch lichte Höhe und Breite des Verkehrsteilnehmers, abgrenzt.

In Bezug auf die Erhebung des lateralen Fahrverhaltens eines Fahrzeugs ist diese querschnittsbezogene Festlegung unzureichend. Um den Bewegungsspielraum messen zu können, muss festgelegt werden, wie lang der betrachtete Streckenabschnitt sein muss, um den Bewegungsspielraum zu detektieren. Hierzu wurden im Rahmen einer Forschungsarbeit zum lateralen Fahrverhalten [Santel, 2010] die maximalen Amplituden in Relation zum betrachteten Streckenabschnitt untersucht. Bezüglich der benötigten Betrachtungslänge wurden für die verschiedenen Streckentypen die in Tabelle 17 angegebenen Mindestlängen festgelegt.

Tabelle 17: Mindeststreckenlängen [Santel, 2010]

Tempolimit	Mindeststreckenlänge
50 km/h	87 m
80 km/h	128 m
120 km/h	185 m

Diesen Festlegungen folgend kann davon ausgegangen werden, dass bei Einhaltung der Mindeststreckenlänge die maximale Amplitude der über die Stützpunkte gelegten kubischen Spline, welche die Fahrspur eines Einzelfahrzeugs wiedergibt, den Bewegungsspielraum des Fahrzeugs beschreibt. Alle gewählten Untersuchungsstrecken verfügen über die erforderliche Länge.

Um die Fahrspur bezüglich der Fahrzeuglängsachse darstellen zu können, müssen auch die Dimensionen der Einzelfahrzeuge erhoben werden. Dazu detektiert das Lasermesssystem Breite sowie Länge jedes Objektes. Die Dimensionen sind weiterhin notwendig, um eine Klassifizierung der Fahrzeuge durchführen zu können. Die Fahrzeuge werden je nach Abmessungen in die Kategorien Personenwagen (PW), Lastwagen und Busse als „breite“ Fahrzeuge (LW) sowie Zweiräder (ZR) unterteilt (vgl. Ziffer 3.2).

2.6.3 Seitliche Begegnungsabstände

Seitliche Begegnungsabstände zwischen zwei Fahrzeugen oder einem Fahrzeug und einem Fahrrad werden im Erfassungsbereich des Lasermesssystems (vgl. Abbildung 19) ermittelt. Gemessen wurden die Distanzen zwischen den einander zugewandten Fahrzeugflanken während der Begegnung. Unterschieden werden drei Begegnungsfälle:

- Überholen (zwischen zwei Fahrzeugen in gleicher Fahrtrichtung)
- Kreuzen (zwischen zwei Fahrzeugen in entgegengesetzter Fahrtrichtung)
- Fahrrad überholen (durch Motorfahrzeug)

Der Begegnungsfall „Überholen“ wurde nur bei Messungen an Autobahnen untersucht. Im Gegensatz zu den Erhebungen an Ausserortsstrassen mit Tempolimiten 80 km/h und 100 km/h und an Innerortsstrassen stellt er hier den massgebenden Begegnungsfall dar. Überholmanöver treten zwar auch an den anderen Strecken (mit Gegenverkehr) auf, sind jedoch nicht Bemessungsgrundlage in den VSS-Normen. Ihre Seltenheit und die somit geringe Wahrscheinlichkeit, dass ein Überholvorgang im Erfassungsbereich des Lasersensors stattfindet, machen statistisch gesicherte Aussagen an diesen Strecken unmöglich.

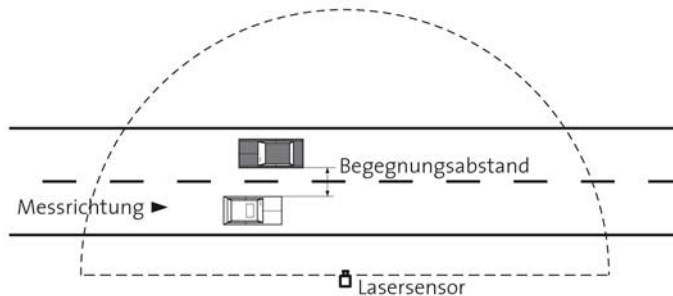


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Begegnungsabstandes

Die seitlichen Abstände zweier sich kreuzender, also entgegenkommender Fahrzeuge werden im Fall „Kreuzen“ erhoben. Die Stichprobenmenge ist, wie auch beim Begegnungsfall „Überholen“, eine Teilmenge aus der zur Bestimmung des Bewegungsspielraumes erhobenen Menge an Einzelfahrzeugen. Sie besteht aus den Fahrzeugen, welche im Erfassungsbereich des Lasersensors einem entgegenkommenden Fahrzeug begegneten.

2.6.4 Einflussvariablen

Die Auswirkungen folgender Einflussvariablen auf das Fahrverhalten werden im Rahmen des Forschungsauftrages erhoben und quantifiziert.

- Geschwindigkeitsregime

Grundsätzlich ergeben sich Einflüsse aus den unterschiedlichen *Geschwindigkeitsregimes*, nach welchen die Untersuchungsstrecken in die Gruppen bezüglich ihrer Lage eingeteilt wurden. Die nachstehende Tabelle zeigt die in den jeweiligen Gruppen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.

Tabelle 18: Tempolimiten und Betriebsarten an den Untersuchungsstrecken

Strecken	zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Betriebsart
innerorts	Tempo 30	Gegenverkehr
	Tempo 50	
	mit Trenninseln	Richtungsverkehr
ausserorts	Tempo 80	Gegenverkehr
	Tempo 100	
Autobahnen	120 / 100	Richtungsverkehr

- Betriebsart

Aus der Einteilung in Gruppen ergibt sich auch die *Betriebsart* an den Untersuchungsstrecken. Die Strecken innerorts sowie ausserorts werden als zweistreifige Strassen mit Gegenverkehr betrieben. Bei den Strecken im Bereich von Trenninseln wird der Verkehr durch die Insel sowie gegebenenfalls das Trassee des schienengebundenen Nahver-

kehr vom Gegenverkehr getrennt. Bei den Autobahnen muss zwischen den Strecken mit Tempolimit 120 km/h und den Strecken mit Tempolimit 100 km/h unterschieden werden (vgl. Tabelle 18).

- Fahrstreifen- / Fahrbahnbreite

Der Bewegungsspielraum eines Fahrzeugs und auch der Begegnungsabstand zwischen zwei Verkehrsteilnehmern resultieren zu einem Grossteil aus dem Raum, welcher dem Verkehrsteilnehmer für Fahrmanöver zur Verfügung steht. Die *Fahrstreifenbreite* und daraus resultierend die *Fahrbahnbreite* haben somit erheblichen Einfluss auf das Fahrverhalten. Bei der Wahl der Untersuchungsstrecken wurde deshalb Wert darauf gelegt, für alle Streckentypen schmale, normale und überbreite Messstrecken aufzunehmen.

- Fahrzeugart

Der für Bewegungen und Begegnungen resultierende Raum wird neben den Abmessungen der Fahrstreifen auch durch die Fahrzeugabmessungen, in diesem Fall insbesondere die Fahrzeugbreite, definiert. Bei gleicher Fahrstreifenbreite steht einem schmalen Fahrzeug mehr Bewegungsspielraum zur Verfügung als einem breiteren Fahrzeug. Die *Fahrzeugart* hat also direkten Einfluss auf die verbleibenden Spielräume und demnach auch auf das Fahrverhalten in diesen Räumen. Im Rahmen der Untersuchung wird zwischen *Lastwagen (LW)*, *Personenwagen (PW)* sowie *Zweirädern (ZR)* unterschieden. Eine Untersuchung der Bewegungsspielräume für Motorräder erfolgt nicht, da sie zur Bemessung des geometrischen Normalprofils an den untersuchten Strecken nicht relevant sind. Die Begegnungsabstände zu den Fahrrädern werden an den Innerortsstrecken mit Trenninseln erhoben, um Aussagen über das Überholverhalten von Fahrzeugen im Bereich von Inseln zu treffen.

- Seitliche Hindernisse

Den möglichen Einfluss von seitlichen Hindernissen gilt es in diesem Forschungsvorhaben zu untersuchen. Hierbei werden neben dem Vorhandensein eines solchen Hindernisses auch die Ausprägung und der Abstand zur Fahrbahn betrachtet. Unter Hindernisausprägung wird dabei die Ausdehnung des Hindernisses parallel zur Fahrbahn verstanden. Unterschieden werden linienförmige und punktförmige Hindernisse.

- Verkehrsstärke

Auch die Daten des Verkehrsablaufs haben Einfluss auf das laterale Fahrverhalten. Insbesondere hinsichtlich der vorhandenen Verkehrsbelastung kann davon ausgegangen werden, dass sich diese auf die Bewegungs- und Begegnungsspielräume auswirkt. Die *Verkehrsstärke* [Mfz/h] wurde im Rahmen der Messungen erhoben und mit zu untersuchenden Erhebungsgrössen in Relation gesetzt.

- Pulk / frei fahrend

In ähnlicher Masse wie durch einen entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer kann ein Fahrzeug durch vorausfahrende oder folgende Fahrzeuge in seinem Geschwindigkeits- und seinem Spurverhalten beeinflusst werden. Es wird deshalb zwischen *frei fahrenden Einzelfahrzeugen* und *Fahrzeugen im Pulk* unterschieden. Die Unterscheidung wird anhand der Auswirkungen unterschiedlich grosser Folgezeitlücken auf das Geschwindigkeitsverhalten getroffen. Ein Fahrzeug welches zum vorausfahrenden sowie zum nachfolgenden Fahrzeug jeweils eine Bruttozeitlücke gemäss Tabelle 16 aufweist gilt als unbehindert und als frei fahrendes Fahrzeug. Kürzere Zeitlücken deuten einen Fahrzeugpulk an. Als Fahrzeugpulk gelten in der vorliegenden Arbeit demnach bereits zwei aufeinanderfolgende Fahrzeuge, bei denen das Vordere das Nachfolgende behindert.

- Fahrgeschwindigkeit

Ein weiterer Einfluss ergibt sich aus den *Fahrgeschwindigkeiten* der einzelnen Fahrzeuge. Diese ergeben sich aus den Durchfahrtszeiten der Fahrzeuge an den einzelnen Messpfosten und werden über die gesamte Untersuchungsstrecke erfasst. Mit den bekannten Pfostenabständen in Relation gesetzt, lässt sich die mittlere Geschwindigkeit zwischen zwei Pfosten und somit ein Geschwindigkeitsverlauf über die gesamte Messstrecke ermitteln.

- Begegnungen

Im Messbereich des Lasersensors wird sowohl das Auftreten von Begegnungen detektiert, als auch die Begegnungsgeschwindigkeiten und Begegnungsabstände für die Begegnungsfälle „Überholen“, „Kreuzen“ und „Fahrrad überholen“ gemessen. Die Begegnungsgeschwindigkeiten ergeben sich aus den Geschwindigkeitsdifferenzen der sich begegnenden Einzelfahrzeuge. Erhoben werden durch das Lasersensorsystem jeweils die mittleren Geschwindigkeiten für die Verweildauer im Messbereich.

2.7 Versuchsordnung

Generell setzt sich die Messeinrichtung aus den beiden in Ziffer 2.5 beschriebenen Messsystemen zusammen. Bei den Untersuchungen an Ausserortsstrecken, HLS und Strecken innerhalb geschlossener Ortschaften kamen sowohl der Lasersensor als auch die Messpfosten zum Einsatz. Eine Ausnahme bilden die Strecken zur Untersuchung des Fahrverhaltens beim Überholen von Fahrrädern. Die kürzeren Abschnitte im Bereich der Trenninseln konnten komplett mit dem Lasersensor erfasst werden. Das Aufstellen der Messpfosten wird an diesen Orten somit überflüssig.

Bedingt durch die uneinheitlichen Voraussetzungen an den unterschiedlichen Streckentypen ergeben sich für Strecken innerorts, Strecken ausserorts und Strecken an Hochleistungsstrassen Variationen in der Versuchsordnung. Insbesondere die Länge der betrachteten Strecke variiert auf Grund der verschiedenen Geschwindigkeitsregime. Im Folgenden wird unter anderem auf den Abstand zwischen den einzelnen Messpfosten und den daraus resultierenden Längen der Messstrecken eingegangen. Die Tabelle 19 zeigt die gewählten Messpfostenabstände, welche in den nachfolgenden Abschnitten hergeleitet werden.

Tabelle 19: Messpfostenabstände an den Untersuchungsstrecken

Strecken	Pfostenabstand [m]	
innerorts	Tempo 30	15
	Tempo 50	15
ausserorts	Tempo 80	20
	Tempo 100	30
Autobahnen		30

2.7.1 Versuchsordnung an Hauptverkehrsstrassen ausserorts

An Hauptverkehrsstrassen ausserhalb geschlossener Ortschaften mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h und den zwei Strecken bei Littau mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h wurde ein Messaufbau mit 12 Messpfosten und dem Laser-messsystem ausgeführt.

Massgebend für die Längen der Untersuchungsstrecken waren die Anzahl der eingesetzten Messpfosten und der Abstand zwischen den einzelnen Pfosten. In der Regel konnten 12 Messpfosten eingesetzt werden. Der gewählte Abstand zwischen den Messpfosten orientierte sich primär an vier Kriterien:

- Die angestrebte Durchfahrtszeit von 10 Sekunden erfordert bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h eine Erfassungslänge von 222.22 m. Für das aus zwölf Pfosten, beziehungsweise 11 Sektionen bestehende Messsystem resultiert demnach ein Abstand zwischen den Pfosten von ca. 20 m. Bei 100 km/h ergibt sich dementsprechend ein Pfostenabstand von 30 m.
- Die Genauigkeit der aus den Daten der Messpfosten generierten Spline-Funktion ist neben der Messgenauigkeit der einzelnen Pfosten abhängig von der Abtastrate des

realen Spurverlaufs, welche in diesem Fall gleichbedeutend mit dem Pfostenabstand ist. Demnach wäre ein möglichst geringer Abstand anzustreben. Je mehr Messwerte für einen definierten Abschnitt vorliegen, desto besser stimmen die angenäherte Spline-Funktion und der tatsächliche Fahrverlauf für diesen Abschnitt überein.

- Dicht aufeinander folgende Messpfosten erweisen sich insofern als problematisch, als dass sie den Fahrzeuglenker bewusst und unbewusst beeinflussen können. Von einer bewussten Beeinflussung kann ausgegangen werden, wenn der Fahrer auf die Messsituation aufmerksam wird und bewusst auf diese reagiert, indem er beispielsweise sein Fahrzeug verzögert oder seinen Abstand zum Fahrbahnrand ändert. Diesbezüglich wäre ein Messpfostenabstand ähnlich dem in der Norm [SN 640 822] angegebenen Leitpfostenabstand von 50 m anzustreben. Eine unbewusste Beeinflussung kann durch die erhöhte optische Leitwirkung hervorgerufen werden. Bei dichter Aufstellung kommt es aus Sicht des Lenkers bei Annäherung an die Messstrecke schnell zu einer „Wandwirkung“. In einem flachen Winkel, aus der Entfernung betrachtet, werden die in einer geraden Reihe aufgestellten Leitpfosten nicht mehr als Einzelelemente empfunden.
- Erfahrungen aus vorgängigen Forschungsprojekten haben gezeigt, dass bei einem Pfostenabstand von weniger als 10 m eine Beeinflussung der Pfosten untereinander nicht ausgeschlossen werden kann. Insbesondere die eingesetzten Ultraschallsensoren weisen eine Streuung auf, welche bei zu geringem Abstand zwischen zwei Sensoren zu Störungen führen kann.

Unter Berücksichtigung dieser vier Aspekte hat sich auf Ausserortsstrassen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ein Pfostenabstand von 20 m und bei Tempolimiten 100 km/h von 30 m als geeignet herausgestellt (vgl. Tabelle 19).

Auch für den seitlichen Abstand der Pfosten zum Fahrbahnrand muss ein Optimum angenommen werden. Generell gilt hier als massgebende Vorgabe, das Messsystem möglichst unauffällig für den Fahrzeuglenker zu installieren. Die meisten Strecken ausserhalb von Ortschaften verfügen über reguläre Leitpfosten. Ein unauffälliger Einsatz ist somit am ehesten gewährleistet, wenn die Messpfosten mit gleichem Abstand zum Fahrbahnrand wie die bestehenden Leitpfosten aufgestellt werden. Dieser beträgt nach Schweizer Norm [SN 640 822] je nach Strassenkategorie zwischen 0.50 und 1.25 m. Die Leitpfosten werden für den Zeitraum der Messung entfernt und für den Fahrzeuglenker nicht sichtbar gelagert.

Die Abbildung 20 zeigt exemplarisch die Versuchsanordnung an einer Hauptverkehrsstrasse mit einer signalisierten zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Alle zwölf Messpfosten wurden mit einer Zwischendistanz von jeweils 20 m aufgestellt. Der Abstand der Messpfosten zum Fahrbahnrand (bezeichnet mit „a“) beträgt bei allen Pfosten 0.48 m. Der angegebene Distanzbereich (hier 50 - 400) gibt den Bereich in cm an, in welchem die Messpfosten detektierte Fahrzeuge abspeichern. Massgebend ist hierbei die Lage, der den Pfosten zugewandten Fahrzeugflanke. Der Distanzbereich wird so gewählt, dass alle Fahrzeuge erhoben werden, welche sich auf dem zugewandten Fahrbahnstreifen (Messrichtung) befinden.

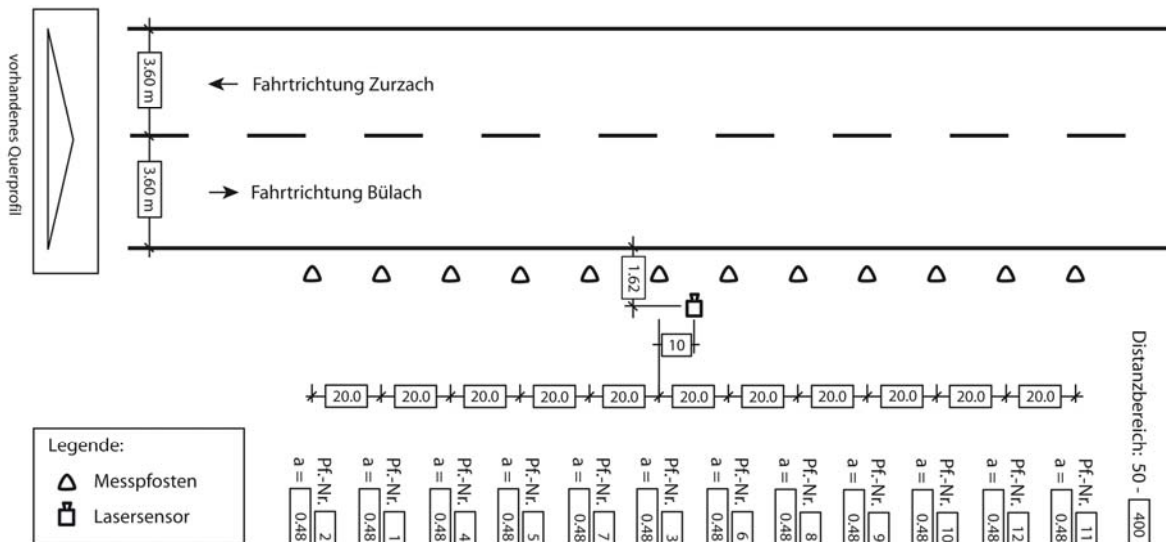


Abbildung 20: Versuchsanordnung an Hauptverkehrsstrassen ausserorts, Beispiel Dielsdorf 3

Der Lasersensor befand sich idealerweise in der Mitte des durch die Messpfosten abgedeckten Streckenabschnittes. Sodass die Beeinflussungsgrenzen bezüglich der Begegnungsdetektion in beide Richtungen in etwa gleich gross waren. Der Abstand zur Fahrbahn wurde situationsabhängig gewählt, um einen möglichst unauffälligen Einsatz des Sensors zu gewährleisten.

2.7.2 Versuchsanordnung an Hauptverkehrsstrassen innerorts

Bedingt durch die unterschiedlichen Geschwindigkeitsregimes ergeben sich für die Untersuchungsstrecken innerhalb von Ortschaften zwei Versuchsanordnungen, welche sich in erster Linie im Abstand zwischen den einzelnen Messpfosten unterscheiden. Bei den Untersuchungen an Strassen mit Trenninseln wurde auf den Einsatz der Messpfosten verzichtet.

Tempolimite 50 km/h

Wie bei den Untersuchungsstrecken ausserorts kamen auch an den Strecken innerorts sowohl das Lasermesssystem als auch bis zu zwölf Messpfosten zum Einsatz. Für Strecken mit der Tempolimite von 50 km/h und analog den Annahmen an Untersuchungsstrecken ausserorts (vgl. Ziffer 2.7.1) wurde ein Pfostenabstand von 15 m gewählt. Hieraus ergibt sich eine maximale Länge der Untersuchungsstrecke von 165 m. Abgesehen vom Pfostenabstand kann die Abbildung 20 zur Verdeutlichung des Versuchsaufbaus herangezogen werden.

Der seitliche Abstand zum Fahrbahnrand wurde so gewählt, dass die Messeinrichtung als solche möglichst nicht auffällt. Obwohl im Innerortsbereich in der Regel keine Leitpfosten zum Einsatz kommen, ist davon auszugehen, dass die Tarnung des Messsystems als Leitpfosten weitestgehend funktioniert. Leitpfosten sind als Ausstattungselemente von Strassen generell bekannt und werden auf den ersten Blick auch im Umfeld von Innerortsstrassen nicht für ungewöhnlich erachtet. Im Falle strassenbegleitender Gehwege hat es sich im Einzelfall als günstig herausgestellt, die Messpfosten nicht am Fahrbahnrand auf dem Gehweg zu positionieren, sondern diese an der äusseren, der Fahrbahn abgewandten Seite des Gehweges zu installieren. Eine allfällige Beeinflussung der Messung durch Langsamverkehr auf dem Gehweg kann hierbei vernachlässigt werden, da sich die Strecken jeweils im Randbereich von Orten befanden. Die Gehwege wurden somit nur selten oder gar nicht frequentiert. Der grössere Abstand der Messpfosten zum Fahrbahnrand wurde bei der Festlegung des erfassten Distanzbereiches berücksichtigt. Es wurden wiederum nur die Fahrzeuge auf dem den Messpfosten zugewandten Fahrstreifen erhoben.

Tempolimite 30 km/h

Wie bereits in Ziffer 2.4.2 erwähnt, wurden Untersuchungen bei einer Tempolimite von 30 km/h nur an zwei Strecken durchgeführt. Angestrebt wurde ein Abstand zwischen den Messpfosten von 15 m. Dieser ergibt sich wiederum aus den vier Kriterien, welche bereits bei Strecken ausserorts und Innerortsstrecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h angewendet wurden.

An der Untersuchungsstrecke Zollikerstrasse (ZH) konnten sieben Pfosten im Abstand von jeweils 15 m aufgestellt werden. Dies ergibt eine Länge der Untersuchungsstrecke von 90 m. In diesem Fall wurden die Pfosten auf der äusseren, der Fahrbahn abgewandten Gehwegseite positioniert. Dieser weniger exponierte Standort vor einer hohen Grundstückseinfassung wurde gewählt, um die Beeinflussung des Fahrverhaltens durch die Messeinrichtung zu minimieren.

In der Sonneggstrasse (ZH) war es nicht möglich, einen gleichmässigen Pfostenabstand von 15 m einzuhalten. Auf Grund kleinerer Grünräume mit Einzelbäumen im Bereich des Gehweges, mussten die Abstände an mehreren Messpfosten geringfügig variiert werden. So ergab sich beim Einsatz von 10 Messpfosten eine Erhebungslänge von 145 m. An beiden Strecken wurde das Lasermesssystem im Bereich der Mitte der, durch die Pfosten abgedeckten, Messtrecke aufgestellt.

Strassen mit Trenninseln

Bei Untersuchungsstrecken im Bereich von Trenninseln wurde auf den Einsatz der Messpfosten verzichtet.

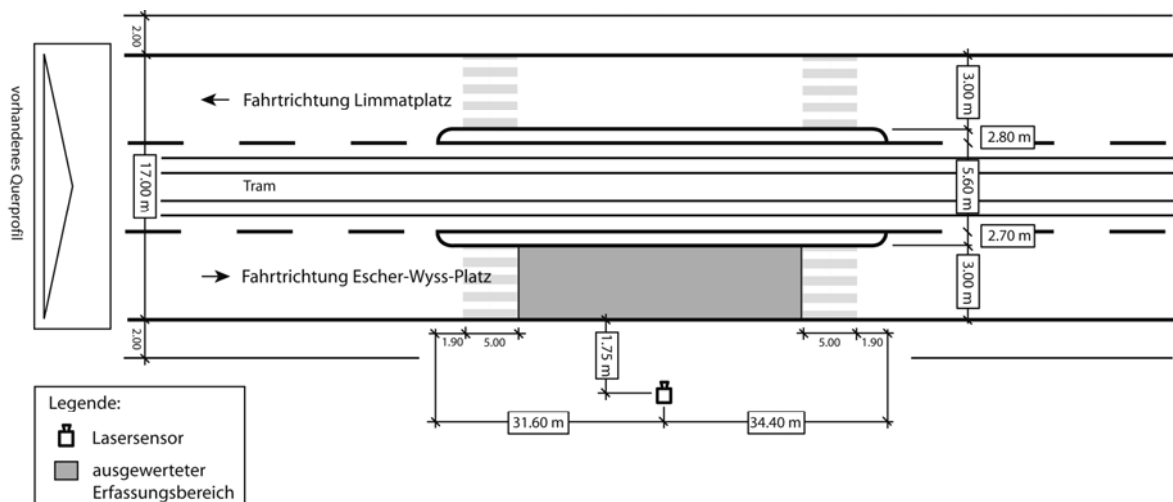


Abbildung 21: Versuchsanordnung an Innerortsstrasse mit Trenninsel, Beispiel Limmatstrasse

Die betrachteten Abschnitte mit den ausgewerteten Erfassungslängen zwischen 8.0 m und 52.2 m konnten komplett mit dem Lasermesssystem erhoben werden. Die Erfassungslängen beziehen sich auf die Länge der geraden Inselkanten. Im Falle der kurzen Inseln meint dies die gesamte Länge von Inselspitze zu Inselspitze. Bei langen Inseln handelt es sich zumeist um Trenninseln im Bereich von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs, welche zu Beginn und Ende mit Fussgängerübergängen ausgestattet sind. Die Bereiche der Übergänge werden bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt. Der Messaufbau kann exemplarisch der Abbildung 21 entnommen werden.

2.7.3 Versuchsanordnung an Autobahnen

Die Versuchsanordnung an Autobahnen ähnelt derer an Ausserortsstrassen. Es kamen sowohl das Lasermesssystem als auch die zwölf Messpfosten zum Einsatz. Sämtliche Messinstrumente wurden im Bereich des Banketts aufgestellt. Für den Fall, dass entlang der Hochleistungsstrasse eine passive, seitliche Schutzeinrichtung vorhanden war, wurde der Lasersensor so moniert, dass er auf der Leitschranke zu liegen kam. Auch die Mess-

mposten wurden in diesem Fall direkt hinter der Schutzplanke aufgestellt. Dies entspricht dem Standort der nach Norm installierten Leitpfosten, welche wiederum für den Zeitraum der Messung entfernt wurden. Als Abstand zwischen den Messpfosten wurde jeweils 30 m gewählt. Dieser Abstand ergibt sich wiederum aus den vier Kriterien, welche schon für Ausser- und Innerortsstrassen herangezogen wurden. Eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h und eine angestrebte Durchfahrtszeit von 10 Sekunden, ergeben eine Messstreckenlänge von 333.33 m. Der gewählte Abstand von 30 m, ergibt beim Einsatz von zwölf Messpfosten eine Streckenlänge von 330 m und wird somit diesem sowie den anderen drei Kriterien aus Abschnitt 2.7.1 gerecht.

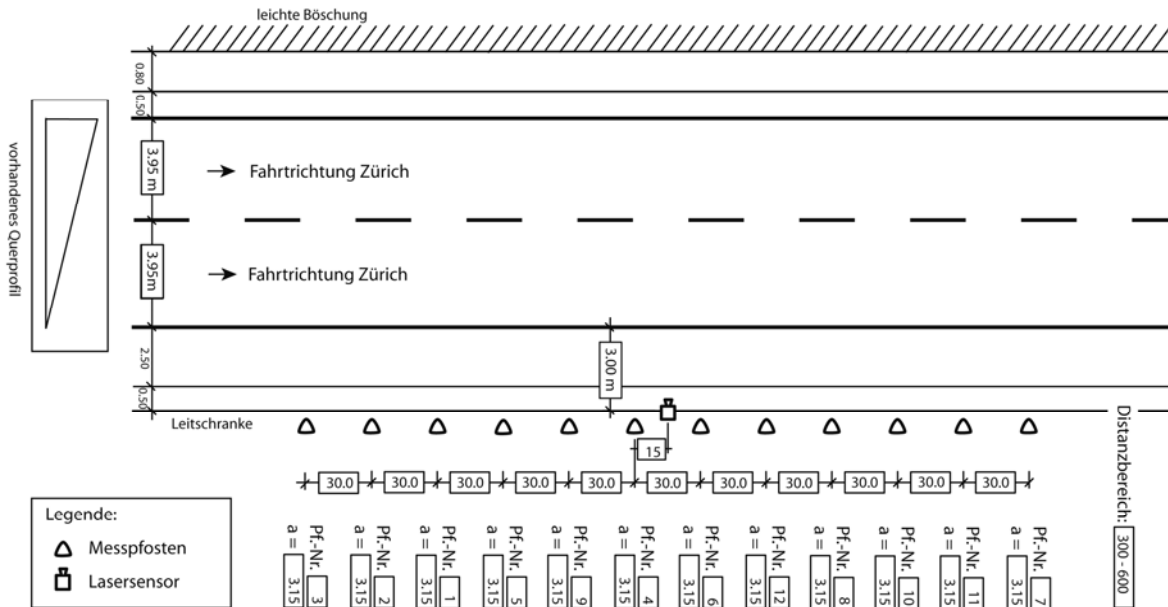


Abbildung 22: Versuchsanordnung an Autobahnen, Beispiel Horgen A3

Der Distanzbereich, welcher durch die Messpfosten detektiert wird, wurde so gewählt, dass jeweils der Normalstreifen in Messrichtung erfasst wurde. Überholvorgänge beziehungsweise die Anwesenheit von Fahrzeugen auf dem Überholfahrstreifen wurden mit dem LMS erfasst. Abbildung 22 veranschaulicht den Messaufbau an einer Hochleistungsstrasse mit passiver seitlicher Schutzeinrichtung.

3 Datenerfassung und -verarbeitung

Neben den in Ziffer 2.6 beschriebenen Einflussvariablen wirken auch äussere Umweltbedingungen auf das Fahrverhalten ein. In dieser Untersuchung wurden die Messungen bei trockener Fahrbahnoberfläche und auf möglichst ebenen Fahrbahnen durchgeführt. Die Erhebungen fanden grösstenteils am Tage statt. Vereinzelt wurden auch Vergleichsmessungen bei Dunkelheit durchgeführt.

Die Messungen fanden im Zeitraum um die Mittagszeit statt, wodurch auch ein Einfluss durch die tief stehende Sonne minimiert wurde. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Temperaturen auf die Messgeräte werden bei der Rohdatenverarbeitung automatisch berücksichtigt.

3.1 Versuchsbedingungen

In Tabelle 20 sind je Messstrecke die Messdauer, die Anzahl der erhobenen Fahrzeuge sowie der LW-Anteil angegeben.

Die Anzahl Fahrzeuge beinhaltet jene Motorfahrzeuge, welche auf Basis der Daten aus den Messpfosten über die Untersuchungsstrecke verfolgt werden konnten. Durch die Kombination der beiden Messsysteme reduziert sich diese Datengrundlage geringfügig. Die „auswertbaren Fahrzeuge“ (Summe: 24'015) sind diejenigen, welche sowohl durch die Messpfosten als auch mit dem Lasermesssystem erfasst wurden und zweifelsfrei einander zugeordnet werden konnten. Ausnahmen bilden die Untersuchungsstrecken an Inseln. Da hier nur der Lasersensor zum Einsatz kam, basieren die Daten einzig auf den vom LMS erfassten Fahrzeugen. Der LW-Anteil bezieht sich jeweils auf die detektierten Lastwagen und Busse im Verhältnis zu allen erhobenen motorisierten Fahrzeugen.

Unter Verkehrsbelastungen (Q) sind die Anzahl der Motorfahrzeuge im Messquerschnitt pro Stunde angegeben. Sie stellen nicht die absolute Belastung im Querschnitt dar. Für Strecken an Autobahnen beinhalten diese Werte lediglich die Fahrzeuge auf dem Normalfahrstreifen. Sie liegen etwas unter der tatsächlichen Belastung der Strecken, da davon ausgegangen werden muss, dass nicht sämtliche Fahrzeuge durch die Messeinrichtung erfasst und verfolgt werden konnten. Erfahrungen aus zurückliegenden Messungen haben jedoch gezeigt, dass diese Fehlbeträge nur gering und bei den einzelnen Messungen gleichgross sind.

Detaillierte Informationen zu den Versuchsbedingungen wie die Messdaten und -zeiten oder die Temperaturen zu Beginn und am Ende einer Messung sowie weitere Informationen zur Witterung können den Datenblättern der Messstrecken im ANHANG I entnommen werden.

Tabelle 20: Versuchsbedingungen an den Untersuchungstrecken

Typ	Messstrecke	Bezeichnung	Messdauer [hh:mm]	Anzahl Fz [Fz]	Auswertbare Fz [Fz]	LW-Anteil [%]	Q [Fz/h]
Autobahn	Frauenfeld	Frau	04:09	708	662	12.08	171
	Horgen	Horg	04:15	1244	1114	6.19	293
	Kloten	Klot	04:32	1089	1030	12.23	240
	Thusis	Thus	04:00	1154	1053	4.75	289
	Wigoltingen	Wigo	04:48	873	816	5.51	182
ausserorts	Aarau 1	Aar1	03:45	617	573	7.16	165
	Aarau 2	Aar2	02:52	627	600	6.17	219
	Affoltern 1	Affo1	02:52	400	379	3.69	140
	Affoltern 2	Affo2	03:21	434	423	2.84	130
	Beringen	Beri	03:26	848	832	3.73	247
	Bülach	Büla	03:44	1865	1724	5.34	500
	Dielsdorf 1	Diel1	02:15	525	511	4.70	233
	Dielsdorf 2	Diel2	02:30	664	661	4.24	266
	Dielsdorf 3	Diel3	03:46	328	317	3.15	87
	Diessenhofen	Dies	03:58	501	489	3.48	126
	Embrach	Emb	04:07	341	324	4.94	83
	Flaach	Flaa	03:07	97	93	5.38	31
	Hüntwangen	Hünt	04:03	287	265	2.64	71
	Kreuzlingen	Kreu	04:19	579	553	6.33	134
	Künten	Künt	04:28	311	288	4.17	70
	Littau 1	Litt1	05:04	850	807	10.66	168
	Littau 2	Litt2	04:33	770	726	5.51	169
	Mumpf (hell)	MumA	04:05	942	877	3.88	231
	Mumpf (dunkel)	MumB	04:20	835	794	0.88	193
	Paradies	Par	03:31	504	484	2.69	143
	Steinmaur	Stei	04:59	156	148	2.70	31
	Thayngen	Thay	03:18	965	914	10.83	292
	Unterneerach	Unee	04:06	455	439	4.33	111
	Wehntal. (hell)	WehnA	02:03	1422	1326	7.99	694
Wehntal. (dunkel)	WehnB	02:04	756	735	1.36	366	
innerorts	Bachenbülach	Bach	04:30	561	538	5.02	125
	Maur	Mau	04:23	539	453	2.21	123
	Nänikon	Näni	04:52	622	588	4.59	128
	Schöfflisdorf	Schö	03:33	820	789	3.80	231
	Schweighofstrasse	SHS	04:38	1134	1048	6.30	245
	Sonneggstrasse	Sonn	03:28	192	182	2.20	55
	Zollikerstrasse	Zoll	04:48	478	460	2.83	100
Inseln	Altstetterstrasse	Alts	05:07	1179	-	7.63	230
	Hofwiesenstrasse	Hofw	05:06	696	-	3.16	136
	Irchelstrasse	Irch	05:17	1366	-	0.36	259
	Limmatstrasse	Limm	05:06	617	-	2.76	121
	Wehntalerstrasse	Wehni	05:11	1040	-	3.84	201
	Weinbergstrasse	Wein	05:04	1201	-	5.00	237

3.2 Fahrzeugtypen

Die Zuweisung der Fahrzeugtypen erfolgte auf Basis der vom Lasermesssystem gemessenen Fahrzeugabmessungen. Es wurden fünf Fahrzeugtypen definiert: Zweiräder, Personenwagen, Lieferfahrzeuge und Solo-Zugfahrzeuge, Lastwagen (inkl. Lastenzug, Sattelschlepper und Busse) und Sonstige. Zweiräder umfassen sowohl motorisierte Krafträder als auch nicht motorisierte Velos. Im Rahmen dieser Untersuchung können diese nur auf Grund der gefahrenen Geschwindigkeiten unterschieden werden. Auf Grund ihrer

ähnlichen geometrischen Abmessungen wird auch zwischen Lieferfahrzeugen und Solo-Zugfahrzeugen nicht differenziert. Selbiges gilt für Lastwagen und Busse, welche vereinfachend zum Fahrzeugtyp Lastwagen zusammengefasst werden. Unter „Sonstige“ sind alle Fahrzeuge zusammengefasst, welche nicht den anderen Typen zugeordnet werden können. In Tabelle 21 sind die minimalen sowie maximalen Dimensionen zur Zuordnung zu den entsprechenden Fahrzeugtypen gegeben.

Tabelle 21: Zuordnung der Fahrzeugtypen

Fahrzeugtyp	Länge [m]		Breite [m]	
	min.	max.	min.	max.
Zweiräder	0.40	2.50	0.30	1.00
Personenwagen	2.30	5.50	1.45	1.95
Lieferfahrzeuge und Zugfahrzeuge	5.50	9.00	1.70	2.70
	4.00	9.00	1.95	2.70
Lastwagen	9.00	25.00	1.90	2.70
Sonstige	-	-	-	-

3.3 Datenverarbeitung

3.3.1 Datensätze

Die aggregierten Daten bestehen aus den Datensätzen der Einzelfahrzeuge. Für jedes Fahrzeug werden die Fahrzeugeigenschaften, ein Zeitstempel, die Attribute bezüglich des Fahrverhaltens, allfällige Begegnungsattribute sowie das Spurverhalten in einem eindimensionalen Array abgespeichert. Zusätzlich enthält dieses Array Informationen über die Messstrecke. Diese bestehen aus Angaben zu Tempolimiten, Fahrbahnbreite, allfälligen Hindernissen und der momentanen Verkehrsbelastung. Eine detaillierte Auflistung der Attribute ist in Tabelle 22 angegeben.

Die im unteren Teil der Tabelle aufgeführten Referenzwerte sind für den Abgleich der beiden Messsysteme von Bedeutung. Es wird ein Referenzpunkt definiert, an welchem die Fahrzeuge anhand ihres Zeitstempels identifiziert und abgeglichen werden können.

Zur weiteren Bearbeitung werden die Datensätze der einzelnen Fahrzeuge aller Untersuchungsstrecken zeilenweise in einer Tabelle verwaltet. Es handelt sich hierbei um eine relationale Datenbank, in welcher beliebige Beziehungen zwischen einzelnen Datensätzen hergestellt werden können. Diese Relationen werden durch Werte bestimmter Tabellenspalten festgelegt. Im ungefilterten Ausgangszustand befinden sich 24'015 Fahrzeuge in dieser Datenbank. Mittels der nachfolgend beschriebenen Plausibilitätsprüfung werden Fehlmessungen und Fahrzeuge, welche ein ungewöhnliches Fahrverhalten aufweisen, aussortiert. Der Umfang der Datenbank reduziert sich hierdurch auf 21'496 Fahrzeuge.

Tabelle 22: Datensatzattribute der Einzelfahrzeuge

Gruppe	Attribut	Dimension
Streckeneigenschaften	Streckenbezeichnung	[-]
	Tempolimit	[km/h]
	Hindernisart	[-]
	Hindernisabstand	[m]
	Fahrstreifenbreite	[m]
	Relative Belastung	[Fz/h]
LW-Anteil	LW-Anteil	[%]
Fahrzeugeigenschaften	Fahrzeug-ID	[-]
	Fahrzeugtyp	[-]
	Fahrzeugbreite	[m]
	Fahrzeuglänge	[m]
LMS-Messung (Attribute beziehen sich auf Fahrzeuge im Sensorfeld)	Zeitlücke	[s]
	Mittlere Geschwindigkeit (V_m)	[m/s]
	Max. Amplitude	[m]
	Mittlerer Abstand zum LMS	[m]
Begegnung (auf Basis LMS)	Begegnungsindikator	[-]
	ID des begegnenden Fz	[-]
	Fz-Klasse des begegnenden Fz	[-]
	Breite des begegnenden Fz	[m]
	Länge des begegnenden Fz	[m]
	V_m des begegnenden Fz	[m/s]
	Begegnungsabstand	[m]
	X-Wert Fz in Hinrichtung	[m]
	Y-Wert Fz in Hinrichtung	[m]
	X-Wert Fz in Gegenrichtung	[m]
	Y-Wert Fz in Gegenrichtung	[m]
	ID des zweiten begegnenden Fz	[-]
	ID des dritten begegnenden Fz	[-]
	ID des vierten begegnenden Fz	[-]
ID des fünften begegnenden Fz	[-]	
ID des sechsten begegnenden Fz	[-]	
Pfostenmessung (Attribute beziehen sich auf gesamte Messstrecke)	Mittlere Geschwindigkeit	[km/h]
	Fahrzeuglänge	[cm]
	Amplitude der Stützpunkte	[cm]
	Amplitude der Splinefunktion	[cm]
	Abstand am ersten Pfosten	[cm]
	Abstand am zweiten Pfosten	[cm]
	Abstand am dritten Pfosten	[cm]
	Abstand am vierten Pfosten	[cm]
	Abstand am fünften Pfosten	[cm]
	Abstand am sechsten Pfosten	[cm]
	Abstand am siebten Pfosten	[cm]
	Abstand am achten Pfosten	[cm]
	Abstand am neunten Pfosten	[cm]
	Abstand am zehnten Pfosten	[cm]
Abstand am elften Pfosten	[cm]	
Abstand am zwölften Pfosten	[cm]	
Referenzwerte (Abgleich LMS – Pfosten)	X-Wert Referenzpfosten	[m]
	Abstand des Fz am Referenzpunkt	[m]
	Zeitstempel am Referenzpunkt	[Datum, Zeit]
	Zeitstempel in Sek. ab 0:00 Uhr (LMS)	[s]
	Zeitstempel in Sek. ab 0:00 Uhr (Pfosten)	[s]
Differenz der Zeitstempel	[s]	

3.3.2 Plausibilitätsprüfung

In drei Schritten wurden die Messdaten auf ihre Plausibilität geprüft und fehlerhafte Datensätze aussortiert. Als Fehler behaftet gelten in diesem Sinne Datensätze, in welchen offensichtliche Messfehler, wie „unrealistische“ Geschwindigkeiten oder Lateralabstände, welche Fahrzeugpositionen ausserhalb des Fahrbahnbereichs bedeuten, beinhalten. Nicht mögliches Fahrverhalten in diesem Sinne basiert auf Fahrzeugverwechslungen bei der Korrelation der Pfostendaten. Weiter wurden Datensätze aussortiert, welche nicht realistische Querbeschleunigungen oder bewusste Fahrmanöver wie Überholen oder Ändern der Fahrtrichtung aufweisen. Die Kriterien für die Plausibilitätsprüfung und entsprechende Filterung der Daten werden nachfolgend konkretisiert.

Gültige Geschwindigkeitsbereiche

Auf Basis der Pfostendaten wurde anhand der Häufigkeitsverteilungen der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten über die gesamte Strecke für die einzelnen Geschwindigkeitsregime gültige Geschwindigkeitsbereiche definiert (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Gültige Geschwindigkeitsbereiche

Tempolimite	gültige Geschwindigkeitsbereiche	
	untere Grenze	obere Grenze
30 km/h	21 km/h	56 km/h
50 km/h	28 km/h	72 km/h
80 km/h	51 km/h	103 km/h
100 km/h	71 km/h	123 km/h
120 km/h	75 km/h	147 km/h

Datensätze von Fahrzeugen, welche mit Geschwindigkeiten ausserhalb dieser Bereiche die Messstrecken passiert haben, wurden entfernt. Dies betrifft jedoch eine eher unbedeutende Anzahl von 44 Fahrzeugen der 24'015 erfassten Fahrzeuge (0.18 %). Die Anzahl ist deshalb so gering, da eine erste Filterung bereits durch die Korrelation im Programm zur Auswertung der Messpfosten durchgeführt wurde. Um ein Fahrzeug über die Folge mehrerer Messpfosten verfolgen zu können wird hier bereits in der Rohdatenverarbeitung eine obere und untere Geschwindigkeitsgrenze definiert.

Realistische Fahrzeugspuren

Analog zu den Geschwindigkeitsbereichen wurden für die Fahrzeugspuren Minima und Maxima des Abstandes vom rechten Fahrbahnrand definiert, welche innerhalb der Datensätze nicht unter- bzw. überschritten werden dürfen. Diese Extremwerte verstehen sich als Abstand der rechten Fahrzeugflanke zum rechten Fahrbahnrand. Zu beachten ist, dass bei der Erfassung der Fahrzeugflanke mittels der Messpfosten Anbauteile wie Aussenspiegel, welche über die Grundabmessungen des Fahrzeugs hinausragen, nicht erfasst werden. Zur Definition des Fahrbahnrandes ist anzumerken, dass die Fahrbahnmarkierung zur Fahrbahn gezählt wird. Die rechte Fahrzeugflanke eines Fahrzeugs, welches mit einem Abstand von 0 cm erhoben wird, befindet sich somit direkt über dem äusseren rechten Rand der Fahrbahnmarkierung und der Aussenspiegel somit deutlich ausserhalb des Fahrstreifens.

Als untere Grenze für gültige Datensätze gilt ein Abstand von 16 cm. Diese Grenze stellt sicher, dass nur Datensätze betrachtet werden, bei denen das Fahrzeug inklusive der seitlichen Anbauteile die Fahrbahn nicht verlassen hat. Bedingt durch Fehlmessungen einzelner Messpfosten wurden durch dieses Kriterium 1017 Datensätze herausgefiltert.

Die obere Grenze wird über den maximalen Abstand der rechten Fahrzeugflanke zum Fahrbahnrand und der halben Fahrzeugbreite definiert. Zusammen ergibt sich hieraus

der maximale Abstand der Fahrzeuglängsachse zum Fahrbahnrand. Sollte diese gleich der Fahrbahnmitte (Mittelleitlinie zwischen Hin- und Gegenrichtung) sein, befindet sich das Fahrzeug zur Hälfte auf der Gegenfahrbahn. Dieses Szenario wurde als obere Grenze für den gültigen Spurbereich gewählt. 170 Datensätze, deren Fahrzeuge mehr als zur Hälfte auf der Gegenfahrbahn detektiert wurden, wurden aussortiert.

Die Zahl der Datensätze reduziert sich durch diese Filterung von 23'971 auf 22'784 Fahrzeuge, was insbesondere durch Fehlmessungen an Einzelpfosten zu begründen ist. Dies bedeutet, dass ein Datensatz bereits aussortiert wird, wenn auch nur ein Einzelpfosten eine fehlerhafte Distanz ausserhalb des definierten Bereiches aufweist.

Realistische Querverschiebungen (Ruck)

Um auch die Fehlmessungen aussortieren zu können, welche zwar im gültigen Fahrbahnbereich detektiert wurden, jedoch trotzdem als „Ausreisser“ gelten müssen, wurde ein weiteres Filterkriterium bezüglich der maximalen Querverschiebung pro Längeneinheit und damit indirekt der Querbeschleunigung definiert. Auch bewusst ausgeführte Querverschiebungen von Fahrzeugen auf geraden Strecken würden die Messresultate zur Ermittlung des Bewegungsspielraums verfälschen. Aussortiert wurden deshalb solche Datensätze bei denen eine deutliche, abrupte Verschiebung in eine Richtung oder zuerst eine Verschiebung nach links und dann eine Verschiebung nach rechts oder umgekehrt erfolgte.

In Anlehnung an die Erkenntnisse aus der Entwicklung und Validierung der Messpfosten als Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen [Scheifele, 1992] wurde als kritisches Mass für diese Verschiebung ein Wert von 5.0 cm/m angenommen. Gegenläufige Querverschiebungen wurden ab einem Wert von jeweils 2.5 cm/m als unrealistisch beziehungsweise ungewöhnlich erachtet.

Ziel dieser Betrachtung ist es zum Einen, jene Fahrzeuge herauszufiltern, welche von einem Messpfosten zum nächsten Messpfosten im Mittel 2.5 cm/m nach links oder rechts fahren und zwischen den zwei nachfolgenden Messpfosten im Mittel 2.5 cm/m in die entgegengesetzte Richtung zurück fahren (Beispiel A in Abbildung 23). Dies deutet auf eine bewusste Verschiebung oder eine fehlerhafte Distanzmessung an einem der Messpfosten hin.

Zum Anderen werden die Datensätze herausgefiltert, an denen ein Fahrzeug seine laterale Position im Fahrstreifen abrupt verändert hat, indem es seine Position zwischen zwei Messpfosten mit einer Verschiebung von 5 cm/m nach links oder rechts veränderte (Beispiel B in Abbildung 23). Hierbei muss von einem bewussten und für eine gerade Strecke unüblichen Fahrmanöver ausgegangen werden. Auch die unrealistischen Fahrmanöver im Bereich zwischen den beiden geschilderten Extrema, z.B. eine Abweichung von 4.0 cm/m im ersten Abschnitt plus eine entgegengerichtete Abweichung von 1.0 cm/m im zweiten Abschnitt, werden aussortiert.

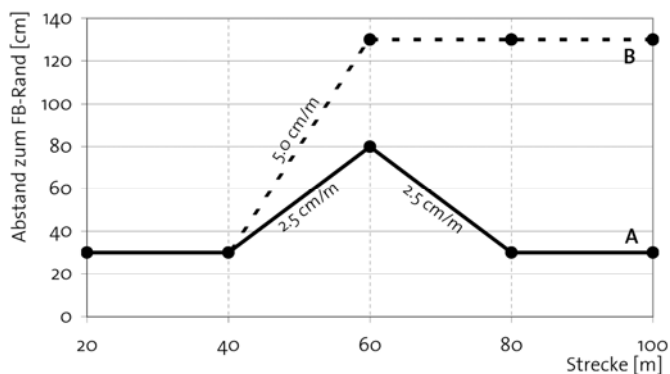


Abbildung 23: Kriterien für unrealistische Querverschiebungen (Beispiele für Messpfostenabstand von 20 m)

Auf Grund dieser Kriterien reduziert sich der Umfang der Datenbank ein weiteres Mal. Von 22'784 Datensätzen werden 1'289 Fahrzeuge aussortiert. Es verbleiben somit 21'496 gültige Datensätze.

Um die Verluste im Datenbankumfang zu minimieren wurde die Überlegung angestellt, fehlerhafte Stützpunkte der Fahrzeugtrajektorie zu löschen und die gelöschten Werte zwischen den übrigen Stützpunkten zu interpolieren. Dies wäre insbesondere bei fehlerhaften Distanzmessungen an Einzelposten denkbar. Da mit der verbleibenden Anzahl Datensätze jedoch noch ein mehr als ausreichender Stichprobenumfang zur Verfügung stand und man darüber hinaus mit einer Interpolation der Stützpunkte direkt die Amplitude des lateralen Spurverlaufs und somit die primär gesuchte Grösse beeinflussen würde, wurde von dieser Überlegung Abstand genommen.

3.4 Methodik der Datenanalyse

Die Analyse der Daten erfolgt durch die Gegenüberstellung der Parameter des Spurverhaltens in Kapitel 4.1.34. Bei den Untersuchungen zum seitlichen Bewegungsspielraum sind dies Amplitude und Lage der Fahrzeugtrajektorien. Zur Bestimmung der Begegnungszuschläge werden zusätzlich die Distanzen zweier sich begegnender Fahrzeuge hinzugezogen.

3.4.1 Vorgehen

Die *Amplitude der Spur bzw. der Fahrzeugtrajektorie* wird aus der Differenz von maximaler und minimaler Spurlage auf einer Strecke gebildet. Sie wird durch den Mittelwert (μ) der Spuramplituden der einzelnen Fahrzeuge, die zugehörige Standardabweichung (σ) und das 85 %- bzw. 95 %-Quantil der Spuramplitude quantifiziert.

Die *Spurlage der Fahrzeuge bzw. die Lage der Fahrzeugtrajektorien* werden durch den Mittelwert definiert. Dieser ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel (μ) der Abstände zum Fahrbahnrand an den einzelnen Messpfosten. Die Streuung gibt das Mass der Ungleichmässigkeit wieder. Sie wird im Folgenden durch die Standardabweichung (σ) quantifiziert.

Aussagen zum *Gegenverkehrs- bzw. Überholzuschlag* können zum Einen anhand der Differenzen zwischen den Amplituden von Fahrzeugen mit und ohne Begegnung getätigt werden. Auch in diesem Fall wird die gesuchte Grösse durch den Mittelwert (μ), die zugehörige Standardabweichung (σ) und ein 85 %-Quantil der Datensätze definiert. Für die Fälle, in denen die Begegnungen im Bereich des Sensorfeldes detektiert wurden, können diese Zuschläge auch anhand der Begegnungsabstände bestimmt werden. Diese Methode dient in erster Linie zur Validierung der, auf Basis der Bewegungsspielräume, aufgezeigten Zuschläge.

Massgebende Quantile der Spuramplitude

Neben dem arithmetischen Mittel werden Quantile der Spuramplituden betrachtet. Diese entsprechen der Amplitude, welche von einem definierten Anteil der Fahrzeuge erreicht oder unterschritten wird. Eine Analyse dieser Anteile anhand ausgewählter Strecken wurde in der Forschungsarbeit zum lateralen Fahrverhalten [Santel, 2010] durchgeführt. In Anlehnung an diese Ergebnisse sowie die von STAUBER und NÄF in der Forschungsarbeit zur Geometrie von Parkierungsanlagen [Staubert, 2005] gewählten Quantile, wurden neben dem arithmetischen Mittel (μ) und der Standardabweichung (σ) auch das 85 %- und das 95 %-Quantil der Spuramplitude betrachtet. Wie aus den Verteilungen und Tabellen in Anhang I ersichtlich ist, kann das 95 %-Quantil als Obergrenze der massgebenden Amplituden betrachtet werden. Amplituden, welche diesen Wert überschreiten, sind als nicht relevant anzusehen, da diese entweder einem externen Ereignis von kurzer Dauer oder einer bewussten Handlung zuzuschreiben sind. Wie bei Bemessungen üblich wird das 85 %-Quantil als massgebend erachtet. Dieser Wert für die Amplitude, welchen nur 15 % der Fahrzeuge überschritten haben, ist in Ziffer 3 als Grösse der massgebenden Spuramplitude angegeben.

Bestimmung der Gegenverkehrs- und Überholzuschläge

Zur Bestimmung der Gegenverkehrs- bzw. Überholzuschläge wurden zwei Verfahren in Erwägung gezogen. Zum Einen ist es möglich einen Rückschluss auf die Begegnungen mittels der Bewegungsspielräume von Fahrzeugen mit Begegnung und ohne Begegnung zu schliessen. Die Differenz der jeweiligen Bewegungsspielräume steht im Zusammenhang mit den Begegnungszuschlägen.

Zum Anderen können diese Zuschläge aus den vom Lasermesssystem erfassten lateralen Abständen zweier begegnender Fahrzeuge abgeleitet werden. Sie ergeben sich aus dem gemessenen Abstand abzüglich der jeweiligen Bewegungsspielräume.

Die Erkenntnisse zum Spurverhalten und insbesondere Erkenntnisse zum Einfluss allfälliger Begegnungen auf die Grösse der Spuramplituden (vgl. Ziffer 5.1.3) haben jedoch keinen signifikanten Einfluss von Begegnungen auf die Spuramplitude ergeben. Dies führt dazu, dass die Untersuchung der Begegnungszuschläge auf Basis der vom Lasermesssystem erfassten Abstände zweier sich begegnender Fahrzeuge durchgeführt wurde.

Analog zu den Spuramplituden werden die Einflüsse zuerst auf Basis der Mittelwerte beurteilt. Eine Quantifizierung erfolgt anschliessend in Ziffer 6 anhand der 85 %-Quantile.

3.4.2 Statistische Tests

Zur Beurteilung der Einflüsse wurden statistische Signifikanztests durchgeführt. Beim Vergleich zweier Streuungen wurden F-Tests vorgenommen. Einflüsse auf die Erwartungswerte wurden anhand ein- oder mehrfaktorieller ANOVA-Tests auf Signifikanz geprüft.

F-Test

Unter der Voraussetzung, dass zwei Stichproben normalverteilt und voneinander unabhängig sind, wird mittels des F-Tests geprüft, ob die Varianzen übereinstimmen oder signifikant voneinander abweichen.

Nullhypothese $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

Ausgehend von der Nullhypothese, die Varianzen beider Grundgesamtheiten sei gleich, wird die Testgrösse $F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$ ermittelt. Hierbei muss stets die grössere der beiden Streuungen im Zähler stehen. Mittels der Fisherschen F-Verteilung wird aus der Testgrösse F und den zugehörigen Freiheitsgraden m_1 und m_2 (mit $m_i = n_i - 1$) der p-Wert ermittelt. Dieser gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit welcher die Nullhypothese angenommen werden kann.

Einfache Varianzanalyse (ANOVA)

Auch die ANOVA setzt die Unabhängigkeit der Stichproben sowie die Abstammung aus einer normalverteilten Grundgesamtheit voraus.

Nullhypothese $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Die Summe der Abweichungsquadrate (SAQ) wird bei der Varianzanalyse in Summe der Abweichungsquadrate der Einzelwerte um die Stichprobenmittelwerte (SAQ innerhalb) und die Summe der Abweichungsquadrate um das Gesamtmittel (SAQ zwischen) zerlegt. Mittels der Quotienten aus den SAQ ergeben sich die Varianzen (Mittlere Quadrate, MQ). Analog zum F-Test kann die Testgrösse ($F = MQ_{\text{zwischen}} / MQ_{\text{innerhalb}}$) bestimmt werden. Die Prüfung auf Signifikanz kann abschliessend mittels der Fisherschen F-Verteilung erfolgen.

Bei der Auswertung mit einem numerischen Datenanalysetool wird der p-Wert zumeist direkt bestimmt und ausgegeben. Die Wahrscheinlichkeit zur Annahme der Nullhypothese kann also abgelesen werden und es kann auf eine allfällige Signifikanz der Ergebnisse geschlossen werden.

Multivariate Varianzanalyse (MANOVA)

Bei der multivariaten ANOVA werden statt einer abhängigen Variable mehrere Variablen einbezogen.

Nullhypothese $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots = \mu_k$

Während bei der univariaten ANOVA die Summen der Abweichungsquadrate (SAQ) der Einzelwerte um den Stichprobenmittelwert (SAQ innerhalb) und der Stichprobenmittelwerte um das Gesamtmittel (SAQ zwischen) betrachtet werden, ergeben sich bei der multivariaten Untersuchung Matrizen für die Summen der Abweichungsquadrate „innerhalb“ und „zwischen“.

Die Auswertung erfolgt generell analog zur univariaten ANOVA.

Signifikanzniveau

Das Signifikanzniveau (α) ist in grossem Masse abhängig von der Teststärke der erhobenen Stichproben. Durch die möglichst überlagerungsfreie Betrachtung der einzelnen Einflüsse reduziert sich die grosse Gesamtteststärke für einzelne Untersuchungsstrecken deutlich. Es ergeben sich jedoch weiterhin ausreichend grosse Stichprobenumfänge, um eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % ($\alpha = 0.01$) für den Test des Signifikanzniveaus zu wählen.

Normalverteilung

Da alle angeführten Tests eine normalverteilte Grundgesamtheit voraussetzen wurden vorgängig alle Stichproben auf die Anpassungsgüte bezüglich einer idealen Normalverteilung geprüft.

Die Daten wurden hierzu in 5 cm-Klassen eingeteilt. Die daraus resultierenden Häufigkeitsverteilungen wurden jeweils mit dem Chi-Quadrat-Test unter Berücksichtigung des Signifikanzniveaus ($\alpha = 0.01$) auf ihre Verteilung getestet, sofern der vorliegende Stichprobenumfang dies zulies.

4 Messergebnisse

Nachfolgend werden die ausgewerteten Messungen der Untersuchungsstrecken beschrieben. Im Einzelnen wird auf die vier Erhebungsbereiche eingegangen:

- Amplitude der Fahrzeugtrajektorien
- Lage der Fahrzeugtrajektorien
- Geschwindigkeitsniveau
- Begegnungsabstände

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt separat für die Streckentypen in Abhängigkeit des jeweiligen Geschwindigkeitsregimes. Die Zusammenhänge und Einflüsse werden in Kapitel 5 analysiert und statistisch beurteilt.

4.1 Ergebnisse für Strecken ausserorts

Die Ergebnisse für diese Streckenkategorie beziehen sich auf die in Ziffer 2.4.1 aufgeführten Strecken mit den entsprechenden Eigenschaften. Unter anderem gilt auf den zweistreifigen Strecken dieser Kategorie eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 oder 100 km/h.

Im ANHANG I sind je Strecke die wichtigsten Charakteristika wie Fahrstreifenbreite, allfällige Hindernisse, Tempolimits, Verkehrsbelastung und LW-Anteil angegeben. In tabellarischer Form folgen Angaben zur Spur- und Geschwindigkeitsverhalten sowie die Ergebnisse zur Lage der Fahrzeugtrajektorie. A_m bezeichnet die mittlere Amplitude und $A_{95\%}$ bzw. $A_{85\%}$ die Amplitude, welche von 95 % bzw. 85 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird. Analog bezeichnet V_m die mittlere Geschwindigkeit und $V_{85\%}$ die Geschwindigkeit, welche von 85 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird. Die $V_{85\%}$ repräsentiert die Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge. Die Standardabweichung der Amplitude wird als S_A angegeben, die der Geschwindigkeit als S_V .

Unterschieden werden die Fahrzeuggruppen Personenwagen (PW), Lastwagen und Busse (LW) und Andere. In der Gruppe „Andere“ sind per Definition aus Ziffer 3.2 die Fahrzeugtypen Zweirad, Lieferfahrzeuge und Zugfahrzeuge sowie sonstige Fahrzeuge zusammengefasst.

Des Weiteren wird zwischen frei fahrenden Fahrzeugen, Fahrzeugen mit Begegnung und Fahrzeugen im Pulk differenziert. Bei Fahrzeugpulk gilt jeweils das erste Fahrzeug, also der Anführer des Pulks, als frei fahrend. Seine Geschwindigkeit und sein Fahrverhalten werden nicht von vorausfahrenden Fahrzeugen beeinflusst. Das zweite bis n-te Fahrzeug wird beeinflusst und gilt als Fahrzeug im Pulk. Die Zeitlücke, ab welcher ein Fahrer nicht mehr vom vorausfahrenden Fahrzeug beeinflusst wird, wird gemäss Ziffer 2.6.1 für die Tempolimits 80 km/h mit 4 Sekunden angenommen.

4.1.1 Spuramplitude und Geschwindigkeitsniveau

Die bemessungsrelevante Spuramplitude, welche gemäss Ziffer 3.4.1 durch das 85 %-Quantil der Fahrzeugtrajektorien beschrieben wird, ist für alle frei fahrenden Personenwagen ohne Begegnungen auf Ausserortsstrecken in Tabelle 24 zusammengestellt ($A_{85\%}$). Ausserdem sind dort die Standardabweichung der Spuramplitude (S_A), die mittlere Geschwindigkeit (V_m) und die Standardabweichung der Geschwindigkeit (S_V) der Fahrzeuge auf den einzelnen Messstrecken angegeben. Die Messstrecken sind dabei nach der Fahrstreifenbreite sortiert. Bei den angegebenen Werten sind die stark variierenden Stichprobenumfänge (n) zu beachten. Insbesondere an Strecken mit hoher Verkehrsbelastung ergaben sich nur wenig frei fahrende Fahrzeuge.

Die zur Quantifizierung des Bewegungsspielraums massgebenden 85%-Spuramplituden für Personenwagen variieren zwischen 44.4 cm und 100.2 cm. Die grössten Werte resultieren auf den Autostrassen (Strecken Litt1 und Litt2) mit Tempolimits 100 km/h. Der ge-

wichtete Mittelwert ergibt sich zu 75.3 cm. Die grossen Differenzen zwischen den einzelnen Strecken haben ihre Begründung in den Einflüssen, resultierend aus den Streckencharakteristiken sowie den Kenngrössen des Verkehrsablaufs. Deutlich ersichtlich ist ausserdem eine Abhängigkeit der Bewegungsamplitude ($A_{85\%}$) und der Standardabweichung der Amplitude (S_A). Die Standardabweichung der Amplitude schwankt zwischen 14.5 cm und 29.2 cm. Im Mittel, bezogen auf die einzelnen Personenwagen, liegt sie bei 22.2 cm.

Die mittlere Geschwindigkeit für frei fahrende Personenwagen entspricht an allen Untersuchungsstrecken den bei Tempolimit 80 km/h erwarteten Werten. Sie variiert zwischen 71.4 km/h und 82.3 km/h mit einem Mittelwert über alle Fahrzeuge von 77.4 km/h. Für die zwei Strecken bei Littau ergibt sich durch das Geschwindigkeitsregime von 100 km/h eine höhere mittlere Geschwindigkeit. Mit einem Mittel von 99.6 km/h liegt diese jedoch ebenso im erwarteten Geschwindigkeitsbereich. Die Standardabweichung bei der Geschwindigkeitsverteilung beträgt im Mittel 7.2 km/h.

Tabelle 24: Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden PW an Ausserortsstrecken

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	$A_{85\%}$ [cm]	S_A [cm]	V_m [km/h]	S_v [km/h]
Hünt	2.63	113	80.2	21.6	75.1	8.7
Stei	2.65	81	65.0	17.8	78.2	8.2
Künt	2.70	149	56.5	18.3	81.1	7.0
Emb	3.00	146	65.3	20.7	77.4	7.9
Unee	3.05	188	64.0	19.7	80.1	8.0
Flaa	3.10	47	73.0	22.1	70.8	9.0
Aar2	3.35	81	64.0	16.4	75.9	6.0
Kreu	3.40	192	65.1	20.7	78.9	7.8
Büla	3.60	74	44.4	14.9	73.5	6.7
Diel3	3.60	119	67.1	20.4	80.9	9.2
Aar1	3.70	31	82.4	22.7	82.3	6.4
WehnA (hell)	3.80	27	48.7	14.5	72.1	5.3
WehnB (dunkel)	3.80	116	70.9	22.9	75.8	6.3
Diel2	3.85	123	57.9	16.4	77.9	6.0
Diel1	3.90	102	75.5	21.4	79.3	5.7
Dies	3.90	121	87.6	28.9	80.4	7.2
Thay	3.90	65	84.7	22.8	82.1	6.2
Litt1	3.90	214	96.0	26.0	99.8	7.8
Litt2	3.90	208	100.2	29.2	99.4	7.2
Affo1	4.25	132	68.2	19.8	77.7	6.5
Affo2	4.25	165	74.2	23.2	77.0	7.7
Par	4.40	115	64.0	20.0	81.9	7.5
MumA (hell)	4.50	189	82.3	25.2	75.3	6.3
MumB (dunkel)	4.50	209	92.1	24.5	75.5	7.4
Beri	4.80	207	84.0	24.2	71.4	6.7
arithm. Mittel	3.70	129	72.5	21.4	79.2	7.1
gew. Mittel			75.3	22.2	80.3	7.2

Auffällig sind an dieser Stelle bereits die Unterschiede im Spurverhalten für die Erhebungen bei Dunkelheit (Strecken MumB und WehnB). Die Messungen bei Tageslicht (Strecken MumA und WehnA) weisen in beiden Fällen geringere Spuramplituden auf als bei Dunkelheit. Im Geschwindigkeitsverhalten sind hingegen nur geringfügige Unterschiede

zu verzeichnen. Abgesehen von den Lichtverhältnissen fanden keine Änderungen im Versuchslayout statt.

Analog zeigt Tabelle 25 den Bewegungsspielraum für frei fahrende Lastwagen. Stärker als bei den Personenwagen muss hier die jeweilige Stichprobengrösse berücksichtigt werden. Im Mittel konnten nur acht Fahrzeuge pro Strecke als frei fahrend detektiert werden. Generell ist jedoch ersichtlich, dass die Bewegungsamplituden mit einem Mittelwert von 60.7 cm deutlich geringer ausfallen, als die der frei fahrenden Personenwagen. Auch die Streuung der Amplituden fällt mit 18.1 cm im Mittel geringer aus.

Erwartungsgemäss liegen die mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h für die Lastwagen mit durchschnittlich 74.5 km/h unter denen der Personenwagen. Für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h beträgt das Mittel 87.6 km/h und die Streuung fällt mit 6.3 km/h geringfügig kleiner aus als bei den Personenwagen. Dies bedeutet, dass ein beträchtlicher Teil der LW schneller fuhr als die zulässige Höchstgeschwindigkeit für diese Fahrzeugkategorie (80 km/h).

Tabelle 25: Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden LW an Ausserortsstrecken

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	A _{85%} [cm]	S _A [cm]	V _m [km/h]	S _v [km/h]
Hünt	2.63	4	60.6	24.2	73.7	3.6
Stei	2.65	1	54.6	-	55.0	-
Künt	2.70	4	37.6	15.3	76.2	8.1
Emb	3.00	9	45.8	12.2	69.2	7.9
Unee	3.05	14	74.2	26.5	78.1	6.8
Flaa	3.10	1	39.5	-	74.1	-
Aar2	3.35	8	39.5	19.0	79.7	4.1
Kreu	3.40	14	47.0	19.8	72.7	10.5
Büla	3.60	10	33.8	11.2	74.5	8.3
Diel3	3.60	1	13.3	-	77.4	-
Aar1	3.70	7	74.0	18.3	76.7	8.4
WehnA (hell)	3.80	7	37.8	11.8	70.8	5.1
WehnB (dunkel)	3.80	3	50.0	21.4	70.3	6.5
Diel2	3.85	7	46.0	11.2	76.6	4.1
Diel1	3.90	9	43.3	11.6	76.3	5.8
Dies	3.90	4	65.4	15.7	75.4	7.1
Thay	3.90	26	58.3	17.4	77.9	6.4
Litt1	3.90	29	85.6	21.6	87.9	4.9
Litt2	3.90	15	66.6	15.5	87.1	2.2
Affo1	4.25	7	56.0	10.5	73.0	9.0
Affo2	4.25	11	52.8	10.4	79.7	8.9
Par	4.40	2	34.5	7.8	79.8	6.0
MumA (hell)	4.50	9	101.2	31.9	67.2	5.1
MumB (dunkel)	4.50	4	93.6	35.0	72.9	7.3
Beri	4.80	13	61.5	21.2	67.1	5.5
arithm. Mittel	3.70	8	54.9	17.7	74.8	6.4
gew. Mittel			60.7	18.1	77.1	6.3

Die deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Strecken, sowohl bei den Personenwagen als auch bei den Lastwagen, zeigen an, dass der Bewegungsspielraum von weiteren Faktoren wesentlich beeinflusst wird. Diese Einflüsse werden unter Ziffer 5.1 un-

tersucht.

In Tabelle 26 sind zusammenfassend die gewichteten Mittelwerte der massgebenden Spuramplituden ($A_{85\%}$) und der mittleren Geschwindigkeiten (V_m) für die zwei Fahrzeugkategorien PW und LW auf den Ausserortsstrecken angegeben. Aus dem Vergleich zwischen PW und LW ist ersichtlich, dass auf Strecken mit Tempolimite 80 km/h die massgebende Spuramplitude der LW um 15.7 cm (-21.9 %) kleiner ist als jene der PW, während die mittlere Geschwindigkeit nur 2.9 km/h (-3.7 %) niedriger liegt.

Bei Tempolimite 100 km/h ist die mittlere Spuramplitude der LW sogar um 19.0 cm geringer (-19.4 %) als jene der PW. Hier ist jedoch der grössere Unterschied der mittleren Geschwindigkeiten zu beachten. Die LW fahren im Mittel um 12.0 km/h langsamer (-12.2 %), als die PW. Dies ist der generellen Geschwindigkeitsbegrenzung auf 80 km/h für LW zuzuschreiben.

Bei Tempolimite 100 km/h ergibt sich für PW eine um 26.3 cm (36.6 %) grössere mittlere Spuramplitude als bei Tempolimite 80 km/h. Die mittlere Geschwindigkeit liegt bei Tempolimite 100 km/h um 22.2 km/h (28.7 %) über jener bei Tempolimite 80 km/h. Bei LW beträgt die Differenz der Spuramplituden zwischen Tempolimite 80 km/h und 100 km/h 23.0 cm (41.0 %) und die Differenz der Geschwindigkeiten 13.1 km/h (17.6 %).

Tabelle 26: Gewichtete Mittelwerte der massgebenden Spuramplituden und der mittleren Geschwindigkeiten für Ausserortsstrecken

Ausserortsstrecken	Gewichtete Mittelwerte			
	Personenwagen		Lastwagen	
	$A_{85\%}$ [cm]	V_m [km/h]	$A_{85\%}$ [cm]	V_m [km/h]
Tempolimite 80 km/h	71.8	77.4	56.1	74.5
Tempolimite 100 km/h	98.1	99.6	79.1	87.6

4.1.2 Lage der Fahrzeugtrajektorien

Die Fahrzeugspur beschreibt die laterale Lageänderung im Verlauf der Messstrecke. Daraus wurde für jedes Fahrzeug seine mittlere laterale Lage im Fahrstreifen berechnet und anschliessend für eine Teilmenge von Fahrzeugen gemittelt. Die Lage der Fahrzeugtrajektorien bezieht sich dabei auf die Längsachse der Fahrzeuge. Nachfolgend wird anstatt des absoluten Abstands zum Strassenrand die Abweichung der mittleren Lage der Fahrzeugtrajektorien von der Fahrstreifenmitte betrachtet (vgl. Abbildung 24). Ein positiver Wert bedeutet eine von der Fahrstreifenmitte nach links versetzte Lage, ein negativer Wert eine nach rechts abweichende Lage der mittleren Fahrzeugtrajektorie. Wie schon bei der vorangegangenen Betrachtung der Spuramplituden und des Geschwindigkeitsniveaus werden die Ergebnisse bezüglich der Lage der Fahrzeugtrajektorie getrennt für Personen- und Lastwagen behandelt.

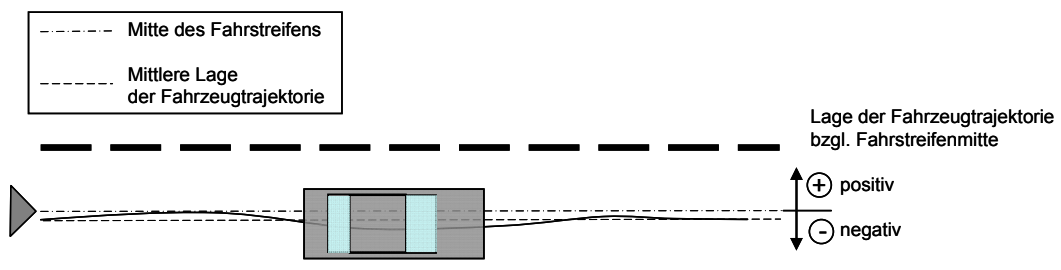


Abbildung 24: Schematische Darstellung zur Lage der Fahrzeugtrajektorie

In Tabelle 27 sind je Strecke für die angegebene Fahrzeugzahl (n) die Mittelwerte der Abweichung der mittleren Lage der Fahrzeugtrajektorien von der Fahrstreifenmitte mit den entsprechenden Vorzeichen angegeben. Dabei werden die drei Fälle „frei fahrend“,

„mit Begegnung“ und „im Pulk“ unterschieden. Weitere Kennwerte, wie zum Beispiel die mittleren Standardabweichungen von der Fahrzeuglage, sind im ANHANG I für die einzelnen Untersuchungsstrecken angegeben.

Tabelle 27: Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, ausserorts

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Hünt	2.63	113	29.5	34	17.2	28	18.3
Stei	2.65	88	26.2	7	13.9	13	24.2
Künt	2.70	149	23.0	41	9.6	30	18.7
Emb	3.00	146	9.7	56	-0.6	35	6.3
Unee	3.05	188	32.1	60	21.6	67	27.8
Flaa	3.10	47	49.2	6	15.2	11	26.3
Aar2	3.35	81	15.1	88	8.8	215	8.6
Kreu	3.40	192	21.0	109	15.5	111	18.6
Büla	3.60	74	-0.9	230	-4.0	913	-3.7
Diel3	3.60	119	12.6	61	7.9	32	11.9
Aar1	3.70	31	21.5	111	15.6	216	15.7
WehnA (hell)	3.80	27	9.3	192	7.4	651	8.0
WehnB (dunkel)	3.80	116	24.0	188	13.2	312	17.2
Diel2	3.85	123	1.4	155	0.6	255	2.1
Diel1	3.90	102	7.3	137	1.3	139	8.6
Dies	3.90	121	21.7	59	15.3	174	20.8
Thay	3.90	65	6.8	110	-2.4	424	4.6
Litt1	3.90	214	-9.1	58	-25.2	266	-17.3
Litt2	3.90	208	7.6	58	-5.6	288	7.2
Affo1	4.25	80	26.0	132	38.0	97	32.4
Affo2	4.25	165	16.2	76	8.9	81	13.6
Par	4.40	115	-15.5	85	-21.3	112	-13.4
MumA (hell)	4.50	189	-4.4	150	-15.7	162	-10.9
MumB (dunkel)	4.50	209	4.6	170	-7.9	241	-3.9
Beri	4.80	207	10.1	182	2.1	266	5.6
arithm. Mittel	3.70	127	13.8	102	5.2	206	9.9
gew. Mittel			13.8		4.0		5.4

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Aus der Tabelle ist die teilweise beträchtliche Streuung der Spurlagen zwischen den einzelnen Strecken ersichtlich. Im Fall „frei fahrend“ variieren die Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugtrajektorie von der Fahrstreifenmitte zwischen -15.5 cm (rechts der Fahrstreifenmitte) und +49.2 cm (links der Fahrstreifenmitte). Dabei häufen sich in diesem Fall die grössten positiven Abweichungen bei jenen Strecken, welche die schmalsten Fahrstreifen aufweisen.

Ersichtlich sind aus dieser Aufstellung auch die abweichenden Spurlagen für die drei aufgeführten Fälle. Während die frei fahrenden Personenwagen im gewichteten Mittel 13.8 cm links von der Fahrstreifenmitte fahren, verlagert sich die Spur im Begegnungsfall um 9.8 cm nach rechts. Es ist also ein ausweichendes Spurverhalten zum Fahrbahnrand festzustellen. Eine ähnliche Verlagerung ergibt sich auch für Fahrzeuge, welche als zweites bis n-tes Fahrzeug in einem Fahrzeugpulk fahren. Diese Kategorie enthält alle Fahrzeuge im Pulk, unabhängig davon, ob eine Begegnung mit entgegenkommenden Fahrzeugen stattfindet oder nicht. Eine gesonderte Auswertung des Fahrverhaltens für Fahr-

zeuge „im Pulk“ und „frei fahrend“ ist somit angezeigt.

Bei Dunkelheit verlagert sich die Fahrspur in Richtung Fahrbahnmitte. An beiden Strecken ist eine deutliche Verlagerung ersichtlich. Die frei fahrenden Fahrzeuge fahren in Mumpf (Mum) um 9.0 cm weiter links und auf der Wehntalerstrasse (Wehn) um 14.7 cm weiter links. Die gleichen Verschiebungseffekte ergaben sich auch bei den Fällen „mit Begegnung“ und „im Pulk“. Die Orientierung zur Fahrbahnmitte bewirkt eine grössere Distanz zum rechten Fahrbahnrand und somit einen zusätzlichen Sicherheitsabstand zu all-fälligen Hindernissen im nicht beleuchteten Seitenraum.

Analog zu PW ist die Spurlage der Lastwagen in Tabelle 28 angegeben. Wiederum muss bei der Betrachtung der Lastwagen beachtet werden, dass an vielen Strecken nur eine äusserst geringe Anzahl Fahrzeuge erhoben werden konnte. Die Daten geben somit eher einen qualitativen Trend an, als dass sie statistisch gesicherte Aussagen ermöglichen.

Tabelle 28: Mittlere Spurlage der LW relativ zur Fahrstreifenmitte, ausserorts

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Hünt	2.63	4	48.9	1	45.4	0	
Stei	2.65	1	52.5	0		0	
Künt	2.70	4	36.2	0		0	
Emb	3.00	9	16.7	1	10.0	0	
Unee	3.05	14	33.3	2	26.4	1	24.6
Flaa	3.10	1	57.4	3	38.8	0	
Aar2	3.35	8	18.6	13	20.2	7	18.5
Kreu	3.40	14	22.8	15	17.9	6	21.8
Büla	3.60	10	7.0	55	3.0	24	1.6
Diel3	3.60	1	5.3	6	15.4	1	2.7
Aar1	3.70	7	36.5	27	18.6	6	17.8
WehnA (hell)	3.80	7	12.4	58	14.6	38	13.7
WehnB (dunkel)	3.80	3	14.4	6	31.0	1	36.3
Diel2	3.85	7	15.6	10	9.7	11	14.2
Diel1	3.90	9	14.1	8	23.7	7	15.5
Dies	3.90	4	23.0	8	20.4	5	26.1
Thay	3.90	26	7.0	38	-1.9	29	3.1
Litt1	3.90	29	-7.4	7	-13.5	16	-9.9
Litt2	3.90	15	3.0	6	-2.0	9	6.1
Affo1	4.25	7	31.3	7	32.3	0	
Affo2	4.25	11	-5.1	0		1	-2.2
Par	4.40	2	-8.8	0		2	-1.9
MumA (hell)	4.50	9	-12.9	11	-17.7	2	-31.2
MumB (dunkel)	4.50	4	-3.8	3	-4.3	0	
Beri	4.80	13	28.6	12	20.0	5	15.1
arithm. Mittel	3.70	9	17.9	12	14.7	7	9.6
gew. Mittel			15.6		10.8		9.4

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Wie bei den Personenwagen kann auch bei den Lastwagen im Begegnungsfall und bei Fahrten im Pulk eine Verschiebung der mittleren Fahrspur um ca. 5 bis 6 cm nach rechts in Richtung zur Fahrstreifenmitte festgestellt werden.

Bei Dunkelheit kann generell festgestellt werden, dass die Lastwagen ebenso wie die übrigen Fahrzeuge sich eher an der Fahrbahnmitte orientieren. Dabei sind die Unterschiede zwischen „hell“ und „dunkel“ beim Zustand „mit Begegnung“ deutlicher als beim Zustand „frei fahrend“.

4.1.3 Begegnungsabstände

Im Falle einer Begegnung wurde den Fahrzeugen in der Datenbank das Attribut „Begegnung“ zugewiesen. Neben dem Attribut werden dem Datensatz im Begegnungsfall auch der Fahrzeugtyp und die Abmessungen des begegnenden Fahrzeugs, der Ort der Begegnung, die Geschwindigkeiten sowie der Abstand zwischen den begegnenden Fahrzeugen angefügt. Diese Parameter ergeben sich jedoch nur für eine Begegnung im Sensorfeld. Findet die Begegnung ausserhalb des Erfassungsbereiches, aber innerhalb der Messstrecke statt, wird lediglich das Attribut „Begegnung“ gesetzt, um die Einflüsse auf das Fahr- und Spurverhalten der Fahrzeuge auszuwerten. Die Beeinflussungsgrenze, ab welcher ein Fahrzeug durch eine Begegnung ausserhalb des Sensorfeldes beeinflusst wird, wird über ein Zeitfenster definiert. Dies entspricht einer Extrapolation über die Grenzen des Erfassungsbereiches hinaus.

Die Tabelle 29 zeigt die Begegnungseigenschaften für die Untersuchungsstrecken an Ausserortsstrassen. In den linken Spalten sind die Anzahl der detektierten Begegnungen angegeben. Es wird unterschieden zwischen der Gesamtzahl der Begegnungen und derer, bei welchen die Begegnung innerhalb des Sensorfeldes festgestellt und somit ein Begegnungsabstand erhoben werden konnte. Diese Zahlen weichen deutlich voneinander ab, da der Erfassungsbereich des Lasersensors nur einen beschränkten Teil der Messstrecke abdeckt. Im Mittel finden 28 % der Begegnungen im Sensorfeld statt. In erster Linie hängt die Begegnungshäufigkeit von den Verkehrsbelastungen in der Mess- und Gegenrichtung ab.

Weiter sind in der Tabelle die Begegnungen zwischen Personenwagen (PW) und solche mit Beteiligung eines Lastwagens (LW) angegeben. Es handelt sich hierbei nur um die Begegnungen, wo auch ein Begegnungsabstand detektiert werden konnte. Während bei den Begegnungen zwischen Personenwagen ausschliesslich Fahrzeuge dieser Klasse betrachtet werden, handelt es sich bei jenen mit Lastwagen um alle Begegnungen, an denen ein oder mehrere Lastwagen sowie Solo-Zugmaschinen und grössere Lieferfahrzeuge beteiligt waren.

Bedingt durch die unterschiedlichen Fahrbahnbreiten variieren die Begegnungsabstände deutlich. So liegen sie bei Begegnungen zwischen PW bei schmalen Fahrstreifen zwischen ca. 1.0 und 1.5 m, bei überbreiten Fahrstreifen zwischen ca. 2.0 und 2.5 m. Dies deutet auf einen Zusammenhang mit der Fahrstreifenbreite hin. Generell kann aber abgelesen werden, dass der Abstand zwischen zwei sich begegnenden Personenwagen deutlich grösser ist, als für den Fall, dass ein Lastwagen an der Begegnung beteiligt ist. Im Mittel über alle Fahrzeuge und alle Strecken beträgt der Abstand bei einer PW-Begegnung 2.09 m und bei einer Begegnung mit einem Lastwagen 1.73 m. Dies kann in erster Linie durch die grösseren Fahrzeugbreiten und die, durch die Fahrbahnbreite begrenzten, seitlichen Platzverhältnisse begründet werden. Generell muss bei der Interpretation der Ergebnisse der streckenweise eher geringe Stichprobenumfang berücksichtigt werden.

Tabelle 29: Mittlere Begegnungsabstände bei Tempolimit 80 km/h, ausserorts

Strecke	FS-Breite [m]	Anzahl Begegnungen		zwischen PW		mit LW	
		alle [-]	mit Abstand [-]	Anzahl [-]	Abstand [m]	Anzahl [-]	Abstand [m]
Hünt	2.63	45	15	11	1.11	3	1.09
Stei	2.65	13	5	3	1.06	1	1.16
Künt	2.70	53	14	4	1.00	3	0.67
Emb	3.00	87	26	13	1.49	6	1.17
Unee	3.05	95	35	11	1.25	12	1.10
Flaa	3.10	16	10	2	1.40	5	0.92
Aar2	3.35	274	74	24	1.75	16	1.42
Kreu	3.40	204	64	23	1.76	22	1.37
Büla	3.60	1282	299	52	1.92	68	1.37
Diel3	3.60	98	29	11	1.85	7	1.46
Aar1	3.70	405	97	24	1.95	31	1.59
WehnA (hell)	3.80	1053	260	63	2.08	88	1.71
WehnB (dunkel)	3.80	437	139	76	1.96	9	1.62
Diel2	3.85	366	142	59	2.12	52	1.80
Diel1	3.90	269	89	35	2.33	28	2.00
Dies	3.90	167	45	16	2.13	18	1.98
Thay	3.90	480	124	38	2.62	34	2.20
Litt1	3.90	144	38	12	2.37	22	2.22
Litt2	3.90	160	40	14	2.72	11	2.31
Affo1	4.25	128	49	23	2.60	5	2.17
Affo2	4.25	121	32	12	2.54	4	2.48
Par	4.40	160	57	23	2.36	6	1.97
MumA (hell)	4.50	297	89	27	2.03	22	1.79
MumB (dunkel)	4.50	346	91	26	2.15	10	1.68
Beri	4.80	355	108	29	2.49	22	2.09
arithm. Mittel	3.70	282	79	25	1.96	20	1.65
gew. Mittel					2.09		1.73

4.2 Ergebnisse für Strecken innerorts

Bei den Resultaten der Strecken innerorts wird vorab zwischen Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und denen mit zulässiger Geschwindigkeit von 30 km/h unterschieden. Die Ergebnisse werden jeweils in separaten Tabellen zusammengestellt.

4.2.1 Spuramplitude und Geschwindigkeitsniveau

Die Tabelle 30 und Tabelle 31 zeigen die entsprechenden Ergebnisse bezüglich der Spuramplitude von frei fahrenden Personenwagen für die Tempolimiten 50 km/h und 30 km/h.

Tabelle 30: Spuramplitude von frei fahrenden PW bei Tempolimite 50 km/h

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	A _{85%} [cm]	S _A [cm]	V _m [km/h]	S _v [km/h]
Mau	3.00	167	64.2	17.8	45.3	5.1
SHS	3.00	361	52.4	15.3	43.0	4.9
Bach	3.25	203	55.9	17.1	50.4	4.1
Schö	3.70	194	71.5	18.8	54.7	5.4
Näni	4.00	247	62.5	18.4	51.3	4.2
arithm. Mittel	3.39	234	61.3	17.5	48.9	4.8
gew. Mittel			60.0	17.2	48.3	4.7

Tabelle 31: Spuramplitude von frei fahrenden PW bei Tempolimite 30 km/h

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	A _{85%} [cm]	S _A [cm]	V _m [km/h]	S _v [km/h]
Zoll	2.25	168	52.1	15.2	36.6	6.1
Sonn	2.75	55	86.1	27.0	36.0	4.5
arithm. Mittel	2.50	112	69.1	21.1	36.3	5.3
gew. Mittel			60.5	18.1	36.4	5.7

Zwischen beiden Gruppen sind nur geringfügige Unterschiede auszumachen, ebenso innerhalb der Gruppe mit Tempolimite 50 km/h. Die beiden Untersuchungsstrecken bei Tempolimite 30 km/h weisen jedoch deutliche Unterschiede bezüglich der Spuramplitude (A_{85%}) auf, bei praktisch gleicher Geschwindigkeit (V_m). Diese Auffälligkeit scheint massgeblich durch das inhomogene Spurverhalten an der Strecke Sonneggstrasse (Sonn) bedingt zu sein. Angezeigt wird dies durch eine, für Innerortsverhältnisse grosse Standardabweichung (S_A) von 27.0 cm.

Bei Vernachlässigung der Untersuchungsstrecke Sonneggstrasse ist bereits eine deutliche Abhängigkeit der Spuramplituden der Personenwagen von der signalisierten sowie gefahrenen Geschwindigkeit zu erkennen. Liegt der gewichtete Mittelwert für die Strecken bei Tempolimite 80 km/h noch bei 72.0 cm, beträgt er für Strecken mit Tempolimite 50 km/h nur noch 60.0 cm und für die Strecke Zollikerstrasse mit Tempolimite 30 km/h sogar nur noch 52.1 cm. Demgegenüber ist bei den Strecken mit Tempolimiten von 50 und 30 km/h praktisch kein Zusammenhang zwischen der Grösse der Spuramplituden und der Fahrstreifenbreite vorhanden.

Die mittleren, gewichteten Geschwindigkeiten der Personenwagen entsprechen mit einer V_m von 48.3 km/h bei Tempolimite 50 km/h und 36.4 km/h bei Tempolimite 30 km/h den zu erwartenden Grössen. Allerdings ist der Anteil von PW, welche die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschreiten beträchtlich, vor allem bei den zwei Strecken mit Tempolimite 30 km/h.

Für frei fahrende Lastwagen entfällt die Auswertung für die Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h. An den beiden Untersuchungsstrecken konnten insgesamt nur drei frei fahrende Fahrzeuge der Kategorie Lastwagen erfasst und verfolgt werden. Auch bei den Strecken mit Tempolimite 50 km/h, welche in Tabelle 32 dargestellt sind, ist der teilweise recht geringe Stichprobenumfang zu berücksichtigen.

Bedingt durch die stark variierenden und zum Teil sehr geringen Stichprobengrössen ergibt sich für die Spuramplitude ein eher uneinheitliches Bild. Diese schwankt zwischen 29.0 cm in Bachenbülach (Bach) und 69.3 cm in Schöfflisdorf (Schö). Der Mittelwert von 46.9 cm bestätigt jedoch zum Einen die schon für Tempolimite 80 km/h festgestellte geringere Amplitude als für Personenwagen und zum Anderen die auch für Personenwagen attestierte Geschwindigkeitsabhängigkeit. Der gewichtete Mittelwert der Spuramplitude

für Lastwagen liegt bei Tempolimit 50 km/h ($A_{85\%} = 46.9$ cm) deutlich unter jenem bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ($A_{85\%} = 60.7$ cm, vgl. Tabelle 25).

Tabelle 32: Spuramplitude von frei fahrenden LW bei Tempolimit 50 km/h

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	$A_{85\%}$ [cm]	S_A [cm]	V_m [km/h]	S_v [km/h]
Mau	3.00	5	40.8	8.6	40.5	5.8
SHS	3.00	31	55.1	15.1	41.0	3.6
Bach	3.25	14	29.0	9.7	48.4	5.3
Schö	3.70	9	69.3	16.5	53.6	3.2
Näni	4.00	16	35.7	7.6	51.2	5.3
arithm. Mittel	3.39	15	46.0	11.5	46.9	4.6
gew. Mittel			46.9	12.2	46.0	4.4

4.2.2 Lage der Fahrzeugtrajektorien

Die Auswertung der Lage der Fahrzeugspuren bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erfolgt in Tabelle 33 und Tabelle 35 separat für Personen- und Lastwagen. Zusätzlich sind in Tabelle 34 die Spurlagen für die Untersuchungsstrecken mit Tempolimit 30 km/h angegeben. Wie in Ziffer 4.1.2 erfolgt hier die Betrachtung der lateralen Position bezüglich der Fahrstreifenmitte für die drei Fälle „frei fahrend“, „mit Begegnung“ und „im Pulk“.

Tabelle 33: Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, 50 km/h

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Mau	3.00	167	24.2	121	24.2	37	17.4
SHS	3.00	361	17.6	163	9.5	130	15.5
Bach	3.25	203	33.9	153	22.8	41	28.7
Schö	3.70	194	36.8	307	32.2	101	37.8
Näni	4.00	247	20.1	132	9.7	58	22.5
arithm. Mittel	3.39	234	26.5	175	19.7	73	24.4
gew. Mittel			25.1		21.8		24.4

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Die laterale Spurlage auf Strecken mit Tempolimit 50 km/h variiert erwartungsgemäss deutlich weniger als auf Strecken mit Tempolimit 80 km/h. Beispielsweise bei der Gruppe „frei fahrend“ beträgt die Streuung der Spurlagen zwischen dem kleinsten (17.6 cm) und grössten Wert (36.8 cm) lediglich 19.2 cm, während es auf den Ausserortsstrecken ca. 65 cm waren. Anders als auf Strecken ausserorts kommen hier nur positive Werte mit Lagen links der Fahrstreifenmitte vor.

Der Vergleich der drei Fälle zeigt, dass sich frei fahrende Fahrzeuge im Mittel 25.1 cm links von der Fahrstreifenachse befinden. Im Begegnungsfall verlagert sich die mittlere Spur um durchschnittlich 3.3 cm nach rechts. Der Abstand zur Fahrstreifenachse beträgt dann im Mittel noch 21.8 cm. Die Spurlage der Fahrzeuge im Pulk ergibt kein so deutliches Bild. Im Mittel liegt der Wert zwischen der Spurlage für frei fahrende Fahrzeuge und derer mit Begegnung. Jedoch kann dieser Trend nicht für die einzelnen Strecken bestätigt werden. Mögliche Einflüsse neben der Streckencharakteristik sind beispielsweise die Pulkgrösse sowie die Position des Fahrzeugs im Pulk.

Wie bei der Spuramplitude (vgl. Ziffer 4.2.1) ist auch bei der Spurlage auf Strassen innerorts mit Tempolimit 50 km/h kein Zusammenhang mit der Fahrstreifenbreite ersichtlich.

Tabelle 34: Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, 30 km/h

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Zoll	2.25	168	41.0	107	33.1	46	34.5
Sonn	2.75	55	51.8	56	43.8	5	35.9
arithm. Mittel	2.50	112	46.4	82	38.5	26	35.2
gew. Mittel			43.7		36.8		34.6

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Bedingt durch die deutlich geringere Fahrbahnbreite und somit auch sehr geringe Fahrstreifenbreite der Untersuchungsstrecken mit Tempolimit 30 km/h (vgl. Tabelle 34) ergibt sich eine stark nach links verschobene Lage der mittleren Fahrspur, die Spurlagen befinden sich bis zu 50 cm links der Fahrstreifenmitte. Dies hängt auch damit zusammen, dass auf den zwei Strecken keine Mittellinie (im Sinne eine Positionshilfe) markiert ist.

Auch die grosse Differenz zwischen der Lage der frei fahrenden Fahrzeuge und derer mit Begegnung ist auf die geringe Fahrstreifenbreite zurückzuführen. Die Fahrzeuglenker orientieren sich in der Situation ohne Begegnung in Richtung Fahrbahnmittle und müssen im Begegnungsfall deutlich nach rechts, in Richtung Fahrbahnrand ausweichen. Dies führt zu einer Differenz zwischen den gewichteten Mittelwerten beider Fahrzeuggruppen von 6.9 cm.

In Tabelle 35 sind die Ergebnisse für Lastwagen bei Tempolimit 50 km/h zusammengestellt. Bedingt durch ihre grössere Breite befinden sich ihre Spurlagen im Fall „frei fahrend“ deutlich mehr links der Fahrstreifenmitte als bei den PW. Dementsprechend verschieben sich die Spurlagen der LW im Fall „mit Begegnung“ deutlicher nach rechts (im Mittel um ca. 6 cm) als jene der PW (im Mittel um ca. 3 cm). Auch bei den Lastwagen ist kein Zusammenhang zwischen der Spurlage und der Fahrstreifenbreite ersichtlich. Der geringe Stichprobenumfang erlaubt jedoch an dieser Stelle nur eine qualitative Interpretation.

Tabelle 35: Mittlere Spurlage der LW relativ zur Fahrstreifenmitte, 50 km/h

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Mau	3.00	5	41.8	2	35.0	0	
SHS	3.00	31	22.7	20	19.0	1	22.4
Bach	3.25	14	34.3	13	21.9	0	
Schö	3.70	9	52.4	21	36.6	0	
Näni	4.00	16	30.0	8	16.2	3	13.1
arithm. Mittel	3.39	15	36.2	13	25.7	1	17.8
gew. Mittel			31.3		25.5		15.4

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Eine Untersuchung der Spurlage von Lastwagen bei Tempolimit 30 km/h ist nicht angezeigt. Weder konnten genügend Fahrzeuge an den Untersuchungsstrecken erhoben werden, noch sind diese massgebend für die Bemessung.

4.2.3 Begegnungsabstände

Für die Untersuchungsstrecken mit Tempolimit 50 km/h wurden 63 % der Begegnungen im Erfassungsbereich des Sensors detektiert. Von durchschnittlich 244 Begegnungen pro Messstrecke konnte bei 153 Begegnungen ein Abstand zwischen den kreuzenden Fahrzeugen ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 36 angegeben.

Tabelle 36: Mittlere Begegnungsabstände bei Tempolimite 50 km/h, innerorts

Strecke	FS-Breite [m]	Anzahl Begegnungen		zwischen PW		mit LW	
		alle [-]	mit Abstand [-]	Anzahl [-]	Abstand [m]	Anzahl [-]	Abstand [m]
Mau	3.00	155	80	41	1.39	13	1.14
SHS	3.00	350	346	113	1.26	70	0.98
Bach	3.25	201	100	34	1.54	19	1.31
Schö	3.70	359	159	93	1.96	24	1.60
Näni	4.00	157	79	36	2.04	17	2.00
arithm. Mittel	3.39	244	153	63	1.64	29	1.41
gew. Mittel					1.60		1.26

Die Begegnungsabstände auf den einzelnen Strecken variieren bei Begegnungen zwischen PW im Bereich zwischen 1.26 und 2.04 m, bei Begegnungen mit LW zwischen 0.98 und 2.00 m. Anders als bei den Spuramplituden (vgl. Ziffer 4.2.1) und den Spurlagen (vgl. Ziffer 4.2.2) zeigt sich bei den Begegnungsabständen eine relativ deutliche Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite der einzelnen Strecken.

Für den Begegnungsfall PW-PW ergibt sich ein mittlerer Abstand von 1.60 m. Dieser ist wie auch schon bei den Strecken mit Tempolimite 80 km/h deutlich grösser als der Abstand für den Begegnungsfall mit einem Lastwagen (Mittelwert 1.26 m).

Tabelle 37: Mittlere Begegnungsabstände bei Tempolimite 30 km/h, innerorts

Strecke	FS-Breite [m]	Anzahl Begegnungen		zwischen PW		mit LW	
		alle [-]	mit Abstand [-]	Anzahl [-]	Abstand [m]	Anzahl [-]	Abstand [m]
Zoll	2.25	172	85	28	1.05	5	0.86
Sonn	2.75	91	49	15	1.04	5	0.95
arithm. Mittel	2.50	132	67	22	1.04	5	0.90
gew. Mittel					1.04		0.90

Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h (vgl. Tabelle 37) ist ersichtlich, dass 67 von 132 detektierten Begegnungen im Sensorfeld stattfanden. Dies entspricht 51 %. Der Abstand zwischen zwei sich begegnenden Personenwagen beträgt im Mittel 1.04 m. Der Abstand im Begegnungsfall mit einem Lastwagen liegt mit einem Mittel von 0.90 m um 14 cm darunter. Diese Abstände sind auf den hier schmälere Fahrstreifen erwartungsgemäss kleiner als auf den Strecken mit Tempolimite 50 km/h.

4.3 Ergebnisse für Strecken auf Autobahnen

Alle betrachteten Strecken verfügen über zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung. Die Fahrtrichtungen sind durch eine Leitschranke in Mittellage getrennt. Mit Ausnahme der Strecke bei Thusis (Thus), an welcher die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h limitiert ist, gilt an den Untersuchungsstrecken eine Tempolimite von 120 km/h. Bei den Querschnittsausprägungen ist zudem zu berücksichtigen, dass auf den Strecken Thus und Klot keine Standstreifen vorhanden sind.

4.3.1 Spuramplitude und Geschwindigkeitsniveau

In Tabelle 38 und Tabelle 39 sind die Ergebnisse bezüglich der Spuramplituden und mittleren Geschwindigkeiten für frei fahrende Personenwagen sowie frei fahrende Lastwagen an Untersuchungsstrecken an Hochleistungsstrassen angegeben.

Tabelle 38: Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden PW auf Autobahnen

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	A _{85%} [cm]	S _A [cm]	V _m [km/h]	S _v [km/h]
Thus	3.50	289	87.9	28.6	99.0	7.8
Wigo	3.50	373	72.1	23.3	119.8	9.5
Klot	3.65	207	99.6	29.9	110.3	11.3
Horg	3.95	226	86.1	31.3	116.7	11.0
Frau	4.00	175	108.1	36.7	118.0	9.2
arithm. Mittel	3.72	254	90.8	30.0	112.7	9.8
gew. Mittel			87.6	28.9	112.7	9.6

Die Spuramplituden auf Autobahnen variieren zwischen ca. 72 und 108 cm. Ein Zusammenhang mit der Fahrstreifenbreite ist bei den fünf betrachteten Strecken nicht ersichtlich.

In Relation zu den Strecken ausserorts mit Tempolimit 80 bzw. 100 km/h und innerorts mit Tempolimit 50 bzw. 30 km/h bestätigen auch die Ergebnisse an Autobahnen die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Spuramplitude. Diese ist für frei fahrende Personenwagen mit einem Mittel von 87.6 cm deutlich grösser als bei Untersuchungsstrecken mit Tempolimit 80 km/h (75.3 cm). Auch die Streuung der Amplituden (S_A) ist mit 28.9 cm um 6.7 cm grösser als bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Die gemessenen Geschwindigkeiten und deren Standardabweichungen bei den Autobahnstrecken entsprechen den zu erwartenden Werten. So liegt der gewichtete Mittelwert von V_m bei Tempolimit 120 km/h bei ca. 117 km/h, respektive knapp unter 100 km/h für Tempolimit 100 km/h (Strecke Thus).

Tabelle 39: Spuramplituden und Geschwindigkeiten von frei fahrenden LW auf Autobahnen

Strecke	FS-Breite [m]	n [-]	A _{85%} [cm]	S _A [cm]	V _m [km/h]	S _v [km/h]
Thus	3.50	15	61.9	22.5	87.8	5.5
Wigo	3.50	14	52.3	27.8	90.8	4.4
Klot	3.65	29	66.5	19.2	88.1	3.7
Horg	3.95	9	55.1	15.0	87.7	3.7
Frau	4.00	21	85.6	30.9	90.2	3.6
arithm. Mittel	3.72	18	64.3	23.1	88.9	4.2
gew. Mittel			66.8	23.5	88.9	4.1

Analog zu den ersten Erkenntnissen bei Tempolimit 80 km/h und an Innerortsstrecken, ist verglichen mit der Spuramplitude von Personenwagen, auch an Autobahnen eine wesentlich geringere Spuramplitude bei frei fahrenden Lastwagen zu beobachten. Diese liegt mit einem gewichteten Mittel von 66.8 cm über der für frei fahrende Lastwagen bei Tempolimit 80 km/h (60.7 cm). Die mittlere Geschwindigkeit V_m ist mit 88.9 km/h wesentlich höher als an den Strecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (V_m = 77.1 km/h, vgl. Tabelle 25), obwohl für LW auf beiden Strassenkategorien die gleiche Höchstgeschwindigkeit (80 km/h) gilt. Dementsprechend ist die Nichteinhaltungsquote auf den Autobahnen sehr hoch. Allerdings sind hier - messtechnisch bedingt - auch Cars als „Lastwagen“ miteingefasst, für die als zulässige Höchstgeschwindigkeit 100 km/h gelten.

Wie zu erwarten, fällt der Mittelwert der Streuung der Geschwindigkeiten (S_v) mit 4.1 km/h deutlich geringer aus als an zuvor betrachteten Streckenkategorien. Allerdings muss hier wiederum die beschränkte Stichprobengrösse der ausgewerteten LW berücksichtigt werden.

4.3.2 Lage der Fahrzeugtrajektorien

Die Ergebnisse der Auswertung für die laterale Lage der Fahrzeugtrajektorien auf Autobahnen sind in der Tabelle 40 (für PW) und Tabelle 41 (für LW) zusammengestellt. Wie bei den vorherigen Kategorien werden auch hier drei Fälle „frei fahrend“, „mit Begegnung“ und „im Pulk“ unterschieden, wobei es sich hier bei den Begegnungen um Überholungen handelt. Für die Betrachtung der Ergebnisse ist von Bedeutung, dass zwei der zweistreifigen Autobahnstrecken mit einer Fahrstreifenbreite von 3.50 m (Thus und Klot) über keine Standstreifen verfügen, während die übrigen einen mindestens 2.50 m breiten Standstreifen aufweisen.

Wie aus Tabelle 40 ersichtlich, wurde für Personenwagen eine mittlere Spur im Bereich der Fahrbahnmitte (Abweichung 0.0 cm im Fall „frei fahrend“) ermittelt. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Strecken sind jedoch beträchtlich, wobei ein Zusammenhang mit den Fahrstreifenbreiten nicht vorliegt. Auffallenderweise befinden sich die Fahrzeugtrajektorien auf den zwei Strecken ohne Standstreifen links der Fahrstreifenmitte, während sie auf den übrigen Strecken mit Standstreifen rechts oder in der Fahrstreifenmitte liegen. Diese Situation resultiert bei allen drei betrachteten Fällen. Die Tatsache, dass die Links-Lage bei der Strecke „Thus“ weniger ausgeprägt ist als bei der Strecke „Klot“ dürfte damit zusammenhängen, dass bei der Strecke „Thus“ der Überholfahrstreifen mit 3.05 m stark reduziert ist, während er bei der Strecke „Klot“ eine Breite von 3.65 m aufweist.

Tabelle 40: Mittlere Spurlage der PW relativ zur Fahrstreifenmitte, Autobahnen

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Thus	3.50	289	9.9	17	5.5	493	11.3
Wigo	3.50	373	-13.7	5	-7.1	216	-12.9
Klot	3.65	207	35.4	18	31.2	362	32.4
Horg	3.95	226	-22.9	24	-27.3	469	-20.9
Frau	4.00	175	0.2	22	1.4	237	1.8
arithm. Mittel	3.72	254	1.8	17	0.7	355	2.3
gew. Mittel			0.0		-0.1		2.9

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Für die Fälle „mit Begegnung“ (bzw. Überholungen) und „im Pulk“ ergaben sich im Vergleich zum Fall „frei fahrend“ keine oder nur geringfügige Verschiebungen der mittleren Fahrzeugtrajektorie, wobei die Verhältnisse zwischen den einzelnen Strecken praktisch unverändert blieben.

Bei der Betrachtung der Mittelwerte fällt auf, dass die Fahrzeugspur auffallend nahe an der Fahrstreifenmitte liegt. Dieses Ergebnis weicht von jenen der bereits betrachteten Strassenkategorien deutlich ab. Beispielsweise ergab sich für den Fall „frei fahrend“ bei Autobahnen eine mittlere Abweichung von 0.0 cm, während ausserorts 13.8 cm und innerorts 25.1 cm (bei Tempolimit 50 km/h) bzw. 43.7 cm (bei Tempolimit 30 km/h) resultierten.

Für den Fall „mit Begegnung“ kann im Mittel keine Verschiebung der Spurlage festgestellt werden. Bei den Begegnungen handelt es sich an Autobahnen um Überholungen und nicht um entgegenkommende Fahrzeuge wie bei den vorangegangenen Betrachtungen. Fahrzeuge welche an zweiter bis n-ter Position im Pulk folgen, fahren geringfügig weiter links als frei fahrende Fahrzeuge.

Tabelle 41: Mittlere Spurlage der LW relativ zur Fahrstreifenmitte, Autobahnen

Strecke	FS-Breite [m]	frei fahrend		mit Begegnung		im Pulk	
		n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]	n [-]	Abweichung* [cm]
Thus	3.50	15	14.9	3	10.2	24	4.8
Wigo	3.50	14	-5.1	2	-13.0	7	-4.8
Klot	3.65	29	18.3	21	18.8	70	20.3
Horg	3.95	9	-26.2	10	-18.5	18	-21.3
Frau	4.00	21	-7.4	4	-12.6	37	-8.7
arithm. Mittel	3.72	18	-1.1	31	-1.9	31	-1.9
gew. Mittel			3.3		5.1		5.1

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Die Ergebnisse in Tabelle 41 zur Spurlage der Lastwagen auf Autobahnen bestätigen die bereits erkannten Zusammenhänge. So wird auch hier der Einfluss fehlender Standstreifen bei den Strecken Thus und Klot ähnlich deutlich wie bei den Personenwagen (Tabelle 40). Bedingt durch den grosszügig dimensionierten Strassenraum an Autobahnen, können im Mittel über alle Strecken nur geringe Unterschiede zwischen der Spurlage von frei fahrenden Lastwagen und der Spurlage mit Begegnung festgestellt werden.

Zwar ist der Stichprobenumfang, sowohl durch den höheren LW-Anteil als auch die grössere Querschnittsbelastung, geringfügig grösser als bei den zuvor untersuchten Streckentypen, jedoch sind auch hier die möglichen Aussagen eher qualitativer Natur.

4.3.3 Begegnungsabstände

Bedingt durch die Messmethodik und die Art der Begegnung (Überholung) ist die Anzahl der im Sensorfeld erfassten Begegnungen an Autobahnen etwas höher als auf Strassen mit Gegenverkehr. Dies zeigt sich darin, dass an diesen Strecken der Anteil der erhobenen Begegnungsabstände an den insgesamt detektierten Begegnungen deutlich höher liegt. Bei 96 % der detektierten Begegnungen war eine Bestimmung des Begegnungsabstandes mit dem Lasermesssystem möglich. Im Mittel konnte bei 115 von 120 Begegnungen an Autobahnen der Begegnungsabstand bestimmt werden. Tabelle 42 zeigt die entsprechenden Ergebnisse.

Tabelle 42: Mittlere Begegnungsabstände auf Autobahnen

Strecke	FS-Breite [m]	Anzahl Begegnungen		zwischen PW		mit LW	
		alle [-]	mit Abstand [-]	Anzahl [-]	Abstand [m]	Anzahl [-]	Abstand [m]
Thus	3.50	125	119	67	0.99	40	0.80
Wigo	3.50	18	18	4	1.84	6	1.25
Klot	3.65	210	198	58	1.57	93	1.52
Horg	3.95	150	145	59	1.86	38	1.56
Frau	4.00	98	94	55	1.95	25	1.90
arithm. Mittel	3.72	120	115	49	1.64	40	1.41
gew. Mittel					1.57		1.43

Die lateralen Überholabstände auf den einzelnen Strecken unterscheiden sich relativ wenig (z.B. zwischen PW nur 1.57 bis 1.95 m). Eine Ausnahme bildet die Strecke Thus, wo ein mittlerer Abstand von 0.99 m (zwischen PW) bzw. 0.80 m (mit LW) gemessen wurde. Dies ist die Folge des in Ziffer 4.3.2 bereits erwähnten, sehr schmalen Überholfahrstreifens (nur 3.05 m).

Wie auch schon bei den vorangegangenen Abstandsbetrachtungen ist ersichtlich, dass

der mittlere Begegnungsabstand für eine Begegnung von zwei Personenwagen mit 1.57 m grösser ist als bei der Begegnung mit einem Lastwagen mit 1.43 m. Bei den Ausserortsstrecken mit Gegenverkehr waren es mit 2.09 bzw. 1.73 cm deutlich grössere Abstände. Bedingt durch die vergleichsweise grosse Fahrstreifenbreite fällt die Differenz mit 14 cm jedoch eher gering aus (bei den Ausserortsstrecken waren es 36 cm). Auch die Art der Begegnung hat möglicherweise einen Einfluss auf den Abstand der sich begegnenden Fahrzeuge.

4.4 Ergebnisse an Strecken mit Trenninseln

Ziel der Erhebungen an Trenninseln ist die Untersuchung des Fahrverhaltens bei Begegnungen von Motorfahrzeugen und Fahrrädern. Unterschieden werden hierbei zwei grundlegende Begegnungsarten. Im ersten Fall nähert sich das schnellere Motorfahrzeug dem Fahrrad an. Während dieser Annäherung reduziert der Fahrzeuglenker die Geschwindigkeit und fährt hinter dem Fahrrad her, überholt dieses aber nicht. In diesem Fall ist die Distanz, mit welcher er hinter dem Fahrrad fährt, von Interesse.

Bei breiteren Fahrstreifen im Bereich der Trenninsel ist es allenfalls möglich, dass der Fahrzeuglenker zum Fahrrad aufschliesst und dieses überholt. In diesem Fall liegt ein besonderes Interesse im lateralen Abstand zwischen Motorfahrzeug und Fahrrad während des Überholvorganges.

Generell ist jedoch von Interesse, unter welchen Bedingungen der Lenker des Motorfahrzeuges dem Fahrrad folgt und unter welchen Bedingungen er dieses überholt. Mögliche Einflüsse auf dieses Verhalten sind die Fahrstreifenbreite im Bereich der Trenninsel, die Länge der Trenninsel und die Geschwindigkeit des Fahrrades sowie jene des Motorfahrzeuges.

Im Rahmen der Untersuchung wurden Merkmale zur Identifizierung von Fahrrädern festgelegt. Die Auswertung der Daten des Lasermesssystems hat gezeigt, dass bezüglich der Abmessungen von Zweirädern die in Ziffer 3.2 angegebenen Massen angewandt werden können. Demnach werden Objekte mit einer Länge von 0.40 m bis 2.50 m und einer Breite von 0.30 m bis zu 1.00 m als Zweiräder definiert. Diese stark differierenden Abmessungen tragen der Tatsache Rechnung, dass insbesondere bei Fahrrädern mit schmalen Laufrädern diese nicht zwangsläufig vom Lasersensor erfasst werden. Dies ist auf die Winkelauflösung des Messsystems von 1° zurückzuführen. In diesem Fall besteht das detektierte Objekt hauptsächlich aus den Pedalen zusammen mit den Beinen des Fahrradfahrers und Teilen der Rahmenkonstruktion. Diese Definition erlaubt die Unterscheidung von Zweirädern und zweispurigen Fahrzeugen. Allerdings ist hierdurch eine Unterscheidung von motorisierten Zweirädern und Fahrrädern nicht möglich. Um diese voneinander zu unterscheiden wurden die Geschwindigkeitsverteilungen untersucht und ein für nicht motorisierte Zweiräder typischer Geschwindigkeitsbereich definiert. Dieser erstreckt sich für alle sechs untersuchten Strecken von minimal 7.5 km/h bis maximal 37.5 km/h (vgl. Abbildung 25). Langsamere oder schnellere Fahrradfahrer konnten nicht beobachtet werden und haben auf Grund ihres atypischen Geschwindigkeitsverhaltens keine Aussagekraft für die vorliegende Arbeit.

Für die sechs Untersuchungsstrecken ergibt sich eine Gesamtzahl von 413 Fahrrädern, welche sich wie in Tabelle 43 dargestellt auf die einzelnen Strecken verteilen. Gründe für die stark unterschiedlichen Stichprobenumfänge sind insbesondere in der geografischen Lage der Strecken sowie in deren Einbindung in das Radverkehrsnetz der Stadt Zürich zu finden.

Tabelle 43: Detektierte Fahrräder an Untersuchungsstrecken

Strecke	Insellänge [m]	FS-Breite [m]	Fahrräder	
			Anzahl [-]	V_m [km/h]
Limm	66.00	3.00	112	22.3
Wein	60.00	3.30	101	24.3
Hofw	59.30	3.65	73	24.8
Alts	20.50	3.50	13	23.4
Wehni	8.10	3.50	33	24.7
Irch	8.00	3.80	81	19.1

Darüber hinaus hat die Lage der Strecken einen Einfluss auf die gefahrenen mittleren Geschwindigkeiten der Fahrräder. Insbesondere die Lage in einem leichten Gefälle beziehungsweise einer leichten Steigung oder im Anschluss an ein Gefälle oder eine Steigung führen zu unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus.

Nach der Filterung auf den gültigen Geschwindigkeitsbereich ergab sich für die 413 Fahrräder die in Abbildung 25 dargestellte Geschwindigkeitsverteilung. Die Abbildung zeigt die Häufigkeitsverteilung der Geschwindigkeiten aller sechs Untersuchungsstrecken bezogen auf 1 km/h-Geschwindigkeitsklassen. Für alle detektierten Fahrräder resultiert eine mittlere Geschwindigkeit von 22.8 km/h.

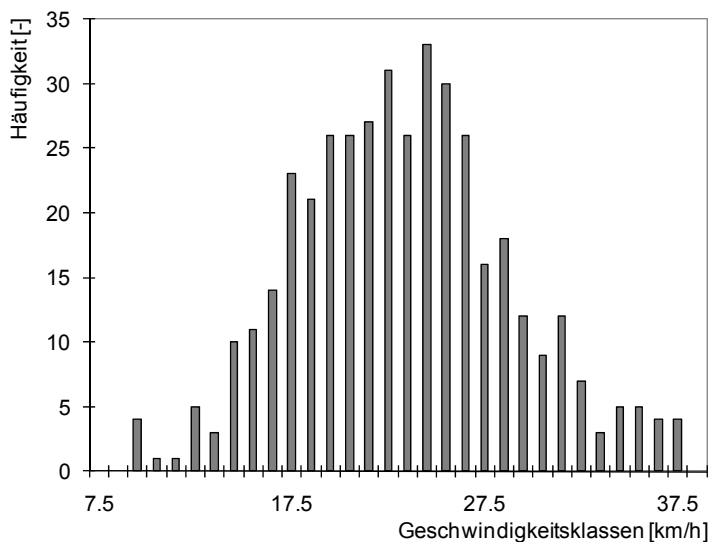


Abbildung 25: Geschwindigkeitsverteilung der Fahrräder

4.4.1 Begegnungen von Motorfahrzeugen und Fahrrädern

Bei den Begegnungen zwischen Motorfahrzeugen und Fahrrädern wird grundlegend zwischen zwei Interaktionen unterschieden. Eine mögliche Begegnung stellt der Überholvorgang eines Motorfahrzeuges dar. Dabei nähert sich das Motorfahrzeug von hinten an das Fahrrad an und überholt dieses mit gleichbleibender oder reduzierter Geschwindigkeit im Bereich der Insel. In der vorliegenden Untersuchung galt eine Interaktion als Überholvorgang, wenn sich das Motorfahrzeug im Bereich der Trenninsel auf gleicher Höhe, also neben dem Fahrrad befand. Soweit möglich wurde bei dieser Interaktion der laterale Abstand zwischen dem Fahrrad und dem Motorfahrzeug erhoben (vgl. Ziffer 4.4.3).

Der zweite betrachtete Begegnungsfall ist die „Behinderung“ eines Motorfahrzeuges durch ein langsames Fahrrad. In diesem Fall nähert sich das Fahrzeug ebenfalls von hinten an das Fahrrad an. Anstatt es zu überholen reduziert der Fahrer jedoch die Geschwindigkeit und verbleibt hinter dem Fahrrad. In diesem Fall wurde der longitudinale Abstand zwischen dem Fahrrad und dem nachfolgenden Motorfahrzeug erhoben (vgl. Ziffer 4.4.2).

Die Anzahl der jeweiligen Begegnungen ist aus Tabelle 44 ersichtlich. Insgesamt wurden 68 Begegnungen von Motorfahrzeugen und Fahrrädern beobachtet. Bei 59 dieser Begegnungen wurde das Motorfahrzeug durch das langsamere Fahrrad behindert. In neun Fällen kam es zu Überholungen durch Motorfahrzeuge (vgl. 4.4.3).

Tabelle 44: *Begegnungen von Motorfahrzeugen und Fahrrädern*

Strecke	Insel- länge [m]	Anzahl Fahr- räder [-]	Anzahl Über- holungen [-]	mittlerer Begegnungs- abstand [m]	Anzahl Behin- derungen [-]	mittlerer Fol- geabstand [m]
Limm	66.00	112			19	15.35
Wein	60.00	101			18	16.72
Hofw	59.30	73	1*	2.20	10	11.13
Alts	20.50	13	4	0.80	4	9.96
Wehni	8.10	33			2	5.79
Irch	8.00	81	5	0.63	6	6.84
Summe		413	10		59	

* Überholung durch Motorrad

4.4.2 Longitudinale Begegnungsabstände

Longitudinale Begegnungsabstände konnten für die 59 Begegnungen mit Behinderung erhoben werden. Wie bereits aus Tabelle 44 ersichtlich, schwanken die mittleren Folgeabstände zwischen 5.79 m und 16.72 m. Sie stehen in starker Abhängigkeit zur Insellänge. An kurzen Inseln fahren Motorfahrzeuge sehr nahe an die Fahrräder heran (Folgeabstand ca. 6 bis 7 m), bei langen Inseln sind die Folgeabstände ca. dreimal grösser und betragen bis zu einer halben Insellänge.

Die Zusammenhänge zwischen Insellänge und Folgeabstand sind in Abbildung 26 dargestellt. Es muss davon ausgegangen werden, dass neben der Insellänge auch weitere Faktoren, wie zum Beispiel die Fahrstreifenbreite und die Geschwindigkeiten, einen Einfluss auf den Folgeabstand haben. Eine detaillierte Betrachtung dieser Einflüsse erfolgt in Ziffer 5.2.

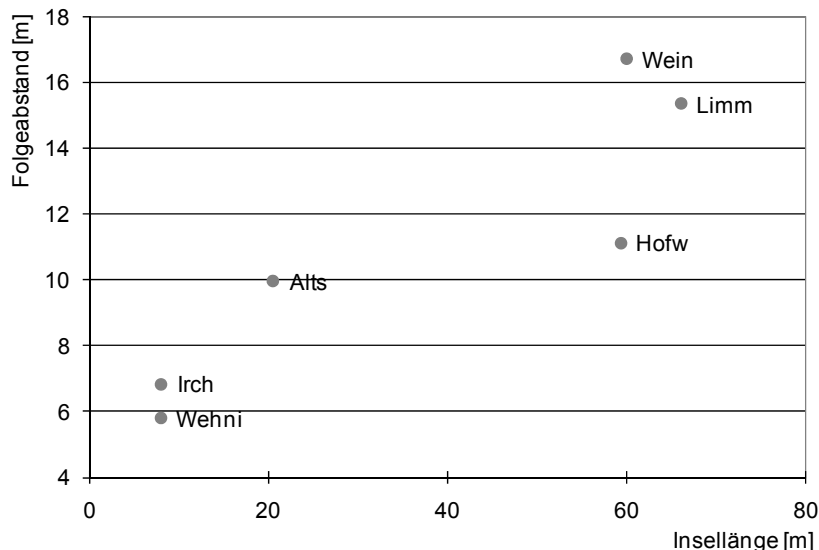


Abbildung 26: *Longitudinale Folgeabstände bei Behinderung*

4.4.3 Laterale Begegnungsabstände

Für insgesamt zehn Begegnungsfälle von Motorfahrzeugen und Fahrrädern konnten die lateralen Abstände während der Begegnung erhoben werden. Beim Begegnungsfall an der Untersuchungsstrecke Hofwiesenstrasse (Hofw) handelte es sich bei dem Motorfahr-

zeug jedoch um ein Motorrad. Der Begegnungsabstand fällt mit 2.20 m dementsprechend gross aus. Vier weitere Überholungen konnten an der Strecke Altstetterstrasse (Alts) detektiert werden. Im Mittel dieser vier Überholungen betrug der laterale Abstand zwischen Fahrrad und Motorfahrzeug 0.80 m. An der Untersuchungsstrecke Irchelstrasse (Irch) wurde in fünf Fällen mit einem mittleren seitlichen Abstand von 0.63 m überholt. Alle neun beobachteten Überholungen an den Strecken Altstetter- und Irchelstrasse wurden von Personenwagen durchgeführt.

5 Analyse der Messergebnisse

Die Analyse der Messergebnisse bezieht sich insbesondere auf die qualitative sowie quantitative Auswertung einzelner Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten. Dabei werden die Auswirkungen auf die Spuramplituden und die Begegnungsabstände getrennt betrachtet. Im Vordergrund dieses Kapitels steht die statistische Signifikanz der Wirkungen einzelner Einflussfaktoren bzw. deren Kombination.

5.1 Spuramplituden

Eine erste Betrachtung beschäftigt sich mit den Auswirkungen auf die Amplituden der Fahrzeugtrajektorien. Anschliessend erfolgt in Ziffer 5.2 die Analyse der Begegnungsabstände. Bei den Spuramplituden werden folgende Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Fahrzeugstatus (frei fahrend / im Pulk)
- Begegnungen (ohne / mit)
- Fahrzeugkategorie (PW / LW / Zweirad)
- Fahrgeschwindigkeiten
- Fahrstreifenbreiten
- Seitliche Hindernisse (Vorhandensein, Abstand)
- Beleuchtungsverhältnisse (am Tag / bei Dunkelheit)

5.1.1 Statistische Beurteilung der Einflussfaktoren

Im Folgenden werden einzelne Faktoren bezüglich ihres Einflusses auf die seitlichen Spuramplituden geprüft. Massgebend für die statistische Überprüfung sind in diesem Fall der Mittelwert der Spuramplituden sowie die Streuung der Spuramplituden unter den jeweiligen Versuchsbedingungen.

Sollte sich herausstellen, dass ein Faktor keine signifikanten Auswirkungen auf den Bewegungsspielraum hat, so kann zu Gunsten eines grösseren Stichprobenumfangs auf eine Differenzierung bezüglich dieses Faktors verzichtet werden. Die entsprechenden Datensätze können dann zur weiteren Analyse bezüglich dieses Faktors vereinigt werden.

Ausgehend von einer Hypothese werden jeweils die drauf wirkenden Einflüsse dargestellt und mit statistischen Tests überprüft. Auf Grund der Ergebnisse wird die Hypothese anschliessend bestätigt oder verworfen. Die Ergebnisse werden bezüglich ihrer Signifikanz auf dem Niveau von $\alpha = 0.01$ getestet.

5.1.2 Fahrzeugstatus

Als erster möglicher Einfluss auf die Spuramplituden wird der Status der untersuchten Fahrzeuge betrachtet. Die Hypothese hierzu lautet wie folgt.

Hypothese: Der Status eines Fahrzeuges, ob es frei fahrend ist oder durch mindestens ein vorausfahrendes Fahrzeug beeinflusst wird, hat Auswirkungen auf die Grösse der lateralen Spuramplitude.

Um diese Hypothese zu testen wurde der kombinierte Einfluss der Faktoren Fahrzeugstatus und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf die mittleren Spuramplituden und ihre Streuung untersucht. Der Faktor Fahrzeugstatus kann entweder „frei fahrend“ oder „im Pulk“ sein. Der Faktor zulässige Höchstgeschwindigkeit hat die Ausprägungen 30, 50, 80, 100 und 120 km/h. Diesen fünf Gruppen von Tempolimiten werden die Untersuchungsstrecken entsprechend zugeordnet. Zusätzlich wurde unterschieden, ob die Untersuchungsstrecke im Gegen- oder Richtungsverkehr betrieben wird.

Abbildung 27 zeigt die mittleren Spuramplituden für frei fahrende und im Pulk befindliche

Fahrzeuge der einzelnen Tempolimitegruppen. Untersuchungsstrecken im Richtungsverkehr existieren nur für die Strecken an Autobahnen.

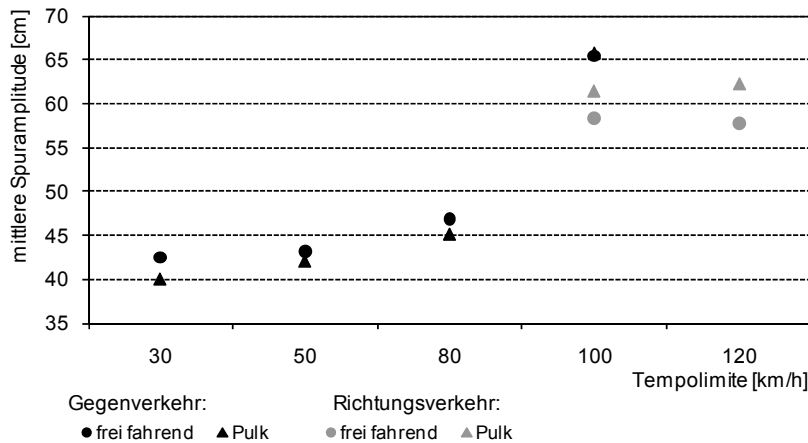


Abbildung 27: Einfluss des Fahrzeugstatus und der Tempolimite auf die mittlere Spuramplitude

Insbesondere für die Strecken im Gegenverkehrsbetrieb sind nur geringe Unterschiede zwischen frei fahrenden und Fahrzeugen im Pulk ersichtlich. Die statistische Prüfung mittels einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse zeigte an, dass der Fahrzeugstatus keinen signifikanten Einfluss auf die Spuramplitude hat. Im Gegenteil dazu hat die Tempolimite erwartungsgemäss einen hoch signifikanten Einfluss auf die Spuramplitude. Der Test bezüglich eines kombinierten Einflusses beider Faktoren ergibt ebenfalls eine signifikante Interaktion. Somit ist eine Einzelbetrachtung der Tempolimitegruppen angezeigt. Es wurden die Gruppen Tempolimite 30, 50, 80 und 100 km/h im Gegenverkehrsbetrieb gebildet. Die Autobahnen im Richtungsverkehr mit jeweils zwei Fahrstreifen wurden zu einer Gruppe zusammengefasst. Als weiterer Faktor wurde die Breitenklasse der Untersuchungsstrecken eingeführt. Hierbei wird in Anlehnung an Ziffer 2.4 zwischen den Breitenklassen „schmal“, „normal“ und „breit“ unterschieden. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Abbildung 28 dargestellt.

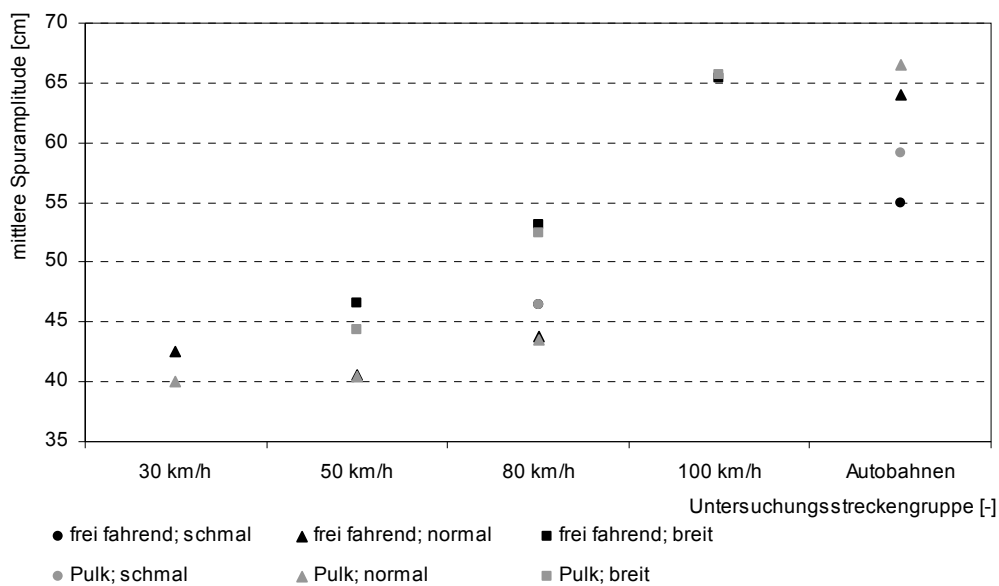


Abbildung 28: Einfluss des Fahrzeugstatus auf die mittlere Spuramplitude für schmale, normalbreite und breite Strecken

Die statistische Überprüfung ergab, dass der Fahrzeugstatus auch unter Berücksichtigung der Fahrbahnbreiten keinen signifikanten Einfluss auf die Spuramplitude bei den

Betriebsformen mit Gegenverkehr hat. Diese Aussage gilt jedoch nicht für Autobahnen. Wie auch aus Tabelle 45 ersichtlich wird, ist auf Autobahnen die Spuramplitude im Pulk befindlicher Fahrzeuge bei normalbreiten Fahrbahnen um 2.5 cm und bei schmalen Fahrbahnen sogar um 4.2 cm grösser als bei frei fahrenden Fahrzeugen. Statistische Tests zeigen, dass diese Abweichungen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $< 1\%$ als signifikant erachtet werden müssen.

Tabelle 45: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden frei fahrender und Pulk-Fahrzeuge

Strecken- kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]
frei fahrend									
30 km/h				517	42.5	20.8			
50 km/h				1568	40.6	17.4	1119	46.6	19.6
80 km/h	1175	46.5	20.8	3146	43.7	21.4	1684	53.2	22.9
100 km/h							689	65.4	27.9
Autobahnen	1185	54.9	26.8	584	64.0	34.4			
Pulk									
30 km/h				66	40.1	14.4			
50 km/h				277	40.5	18.0	196	44.4	19.9
80 km/h	222	46.4	19.6	3879	43.5	22.0	841	52.5	21.4
100 km/h							677	65.7	27.6
Autobahnen	1414	59.1	31.4	882	66.5	36.9			

Hingegen weisen die Strecken im Gegenverkehrsbetrieb mit Tempolimiten 30, 50, 80 und 100 km/h keine oder nur geringe Unterschiede zwischen frei fahrenden Fahrzeugen und solchen im Pulk auf. Die Tabelle 45 zeigt, dass die Mittelwerte der Spuramplituden auf schmalen, normalen und breiten Strecken bei Tempolimiten 80 und 100 km/h für frei fahrende Fahrzeuge und für Fahrzeuge im Pulk quasi identisch sind. Auch an normalbreiten Strecken bei Tempolimiten 50 km/h werden bei beiden Fahrzeugstatus quasi identische Spuramplituden gemessen. Lediglich bei Tempolimiten 30 km/h und bei breiten Untersuchungsstrecken mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h ergaben sich nennenswerte Differenzen zwischen frei fahrenden und im Pulk befindlichen Fahrzeugen. Auch der Signifikanztest ergibt für die Strecken mit Tempolimiten 30, 50, 80 und 100 km/h deutlich nicht signifikante Ergebnisse (vgl. ANHANG II). Ein kombinierter Einfluss einer Interaktion aus den Faktoren Breitenkategorie und Fahrzeugstatus kann für alle Streckenkategorien ausgeschlossen werden.

Eine zusätzliche statistische Untersuchung auf kombinierte Einflüsse durch die Breitenklasse und das Vorhandensein sowie die Art allfälliger seitlicher Hindernisse ergab keine signifikanten Interaktionen mit dem Faktor Fahrzeugstatus.

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Fahrzeugstatus im Gegenverkehrsbetrieb keinen Einfluss auf die Spuramplitude hat, während auf Autobahnen mit Richtungsverkehr Fahrzeuge im Pulk eine signifikant grössere Spuramplitude aufweisen. Dies ist insbesondere insofern auffällig, da mit einer Beeinflussungsgrenze von 6 Sekunden eine recht grosse Zeitlücke für Autobahnen gewählt wurde (vgl. Ziffer 2.6.1).

Die Hypothese, dass der Status eines Fahrzeuges, ob es frei fahrend ist oder sich im Pulk befindet, einen Einfluss auf den Bewegungsspielraum hat, muss für Strassen mit Gegenverkehr abgelehnt werden. Auf mehrstreifigen Autobahnen konnte hingegen ein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Somit muss die Hypothese für Autobahnen mit mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen als zutreffend angenommen werden.

Für die weitere Untersuchung bedeutet dies, dass eine Unterscheidung nach Fahrzeugstatus für Strecken im Gegenverkehrsbetrieb nicht erforderlich ist. Hier werden die Datensätze der frei fahrenden und im Pulk befindlichen Fahrzeuge vereinigt, wodurch der Stichprobenumfang weiter vergrössert wird. Bei Autobahnen ist weiterhin eine Unterscheidung der beiden Gruppen angezeigt.

5.1.3 Begegnungen

Neben dem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wird auch ein Einfluss eines begegnenden Fahrzeuges auf die Grösse der Spuramplitude erwartet. Eine Begegnung ist für Ausserortsstrecken durch das Entgegenkommen eines Fahrzeuges im Bereich der Messstrecke und für Strecken auf Autobahnen durch eine Überholung durch ein schnelleres Fahrzeug auf dem Überholfahrstreifen definiert.

Hypothese: Fahrzeuge, denen ein anderes Fahrzeug entgegenkommt, oder die auf Autobahnen von einem schnelleren Fahrzeug überholt werden, weisen signifikant unterschiedliche laterale Spuramplituden zu Fahrzeugen ohne Begegnung auf.

Tabelle 46 zeigt für Personenwagen die Mittelwerte und Standardabweichungen der Spuramplituden für den Fall ohne Begegnung (oben) und mit Begegnung (unten). In beiden Fällen variieren die mittleren Amplituden zwischen etwas über 40 cm für Strecken bei Tempolimiten 30 und 50 km/h und ca. 70 cm für Strecken an Autobahnen. Die grössten Spuramplituden konnten bei frei fahrenden Personenwagen mit Begegnung (Überholung) auf Autobahnen festgestellt werden. Die Standardabweichungen der Amplituden variieren je nach Streckenkategorie zwischen 16.8 und 43.0 cm und weisen keine Auffälligkeiten auf.

Tabelle 46: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden für PW mit und ohne Begegnung

Strecken- kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]
ohne Begegnung									
30 km/h				255	40.5	20.6			
50 km/h				853	40.4	16.8	531	47.0	18.9
80 km/h	880	46.8	20.0	1916	48.0	23.3	1241	53.3	22.8
100 km/h							851	68.3	27.6
AB frei fahrend	869	56.9	27.4	401	64.6	34.2			
AB Pulk	941	62.4	32.8	619	68.8	37.3			
mit Begegnung									
30 km/h				182	42.0	20.5			
50 km/h				523	40.1	16.6	508	46.3	19.2
80 km/h	239	49.7	22.1	3401	43.3	21.0	858	53.9	22.0
100 km/h							241	65.0	29.8
AB frei fahrend	40	62.7	27.9	46	77.6	43.0			
AB Pulk	130	64.5	31.1	87	72.1	41.9			

In Tabelle 47 sind die entsprechenden Ergebnisse für Lastwagen angegeben. Auch hier variieren die mittleren Spuramplituden zwischen den unterschiedlichen Streckenkategorien von etwas über 30 cm innerorts bis hin zu knapp 55 cm auf Autobahnen. Die Standardabweichungen liegen deutlich unter denen der Personenwagen.

Tabelle 47: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden für LW mit und ohne Begegnung

Strecken- kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]
ohne Begegnung									
30 km/h				3	42.9	16.6			
50 km/h				51	34.3	14.6	26	38.5	15.9
80 km/h	34	37.2	20.6	122	37.9	17.4	45	48.5	21.3
100 km/h							66	54.5	21.2
AB frei fahrend	58	40.8	22.3	30	53.9	27.9			
AB Pulk	62	44.9	16.9	37	47.3	15.8			
mit Begegnung									
30 km/h				7	31.5	14.2			
50 km/h				35	35.2	16.3	31	37.2	16.6
80 km/h	7	45.2	23.8	343	33.6	15.0	37	38.7	15.9
100 km/h							16	51.5	18.2
AB frei fahrend	26	48.8	19.5	14	43.8	20.6			
AB Pulk	39	42.6	21.6	18	54.4	31.9			

Um die Einflüsse allfälliger Begegnungen zu verdeutlichen, wurden in der Tabelle 48 die Differenzen der mittleren Spuramplituden für LW und PW zwischen den Zuständen mit und ohne Begegnung angegeben.

Tabelle 48: Differenzen der mittleren Spuramplituden [cm] für PW und LW mit und ohne Begegnung

Strecken- kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	Begegnung		Differenz	Begegnung		Differenz	Begegnung		Differenz
ohne	mit	ohne		mit	ohne		mit		
PW									
30 km/h				40.5	42.0	1.4			
50 km/h				40.4	40.1	-0.3	47.0	46.3	-0.7
80 km/h	46.8	49.7	2.9	48.0	43.3	-4.7	53.3	53.9	0.6
100 km/h							68.3	65.0	-3.3
AB frei fahrend	56.9	62.7	5.9	64.6	77.6	13.0			
AB Pulk	62.4	64.5	2.1	68.8	72.1	3.3			
LW									
30 km/h				42.9	31.5	-11.4			
50 km/h				34.3	35.2	0.9	38.5	37.2	-1.3
80 km/h	37.2	45.2	8.0	37.9	33.6	-4.2	48.5	38.7	-9.8
100 km/h							54.5	51.5	-3.0
AB frei fahrend	40.8	48.8	8.0	53.9	43.8	-10.1			
AB Pulk	44.9	42.6	-2.3	47.3	54.4	7.2			

Die statistischen Untersuchungen mittels Varianzanalysen (vgl. ANHANG II) haben ergeben, dass der Umstand, ob ein Fahrzeug eine Begegnung hat oder nicht, keinen signifikanten Einfluss auf die Spuramplitude hat. Sowohl für LW als auch für PW haben die mehrfaktoriellen Varianzanalysen für die unterschiedlichen Streckenkategorien und Brei-

tenkategorien keine signifikanten Ergebnisse gezeigt. Dies gilt ebenso für kombinierte Einflüsse der genannten Faktoren. Aus der Tabelle 48 ist jedoch ersichtlich, dass wenn auch keine signifikanten, so jedoch systematische Einflüsse für allfällige Begegnungen bestehen. Sie zeigen, dass die Begegnungen auf schmalen Fahrbahnen sowohl im Gegenverkehrs- als auch im Richtungsbetrieb auf Autobahnen zu grösseren Spuramplituden führen. Diese Aussage trifft sowohl für alle PW, als auch für LW bei Tempolimit 80 km/h und frei fahrenden LW auf Autobahnen zu. Bei Personenwagen ist die Amplitude im Begegnungsfall im Mittel über alle Streckenkategorien um ca. 4 cm und bei LW sogar um 8 cm grösser, als im Zustand ohne Begegnung. Auf normalbreiten und breiten Strecken lassen sich solche systematischen Zusammenhänge nicht feststellen. Hier scheint der Einfluss einer Begegnung eher zufällig. An Strecken mit breiten Fahrstreifen, führt eine Begegnung zu einer leichten Verringerung der mittleren Spuramplitude. Personenwagen fahren im Mittel mit einer um ca. 1 cm geringeren Spuramplitude. Bei Lastwagen verringert sich die Spuramplitude im Mittel um ca. 5 cm.

Dieses Spurverhalten kann dadurch erklärt werden, dass ein Fahrzeug auf einer schmalen Fahrbahn einem entgegenkommenden Fahrzeug bewusst ausweicht oder unbewusste Korrekturen vorgenommen werden, um einen sicheren Abstand zum entgegenkommenden oder überholenden Fahrzeug herzustellen. Auf breiten Fahrbahnen führt dies genau zum gegenteiligen Effekt. Um diesen Abstand sicherzustellen, schränken sich die Fahrzeuge bezüglich ihres lateralen Spurverhaltens ein und werden somit durch allfälligen Gegenverkehr eher zu einer „spurtreuen“ Fahrweise animiert.

Die Hypothese, dass allfällige Begegnungen einen signifikanten Einfluss auf die Spuramplitude haben, muss abgelehnt werden. Es besteht jedoch ein systematischer Einfluss, welcher dazu führt, dass sich bei Begegnungen auf schmalen Strecken leicht grössere Spuramplituden und auf breiten Strecken leicht geringere Spuramplituden ergeben.

Im Rahmen der Untersuchungen zum Bewegungsspielraum bzw. zu den Spuramplituden wird im weiteren Verlauf nicht unterschieden, ob eine Begegnung stattgefunden hat oder nicht. Es steht somit der gesamte Stichprobenumfang für die jeweiligen Analysen zu Verfügung.

5.1.4 Fahrzeugkategorie

Ein weiterer fahrzeugbezogener Einflussfaktor ist die Fahrzeugkategorie, welcher ein Fahrzeug angehört. Unterscheiden werden hierbei die Fahrzeugtypen, welche sich nach Ziffer 3.2 ergeben. Die Auswertung beschränkt sich jedoch auf die in der Norm [SN 640 201] behandelten motorisierten Verkehrsteilnehmer und Zweiräder. Folgende Hypothese wird geprüft.

Hypothese: Fahrzeuge unterschiedlicher Fahrzeugkategorien (LW, PW, ZR) nehmen unterschiedlich grosse Bewegungsspielräume bzw. laterale Spuramplituden in Anspruch.

Nachfolgend werden die Spuramplituden der Fahrzeugtypen der Personenwagen (PW), Lastwagen (LW) und Zweiräder (ZR) für die einzelnen Streckenkategorien zusammengestellt. Während bei den Strecken mit Gegenverkehr alle Fahrzeuge gemeinsam betrachtet werden, wird an Autobahnen zwischen frei fahrenden Fahrzeugen und Fahrzeugen im Pulk unterschieden.

Abbildung 29 zeigt die mittleren Spuramplituden für die einzelnen Fahrzeugtypen und die unterschiedlichen Untersuchungsgruppen. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich zwischen den Fahrzeugtypen generelle Unterschiede ergeben. So ist die Spuramplitude der Zweiräder in allen Fällen deutlich grösser als die der Personenwagen. Diese wiederum ist grösser als die Spuramplitude der Lastwagen. Überschlägig kann im Mittel, sowohl für das Verhältnis der Spuramplitude von Zweiräder zu Personenwagen, sowie für das Verhältnis der Spuramplitude von Personenwagen zu Lastwagen, der Faktor 1.3 angenommen werden.

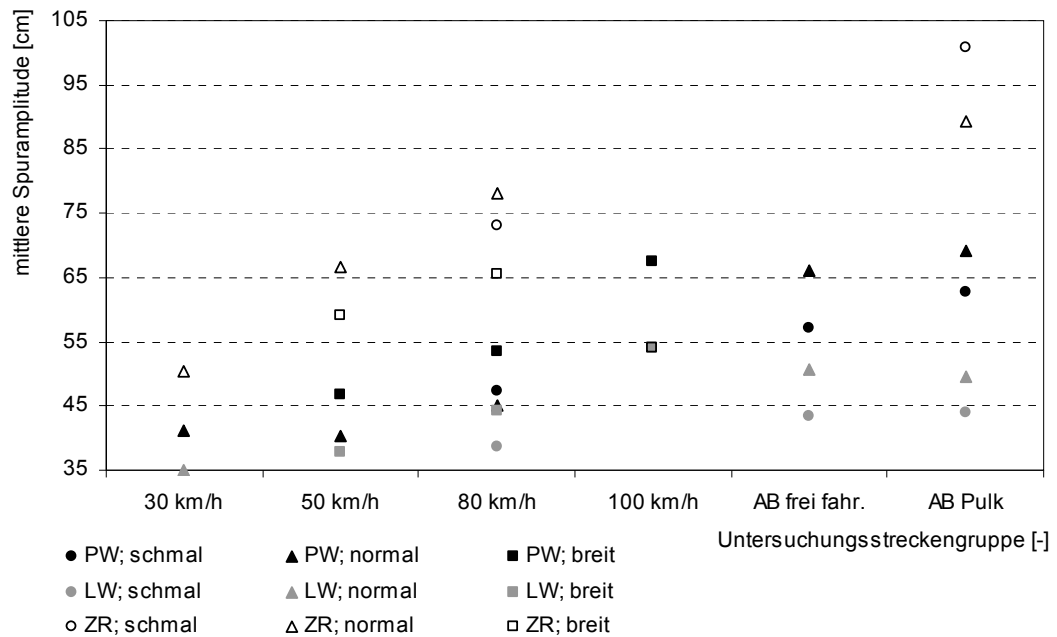


Abbildung 29: Einfluss des Fahrzeugtyps auf die Spuramplitude für schmale, normalbreite und breite Strecken

Die Tabelle 49 zeigt neben den mittleren Spuramplituden und den dazugehörigen Standardabweichungen auch die Anzahl der jeweils erhobenen Fahrzeuge.

Der Stichprobenumfang ist insbesondere für Ergebnisse der Zweiräder zu beachten. Verglichen mit den anderen Fahrzeugtypen konnten nur sehr wenige Zweiräder gemessen werden. Für die Strecken im Gegenverkehrsbetrieb mit Tempolimit 100 km/h und für die Gruppe der frei fahrenden Fahrzeuge auf Autobahnen konnten keine auswertbaren Zweiräder erhoben werden. Auch unter den im Pulk befindlichen Fahrzeugen auf Autobahnen konnten nur vier Zweiräder ausgewertet werden.

Die statistische Untersuchung dieser Ergebnisse zeigt, dass der Einfluss der Fahrzeugtypen für alle Gruppen der Untersuchungsstrecken deutlich signifikant ist. Diese Tatsache wird auch durch vorangegangene Untersuchungen sowie die Tatsache bestätigt, dass in Fragen der geometrischen Bemessung zwischen den genannten Fahrzeugkategorien unterschieden wird.

Eine einfache Erklärung dieses Einflusses ist die zur Verfügung stehende verbleibende Fahrstreifenbreite. Einem Zweirad mit einer Grundbreite von 0.60 m (nach Norm [SN 640 201]) stehen 1.90 m mehr Raum für laterale Fahrmanöver zur Verfügung als einem 2.50 m breiten Lastwagen. Dieser wird, wenn zumeist auch unbewusst, für seitliche Fahrbewegungen genutzt. Auch die fahrdynamischen Eigenschaften von einspurigen Fahrzeugen, welche Lenkbewegungen in gewissem Masse zur Stabilisierung des Fahrzeuges erforderlich machen, wirken sich auf den Bewegungsspielraum aus. Dahingegen ergibt sich für Personen- und Lastwagen bedingt durch den grösseren Achsabstand eine höhere Spurstabilität.

Tabelle 49: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Spuramplituden nach Fahrzeugkategorien

Strecken- kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]
PW									
30 km/h				437	41.1	20.5			
50 km/h				1376	40.3	16.8	1039	46.7	19.1
80 km/h	1119	47.4	20.5	5317	45.0	22.0	2099	53.5	22.4
100 km/h							1092	67.5	28.1
AB frei fahrend	909	57.1	27.5	447	66.0	35.4			
AB Pulk	1071	62.7	32.6	706	69.2	37.9			
LW									
30 km/h				10	34.9	15.1			
50 km/h				86	34.7	15.2	57	37.8	16.1
80 km/h	41	38.6	21.0	465	34.8	15.8	82	44.1	19.5
100 km/h							82	53.9	20.6
AB frei fahrend	84	43.3	21.6	44	50.7	26.0			
AB Pulk	101	44.0	18.8	55	49.6	22.3			
ZR									
30 km/h				49	50.5	18.0			
50 km/h				39	66.5	23.7	8	59.2	41.9
80 km/h	9	73.1	28.6	19	78.1	30.0	20	65.4	21.8
100 km/h							-	-	-
AB frei fahrend	-	-	-	-	-	-			
AB Pulk	3	100.7	54.3	1	89.4	-			

Motorisierte Zweiräder sind im Sinne der Normgruppe „Strassentypen“ [SN 640 040 bis 640 045] für die Bemessung der Fahrbahn insofern nicht relevant, als dass sie in keinem der Grundbegegnungsfälle enthalten sind. Aus diesem Grund und wegen des geringen Stichprobenumfangs bei Zweirädern werden diese im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Die Fahrräder werden nur bei den Begegnungsabständen (vgl. Ziffer 5.2) im Bereich von Trenninseln einbezogen.

Zwischen Lastwagen und Personenwagen wird weiter unterschieden. Beide Fahrzeuggruppen stellen für die betrachteten Strecken bemessungsrelevante Fahrzeuge dar. Die statistischen Untersuchungen haben gezeigt, dass der Einfluss des Fahrzeugtyps einen deutlich signifikanten Einfluss auf den Bewegungsspielraum hat (vgl. ANHANG II). Dies gilt für alle Tempolimiten und an Autobahnen sowohl für frei fahrende Fahrzeuge als auch für sich im Pulk befindliche Fahrzeuge.

Die Hypothese, dass Fahrzeuge unterschiedlicher Fahrzeugkategorien unterschiedliche Bewegungsspielräume in Anspruch nehmen kann für alle Streckentypen angenommen werden. Der Einfluss der Fahrzeugkategorie auf die Spuramplitude ist in allen Fällen statistisch signifikant.

Im Folgenden werden die Fahrzeuggruppen Lastwagen und Personenwagen unterschieden. Zweiräder werden nicht weiter berücksichtigt.

5.1.5 Geschwindigkeiten

Die Unterteilung der Untersuchungsgruppen anhand der verschiedenen Tempolimiten in den vorangegangenen Analysen hat bereits gezeigt, dass ein Einfluss der Geschwindig-

keiten auf die Spuramplituden vorliegt. So kann folgende Hypothese formuliert werden.

Hypothese: Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge hat einen signifikanten Einfluss auf die Grösse der lateralen Spuramplitude.

Ein genereller Zusammenhang zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und der Spuramplitude ist bereits aus den in Ziffer 4.1 bis 4.3 angegebenen Werten der mittleren Geschwindigkeit (V_m) und der massgebenden Spuramplitude ($A_{85\%}$) angedeutet. In Abbildung 30 sind die Werte aller betrachteten Untersuchungsstrecken getrennt für PW und LW dargestellt. Daraus ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit der mittleren Spuramplitude (A_m) ersichtlich. So erhöht sich die Spuramplitude A_m der PW im Geschwindigkeitsbereich zwischen 30 und 120 km/h von ca. 38 auf ca. 64 cm. Offensichtlich zu erkennen ist auch der signifikante Unterschied zwischen den Fahrzeugkategorien PW und LW. Lastwagen weisen eine deutlich geringere Spuramplitude auf. Bei niedrigen Geschwindigkeiten beträgt die Differenz zwischen der mittleren Spuramplitude von PW und LW ca. 5 cm. Bei 90 km/h ist sie mit ca. 13 cm mehr als doppelt so gross. Sowohl für PW als auch für LW zeigt das Bestimmtheitsmass (R^2) von 0.38 für PW und 0.05 für LW eine geringe Bestimmtheit an.

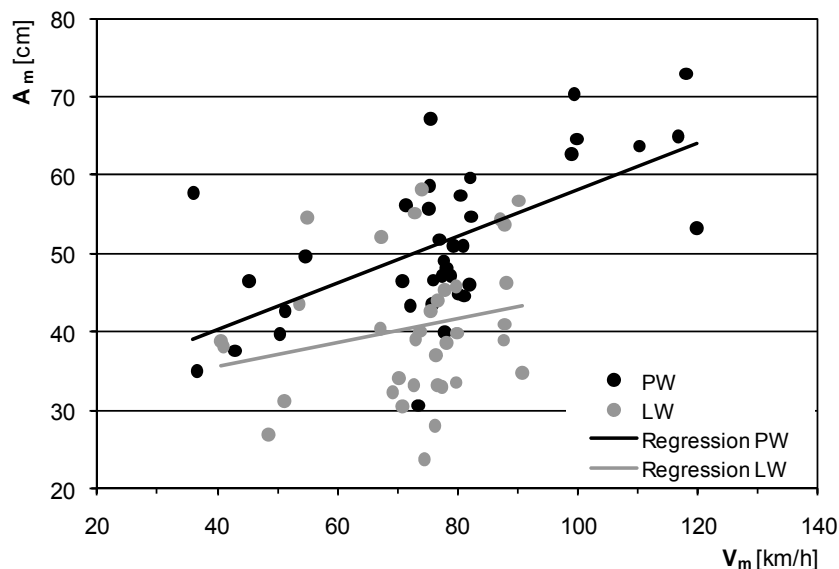


Abbildung 30: Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und mittlere Spuramplituden (A_m) an allen Untersuchungsstrecken

Ausgehend von dieser generellen Betrachtung werden nachfolgend die Einflüsse der gefahrenen Geschwindigkeit auf die Spuramplitude für die unterschiedlichen Gruppen von Fahrstreifenbreiten aller Streckentypen untersucht. Verwendet wurden dazu jeweils Wertepaare der durchschnittlichen Geschwindigkeit eines Einzelfahrzeugs auf der Messstrecke und seine auf dieser Strecke ermittelte Spuramplitude.

In Abbildung 31 sind die mittleren Spuramplituden aller Personenwagen ($n = 15'612$) in Abhängigkeit ihrer Geschwindigkeit angegeben. Dargestellt sind Werte auf breiten, normalbreiten und schmalen Untersuchungsstrecken innerorts und ausserorts und auf Autobahnen. Eingetragen ist ausserdem die exponentielle Regression für die unterschiedlichen Breitenkategorien. Für Strecken aller Breitenkategorien ist ein Zusammenhang zwischen gefahrener Geschwindigkeit und Spuramplitude zu erkennen. Die mittlere Amplitude nimmt auf breiten und normalbreiten Strecken mit steigender Geschwindigkeit stärker zu als auf schmalen Strecken. Bei niedrigen Geschwindigkeiten (< 35 km/h) liegt die mittlere Amplitude auf normalbreiten Strecken bei ca. 30 cm. Im oberen Geschwindigkeitsbereich (140 km/h) liegt das Mittel bei ca. 65 cm. Ebenso deutlich ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit bei breiten Fahrstreifen. Die Werte variieren hier zwischen ca. 40 cm bei 37 km/h bis ca. 70 cm bei 120 km/h. Etwas weniger ausgeprägt ist die Abhängigkeit auf

schmalen Strecken. Hier variieren die Werte zwischen ca. 42 cm bei 50 km/h bis 58 cm bei 140 km/h.

Generell ist die mittlere Spuramplitude auf breiteren Fahrstreifen stets grösser als auf normalbreiten und schmalen Fahrstreifen. Im Geschwindigkeitsbereich unter 107 km/h liegt die mittlere Spuramplitude auf schmalen Fahrstreifen über jener auf normalbreiten Fahrstreifen.

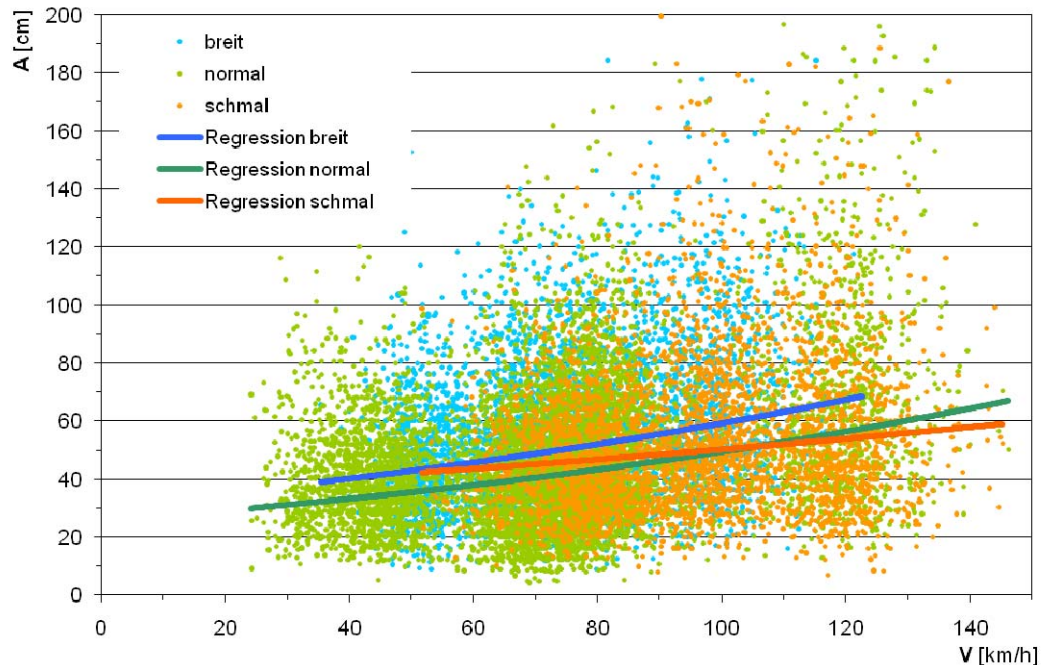


Abbildung 31: Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der PW, gegliedert nach Gruppen der Fahrstreifenbreite

Analog ist in Abbildung 32 der Zusammenhang zwischen mittlerer Spuramplitude und gefahrener Geschwindigkeit für Lastwagen ($n = 1'107$) dargestellt. Die exponentielle Regression zeigt vergleichbare Zusammenhänge wie bei PW.

Für schmale Strecken kann auch für LW eine weniger stark ausgeprägte Geschwindigkeitsabhängigkeit festgestellt werden. Die Amplitude ist bei höheren Geschwindigkeiten (ca. 100 km/h) mit ca. 40 cm im Mittel um 7 cm grösser als jene bei 55 km/h. An normalbreiten Strecken kann mit steigender Geschwindigkeit eine geringfügig stärkere Zunahme der mittleren Amplitude festgestellt werden. Ausgehend von ca. 25 cm bei 25 km/h, vergrössert sich der Wert auf knapp 40 cm bei LW mit Geschwindigkeiten von 100 km/h (Cars). Noch deutlicher ist das Verhältnis auf breiten Fahrstreifen. Hier ergibt sich für langsame LW (34 km/h) eine mittlere Spuramplitude von ca. 29 cm. Schnelle LW mit einer Geschwindigkeit von 90 km/h weisen eine Amplitude von ca. 50 cm auf. Für Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h (Cars) ergab sich auf breiten Fahrstreifen eine mittlere Spuramplitude von ca. 55 cm.

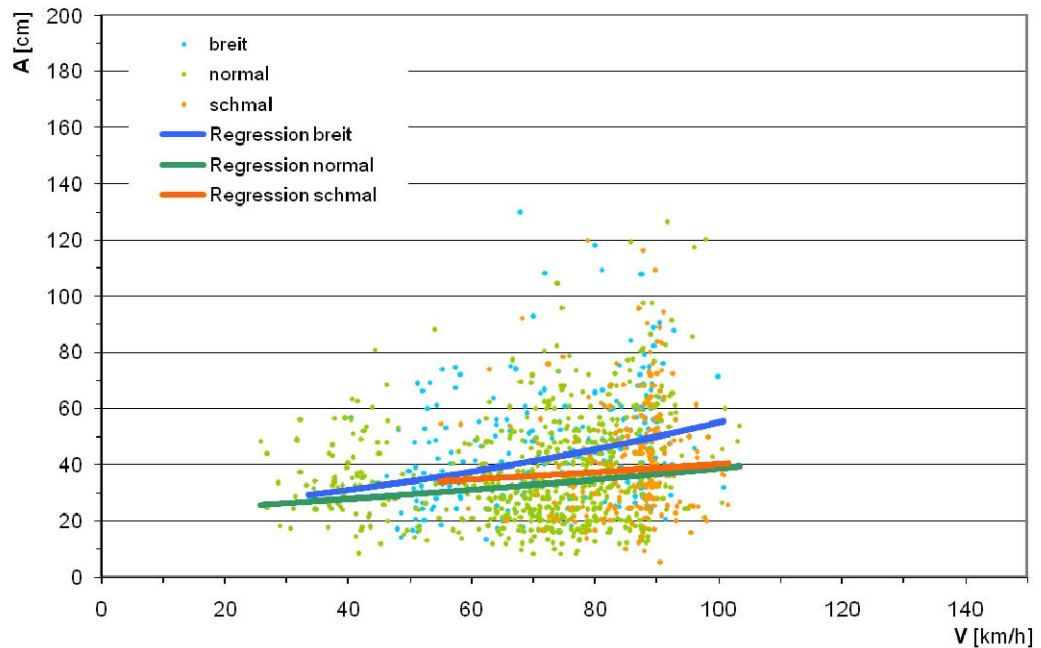


Abbildung 32: Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der LW, gegliedert nach Gruppen der Fahrstreifenbreite

Generell kann somit eine Abhängigkeit der Spuramplitude von der gefahrenen Geschwindigkeit festgestellt werden. Diese ist jedoch weiter abhängig von der Fahrstreifenbreite. Während auf schmalen Fahrstreifen keine oder nur sehr geringe Zusammenhänge auftraten, nimmt der Einfluss der Geschwindigkeit mit steigender Fahrstreifenbreite zu. Dies gilt für die Spuramplituden der Personenwagen sowie für jene der Lastwagen.

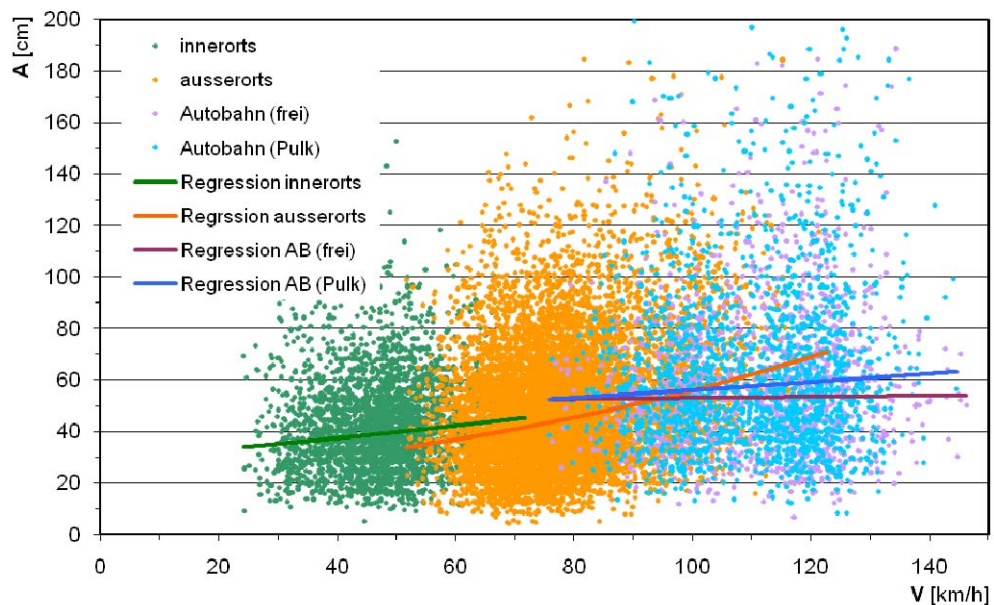


Abbildung 33: Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der PW, gegliedert nach Streckentypen

Eine Betrachtung nach Streckentypen zeigt für Personenwagen eine deutliche Abhängigkeit der Spuramplitude von der gefahrenen Geschwindigkeit bei Strecken ausser- und innerorts (vgl. Abbildung 33). Die mittlere Amplitude auf Innerortsstrecken variiert zwischen ca. 35 cm bei 25 km/h bis ca. 48 cm bei 70 km/h. Für Ausserortsstrecken ergibt die Reg-

ression eine mittlere Amplitude zwischen ca. 34 cm bei 52 km/h und ca. 72 cm bei 122 km/h. Auf Autobahnen kann hingegen nur ein geringer Einfluss der Geschwindigkeit festgestellt werden. Insbesondere bei frei fahrenden Personenwagen hat die gefahrene Geschwindigkeit keinen Einfluss auf die mittlere Spuramplitude, welche durch die exponentielle Regression mit ca. 52 bis 54 cm angegeben wird. Bei Personenwagen im Pulk kann eine leichte Zunahme der Amplitude für schnelle Fahrzeuge festgestellt werden. Bei einer Geschwindigkeit von 145 km/h beträgt die mittlere Amplitude 63 cm.

Im Vergleich zu Personenwagen weisen Lastwagen eine deutlich geringere Spuramplitude auf. Jedoch können auch hier die gleichen Zusammenhänge für Inner- und Ausserortsstrecken festgestellt werden (vgl. Abbildung 34). Innerorts ergeben sich für die exponentielle Regression der mittleren Spuramplitude und der gefahrenen Geschwindigkeit Werte von ca. 29 cm bei 45 km/h und ca. 38 cm bei 67 km/h, ausserorts ca. 28 cm bei 54 km/h und ca. 45 cm bei 100 km/h. Bei den schnell fahrenden Lastwagen ist quasi kein Unterschied bezüglich des Zusammenhangs von Spuramplitude und gefahrener Geschwindigkeit zwischen Ausserortsstrecken und Autobahnen ersichtlich. Sowohl frei fahrende LW als auch jene im Pulk, weisen auf Autobahnen quasi identische Werte für die Spuramplituden in Abhängigkeit der Geschwindigkeit auf wie auf Ausserortsstrassen.

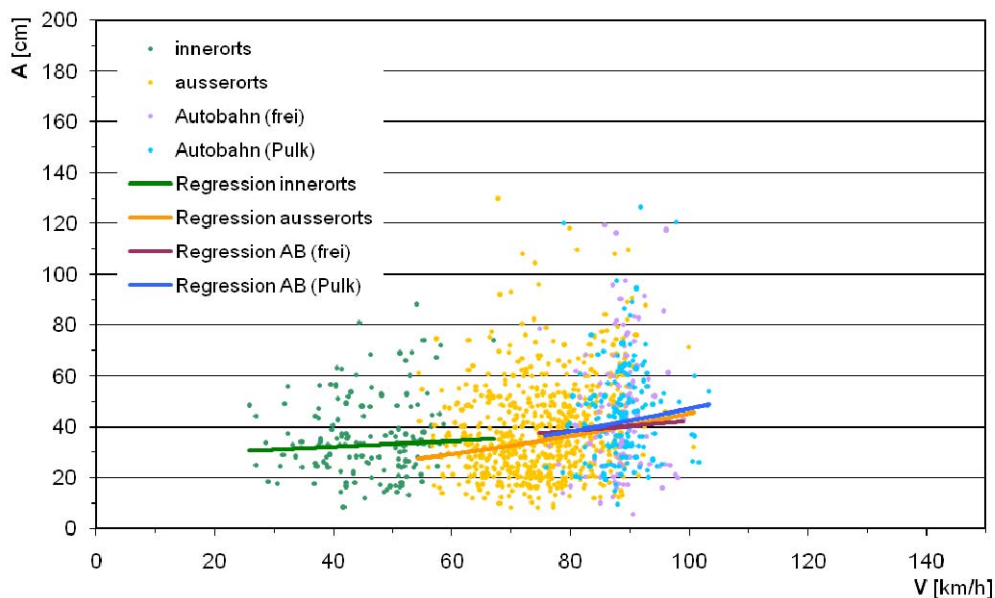


Abbildung 34: Fahrgeschwindigkeiten (V) und Spuramplituden (A) der LW, gegliedert nach Streckentypen

Die statistische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen gefahrener Geschwindigkeit und Spuramplitude wurde mittels einer Kovarianzanalyse (ANCOVA) durchgeführt. Diese bestätigt die bereits ersichtlichen Zusammenhänge. Während die Analyse für Strecken innerorts und auf Autobahnen keine signifikanten Ergebnisse liefert, sind die Zusammenhänge auf den Ausserortsstrecken bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $< 1\%$ signifikant. Ausserortsstrecken decken mit gefahrenen Geschwindigkeiten von ca. 50 bis 120 km/h den grössten Geschwindigkeitsbereich ab.

Die Hypothese, dass die Spuramplitude von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängt, muss angenommen werden.

Die Erkenntnisse aus dem Einfluss der gefahrenen Geschwindigkeiten auf die Spuramplitude bestätigen generell die bisher gängige Vorgehensweise, die Bewegungszuschläge in Abhängigkeit der Geschwindigkeit zu dimensionieren.

5.1.6 Fahrstreifenbreiten

Schon bei den vorangegangenen Einflussbetrachtungen wurden die unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten als ein wesentlicher Faktor berücksichtigt, indem die Untersuchungsstrecken anhand ihrer Fahrstreifenbreite in die Kategorien „schmal“, „normalbreit“ und „breit“ unterteilt wurden. In diesem Abschnitt werden nun die diskreten Werte der Fahrstreifenbreiten berücksichtigt.

Hypothese: Die Fahrstreifenbreite hat einen signifikanten Einfluss auf die Grösse der lateralen Spuramplitude.

Bereits bei der Untersuchung zum Einfluss des Fahrzeugstatus (vgl. Ziffer 5.1.2) wurde als weiterer Faktor die Breitenkategorie der Untersuchungsstrecke eingeführt. Die in Abbildung 28 dargestellten Zusammenhänge haben deutlich unterschiedliche mittlere Spuramplituden für schmale, normalbreite und breite Strecken gezeigt. Bei den Strecken mit Tempolimit 50 und 80 km/h traten auf schmalen Strecken geringere Spuramplituden auf als bei normalbreiten und breiten Strecken.

Die folgenden zwei Abbildungen veranschaulichen in dreidimensionalen Darstellungen die generellen Zusammenhänge zwischen gefahrener Geschwindigkeit (V), Fahrstreifenbreite und Spuramplitude (A), und zwar für Personenwagen in Abbildung 35 und für Lastwagen in Abbildung 36.

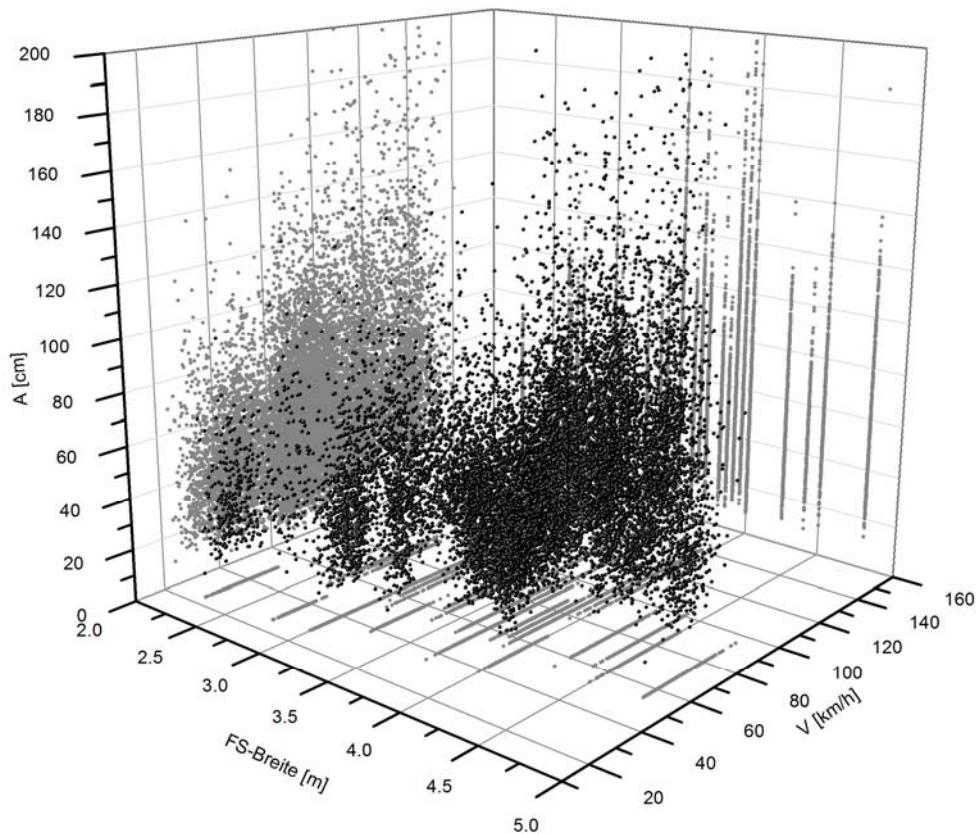


Abbildung 35: Spuramplituden (A) der PW nach Geschwindigkeiten (V) und Fahrstreifenbreiten

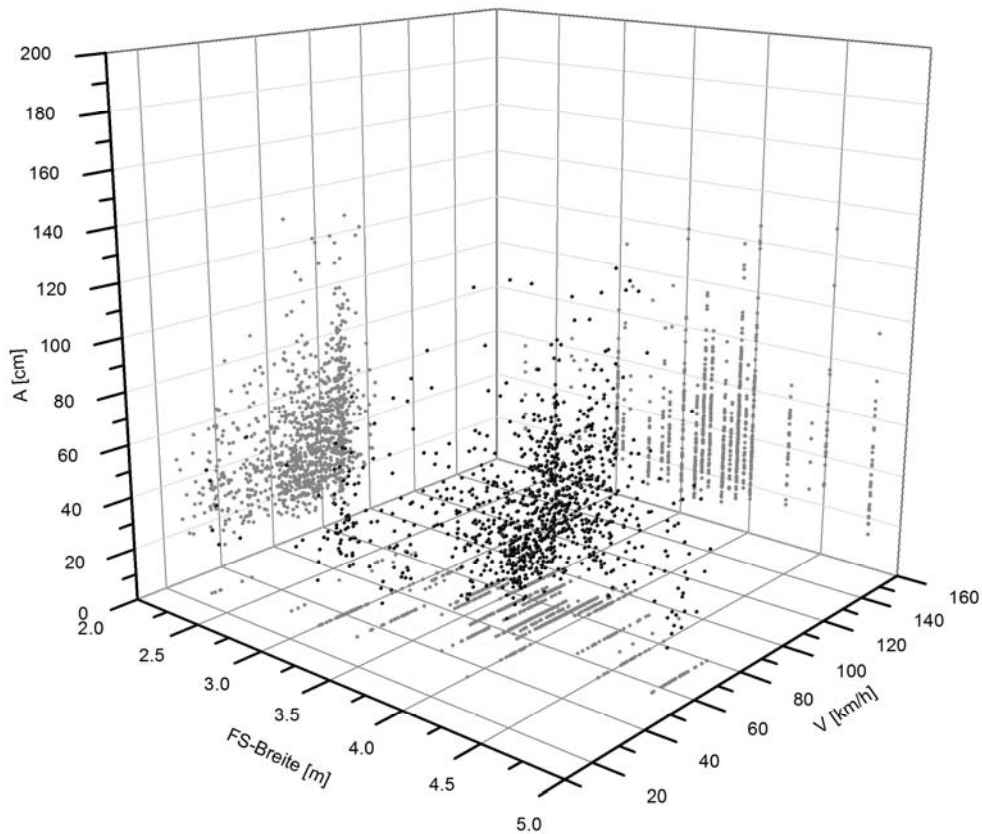


Abbildung 36: Spuramplituden (A) der LW nach Geschwindigkeiten (V) und Fahrstreifenbreiten

Im Folgenden werden die Zusammenhänge zwischen der Fahrstreifenbreite und der Spuramplitude sowie der Geschwindigkeit näher untersucht. Zu diesem Zweck werden die Mittelwerte der Spuramplituden (A_m) für die diskreten Fahrstreifenbreiten verwendet. Dabei wird zwischen den Fahrzeugkategorien PW und LW unterschieden. Die Analyse erfolgt getrennt für die drei Streckentypen „innerorts“, „ausserorts“ und „Autobahnen“ (vgl. Abbildungen 37 bis 39). Dabei ist zu berücksichtigen, dass unterschiedlich grosse Bereiche der Fahrstreifenbreiten einbezogen wurden. Wie schon bei den Geschwindigkeiten (vgl. Ziffer 5.1.5) zeigt sich, dass sich die Spuramplituden mit zunehmender Fahrstreifenbreite mehr oder weniger vergrössern. Dabei resultieren bei den PW erwartungsgemäss grössere Werte als bei den LW.

Abbildung 37 zeigt für sechs Fahrstreifenbreiten die mittlere Spuramplitude der Personen- und Lastwagen an Innerortsstrassen. Zusätzlich ist die lineare Regression für beide Fahrzeugtypen aufgetragen. Sie zeigt, dass mit zunehmender Fahrstreifenbreite auch die laterale Amplitude zunimmt. Die statistische Untersuchung mittels einer Kovarianzanalyse (ANCOVA) zeigt an, dass diese Abhängigkeit für PW signifikant ist. Für LW ist an Strecken innerorts ein solcher Zusammenhang nicht ersichtlich. Die Spuramplitude ist unabhängig von der Fahrstreifenbreite. Dies bestätigt auch die statistische Untersuchung (ANCOVA).

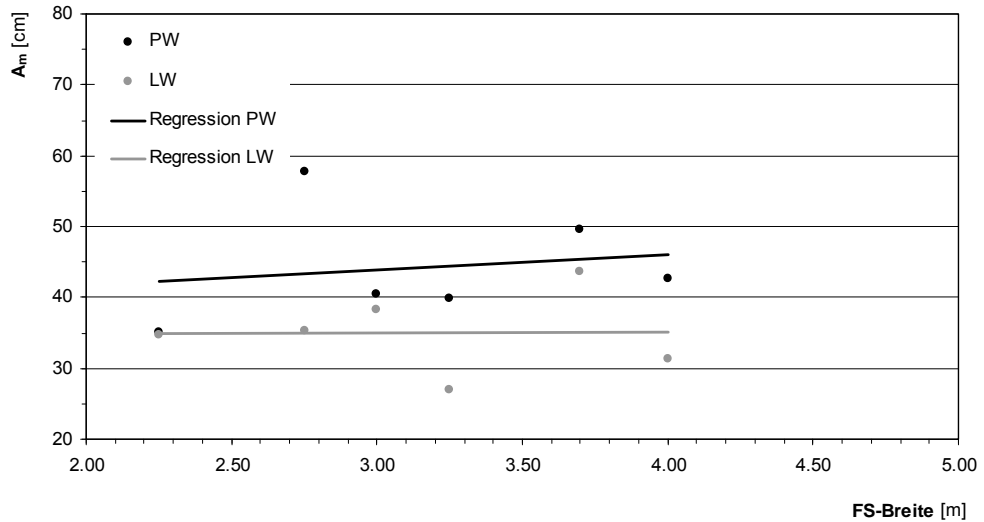


Abbildung 37: Mittlere Spuramplituden (A_m) für Innerortsstrecken, nach Fahrstreifenbreiten

Deutlicher als auf Strecken innerorts, ist der festgestellte Zusammenhang auf Strecken ausserorts. Abbildung 38 zeigt die Mittelwerte der lateralen Amplitude für die unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten ausserorts. Erneut ist auch hier die Spuramplitude der PW deutlich grösser als jene der LW. Anders als innerorts kann jedoch an Ausserortsstrecken sowohl für PW als auch für LW ein Zusammenhang zwischen Fahrstreifenbreite und Spuramplitude festgestellt werden. Für beide Fahrzeugtypen nimmt die laterale Amplitude mit zunehmender Fahrstreifenbreite zu. Dieser Zusammenhang ist in beiden Fällen statistisch signifikant.

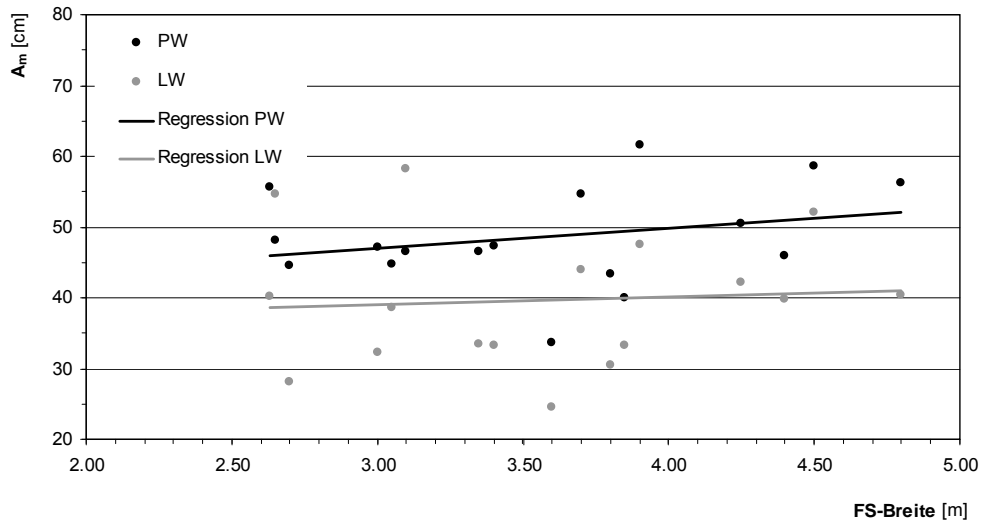


Abbildung 38: Mittlere Spuramplituden (A_m) für Ausserortsstrecken, nach Fahrstreifenbreiten

Die Ergebnisse für Autobahnstrecken sind in Abbildung 39 dargestellt. Hier werden die Gruppen „frei fahrende Fahrzeuge“ und „Fahrzeuge im Pulk“ unterschieden. In beiden Fällen liegen die Spuramplituden der PW deutlich über denen der LW. Trotz der vergleichsweise geringeren Unterschiede bezüglich der Fahrstreifenbreite an Autobahnen (minimal 3.50 m, maximal 4.00 m) ist auch hier ein Zusammenhang zwischen Fahrstreifenbreite und lateraler Spuramplitude ersichtlich. Sowohl PW als auch LW weisen bei breiteren Fahrstreifen deutlich grössere Spuramplituden auf. Die statistische Untersuchung (ANCOVA) zeigt jedoch, dass die Korrelation, unabhängig vom Fahrzeugstatus, nur bei Personenwagen signifikant ist.

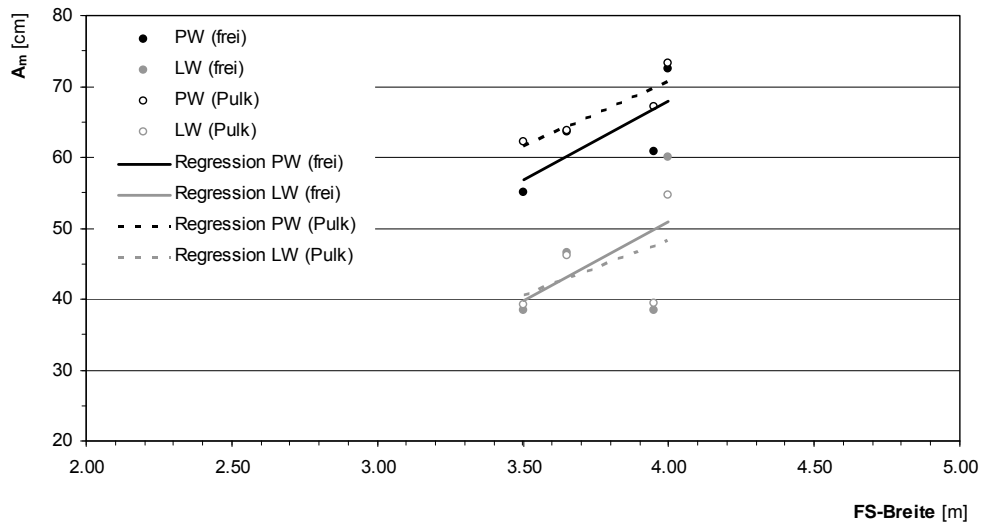


Abbildung 39: Mittlere Spuramplituden (A_m) für Autobahnen, nach Fahrstreifenbreiten

Die Fahrstreifenbreite hat demnach für alle drei Streckenkategorien einen Einfluss auf die Spuramplitude. Dieser ist an Ausserortsstrecken sowohl für LW als auch für PW statistisch signifikant. An Strecken innerorts und an Autobahnen kann eine Signifikanz nur für PW festgestellt werden. Dennoch ist ein Einfluss auf das Spurverhalten von LW, insbesondere an Autobahnen ersichtlich.

Wie schon in den Abbildungen 35 und 36 angedeutet, beeinflusst die Fahrstreifenbreite nicht nur die laterale Spuramplitude, sondern auch die gefahrenen Geschwindigkeiten. Grössere Fahrstreifenbreiten führen in der Regel zu höheren Fahrgeschwindigkeiten, schmalere Fahrstreifenbreiten bewirken niedrigere Fahrgeschwindigkeiten. Dies wird auch mit der bestehenden Normung angestrebt, indem für höhere Geschwindigkeiten grössere Bewegungsspielräume (und Gegenverkehrs- bzw. Überholzuschläge) bei der Bemessung des GNP zugeordnet werden sollen.

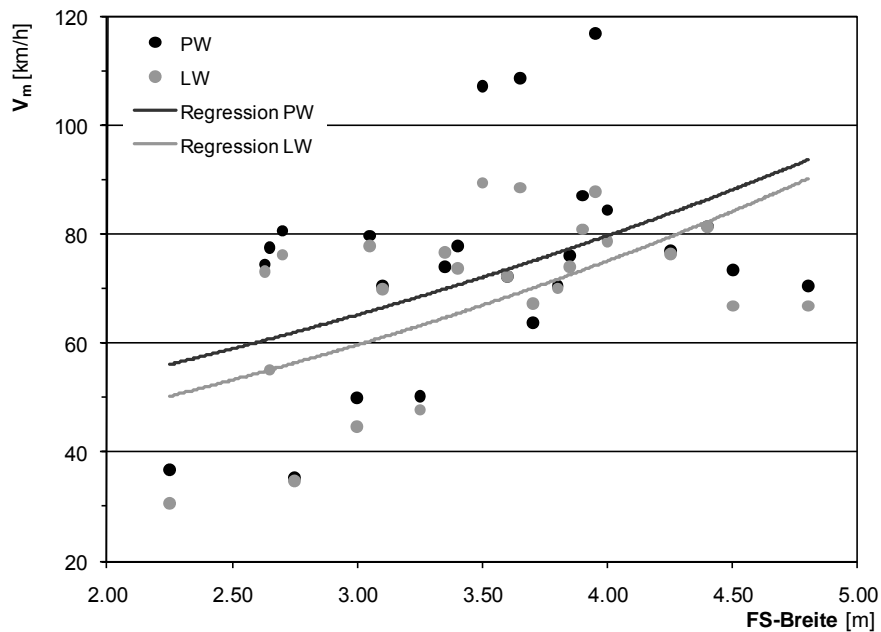


Abbildung 40: Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreiten

Abbildung 40 zeigt die mittleren gefahrenen Geschwindigkeiten (V_m) in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrstreifenbreite und zwar für alle Untersuchungsstrecken. Die Korrelation zwischen Fahrstreifenbreite und Geschwindigkeit V_m ist sowohl für PW als auch für LW

ersichtlich. Die Geschwindigkeit der Personenwagen liegt im Mittel deutlich über jener der Lastwagen. In beiden Fällen sind die Einflüsse statistisch signifikant.

Neben den Auswirkungen auf die Spuramplitude kann auch ein deutlicher Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die Spurlage festgestellt werden. Abbildung 41 zeigt die mittlere Lage der Fahrspuren von PW und LW auf den Untersuchungsstrecken ausserorts, sortiert nach Fahrstreifenbreiten. Mit zunehmender Fahrstreifenbreite orientieren sich die PW sowie die LW immer mehr an der Fahrstreifenmitte (in der Abbildung bei 0 cm Abweichung). Auf schmalen Fahrstreifen hingegen befindet sich sowohl die Spur der PW und insbesondere jene der LW deutlich links von der Fahrstreifenmitte. Dies ist insbesondere auf die grössere Breite der LW zurückzuführen. Auf schmalen Fahrstreifen sind sie gezwungen in den Fahrbahnbereich des Gegenverkehrs auszuweichen.

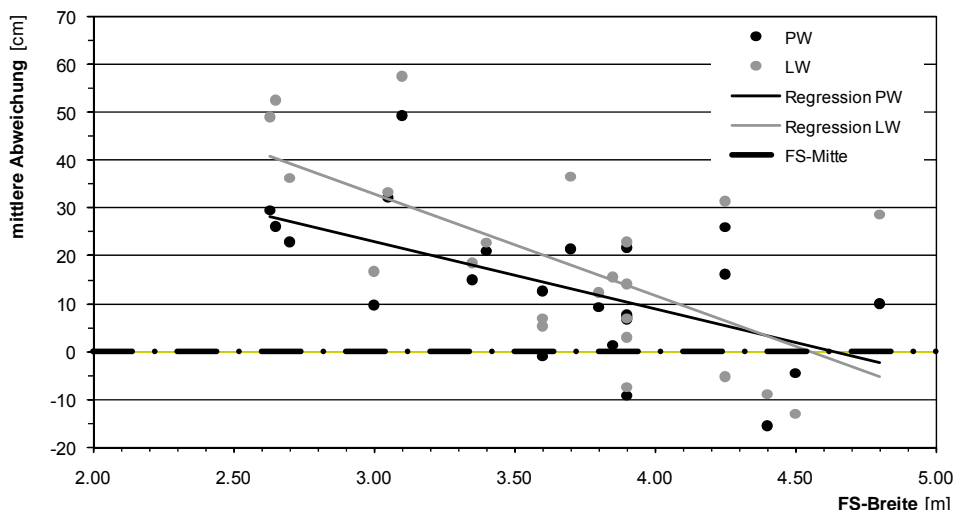


Abbildung 41: Mittlere Abweichung der Spurlage von der Fahrstreifenmitte⁵ in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreiten

Die Hypothese, dass die Fahrstreifenbreite Einfluss auf die Spuramplitude und die gefahrene Geschwindigkeit hat, muss sowohl für PW als auch für LW angenommen werden. Dieser Einfluss ist für PW auf allen Streckentypen und für LW auf Ausserortsstrecken auch statistisch signifikant.

Die Untersuchungen zum Einfluss der Fahrstreifenbreite bestätigen die bisherige Vorgehensweise, die Fahrstreifen bezüglich ihrer Breite in die Kategorien „schmal“, „normalbreit“ und „breit“ zu unterteilen und bei der Auswertung bezüglich dieser Unterteilung zu unterscheiden.

5.1.7 Seitliche Hindernisse

Bei den seitlichen Hindernissen geht es darum zu prüfen, ob diese auf Strecken mit vergleichbarer Fahrstreifenbreite die Grösse der Spuramplituden signifikant beeinflussen. Dabei muss zusätzlich die Form (linien- / oder punktförmig) und der Hindernisabstand berücksichtigt werden⁶. Wenn sich signifikante Einflüsse ergeben, so werden die Ergebnisse wie folgt berücksichtigt:

- Bei der Quantifizierung der massgebenden Spuramplitude bzw. des Bewegungsspielraumes in Kapitel 6 werden die entsprechenden Strecken mit seitlichen Hindernissen aus der Stichprobe herausgenommen, um die von seitlichen Hindernissen „unbeeinflusste“ Grösse des Bewegungsspielraumes für die Normung zu erhalten.

⁵ Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

⁶ Diese Analyse wurde bei der Darstellung der Messergebnisse in Kapitel 4 noch nicht vorgenommen.

- Der allenfalls reduzierende Einfluss der seitlichen Hindernisse auf die Grösse der Spuramplitude wird dazu herangezogen, die Empfehlungen zur erforderlichen Hindernisfreiheit neben der Fahrbahn in der bestehenden Norm zu überprüfen.

Zu diesem Zweck wurden geeignete Streckenkombinationen ausgewählt. Sie sind in Tabelle 50 zusammengestellt. Einbezogen wurden für diese Untersuchung nur Strecken ausserorts. Bei Strecken innerorts kann davon ausgegangen werden, dass bei niedrigem Geschwindigkeitsniveau der Einfluss seitlicher Hindernisse nicht relevant ist. Auf Autobahnstrecken kommen Hindernisse mit geringem seitlichem Abstand nur sehr selten vor. Die kleine Stichprobe von nur 5 Autobahn-Messstrecken ist zudem für die Prüfung von allfälligen Zusammenhängen nicht ausreichend.

Tabelle 50: Zur Analyse des Einflusses von seitlichen Hindernissen einbezogene Strecken ausserorts

Strecke	FS-Breite [m]	Hindernis	Abstand [m]	A _m [cm]
Stei	2.65	-		48.21
Künt	2.70	-		44.61
Aar2	3.35	-		46.60
Diel3	3.60	-		50.94
Aar1	3.70	-		54.74
WehnA	3.80	-		43.41
Thay	3.90	-		59.65
Affo2	4.25	-		51.82
Emb	3.00	punktförmig	1.00	47.20
Unee	3.05	punktförmig	0.50	44.81
Diel2	3.85	punktförmig	0.75	39.97
Diel1	3.90	punktförmig	1.25	51.03
Beri	4.80	punktförmig	1.20	56.20
Flaa	3.10	linienförmig	1.20	46.44
Kreu	3.40	linienförmig	0.40	47.23
Affo1	4.25	linienförmig	2.50	49.10
MumA	4.50	linienförmig	0.50	58.59

Für die Untersuchung wurden bewusst Strecken mit und ohne sowie mit linien- und punktförmigen seitlichen Hindernissen ausgewählt. Es gilt zu prüfen, ob das Vorhandensein eines Hindernisses, dessen Ausprägung und der seitliche Abstand zum Fahrbahnrand einen Einfluss auf die Grösse der Spuramplitude haben.

Hypothese: Seitliche Hindernisse haben in Abhängigkeit ihrer Ausprägung und ihres Abstandes zum Fahrbahnrand Einfluss auf das laterale Spurverhalten, beschrieben durch die Grösse der Spuramplitude und die Lage der mittleren Fahrzeugspur.

Um einen allfälligen Einfluss festzustellen, wurden die Spuramplituden an den ausgewählten Strecken untersucht. Zusätzlich wurde auch der Einfluss auf die mittlere Spurlage von frei fahrenden Personenwagen ohne Begegnung überprüft.

Abbildung 42 zeigt die mittleren Spuramplituden von Personenwagen in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite sowie die zugehörigen linearen Regressionen. Unterschieden werden Strecken ohne Hindernisse sowie mit punkt- und linienförmigen Hindernissen. Für die Strecken mit Hindernissen können generell etwas geringere Spuramplituden festgestellt werden. Bei punktförmigen Hindernissen beträgt die Differenz zu den Amplituden an Strecken ohne Hindernisse ca. 5 cm. Dieser Zusammenhang ist unabhängig von der Fahrstreifenbreite. Strecken mit linienförmigen Hindernissen weisen nur bei schmalen Fahrstreifen eine geringere Spuramplitude auf. Für breite Fahrstreifen kann kein Unterschied zu Strecken ohne seitliche Hindernisse festgestellt werden. Generell ist die Anzahl

der untersuchten Strecken so gering, dass Aussagen zur statistischen Signifikanz nicht angebracht sind.

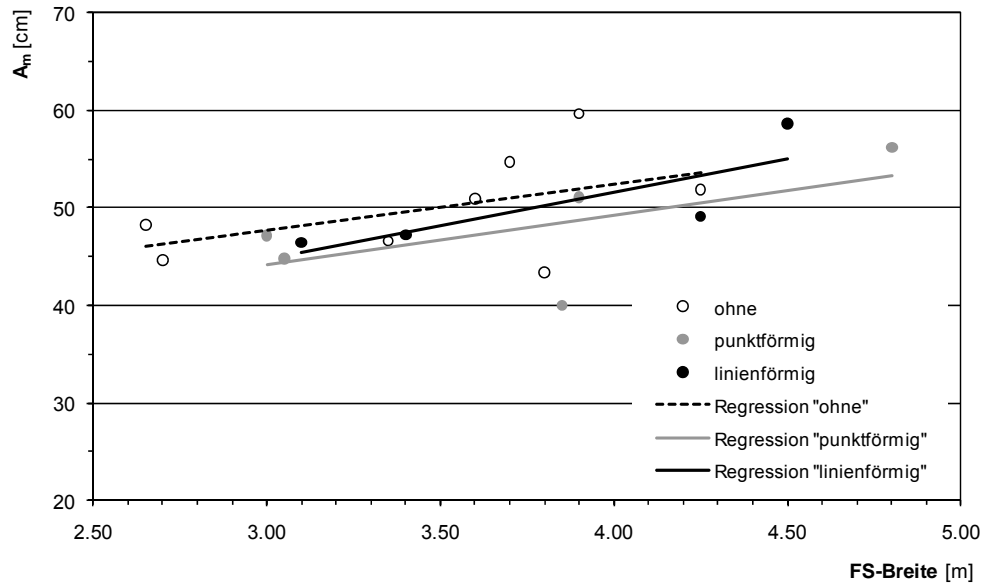


Abbildung 42: Mittlere Spuramplituden (A_m) von PW für unterschiedliche Hindernisausprägungen

In der Abbildung 43 steht nicht die Hindernisausprägung, sondern der seitliche Abstand der Hindernisse zum Fahrbahnrand im Vordergrund. Wie schon aus Abbildung 42 ersichtlich, ergibt sich für Personenwagen generell eine geringere mittlere Spuramplitude auf Strecken mit seitlichen Hindernissen als für Lastwagen. Die Unterscheidung, ob ein Hindernis einen Abstand von maximal einem Meter oder von mehr als einem Meter aufweist, hat jedoch keinen Einfluss auf die mittlere Spuramplitude. Auch in diesem Fall ist die Anzahl der herangezogenen Strecken als zu gering zu erachten, um gesicherte Aussagen zur statistischen Signifikanz dieses Einflusses zu tätigen.

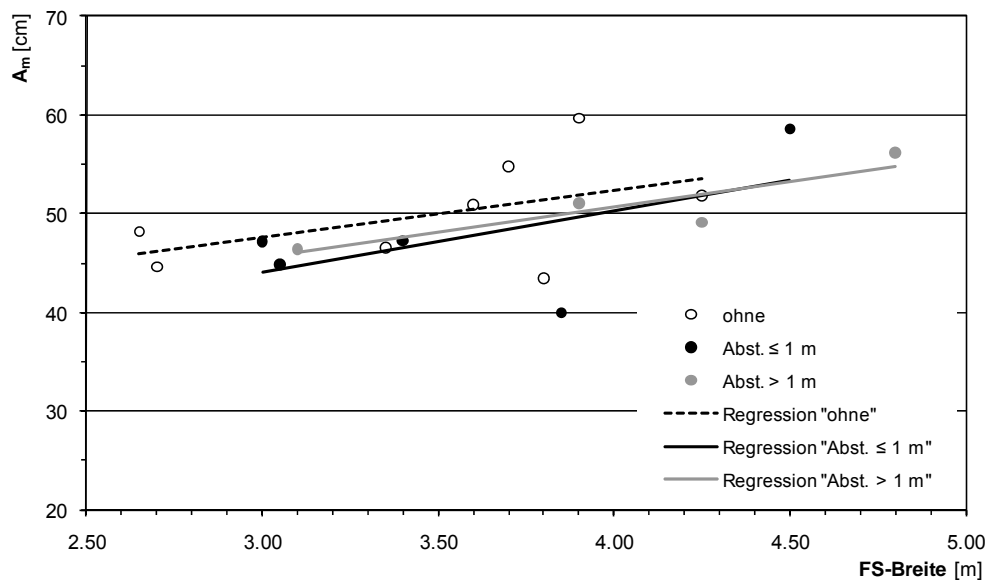


Abbildung 43: Mittlere Spuramplituden (A_m) von PW für unterschiedliche Hindernisabstände

Die Untersuchung zur Lage der mittleren Abweichung der Fahrzeugspur von der Fahrstreifenmitte zeigt deutliche Unterschiede für die beiden unterschiedlichen Hindernisaus-

prägungen. Wie aus Abbildung 44 ersichtlich, haben punktförmige Hindernisse keinen Einfluss auf die mittlere Spurlage der Personenwagen. Die linearen Regressionen verlaufen quasi parallel und weisen eine Differenz auf, welche unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit und des geringen Stichprobenumfangs, vernachlässigbar ist. Anders verhält es sich mit dem Einfluss linienförmiger Hindernisse auf die Spurlage. An Strecken mit schmalen Fahrstreifen findet eine deutliche Verlagerung der Fahrspur nach links, also zur Fahrbahnmitte, statt. Bei einer Fahrstreifenbreite von 3.0 m fahren Personenwagen im Mittel um mehr als 20 cm weiter links, wenn sich ein linienförmiges Hindernis neben der Fahrbahn befindet. Mit zunehmender Fahrstreifenbreite nimmt dieser Einfluss jedoch deutlich ab und bei Fahrstreifenbreiten von mehr als ca. 4.30 m ist bezüglich der Spurlage kein Einfluss der Hindernisausprägung ersichtlich.

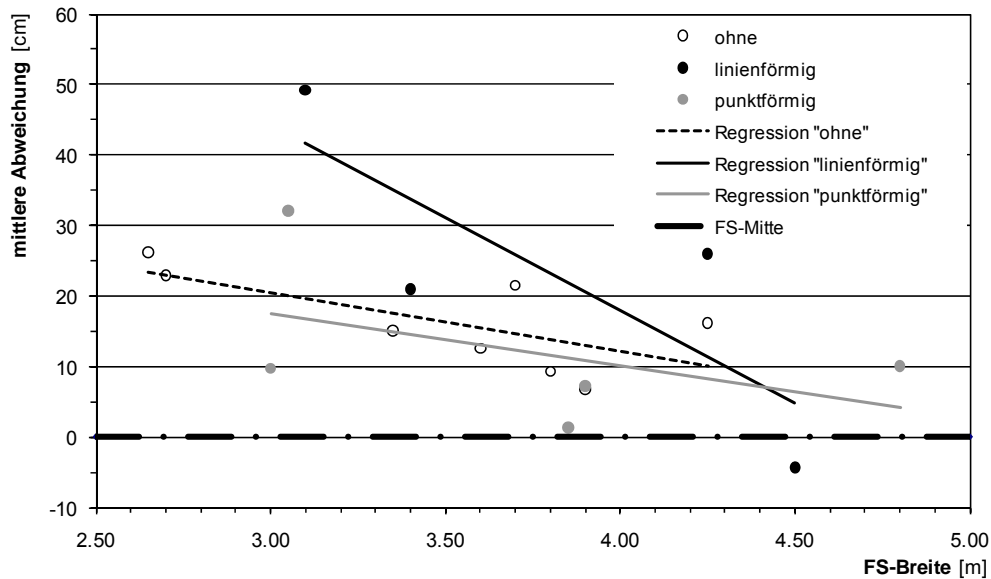


Abbildung 44: Mittlere Abweichung der Spurlage von PW von der Fahrstreifenmitte⁷ bei unterschiedlichen Hindernisausprägungen in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreiten

Die Untersuchung bezüglich des Hindernisabstandes auf die Spurlage brachte keine Ergebnisse. Dies ist insbesondere auf die geringe Anzahl herangezogener Strecken, welche eine mehrfaktorielle Untersuchung verunmöglichte, zurückzuführen. Generell können auf dieser Basis keine Aussagen zur Signifikanz der gewonnenen Erkenntnisse getroffen werden.

Die Hypothese, dass seitliche Hindernisse in Abhängigkeit ihrer Ausprägung und ihres Abstandes zum Fahrbahnrand das laterale Spurverhalten beeinflussen, kann bedingt angenommen werden. Für Strecken mit seitlichen Hindernissen jeglicher Ausprägung ergeben sich etwas geringere Spuramplituden. Auch kann für schmale Strecken mit linienförmigen seitlichen Hindernissen eine deutliche Verschiebung der Fahrspur nach links festgestellt werden, nicht jedoch für Strecken mit punktförmigen Hindernissen. Die statistische Signifikanz der Erkenntnisse konnte nicht geprüft werden.

Der geringe Einfluss allfälliger Hindernisse auf die Größe der Spuramplituden macht eine Unterscheidung der Untersuchungsstrecken bezüglich seitlicher Hindernisse für die Quantifizierung der Bewegungsspielräume überflüssig. Bei Untersuchungen zu den Begegnungsabständen (vgl. Ziffer 5.2) müssen jedoch die Strecken mit linienförmigen seitlichen Hindernissen gesondert betrachtet werden, da die Lage der Fahrzeugspur einen direkten Einfluss auf die Abstände zwischen zwei sich begegnenden Fahrzeugen hat.

⁷ Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

5.1.8 Beleuchtungsverhältnisse

Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse wurde anhand zweier Strecken untersucht. In Mumpf und an der Wehntalerstrasse in Zürich wurden sowohl Messungen bei hellen Beleuchtungsverhältnissen als auch bei Dunkelheit durchgeführt. Bei der Strecke Wehntalerstrasse sind keine seitlichen Hindernisse vorhanden. Die Strecke in Mumpf verfügt über ein linienförmiges seitliches Hindernis. In einem Abstand von 0.5 m zum Fahrbahnrand befindet sich eine ca. 6 m hohe Stützmauer. Die Fahrstreifenbreiten betragen 3.80 m (Wehn) und 4.50 m inkl. Radstreifen (Mum).

Hypothese: Die Beleuchtungsverhältnisse haben Einfluss auf das laterale Spurverhalten. Bei Dunkelheit weisen die Fahrzeuge infolge eingeschränkter Sichtverhältnisse eine grössere mittlere Spuramplitude sowie eine Verschiebung der mittleren Spurlage auf.

Um allfällige Verkehrseinflüsse auszuschliessen, wurden an beiden Strecken nur frei fahrende Fahrzeuge betrachtet. PW und LW wurden wie schon zuvor unterschieden. An beiden Strecken konnten bei Helligkeit sowie bei Dunkelheit jeweils 219 und mehr frei fahrende Personenwagen ausgewertet werden. Unter hellen Beleuchtungsverhältnissen konnten an der Wehntalerstrasse 65 und in Mumpf 20 Lastwagen ausgewertet werden. Bei Dunkelheit waren es noch 9 LW an der Wehntalerstrasse und 7 LW in Mumpf.

Tabelle 51 zeigt die mittleren Spuramplituden und die Abweichung der mittleren Fahrzeugtrajektorie von der Fahrstreifenmitte der PW für beide Strecken bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen.

Tabelle 51: Spuramplitude und Spurlage relativ zur Fahrstreifenmitte von PW bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen

Strecke	FS-Breite [m]	mittlere Spuramplitude [cm]			mittlere Spurlage* [cm]		
		hell	dunkel	Differenz	hell	dunkel	Differenz
Wehn	3.80	43.77	45.16	1.39	7.63	17.32	9.69
Mum	4.50	58.77	66.94	8.17	-9.40	-1.01	8.39

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Die Differenz der mittleren Spuramplitude zeigt an, dass an der Strecke in Mumpf (Mum) die Spuramplitude bei Dunkelheit um 8.17 cm grösser ist als bei Helligkeit. An der Wehntalerstrasse (Wehn) konnten nur geringe Unterschiede festgestellt werden. Nur in Mumpf ergibt die statistische Untersuchung einen signifikanten Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Spuramplitude.

Die Lage der Fahrzeugspur verschiebt sich an beiden Strecken bei Dunkelheit um ca. 9 cm nach links. Die Fahrzeuge fahren demnach mit einem signifikant grösseren Abstand zum rechten Fahrbahnrand, wenn es dunkel ist.

Tabelle 52 zeigt analog zu den PW die mittleren Spuramplituden und die Abweichung der mittleren Fahrzeugtrajektorie von der Fahrstreifenmitte für LW, dies für beide Strecken bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen.

Tabelle 52: Spuramplitude und Spurlage relativ zur Fahrstreifenmitte von LW bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen

Strecke	FS-Breite [m]	mittlere Spuramplitude [cm]			mittlere Spurlage* [cm]		
		hell	dunkel	Differenz	hell	dunkel	Differenz
Wehn	3.80	30.44	35.24	4.80	14.36	25.47	11.10
Mum	4.50	53.92	55.14	1.23	-15.54	-4.01	11.53

*Abweichung: positiv nach links / negativ nach rechts

Bedingt durch den geringen Stichprobenumfang bei Dunkelheit können keine statistisch signifikanten Aussagen zum Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Spurverhalten

ten der LW getroffen werden.

Im Vergleich zu den Personenwagen ist die Differenz zwischen den mittleren Spuramplituden bei Helligkeit und bei Dunkelheit für LW mit 4.80 cm (Wehn) und 1.23 cm (Mum) eher gering. Die Ergebnisse zur Lage der Fahrzeugspur bestätigen jedoch die Beobachtungen bei den PW. Auch bei Lastwagen findet eine deutliche Verschiebung der mittleren Fahrzeugspur nach links statt. Diese beträgt im Mittel ca. 11 cm.

Generell kann somit festgehalten werden, dass Fahrzeuge, unabhängig vom Fahrzeugtyp, bei Dunkelheit mit einer grösseren Distanz zum rechten Fahrbahnrand fahren, als bei hellen Beleuchtungsverhältnissen. Der Fahrbahnrand birgt bei Dunkelheit mögliche Gefahren. Somit wählt der Fahrer unbewusst oder auch bewusst eine Fahrspur mit ausreichend grossem Sicherheitsabstand zum Fahrbahnrand. Auch in Bezug auf allfällige Richtungsänderungen im Fahrbahnverlauf, welche bei Dunkelheit möglicherweise erst später erkannt werden, scheint eine Fahrspur näher zur Fahrbahnmitte vorteilhaft.

Da der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse hauptsächlich bei der Strecke in Mumpf festgestellt werden kann, ist ein kombinierter Einfluss zusammen mit der grösseren Fahrstreifenbreite und des seitlichen, linienförmigen Hindernisses nicht auszuschliessen.

Die Hypothese, dass die Beleuchtungsverhältnisse das laterale Spurverhalten beeinflussen, kann angenommen werden. Dies gilt insbesondere für die Einflüsse auf die mittlere Lage Fahrzeugspuren. Bei Dunkelheit wird im grösseren Abstand zum Fahrbahnrand gefahren. Auch ein Einfluss auf die laterale Spuramplitude konnte festgestellt werden. Alle Fahrzeugtypen weisen bei Dunkelheit eine grössere Amplitude auf. Im Falle der breiten Fahrbahn mit seitlichem, linienförmigem Hindernis ist dieser Einfluss für PW signifikant.

Die Strecke in Mumpf wurde unter dem Aspekt ausgewählt, um Verhältnisse in Tunneln bzw. Galerien zu simulieren (vgl. Ziffer 2.4.1). Die Ergebnisse bei Dunkelheit deuten darauf hin, dass bei hohen, linienförmigen Hindernissen in geringem seitlichen Abstand, also bei Verhältnissen wie sie in Tunneln und Galerien oft vorhanden sind, im Mittel signifikant grössere Spuramplituden bei den PW auftreten (bis ca. + 8 cm) als ausserhalb von Tunneln und Galerien. Zudem verschiebt sich sowohl bei PW als auch bei LW die mittlere Spurlage um ca. 10 cm in Richtung Fahrbahnmitte.

Ähnliche Erkenntnisse ergaben sich bei Erhebungen von SPACEK [Spacek, 1997]. Bei Messungen in Geraden unmittelbar vor Kurven resultierten dort bei Dunkelheit eine deutlich höhere Standardabweichung der Spurverteilung als bei Helligkeit (25 cm gegenüber 17 cm) und eine Vergrösserung des mittleren Abstandes vom Fahrbahnrand um 10 cm.

5.2 Begegnungsabstände

Analog zur Betrachtung der Spuramplituden (vgl. Ziffer 5.1) erfolgt die Untersuchung der Begegnungsabstände in mehreren Schritten. Ausgehend von der Einflussprüfung in diesem Abschnitt erfolgt in den Ziffern 6.3 und 6.4 die Quantifizierung der Gegenverkehrs- und Überholzuschläge. Der Einfluss folgender Faktoren wurde geprüft:

- Fahrzeugstatus (frei fahrend / im Pulk)
- Fahrzeugkategorie (PW / LW)
- Anzahl begegnender Fahrzeuge
- Fahrgeschwindigkeiten
- Fahrstreifenbreiten
- Seitliche Hindernisse (Vorhandensein, Abstand)

Auf eine Untersuchung des Einflusses der Beleuchtungsverhältnisse auf den lateralen Begegnungsabstand wurde auf Grund des geringen Stichprobenumfangs für Begegnungen bei Dunkelheit verzichtet.

5.2.1 Statistische Beurteilung der Einflussfaktoren

Der Einfluss dieser Faktoren auf die Begegnungsabstände zwischen zwei Fahrzeugen wird im Folgenden sowohl einzeln als auch in Kombination geprüft. Die Analyse erfolgt auf Basis der mit dem Lasermesssystem erhobenen Abstände zwischen den Fahrzeugflanken.

Wie schon bei den Spuramplituden, kann im Falle, dass ein Faktor keine signifikanten Auswirkungen auf den Begegnungsabstand hat, auf eine Differenzierung bezüglich dieses Faktors verzichtet werden. So verbleibt ein grösserer Stichprobenumfang, da bezüglich dieses Faktors die Datensätze vereinigt werden können.

Auch zu den Begegnungsabständen werden Hypothesen bezüglich allfälliger Einflüsse aufgestellt und mit statistischen Tests überprüft. Auf Grund der Ergebnisse werden die Hypothesen anschliessend bestätigt oder verworfen. Die Ergebnisse werden bezüglich ihrer Signifikanz auf dem Niveau von $\alpha = 0.01$ getestet.

5.2.2 Fahrzeugstatus

Als ein möglicher Einflussfaktor wird zunächst der Status der Fahrzeuge auf die Begegnungsabstände untersucht.

Hypothese: Der Status eines Fahrzeugs, ob es frei fahrend ist oder durch mindestens ein vorausfahrendes Fahrzeug beeinflusst wird, hat Auswirkungen auf den Abstand zwischen sich begegnenden Fahrzeugen. Dieser Einfluss ist abhängig von der Begegnungsart (Kreuzen / Überholen).

Zum Test dieser Hypothese wurden alle PW und LW aus den Messungen bei hellen Beleuchtungsverhältnissen herangezogen, für welche eine Begegnung mit einem PW oder LW detektiert und ein Begegnungsabstand bestimmt werden konnte. Insgesamt bedeutet dies eine Stichprobengrösse von 1343 Fahrzeugen. Betrachtet wurde analog zu Ziffer 5.1.2 der kombinierte Einfluss der Faktoren Fahrzeugstatus und der Untersuchungsstreckengruppe. Die Untersuchungsstreckengruppe definiert sich durch die Betriebsart und die zulässige Höchstgeschwindigkeit an den Strecken. Die Unterscheidung der frei fahrenden und sich im Pulk befindlichen Fahrzeuge erfolgte gemäss Ziffer 2.6.1 anhand der Folgezeitlücke zum vorausfahrenden Fahrzeug.

Abbildung 45 zeigt die mittleren Begegnungsabstände für die Untersuchungsstreckengruppen 30, 50, 80, und 100 km/h sowie an Autobahnen. Für Strecken mit Gegenverkehr ist bereits hier ein deutlicher Zusammenhang zwischen zulässiger Höchstgeschwindigkeit und dem mittleren Abstand zwischen sich kreuzenden Fahrzeugen ersichtlich (vgl. auch Tabelle 53). Beträgt der mittlere Abstand zwischen zwei Fahrzeugen bei Tempolimite 30 km/h nur 101.4 cm für frei fahrende Fahrzeuge und 128.5 cm für Fahrzeuge im Pulk, so sind es bei Tempolimite 100 km/h 249.8 cm für frei fahrende Fahrzeuge und 235.9 cm für Fahrzeuge im Pulk. Im Falle eines Überholvorgangs auf Autobahnen liegt der Begegnungsabstand mit 151.3 cm für frei fahrende Fahrzeuge und 149.9 cm für Fahrzeuge im Pulk deutlich unter den Begegnungsabständen für kreuzende Fahrzeuge bei Tempolimiten von 80 und 100 km/h.

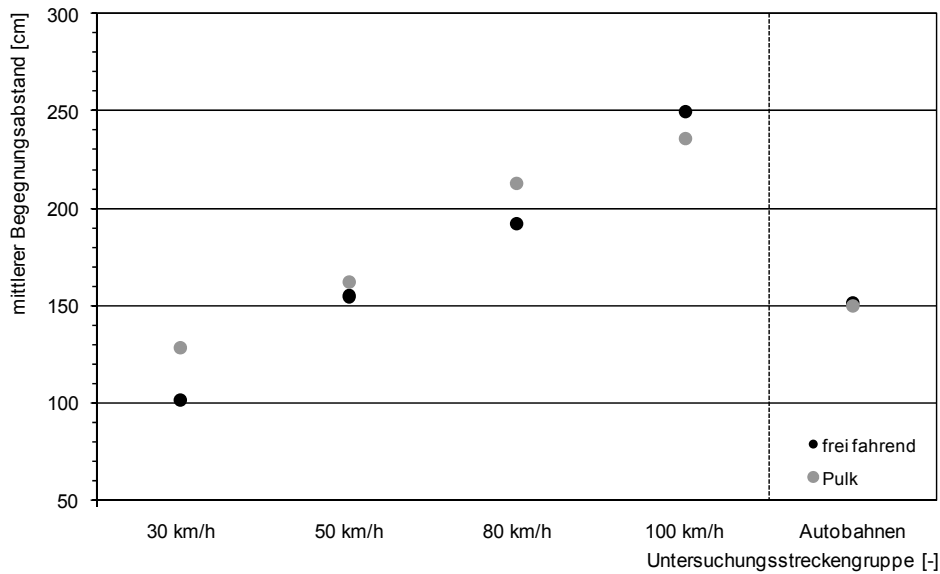


Abbildung 45: Einfluss des Fahrzeugstatus auf den mittleren Begegnungsabstand

Bezüglich des Einflusses des Fahrzeugstatus auf den Begegnungsabstand ergibt sich kein einheitliches Bild (vgl. Tabelle 53). Für den Begegnungsfall „Kreuzen“ treten bei den Tempolimiten 30, 50 und 80 km/h grössere Begegnungsabstände für Fahrzeuge im Pulk auf. Bei Tempolimite 30 km/h ist der Abstand der frei fahrenden Fahrzeuge im Mittel um 27.1 cm geringer als bei Fahrzeugen im Pulk. Bei Tempolimite 50 km/h beträgt die Differenz 7.4 cm und bei Tempolimite 80 km/h 20.6 cm. Im Gegensatz dazu halten bei Tempolimite 100 km/h die im Pulk befindlichen Fahrzeuge einen im Mittel um 13.8 cm geringeren Abstand zu entgegenkommenden Fahrzeugen. Auf Autobahnen ergibt sich zwischen den Zuständen „frei fahrend“ und „im Pulk“ kein Unterschied.

Tabelle 53: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach Fahrzeugstatus

Strecken- kategorie	Fahrzeugstatus						Differenz Δ [cm]
	frei fahrend			Pulk			
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	
30 km/h	41	101.4	26.7	2	128.5	4.1	27.1
50 km/h	301	154.6	48.6	39	162.1	50.1	7.4
80 km/h	375	192.1	53.4	258	212.7	47.8	20.6
100 km/h	18	249.8	64.9	22	235.9	45.8	-13.8
Autobahnen	88	151.3	52.6	199	149.9	65.4	-1.4

Statistische Tests haben gezeigt, dass der Einfluss des Fahrzeugstatus nur bei Ausserortsstrecken im Gegenverkehrsbetrieb mit Tempolimite 80 km/h signifikant ist. Zwar weisen die anderen Streckenkategorien zum Teil deutliche Differenzen auf, jedoch ist hier der Einfluss wegen des geringen Stichprobenumfangs (n) und der relativ grossen Standardabweichung (σ) nicht statistisch signifikant.

Ausgehend von den statistischen Untersuchungen kann festgehalten werden, dass der Fahrzeugstatus im Betrieb mit Gegenverkehr bei Tempolimite 80 km/h einen wesentlichen Einfluss auf den Begegnungsabstand hat. Im Richtungsbetrieb auf Autobahnen, wo Begegnungen in Form von Überholungen auftreten, ist kein Einfluss ersichtlich.

Die Hypothese, dass der Fahrzeugstatus Einfluss auf den Begegnungsabstand hat, muss für Strecken mit Gegenverkehr angenommen werden. Insbesondere bei Strecken mit Tempolimite 80 km/h zeigt sich ein signifikanter Einfluss. Für Strecken im Richtungsbe-

trieb (Autobahnen) wird kein Einfluss festgestellt. Es muss zwischen den Begegnungsarten „Kreuzen“ und „Überholen“ differenziert werden.

Im Rahmen der weiteren Untersuchung muss für Strecken mit Gegenverkehr zwischen frei fahrenden Fahrzeugen und Fahrzeugen im Pulk unterschieden werden. Auf Grund der nur geringen Strichprobengrösse für Fahrzeuge im Pulk wird jedoch auf eine Differenzierung verzichtet und im Folgenden nur noch die Gruppe der frei fahrenden Fahrzeuge betrachtet.

Wesentlich ist der Unterschied zwischen den Betriebsformen mit Gegenverkehr und im Richtungsbetrieb auf Autobahnen (vgl. Abbildung 45). Die Annahme in der Schweizer Norm [SN 640 201, Ziffer 7] „Bei der Dimensionierung von richtungsgetrennten Fahrbahnen, bei denen das Überholen massgebend wird, können die gleichen Werte wie beim Gegenverkehrszuschlag angewendet werden.“ ist demnach nicht zutreffend.

5.2.3 Anzahl begegnender Fahrzeuge

Neben dem Fahrzeugstatus des Fahrzeugs in Messrichtung ist denkbar, dass die Anzahl der entgegenkommenden oder überholenden Fahrzeuge einen Einfluss auf den Begegnungsabstand zwischen den Fahrzeugen hat. Im Falle mehrerer begegnender Fahrzeuge wurde bis anhin als Begegnungsabstand jeweils der Abstand zwischen dem Fahrzeug in Messrichtung und dem ersten begegnenden Fahrzeug ausgewertet.

Hypothese: Die Anzahl der begegnenden Fahrzeuge hat einen Einfluss auf die Grösse des Begegnungsabstandes.

Um den Einfluss der Anzahl begegnender Fahrzeuge festzustellen, wurden alle Fahrzeuge getrennt nach Untersuchungsstreckengruppen betrachtet. Für die Strecken mit Gegenverkehr beschränkt sich die Untersuchung auf die frei fahrenden PW und LW. Bei Strecken an Autobahnen wurden frei fahrende und im Pulk befindliche PW und LW zu einer Gruppe zusammengefasst (vgl. Ziffer 5.2.2).

Die Abbildung 46 zeigt die mittleren Begegnungsabstände für die einzelnen Untersuchungsstreckengruppen in Abhängigkeit der Anzahl begegnender Fahrzeuge.

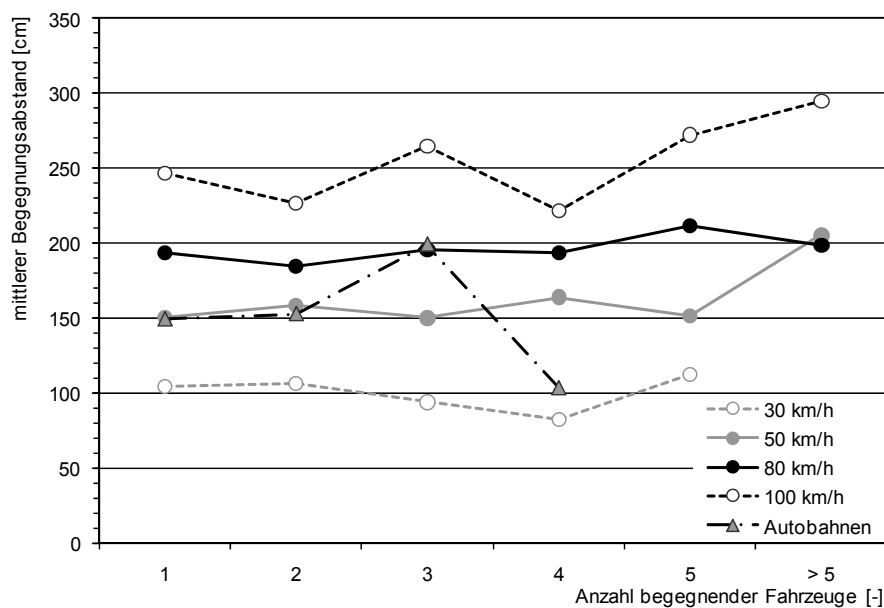


Abbildung 46: Einfluss der Anzahl begegnender Fahrzeuge auf den mittleren Begegnungsabstand

Wie zu erwarten, ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Geschwindigkeitsni-

veau und der Grösse des lateralen Begegnungsabstandes ersichtlich. Ein Einfluss der Anzahl begegnender Fahrzeuge hingegen ist nicht gegeben. Für alle Gruppen von Untersuchungsstrecken gilt, dass der Begegnungsabstand praktisch unverändert bleibt, egal ob es sich um ein, zwei, drei vier, fünf oder mehr begegnende Fahrzeuge handelt. Die etwas grösseren Differenzen, welche an Autobahnen zu beobachten sind, werden auf den geringen Stichprobenumfang für Begegnungen mit drei und mehr Fahrzeugen zurückgeführt (vgl. Tabelle 54). Eine Begegnung steht hier für einen Überholvorgang. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug im Erfassungsbereich des Lasermesssystems von drei oder mehr Fahrzeugen überholt wird ist gering.

Tabelle 54: Mittelwerte (μ) der Begegnungsabstände in Relation zur Anzahl begegnender Fahrzeuge

Strecken- kategorie	Anzahl begegnender Fahrzeuge											
	1		2		3		4		5		> 5	
	n [-]	μ [cm]	n [-]	μ [cm]	n [-]	μ [cm]	n [-]	μ [cm]	n [-]	μ [cm]	n [-]	μ [cm]
30 km/h	13	104.2	15	106.1	7	93.8	4	82.5	2	112.3	-	-
50 km/h	126	150.2	96	158.2	40	149.9	25	163.9	10	151.6	4	205.1
80 km/h	140	193.6	116	184.4	68	195.7	20	193.6	16	211.5	15	198.3
100 km/h	4	246.0	5	226.9	6	264.5	1	221.6	1	272.2	1	295.0
Autobahnen	253	149.3	28	152.7	5	198.9	1	103.5	-	-	-	-

Die statistischen Untersuchungen bezüglich des Einflusses der Anzahl begegnender Fahrzeuge bestätigten diese Erkenntnisse. Für alle Untersuchungsstreckengruppen ergibt die Varianzanalyse deutlich nicht signifikante Werte.

Die Hypothese, dass die Anzahl der begegnenden Fahrzeuge Einfluss auf die Grösse des Begegnungsabstandes hat, muss abgelehnt werden. Für alle Untersuchungsstreckengruppen ist keine Abhängigkeit der Begegnungsabstände von der Anzahl der begegnenden Fahrzeuge gegeben.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird weiterhin nicht unterschieden, ob eine Begegnung mit einem oder mehreren Fahrzeugen stattgefunden hat. Für die Untersuchung steht somit der gesamte Datensatz der detektierten Begegnungen zur Verfügung, wobei eine Aufteilung in Untergruppen nach Anzahl begegnender Fahrzeuge entfällt.

5.2.4 Fahrzeugkategorie

Bedingt durch die unterschiedlichen Fahrzeugbreiten ist davon auszugehen, dass die Fahrzeugkategorie einen Einfluss auf den Abstand zwei sich begegnender Fahrzeug hat.

Hypothese: Die Fahrzeugkategorie der an der Begegnung beteiligten Fahrzeuge hat einen Einfluss auf die Grösse des lateralen Abstandes zwischen beiden Fahrzeugen. Dies betrifft sowohl die Kategorie des Fahrzeugs in Messrichtung sowie jene des entgegenkommenden Fahrzeugs auf Strecken mit Gegenverkehr als auch auf Autobahnen die Kategorie des Fahrzeugs auf dem Normalfahrstreifen sowie jene des überholenden Fahrzeugs.

Generell wird im Folgenden zwischen den Fahrzeugkategorien PW und LW differenziert. Bei der Untersuchung des Einflusses der Fahrzeugkategorie müssen jedoch zwei Situationen unterschieden werden. So kann sowohl die Kategorie des Fahrzeugs auf dem rechten Fahrstreifen (bzw. dem Normalfahrstreifen auf der Autobahn) in Messrichtung den Begegnungsabstand beeinflussen, als auch jene des begegnenden Fahrzeugs.

Im Folgenden wird zuerst der Einfluss der Kategorie des Fahrzeugs auf dem rechten bzw. Normalfahrstreifen in Messrichtung untersucht (kurz: Fahrzeugkategorie in Messrichtung) und danach der Einfluss der Kategorie des entgegenkommenden oder überholenden Fahrzeugs (kurz: Kategorie des begegnenden Fahrzeugs) untersucht.

Fahrzeugkategorie in Messrichtung

Die Untersuchung basiert auf den Datensätzen der frei fahrenden Fahrzeuge an Strecken mit Gegenverkehr und jenen aller Fahrzeuge auf Autobahnen, für welche ein Begegnungsabstand detektiert werden konnte. Insgesamt stehen somit 1022 auswertbare Begegnungsabstände zur Verfügung. Die Unterscheidung der Fahrzeugkategorien basiert auf den in Ziffer 3.2 festgelegten Abmessungen für Personen- und Lastwagen.

In Abbildung 47 sind die mittleren Begegnungsabstände für die einzelnen Untersuchungsstreckengruppen dargestellt. Neben der bereits bekannten Abhängigkeit der Grösse des Begegnungsabstandes von der Streckengruppe, respektive der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, ist für alle Gruppen ein deutlicher Unterschied für die Fahrzeuggruppen PW und LW ersichtlich. Handelt es sich bei dem betrachteten Fahrzeug um einen LW, so ist der laterale Abstand zu einem entgegenkommenden Fahrzeug (PW oder LW) im Mittel um ca. 40 cm geringer als wenn es sich um einen PW handelt. Bei überholten PW auf Autobahnen fällt die Differenz mit 12.0 cm deutlich geringer aus.

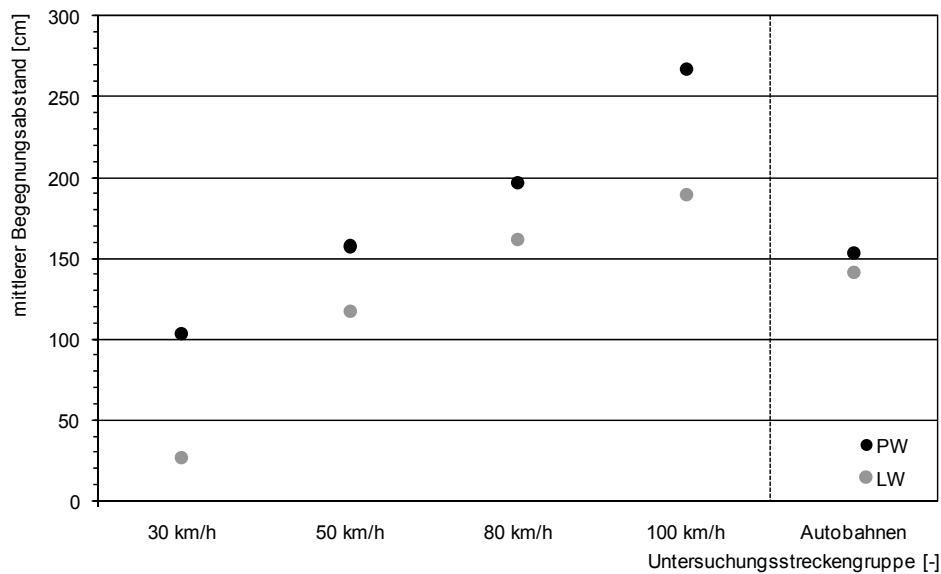


Abbildung 47: Einfluss der Fahrzeugkategorie auf den mittleren Begegnungsabstand

In der Betriebsform mit Gegenverkehr fallen die Unterschiede für alle Streckenkategorien überaus deutlich aus (vgl. Tabelle 55). Die statistischen Untersuchungen bestätigen dies. Ausser für Tempolimit 100 km/h sind alle Einflüsse statistisch signifikant. Die an Autobahnen festgestellte Differenz der lateralen Begegnungsabstände fällt mit 12.0 cm deutlich geringer aus und ist nicht signifikant. Dies dürfte auf die Form der Begegnung und auch auf die vergleichsweise grossen Fahrstreifenbreiten auf Überhol- und Normalfahrstreifen zurückzuführen sein. Diese werden in Ziffer 5.2.6 untersucht.

Tabelle 55: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach Fahrzeugkategorie

Strecken- kategorie	Kategorie des Fahrzeugs in Messrichtung						Differenz Δ [cm]
	PW			LW			
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	
30 km/h	40	103.2	24.1	1	26.6	-	-76.6
50 km/h	279	157.6	46.5	22	117.4	59.7	-40.1
80 km/h	322	197.0	53.7	53	162.1	40.7	-34.9
100 km/h	14	267.0	62.4	4	189.4	27.9	-77.6
Autobahnen	212	153.4	63.1	75	141.4	57.0	-12.0

Für den Einfluss der Kategorie des Fahrzeugs auf dem Fahrstreifen in Messrichtung kann demnach festgehalten werden, dass auf Strecken mit Gegenverkehr ein deutlicher und statistisch signifikanter Einfluss auf den lateralen Begegnungsabstand besteht. Auf Autobahnen ist dieser Einfluss geringer und nicht signifikant.

Kategorie des begegnenden Fahrzeugs

Zur Betrachtung des Einflusses der Kategorie der begegnenden Fahrzeuge wurden die gleichen 1022 Datensätze herangezogen. Diesmal wurden diese jedoch bezüglich der Fahrzeugkategorie des entgegenkommenden oder überholenden Fahrzeugs unterschieden.

Die Abbildung 48 zeigt die mittleren Begegnungsabstände der einzelnen Untersuchungsstreckengruppen für begegnende PW und LW. Die Unterschiede fallen hier nicht so deutlich aus, wie bei der vorherigen Betrachtung. Nur für Strecken mit Tempolimiten 50 und 80 km/h ergeben sich deutliche Differenzen.

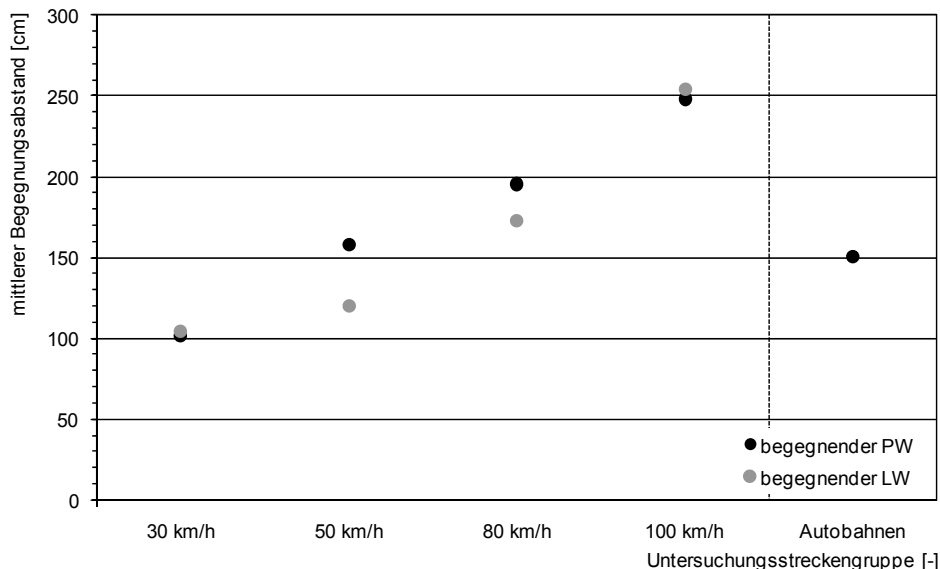


Abbildung 48: Einfluss der Kategorie des begegnenden Fahrzeugs auf den mittleren Begegnungsabstand

Wie aus Tabelle 56 ersichtlich, konnten bei Tempolimiten 30 und 100 km/h nur wenige Begegnungen mit entgegenkommenden LW und auf Autobahnen keine Begegnung mit überholenden LW gemessen werden. Somit fokussiert sich die Betrachtung des Einflusses auf die Untersuchungsstrecken mit Tempolimiten 50 und 80 km/h.

Tabelle 56: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach Kategorie des begegnenden Fz

Strecken- kategorie	Kategorie des begegnenden Fahrzeugs						Differenz Δ [cm]
	PW			LW			
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	
30 km/h	40	101.3	27.0	1	104.1	-	2.8
50 km/h	275	157.9	47.4	26	120.4	48.7	-37.5
80 km/h	319	195.5	55.1	56	172.7	38.0	-22.8
100 km/h	13	248.2	75.2	5	254.0	30.0	5.8
Autobahnen	287	150.3	61.7	-	-	-	-

Aus der obigen Tabelle ist ersichtlich, dass sich für Strecken mit Tempolimit 50 km/h und für Strecken mit Tempolimit 80 km/h deutliche Differenzen ergeben, die auch statistisch signifikant sind. Im Mittel ist hier der Abstand um ca. 29 cm geringer, wenn es sich beim entgegenkommenden Fahrzeug um einen LW handelt.

Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Teiluntersuchungen (Tabelle 55 und Tabelle 56), so ergeben sich bei den PW zwischen den Kategorien „Fahrzeug in Messrichtung“ und „begegnendes Fahrzeug“ praktisch keine Unterschiede. Ausnahme bildet die Streckenkategorie mit Tempolimit 100 km/h, bei der die Differenz (267 cm gegenüber 248 cm) auf die sehr kleine Stichprobe zurückgeführt werden dürfte.

Bei den LW liegt der Fokus unter Berücksichtigung der Stichprobengrösse auf den Strecken mit Tempolimit 50 km/h und 80 km/h. Die Ergebnisse sind für diese zwei Streckenkategorien in Tabelle 57 zusammengefasst. Sie zeigt die Begegnungsabstände für LW als Fahrzeug in Messrichtung (LW-PW, gemäss Tabelle 55) und für LW als begegnendes Fahrzeug (PW-LW, gemäss Tabelle 56).

Tabelle 57: Mittelwerte (μ) der Begegnungsabstände bei Begegnungen mit LW

Strecken- kategorie	Art der Begegnung		
	LW-PW	PW-LW	Differenz
	μ [cm]	μ [cm]	Δ [cm]
50 km/h	117.4	120.4	3.0
80 km/h	162.1	172.7	10.6

Die Differenz bei Strecken mit Tempolimit 50 km/h ist mit 3.0 cm klein und im Rahmen der Messgenauigkeit vernachlässigbar. Bei Strecken mit Tempolimit 80 km/h deutet sich jedoch an, dass der Einfluss der Fahrzeugkategorie durch den Einfluss seitlicher Hindernisse überlagert wird. Da bei den Untersuchungen alle Strecken mit berücksichtigt wurden, unabhängig von allfälligen seitlichen Hindernissen, wurden auch Strecken mit linienförmigen Hindernissen einbezogen. Diese linienförmigen Hindernisse befinden sich an den Messstrecken jeweils in Messrichtung rechts neben der Fahrbahn. So kann ein Einfluss auf die Spurlage der LW im Begegnungsfall „LW-PW“ nicht ausgeschlossen werden. Im Gegensatz dazu werden die entgegenkommenden LW im Begegnungsfall „PW-LW“ nicht durch ein Hindernis jenseits des weiter entfernten, in Fahrtrichtung linken Fahrbahnrandes beeinflusst. Wie in Ziffer 5.1.7 dargestellt, führen linienförmige seitliche Hindernisse zu einer Verschiebung der Lage der mittleren Fahrzeugspur in Richtung Fahrbahnmitte. Dies wiederum führt im Begegnungsfall zu einem geringeren lateralen Begegnungsabstand. Ausführlich wird der Einfluss seitlicher Hindernisse auf die Begegnungsabstände in Ziffer 5.2.7 behandelt. Unabhängig von der Überlagerung durch den Einfluss der seitlichen Hindernisse ist ein signifikanter Einfluss der Fahrzeugkategorie ersichtlich.

Somit kann ein genereller Einfluss der Fahrzeugkategorie auf den lateralen Begegnungsabstand auf Strecken mit Gegenverkehrsbetrieb festgestellt werden. Insbesondere be-

dingt durch die unterschiedlichen Fahrzeugabmessungen ergeben sich im Begegnungsfall mit LW deutlich geringere Begegnungsabstände. Die Begegnungsvariante, ob ein LW einem PW entgegenkommt oder ein PW einem LW, hat erwartungsgemäss keinen Einfluss auf den Begegnungsabstand.

Für Autobahnen fällt der Einfluss der Fahrzeugkategorie deutlich geringer aus. Die zur Verfügung stehende Fahrbahn wird für Überholmanöver so ausgenutzt, dass abhängig von der überholten Fahrzeugkategorie nur geringfügig unterschiedliche Begegnungsabstände auftreten.

Die Hypothese, dass die Fahrzeugkategorie einen signifikanten Einfluss auf die lateralen Begegnungsabstände hat muss für alle Untersuchungsstreckengruppen mit Gegenverkehr angenommen werden. Bei Überholmanövern auf Autobahnen ist Einfluss ersichtlich, welcher aber weniger ausgeprägt und nicht signifikant ist.

Die Ergebnisse bestätigen somit die bereits bei der Untersuchung der Spuramplitude gewonnenen Erkenntnisse. Hiernach ist es auch in Bezug auf den Begegnungsabstand unabdingbar, zwischen Personen- und Lastwagen zu differenzieren.

5.2.5 Geschwindigkeiten

Die vorgängige Auswertung getrennt nach Untersuchungsstreckengruppen hat bereits eine Abhängigkeit des lateralen Begegnungsabstandes vom Geschwindigkeitsniveau angezeigt. Nachfolgend sollen der Einfluss der gefahrenen Geschwindigkeit auf den Begegnungsabstand sowie im Umkehrschluss die allfälligen Auswirkungen der Begegnungen auf die Geschwindigkeit untersucht werden.

Hypothese: Die gefahrene Geschwindigkeit hat einen signifikanten Einfluss auf den Begegnungsabstand zweier Fahrzeuge. Dieser ist abhängig von der Betriebsform und der Fahrzeugkategorie.

Ein entgegenkommendes Fahrzeug hat Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit. Im Falle einer Begegnung wird die Geschwindigkeit reduziert.

Zunächst wurde der Einfluss der Geschwindigkeit auf den Begegnungsabstand geprüft. Abbildung 49 zeigt den Zusammenhang zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Begegnung und dem lateralen Begegnungsabstand für die Begegnungsfälle zwischen Personenwagen und jene mit Lastwagen auf Strecken im Gegenverkehrsbetrieb. Massgebend ist in diesem Fall die Geschwindigkeit des PW in Messrichtung. Eine Annäherung erfolgte mittels einer quadratischen Regression. Das Bestimmtheitsmass (R^2) der Regression beträgt für PW 0.29 und für LW 0.30.

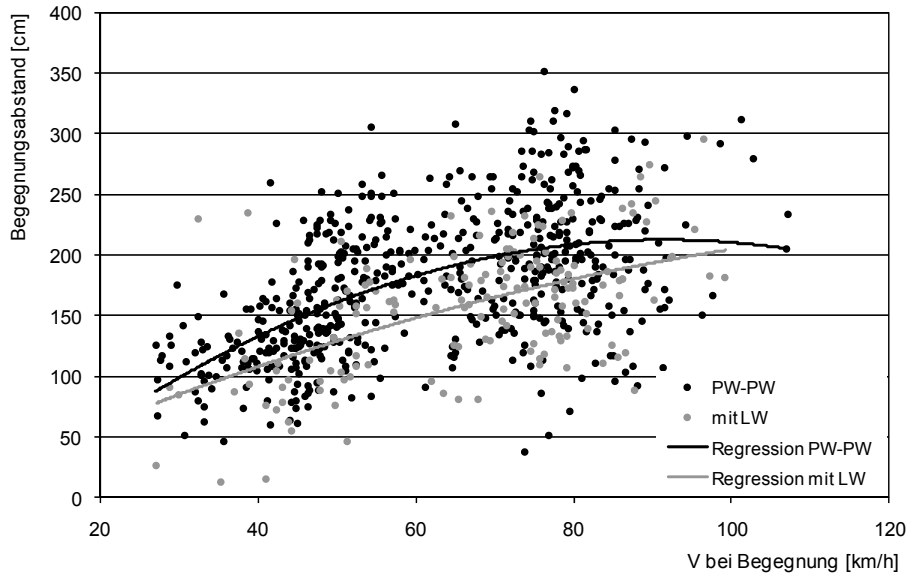


Abbildung 49: Fahrgeschwindigkeit (V) bei Begegnung und Begegnungsabstand nach massgebendem Begegnungstyp bei Gegenverkehr

Aus obiger Darstellung ist ersichtlich, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten um 30 km/h ein mittlerer lateraler Abstand von ca. 1.0 m zwischen zwei entgegenkommenden PW eingehalten wird. Dieser Abstand wächst bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h auf über 2.0 m an. Für Begegnungen mit Lastwagen ist der Abstand etwas geringer. Ausgehend von ca. 0.8 m bei 30 km/h wächst er bis zu einer Geschwindigkeit von 80 km/h auf ca. 1.8 m an. Statistische Untersuchungen mittels einer Kovarianzanalyse ergaben, dass diese Zusammenhänge signifikant sind.

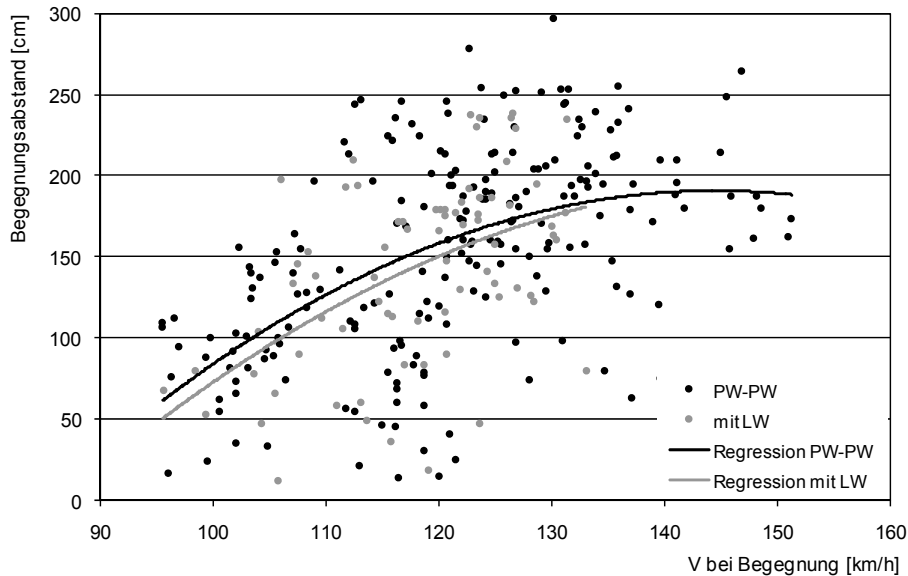


Abbildung 50: Fahrgeschwindigkeit (V) bei Begegnung und Begegnungsabstand nach massgebendem Begegnungstyp auf Autobahnen

Die Abbildung 50 zeigt die gleichen Zusammenhänge für Strecken auf Autobahnen. Auch hier ist der Zusammenhang zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit bei der Begegnung (Überholen) und dem lateralen Abstand zwischen den Fahrzeugen ersichtlich. Diesmal ist jedoch nicht die Geschwindigkeit des Fahrzeugs auf dem Normalfahrstreifen,

sondern jene des überholenden Fahrzeugs massgebend. Diese Festlegung trägt dem Umstand Rechnung, dass während eines Überholvorgangs das überholende Fahrzeug mit höherer Geschwindigkeit fährt und der Fahrer des von hinten nahenden Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Begegnung den lateralen Abstand wählt oder massgeblich beeinflusst.

Wie schon bei den Begegnungen auf Strecken mit Gegenverkehr tritt auch bei Überholmanövern mit LW ein etwas geringerer Abstand zwischen den Fahrzeugen auf als bei Überholungen PW-PW. Deutlich ist auch hier der Zusammenhang zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und dem im Mittel gewählten Abstand ersichtlich. Bei Überholungen PW-PW steigt der mittlere Abstand von ca. 0.6 m bei 95 km/h bis auf über 1.8 m bei einer Geschwindigkeit von 140 km/h. Auch diese Zusammenhänge sind statistisch signifikant. Das Bestimmtheitsmass der Regression beträgt 0.28 für den Begegnungsfall PW-PW und 0.26 für Begegnungen mit LW.

Der Einfluss allfälliger Begegnungen auf die gefahrene Geschwindigkeit ist in Abbildung 51 aufgezeigt. Dargestellt ist die Geschwindigkeitsab- bzw. Zunahme im Begegnungsfall in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit.

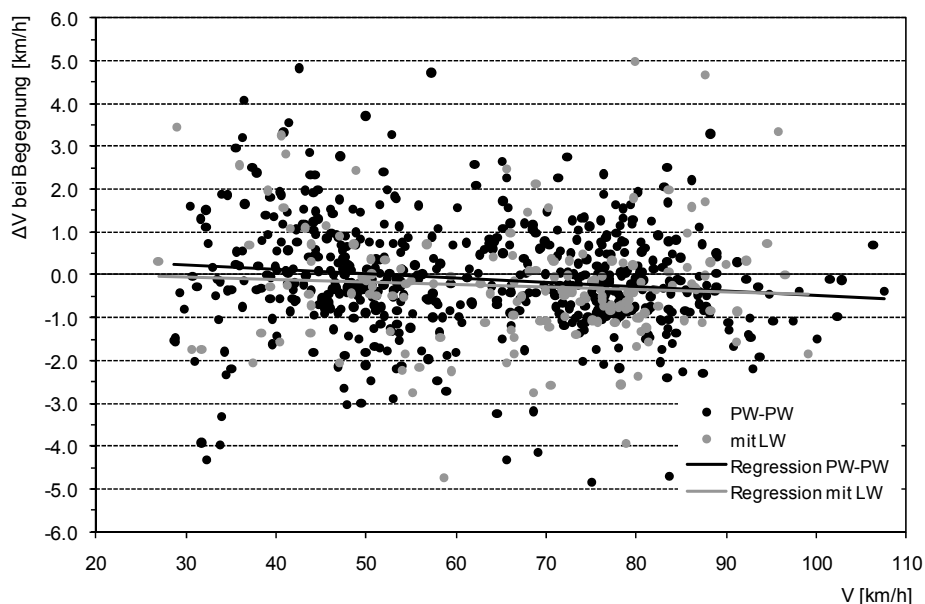


Abbildung 51: Änderung der Fahrgeschwindigkeit (ΔV) bei Begegnung mit Gegenverkehr in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit (V)

Die Geschwindigkeitsdifferenz konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nur als Differenz zwischen der mittleren Geschwindigkeit über den gesamten Streckenabschnitt und jener zum Zeitpunkt der Begegnung bestimmt werden. Dies ist insofern problematisch, als dass die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Begegnung auch Teil der mittleren Geschwindigkeit über die gesamte Strecke ist. Man erhält somit zwar ein Indiz, ob und wie stark ein Fahrzeug seine Geschwindigkeit im Begegnungsfall angepasst hat, nicht jedoch die genaue Differenz zwischen der Geschwindigkeit vor und zum Zeitpunkt der Begegnung.

Aus Abbildung 51 ist ersichtlich, dass im Mittel nur eine geringe Differenz zwischen den Geschwindigkeiten auf der gesamten Strecke und den Geschwindigkeiten zum Begegnungszeitpunkt besteht. Bei einzelnen Begegnungen mit Gegenverkehr können aber auch Geschwindigkeitsdifferenzen von bis zu ± 5 km/h auftreten, und zwar unabhängig vom Geschwindigkeitsniveau. Generell verzögern die Fahrzeuge im Falle einer Begegnung. Je grösser die gefahrene Geschwindigkeit, desto eher fällt auch die Geschwindigkeitsreduktion grösser aus. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h beträgt die mittlere Geschwindigkeitsdifferenz ca. 0.3 km/h unabhängig davon, ob es sich um eine Begegnung zweier PW oder eine Begegnung mit einem LW handelt. Lediglich im Bereich der

niedrigen Geschwindigkeiten können geringfügige Differenzen bezüglich der unterschiedlichen Fahrzeugtypen festgestellt werden.

Eine Auswertung der unterschiedlichen Fahrstreifenbreiten auf das Verzögerungsverhalten zeigte keine eindeutigen Korrelationen. Es kann jedoch festgehalten werden, dass auf schmalen Strecken die mittlere Geschwindigkeitsreduktion im Begegnungsfall mit 0.6 km/h etwas grösser ausfällt, als auf normalbreiten oder breiten Strecken (ca. 0.1 km/h).

Die Hypothese, dass die Fahrgeschwindigkeit einen signifikanten Einfluss auf die Grösse des Begegnungsabstands hat muss sowohl für PW, als auch für LW angenommen werden. Dies gilt sowohl für Begegnungen mit entgegenkommenden Fahrzeugen als auch mit überholenden Fahrzeugen auf Autobahnen.

Auch die Hypothese, dass im Falle einer Begegnung mit einem entgegenkommenden Fahrzeug die Geschwindigkeit reduziert wird, kann für PW sowie für LW angenommen werden. Aussagen zur Quantität dieser Verzögerung können nicht gemacht werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse bestätigen die bisherige Vorgehensweise der Schweizer Norm [SN 640 201], die Begegnungszuschläge geschwindigkeitsabhängig zu dimensionieren. Nicht jedoch die Annahme, dass für Überholzuschläge die gleichen Werte wie für Begegnungszuschläge angewendet werden können.

5.2.6 Fahrstreifenbreiten

Der Einfluss der Fahrstreifenbreiten auf den lateralen Begegnungsabstand wird nachfolgend anhand der diskreten Fahrstreifenbreite für Begegnungen im Gegenverkehrsbetrieb und für Überholungen auf Autobahnen untersucht.

Hypothese: Die Fahrstreifenbreite hat sowohl für Begegnungen zwischen PW als auch für Begegnungen mit LW einen signifikanten Einfluss auf die Grösse des lateralen Begegnungsabstandes.

Der zur Prüfung des Einflusses herangezogene Stichprobenumfang entspricht den bereits zuvor verwendeten Datensätzen von frei fahrenden PW und LW auf Strecken im Gegenverkehrsbetrieb und allen Fahrzeugen mit gemessenen Begegnungsabständen auf Autobahnen.

Abbildung 52 zeigt die Begegnungsabstände für die Begegnungsfälle „PW-PW“ und „mit LW“ in Abhängigkeit der jeweiligen Fahrstreifenbreite auf Strecken mit Gegenverkehrsbetrieb. Zusätzlich werden die Begegnungsabstände anhand der jeweiligen Tempolimiten unterschieden. Eine Annäherung des Zusammenhangs von Fahrstreifenbreite und Begegnungsabstand erfolgt getrennt für Begegnungen zwischen PW und Begegnungen mit LW jeweils durch eine lineare Regression.

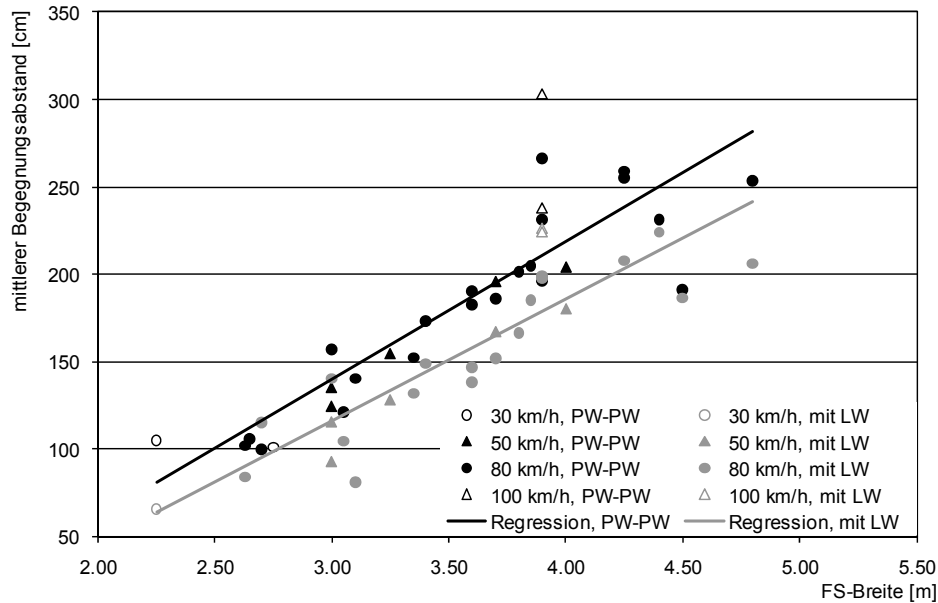


Abbildung 52: *Begegnungsabstand in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite nach Tempolimitengruppen, auf Strecken mit Gegenverkehrsbetrieb*

Sowohl für Begegnungen zwischen PW als auch für Begegnungen mit LW ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Fahrstreifenbreite und Begegnungsabstand ersichtlich. Mit zunehmender Fahrstreifenbreite nimmt auch der mittlere Begegnungsabstand zu. Für Begegnungen zwischen PW wächst der mittlere Begegnungsabstand von ca. 1.0 m bei einer Fahrstreifenbreite von 2.5 m auf über 2.5 m für Fahrstreifenbreiten von 4.5 m an. Bei Begegnungen mit LW liegen die Abstände im Mittel um 26 cm darunter.

Abbildung 53 zeigt die gleichen Zusammenhänge für den Begegnungsfall „Überholen“ auf Autobahnen. Auch hier wird zwischen Überholungen von PW und LW sowie nach der Tempolimitengruppe 100 und 120 km/h unterschieden.

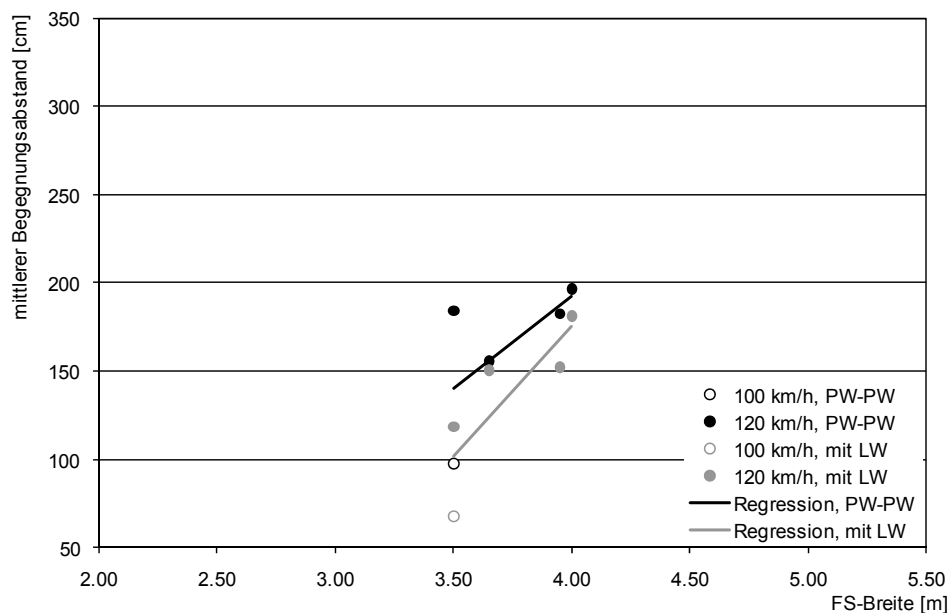


Abbildung 53: *Begegnungsabstand in Abhängigkeit der Fahrstreifenbreite nach Tempolimitengruppen, auf Autobahnen*

Qualitativ können für Überholungen auf Autobahnen identische Zusammenhänge bezüglich des Einflusses der Fahrstreifenbreite festgestellt werden, wie für entgegenkommende Fahrzeuge auf Strassen im Gegenverkehrsbetrieb. Bei Überholungen von PW steigt der ermittelte Begegnungsabstand von ca. 1.4 m bei einer Fahrstreifenbreite von 3.5 m auf knapp 2.0 m bei einer Fahrstreifenbreite von 4.0 m. Der Abstand für Begegnungen mit LW liegt im Mittel um knapp 30 cm darunter.

Statistische Untersuchungen mittels einer Kovarianzanalyse haben gezeigt, dass der Einfluss der Fahrstreifenbreite auf den lateralen Begegnungsabstand für alle betrachteten Szenarien statistisch signifikant ist.

Zusammenfassend sind in Tabelle 58 die Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) sowie der jeweilige Stichprobenumfang (n) der Begegnungsabstände für die drei Breitenkategorien und für den Begegnungsfall „PW-PW“ aufgeführt. Unterschieden werden auch hier die Streckenkategorien nach Tempolimiten sowie die Art der Begegnung.

Tabelle 58: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach FS-Breitenkategorien für Begegnungen zwischen PW

Strecken-kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]
Gegenverkehrsbetrieb									
30 km/h				39	102.7	25.6			
50 km/h				147	137.7	29.2	108	199.8	35.5
80 km/h	36	120.8	27.8	162	198.3	32.6	75	237.8	44.2
100 km/h							9	270.6	71.6
Autobahnen									
100 km/h	62	97.5	37.8						
120 km/h	60	169.9	41.7	90	189.6	53.4			

Analog zur Zusammenfassung in Tabelle 58 sind in Tabelle 59 die Mittelwerte (μ), Standardabweichungen (σ) und der jeweilige Stichprobenumfang (n) für Begegnungen mit LW zusammengetragen.

Tabelle 59: Mittelwerte (μ) und Standardabweichungen (σ) der Begegnungsabstände nach FS-Breitenkategorien für Begegnungen mit LW

Strecken-kategorie	FS-Breitenkategorie								
	schmal			normalbreit			breit		
	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]	n [-]	μ [cm]	σ [cm]
Gegenverkehrsbetrieb									
30 km/h				2	65.4	54.8			
50 km/h				33	111.8	26.9	13	173.8	32.2
80 km/h	8	104.9	9.2	77	166.3	28.2	17	205.9	34.9
100 km/h							9	224.9	49.1
Autobahnen									
100 km/h	13	67.8	29.5						
120 km/h	37	134.7	29.7	25	166.7	45.6			

Die Hypothese, dass die Fahrstreifenbreite einen signifikanten Einfluss auf den lateralen Begegnungsabstand hat, muss sowohl für die Begegnungen zwischen PW als auch für die Begegnungen mit LW für Strecken mit Gegenverkehr und Strecken auf Autobahnen angenommen werden.

Erwartungsgemäss nimmt mit zunehmender Fahrstreifenbreite auch der Abstand zwischen sich begegnenden Fahrzeugen zu. Die Fahrzeuglenker sind bestrebt, einen möglichst grossen, der Situation angemessenen Abstand zum begegnenden Fahrzeug einzuhalten. Im Begegnungsfall mit LW fällt dieser bedingt durch die grösseren Fahrzeugabmessungen etwas geringer aus, als bei Begegnungen zwischen PW.

5.2.7 Seitliche Hindernisse

Bereits in Ziffer 5.2.4 ist ein Einfluss seitlicher Hindernisse auf den lateralen Begegnungsabstand festgestellt worden. Linienförmige Hindernisse führen gemäss den Erkenntnissen aus Ziffer 5.1.7 zu einer Verschiebung der mittleren Spurlage. Im Falle einer Begegnung hat diese Verlagerung der Spur Auswirkungen auf den lateralen Begegnungsabstand.

Hypothese: Linienförmige Hindernisse haben einen Einfluss auf die Grösse der lateralen Begegnungsabstände. Sie führen zu geringeren Abständen zwischen entgegenkommenden Fahrzeugen.

Nachdem vorgängige Untersuchungen gezeigt haben, dass punktförmige Hindernisse keinen Einfluss auf die Spurlage haben (vgl. Ziffer 5.1.7), werden nachfolgend die Datensätze der Fahrzeuge „ohne Hindernis“ und jener „mit punktförmigem Hindernis“ zu der Gruppe „ohne linienförmiges Hindernis“ zusammengefasst. Die Untersuchung des Einflusses linienförmiger Hindernisse auf den Begegnungsabstand erfolgt für die Untersuchungsstrecken mit Tempolimiten 50 und 80 km/h im Gegenverkehrsbetrieb. Der betrachtete Stichprobenumfang umfasst insgesamt 676 Fahrzeuge, davon 148 Begegnungen mit LW.

In Abbildung 54 sind die lateralen Begegnungsabstände für Begegnungen mit und ohne linienförmige seitliche Hindernisse dargestellt. Die Darstellung ist gegliedert in Begegnungen zwischen PW und Begegnungen mit LW sowie für die Tempolimitengruppen 50 und 80 km/h.

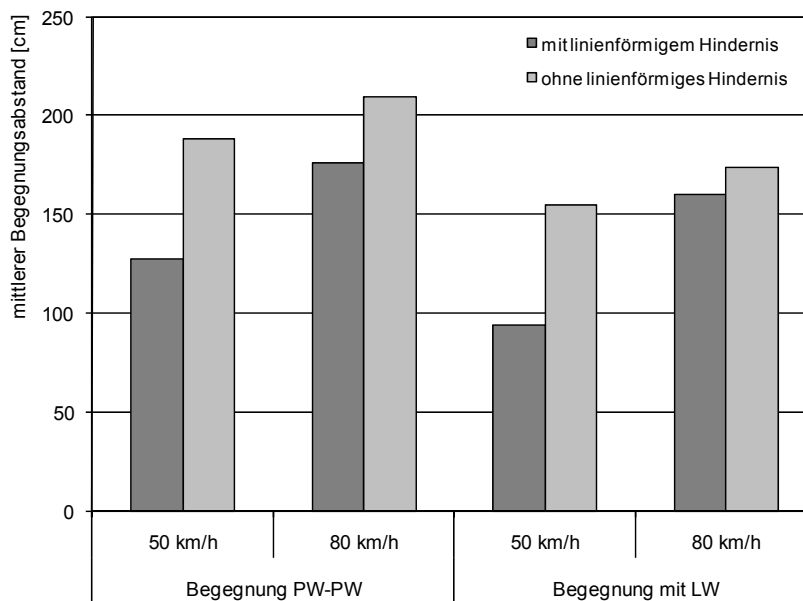


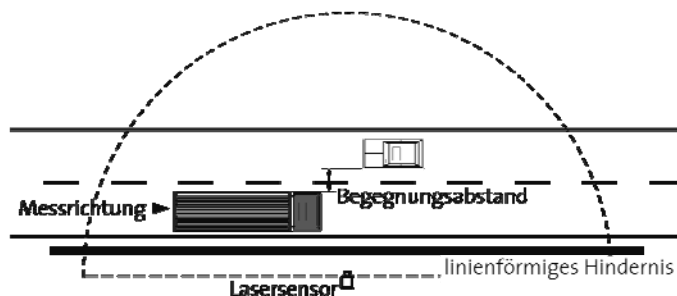
Abbildung 54: *Begegnungsabstände in Abhängigkeit der Anwesenheit linienförmiger Hindernisse*

Für alle in Abbildung 54 angegebenen Begegnungsfälle sind deutliche Unterschiede zwischen den Begegnungsabständen mit und ohne linienförmiges Hindernis ersichtlich. Auf Strecken mit einem linienförmigen Hindernis treten bei Tempolimite 50 km/h sowohl bei Begegnungen zweier PW als auch bei Begegnungen mit LW im Mittel um ca. 60 cm ge-

ringere Begegnungsabstände auf. Bei Tempolimit 80 km/h beträgt die Differenz ca. 33 cm im Begegnungsfall PW-PW und ca. 14 cm bei Begegnungen mit LW. Befindet sich ein linienförmiges Hindernis seitlich der Fahrbahn, führt dies zu einer Lageverschiebung der Fahrstreifenachse in Richtung Fahrbahnmitte. Diese Verschiebung findet unabhängig davon statt, ob ein Begegnungsfall vorliegt oder nicht. Als Folge hieraus ergibt sich bei allfälligen Begegnungen ein deutlich reduzierter lateraler Begegnungsabstand. Ausser beim Begegnungsfall mit LW bei Tempolimit 80 km/h sind diese Differenzen in allen Fällen statistisch signifikant.

Wie bereits in Ziffer 5.2.4 angedeutet wurde, treten für den Begegnungsfall mit LW bezüglich des Einflusses von Hindernissen unterschiedliche Differenzen in Abhängigkeit der Fahrtrichtung des LW auf. Bei Begegnungen mit LW ist es demnach erforderlich zu unterscheiden, auf welcher Fahrbahnseite der LW gefahren ist. Befand sich der LW auf dem Fahrstreifen in Messrichtung, so wurde er direkt vom linienförmigen Hindernis beeinflusst. Handelte es sich jedoch bei dem entgegenkommenden Fahrzeug um einen LW, so wurde nicht der LW, sondern der PW in Messrichtung durch das Hindernis beeinflusst (vgl. Abbildung 55).

LW in Messrichtung:



LW in Gegenrichtung:

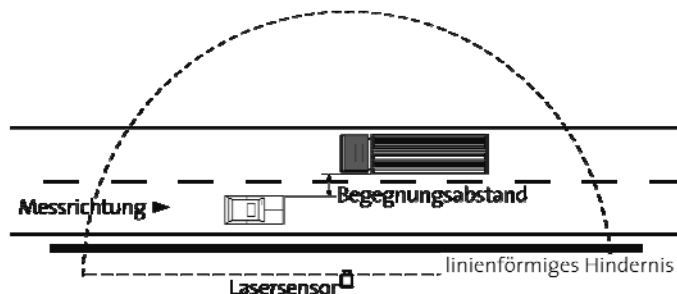


Abbildung 55: Position des LW bei Anwesenheit eines linienförmigen Hindernisses

In Abbildung 56 sind die jeweiligen Begegnungsabstände für den Begegnungsfall mit LW für die Untersuchungsstrecken mit seitlichem linienförmigem Hindernis dargestellt. Die Betrachtung erfolgt separat für die Strecken mit Tempolimit 50 und 80 km/h. Für alle vier Szenarien (Tempolimit 50 oder 80 km/h, LW in Mess- oder Gegenrichtung) konnten zwischen 12 und 16 Begegnungsabstände ausgewertet werden.

Für beide Tempolimitegruppen ist deutlich zu sehen, dass für den Begegnungsfall mit einem LW in Messrichtung kleinere Begegnungsabstände auftreten, als im Begegnungsfall mit einem LW in Gegenrichtung. Im Mittel beträgt die Differenz ca. 27 cm bei Tempolimit 50 km/h und ca. 29 cm bei Tempolimit 80 km/h. Da davon ausgegangen werden kann, dass ein seitliches Hindernis nur das Fahrverhalten auf dem angrenzenden Fahrstreifen beeinflusst, kann anhand der variierenden Begegnungsabstände ein unterschiedlicher Einfluss linienförmiger Hindernisse auf PW und LW festgestellt werden. Dieser Einfluss fällt jedoch unter Beachtung des geringen Stichprobenumfangs und der vergleichsweise kleinen Differenzen nicht statistisch signifikant aus.

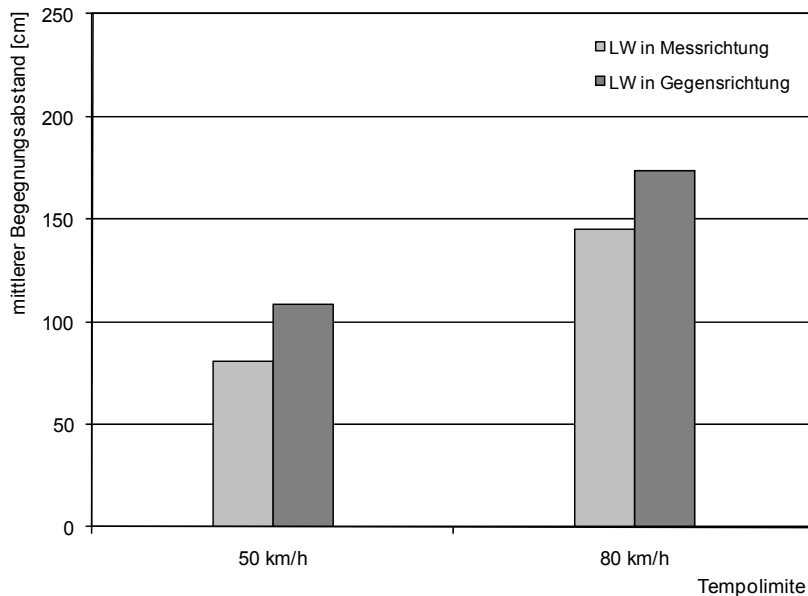


Abbildung 56: Begegnungsabstände in Abhängigkeit der Position des LW bei Anwesenheit linienförmiger Hindernisse

Die Hypothese, dass linienförmige Hindernisse zu geringeren Abständen zwischen entgegenkommenden Fahrzeugen führen, muss angenommen werden. Im Falle eines linienförmigen seitlichen Hindernisses verschiebt sich die mittlere Spurlage der Fahrzeuge in Richtung Fahrbahnmitte, was zu einem geringeren Abstand zum entgegenkommenden Fahrzeug führt. Dies gilt nicht für punktförmige Hindernisse.

Die Anwesenheit von linienförmigen seitlichen Hindernissen sollte somit insbesondere bei der Bemessung der Gegenverkehrszuschläge berücksichtigt werden. In der bestehenden Normung findet eine solche Beachtung nicht statt.

5.3 Bestehende Einflüsse

Nachfolgend sind schematisch die in den Ziffern 5.1 und 5.2 untersuchten Einflüsse zusammengefasst. Tabelle 60 zeigt die Einflüsse der betrachteten Faktoren auf die Spuramplituden und die Begegnungsabstände und nennt die Ausprägungen sowie allfällige Einschränkungen. Die Felder sind je nach Stärke des Einflusses grau hinterlegt.

Die Untersuchungen zeigen, dass sowohl die Fahrzeugkategorie als auch die Fahrgeschwindigkeit sowie die Fahrstreifenbreiten einen generellen Einfluss auf die Grösse der Spuramplitude und den Begegnungsabstand haben.

Der Fahrzeugstatus, welcher angibt, ob ein Fahrzeug frei fahrend ist oder sich als zweites bis n-tes Fahrzeug in einem Pulk befindet, hat auf Autobahnen einen Einfluss auf die Grösse der Spuramplitude und auf Strecken mit Gegenverkehr einen Einfluss auf den Begegnungsabstand.

Der Einfluss von Begegnungen wurde ebenso wie der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse nur in Bezug auf die Spuramplitude untersucht. Allfällige Begegnungen haben nur geringe (nicht signifikante) Einflüsse auf die Grösse der Spuramplitude an schmalen und breiten, nicht aber an normalbreiten Strecken.

Für die Beleuchtungsverhältnisse konnte ein genereller Einfluss auf die Grösse Spuramplitude festgestellt werden.

Die Untersuchung des Einflusses der Anzahl begegnender Fahrzeuge auf den lateralen

Begegnungsabstand ergab keinen Zusammenhang.

Linienförmige seitliche Hindernisse haben sowohl einen Einfluss auf die Begegnungsabstände als auch auf die Lage der mittleren Fahrspur. Punktförmige Hindernisse hingegen weisen weder Einflüsse auf den Begegnungsabstand zweier Fahrzeuge noch auf deren Spurverhalten auf.

Tabelle 60: Schematische Darstellung der Einflüsse mit deren Ausprägungen und Einschränkungen

Einflussfaktoren	Spuramplituden	Begegnungsabstände
Fahrzeugstatus (frei fahrend / Pulk)	Einfluss nur auf Autobahnen	Einfluss nur im Gegenverkehrsbe- trieb
Begegnungen	geringe Einflüsse auf schmalen und breiten Strecken	-
Anzahl begegnender Fahrzeuge	-	kein Einfluss
Fahrzeugkategorie (PW / LW)	genereller Einfluss	genereller Einfluss
Fahrgeschwindigkeiten	genereller Einfluss	genereller Einfluss
Fahrstreifenbreiten	genereller Einfluss	genereller Einfluss
Seitliche Hindernisse	Einfluss linienförmiger Hindernisse auf die Spurlage	Einfluss linienförmiger Hindernisse
Beleuchtungsverhältnisse (hell / dunkel)	genereller Einfluss	-

6 Quantifizierung der Einflüsse

Um statistisch abgesicherte Werte der Bewegungsspielräume und Begegnungszuschläge zu erhalten, werden in diesem Kapitel die Einflüsse auf diese Bemessungsgrössen des Strassenquerschnitts quantifiziert. Dies geschieht auf Basis der 85 %-Quantile, welche im Entwurf von Strassenverkehrsanlagen in der Regel massgebend für die konstruktive Bemessung ist. Mit dieser sicherheitsorientierten Festlegung sollen ungünstige, aber nicht extreme Situationen berücksichtigt werden. Ausgehend von einer Quantifizierung der nach Ziffer 5 signifikanten Einflüsse werden nachfolgend die massgebenden Bewegungsspielräume und Begegnungsabstände ermittelt.

Das Ziel ist es, aus den empirisch gewonnenen Daten Richtwerte abzuleiten, welche Aufschluss über die Zweckmässigkeit und Güte jener in der bestehenden Norm zur Anwendung kommenden Richtwerte geben. Ausgehend von diesen Erkenntnissen werden - wenn angebracht - Änderungen und Anpassungen empfohlen (vgl. Kapitel 7).

6.1 Festlegung der Einflüsse

Als massgebend gelten jene Einflüsse, welche gemäss Ziffer 5 einen signifikanten Einfluss haben. Unterschieden werden diesbezüglich der Einfluss auf die geschwindigkeitsabhängigen Bemessungsgrössen „Bewegungsspielraum“ und „Begegnungszuschlag“.

In der bestehenden Norm werden die seitlichen Fahrzeugbewegungen im Begegnungsfall durch den sogenannten Gegenverkehrszuschlag (auf Strassen mit Gegenverkehr) berücksichtigt. Allfällige Überholzuschläge (auf Strassen mit Richtungsverkehr) werden in ihrer Grösse gleich dem Gegenverkehrszuschlag mit der gleichen Bemessungsgeschwindigkeit vorgesehen. Die vorliegenden Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass diese Festlegung in dieser Form nicht zutrifft. Die Begegnungsabstände werden somit getrennt nach Gegenverkehrszuschlägen (vgl. Ziffer 6.3) und nach Überholzuschlägen (vgl. Ziffer 6.4) angegeben.

6.1.1 Einflüsse nach Schweizer Norm

In der bestehenden Schweizer Norm [SN 640 201] werden als direkte Einflüsse lediglich die Art des Verkehrsteilnehmers und die gefahrene Geschwindigkeit berücksichtigt. Die Art des Verkehrsteilnehmers bestimmt die massgebenden Grundabmessungen, die Sicherheitszuschläge und sie beeinflusst die Grösse des Bewegungsspielraumes. Während bei der Bemessung des vertikalen Bewegungsspielraumes zwischen PW und LW unterschieden wird, bestehen für den horizontalen Bewegungsspielraum die gleichen Werte für PW und LW.

Die gefahrene Geschwindigkeit hat nach Norm direkten Einfluss auf die Grösse des Bewegungsspielraumes und des Gegenverkehrszuschlags. Im Fall, dass der massgebende Begegnungsfall „Überholen“ ist, können laut Norm als Überholzuschlag die gleichen Werte wie für den Gegenverkehrszuschlag angenommen werden. Bei Begegnungen mit leichten Zweirädern bemisst sich der Überholzuschlag nach der Geschwindigkeit des schnelleren Verkehrsteilnehmers.

Darüber hinaus wird in der Norm der Einfluss einer längeren Steigung in Längsrichtung auf den Bewegungsspielraum leichter Zweiräder berücksichtigt. Bei Steigungen von über 4 % wird der Bewegungsspielraum je nach Grad der Steigung mit einem Zuschlag von bis zu 0.40 m beaufschlagt.

Seitliche Hindernisse werden bei der Bemessung des Normalprofils nur pauschal berücksichtigt. Sie stellen hier keinen Einflussfaktor dar. Zur Vermeidung einer Gefährdung oder optischen Einengung soll eine zusätzliche lichte Breite von 0.20 m vorgesehen werden. Bei hohen Geschwindigkeiten und massiver Hindernisausprägung ist eine zusätzliche lichte Breite entsprechend der Normen vorzusehen. Darüber hinaus wird dazu angehalten, in Tunnels zusätzlich zum Sicherheitszuschlag das Quergefälle zu beachten.

6.1.2 Massgebende Einflüsse

Nachfolgend sind jene Einflüsse auf den Bewegungsspielraum und auf den Gegenverkehrszuschlag angegeben, die sich gemäss Kapitel 5 als massgebend erwiesen haben.

Bewegungsspielraum

Bei der Herleitung der Richtwerte für den Bewegungsspielraum werden unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse folgende Faktoren mit massgebendem Einfluss berücksichtigt:

- die Fahrzeugkategorie und
- die Fahrgeschwindigkeiten.

Der Fahrzeugstatus, ob ein Fahrzeug frei fahrend ist oder durch vorausfahrende Fahrzeuge beeinflusst wird, wird nicht als Faktor berücksichtigt. Auch wenn auf Autobahnen ein Einfluss des Fahrzeugstatus ersichtlich ist, so gilt das frei fahrende Fahrzeug als massgebend. Ein nachfolgendes Fahrzeug orientiert sich an den Gegebenheiten und dem vorausfahrenden Fahrzeug und ist somit nicht massgebend für die Dimensionierung des Bewegungsspielraumes. Bei der Bemessung des Bewegungsspielraumes auf Autobahnen werden dementsprechend nur frei fahrende Fahrzeuge berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt für den Bewegungsspielraum werden auch die Einflüsse seitlicher Hindernisse sowie jene aus allfälligen Begegnungen, da sich diese nicht oder nur unbedeutend auf die Spuramplitude und somit den Bewegungsspielraum auswirken. Die Beleuchtungsverhältnisse dienen dazu, die in Ziffer 6.2.2 aufgeführten Bewegungsspielräume in Tunneln und Galerien anzunähern.

Da die Fahrstreifenbreite letztendlich die gesuchte Grösse im Normalprofil ist, kommt sie als Einflussgrösse nicht in Frage, sondern dient vielmehr als Kontrollgrösse zur Validierung der Ergebnisse.

Gegenverkehrszuschlag

Bei der Herleitung des Gegenverkehrszuschlags werden basierend auf den Erkenntnissen zu Begegnungsabständen die Einflüsse durch

- die Fahrzeugkategorie
 - die Fahrgeschwindigkeit und
 - linienförmige seitliche Hindernisse
- einbezogen.

Für den Fahrzeugstatus konnte zwar ein Einfluss in der Betriebsform mit Gegenverkehr festgestellt werden (vgl. Ziffer 5.2.2), das frei fahrende Fahrzeug gilt jedoch auch bei der Bemessung des Gegenverkehrszuschlages als massgebend. Fahrzeuge im Fahrzeugpulk werden nicht berücksichtigt.

Da kein Einfluss der Anzahl entgegenkommender Fahrzeuge festgestellt wurde, wird dieser Einflussfaktor ebenfalls nicht berücksichtigt.

Ein Einfluss der Fahrstreifenbreite ist zwar vorhanden, da es sich hierbei jedoch indirekt um die gesuchte Grösse handelt, wird dieser nicht als Einflussfaktor, sondern abschliessend als Kontrollgrösse genutzt.

Überholzuschlag

Die Herleitung des Überholzuschlags erfolgt unter Berücksichtigung der festgestellten Einflüsse aus

- der Fahrzeugkategorie und
- der Fahrgeschwindigkeit.

Da ein Einfluss des Fahrzeugstatus nur im Gegenverkehrsbetrieb festgestellt wurde, entfällt die Betrachtung dieses Faktors ebenso wie jene des Einflusses der Anzahl überholender Fahrzeuge.

Auch Hindernisse jeglicher Ausprägung seitlich der Fahrbahn haben keinen Einfluss auf das überholende Fahrzeug. Somit entfällt für die Herleitung des Überholzuschlags die Berücksichtigung dieses Einflusses.

6.2 Bewegungsspielräume

Die Bewegungsspielräume werden in zwei Gruppen betrachtet: Die allgemeinen Bewegungsspielräume, wie sie in dieser Untersuchung auf offenen Strecken bei hellen Beleuchtungsverhältnissen ermittelt wurden, und jene bei Dunkelheit, wie sie näherungsweise in Tunneln und Galerien vorkommen. Die Bewegungsspielräume in Tunneln und Galerien stellen deshalb einen Sonderfall dar, da hier der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Spuramplitude Eingang findet, welcher Rückschlüsse auf die Bewegungsspielräume zulässt.

6.2.1 Allgemeine Bewegungsspielräume

Der Bewegungsspielraum, welcher nach Norm beidseitig der Grundabmessungen der Verkehrsteilnehmer ausgewiesen wird, wird durch die massgebende Spuramplitude definiert. Er entspricht somit der Hälfte der 85 %-Quantile der in dieser Untersuchung gemessenen Spuramplituden aller ungehindert fahrenden Fahrzeuge auf einer Strecke. Demnach besteht die Spuramplitude aus einem rechten und einem linken Bewegungszuschlag.

Abbildung 57 zeigt die 85 %-Amplitude für PW und LW an allen Untersuchungsstrecken in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit. Angenähert werden die Werte beider Fahrzeugklassen durch eine lineare Regression. Der Regressionskoeffizient (R^2) beträgt 0.33 für die Ergebnisse bei PW und 0.06 für jene bei LW.

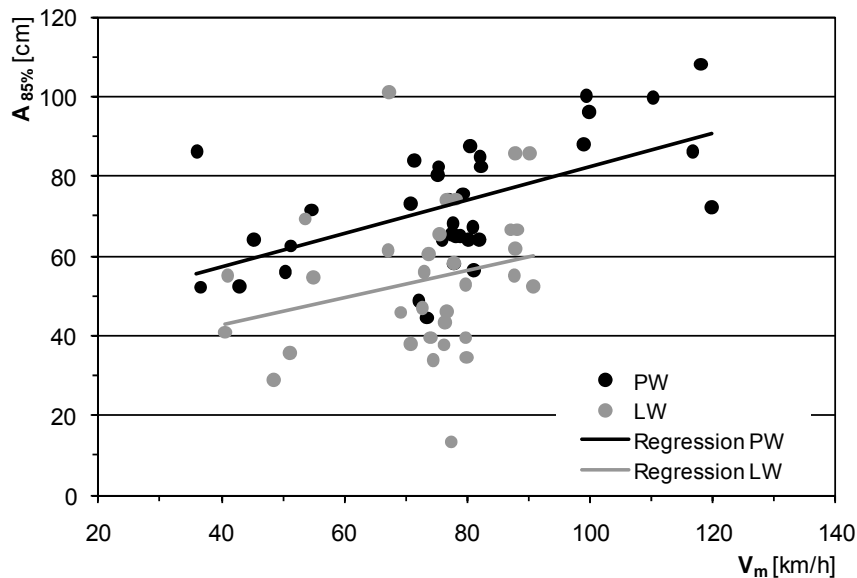


Abbildung 57: Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und massgebende Spuramplituden ($A_{85\%}$) an allen Untersuchungsstrecken

Die Abbildung zeigt einen deutlichen Einfluss sowohl der Fahrzeugkategorie als auch der gefahrenen Geschwindigkeit auf die massgebende Spuramplitude. Im Mittel tritt für LW eine um ca. 15 cm geringere Amplitude auf, als für PW. Bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h ergibt die Regression einen Wert von 58 cm für Personenwagen und 44 cm für Lastwagen. Mit steigender Geschwindigkeit ist eine deutliche Zunahme der Amplitude zu verzeichnen. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h beträgt diese 74 cm für PW und 57 cm für LW. Im Vergleich mit der mittleren Spuramplitude A_m (vgl. Abbildung 30) liegen diese Werte je nach Geschwindigkeit um ca. 39% bis 49% bei den PW und um ca. 22% bis 33% bei den LW höher.

In Tabelle 61 sind die entsprechenden Bewegungsspielräume auf Basis der linearen Regression angegeben. Sie entsprechen der halben massgebenden Spuramplitude bei entsprechender Geschwindigkeit.

Tabelle 61: Bewegungsspielräume nach Fahrzeugkategorie und Geschwindigkeit

V [km/h]		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Bewegungsspielraum [m]	PW	0.24	0.26	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45
	LW	0.18	0.20	0.21	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32		

Die Tabelle endet für PW bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h, was der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen entspricht. Für LW endet sie bei 100 km/h. Dies entspricht der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für Reisebusse auf Autobahnen, welche in diesem Falle zu den LW zu zählen sind.

6.2.2 Bewegungsspielräume in Tunneln und Galerien

Zur Beurteilung der Bewegungsspielräume werden die Ergebnisse der Messungen bei Dunkelheit betrachtet. Diese wurden an den Messstrecken in Mumpf (Mum) und an der Wehntalerstrasse in Zürich (Wehn) durchgeführt. Insbesondere die Strecke in Mumpf lässt Rückschlüsse auf die Bewegungsspielräume in Tunneln und Galerien zu, da sich 0.5 m seitlich des Fahrbahnrandes eine ca. 6 m hohe Stützmauer befindet. Weitere Schlüsse können aus der Strecke an der Wehntalerstrasse gezogen werden, da die Lichtverhältnisse der Messungen bei Dunkelheit vergleichbar sind mit denen in Tunneln.

Tabelle 62 zeigt die 85 %-Amplituden, welche massgebend für die Bewegungsspielräume sind. Angegeben sind die Werte für die Messungen bei hellen sowie dunklen Beleuchtungsverhältnissen für PW und LW. Weiter sind für beide Messstrecken die Differenzen zwischen den Zuständen „dunkel“ und „hell“ sowie ihre Mittelwerte über beide Strecken für LW und PW angegeben.

Tabelle 62: Massgebende Amplituden in Abhängigkeit der Beleuchtungsverhältnisse

Fahrzeugkategorie	Strecke	$A_{85\%}$ [m]		Differenz [m]	mittlere Differenz [m]
		hell	dunkel		
PW	Mum	0.82	0.92	0.10	0.16
	Wehn	0.49	0.71	0.22	
LW	Mum	1.01	0.94	-0.08	0.02
	Wehn	0.38	0.50	0.12	

Während für PW eine mittlere Differenz der massgeblichen Amplitude von 0.16 m auftritt, ist für LW kein Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse ersichtlich. Die 85 %-Amplitude fällt für PW bei Dunkelheit im Mittel um 0.16 m grösser aus. Der Wert für LW ist mit 0.02 m vernachlässigbar klein. Dies bedeutet, dass LW nicht durch die Beleuchtungsverhältnisse beeinflusst werden. Bedingt durch den geringen Stichprobenumfang für LW bei Messungen bei Dunkelheit (MumB: $n = 4$, WehnB: $n = 3$), ist dies jedoch nur als generelle Tendenz zu interpretieren.

Betrachtet man die PW ausschliesslich an der Strecke Mumpf (Mum), die für Verhältnisse in Tunneln und Galerien am ehesten zutrifft, so besteht eine Differenz von 0.10 m zwischen den massgebenden Amplituden bei hellen und dunklen Beleuchtungsverhältnissen. Bei Dunkelheit benötigen die PW einen zusätzlichen Bewegungsspielraum von insgesamt 0.10 m.

Überträgt man diese Erkenntnis auf die Bewegungsspielräume in Tunneln und Galerien,

so ergeben sich für PW Zuschläge auf den linken und rechten Bewegungsspielraum von jeweils 0.05 m. Für LW sind keine Zuschläge erforderlich.

6.3 Gegenverkehrszuschläge

Analog zum Bewegungsspielraum wird der Gegenverkehrszuschlag über das 85 %-Quantil der Begegnungsabstände definiert. Die hier gemessenen Begegnungsabstände beinhalten neben dem eigentlichen Gegenverkehrszuschlag jedoch zusätzlich die Bewegungsspielräume beider Fahrzeuge sowie die entsprechenden Sicherheitszuschläge nach der Norm [SN 640 201]. Neben den nachgewiesenen Einflüssen aus Fahrzeugkategorie (PW oder LW) und gefahrener Geschwindigkeit (vgl. Ziffer 5.2) muss in diesem Abschnitt auch der Einfluss linienförmiger seitlicher Hindernisse quantifiziert werden.

Die Abbildung 58 zeigt die massgebenden Begegnungsabstände für Strecken mit Gegenverkehr ohne linienförmige seitliche Hindernisse. Dargestellt sind die 85 %-Begegnungsabstände für Begegnungen zwischen PW und jenen mit LW in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit. Angenähert werden die Werte beider Fahrzeugklassen durch eine lineare Regression. Das Bestimmtheitsmass (R^2) beträgt 0.15 für die Ergebnisse bei PW-PW und 0.12 für jene mit LW.

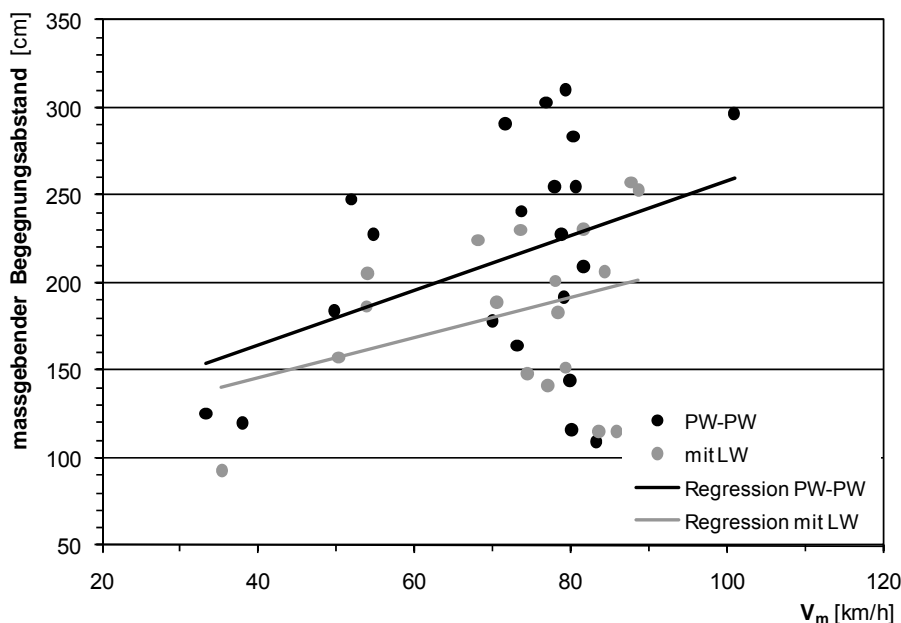


Abbildung 58: Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und massgebender Begegnungsabstand an Untersuchungsstrecken mit Gegenverkehr

Erneut ist auch hier der deutliche Einfluss der Fahrzeugkategorien und der Geschwindigkeit offensichtlich. Für LW treten durchwegs geringere Begegnungsabstände auf, als bei PW. Dies zeigt sich besonders deutlich für höhere Geschwindigkeiten. Ist der Begegnungsabstand für Begegnungen mit LW bei Tempo 40 km/h nur um ca. 18 cm geringer als jener zwischen PW, so beträgt diese Differenz bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h bereits 35 cm. Generell werden mit zunehmender Geschwindigkeit grössere Begegnungsabstände gemessen. Für PW steigen diese von ca. 156 cm bei einer Geschwindigkeit von 35 km/h auf ca. 227 cm bei 80 km/h.

Subtrahiert man die jeweiligen Bewegungsspielräume nach Tabelle 61 und je nach Begegnung die nach Schweizer Norm [SN 640 201] vorgesehenen Sicherheitszuschläge von 0.20 m für PW und 0.30 m für LW, so verbleiben die in Tabelle 63 angegebenen Gegenverkehrszuschläge.

Tabelle 63: *Gegenverkehrszuschlag nach Begegnungskategorie und Geschwindigkeit, alle Streckenbreiten*

V [km/h]		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Gegenverkehrszuschlag [m]	PW-PW	0.44	0.56	0.67	0.79	0.90	1.02	1.13	1.25	1.36
	mit LW	0.31	0.38	0.46	0.53	0.61	0.68	0.76	0.84	0.91

Der angegebene Geschwindigkeitsbereich erstreckt sich von 20 km/h bis 100 km/h. Höhere zulässige Höchstgeschwindigkeiten sind auf Strecken mit Gegenverkehr nicht zulässig.

Linienförmige seitliche Hindernisse haben einen reduzierenden Einfluss auf die Grösse der Begegnungsabstände (vgl. Ziffer 5.2.7). Vergleicht man die Mittelwerte der massgebenden Begegnungsabstände für Strecken mit und ohne linienförmige Hindernisse, so ergeben sich reduzierte Gegenverkehrszuschläge. Für Personenwagen fällt der Gegenverkehrszuschlag im Mittel um 0.27 m und für LW um 0.17 m geringer aus.

6.4 Überholzuschläge

Analog zu den Gegenverkehrszuschlägen wurden die Überholzuschläge auf Basis der 85 %-Begegnungsabstände an Autobahnen ermittelt. Die massgebenden Begegnungsabstände setzen sich aus den Überholzuschlägen, den Bewegungsspielräumen beider Fahrzeuge sowie den jeweiligen Sicherheitszuschlägen nach der Norm [SN 640 201] zusammen.

Zusätzlich zum Einfluss der gefahrenen Geschwindigkeit wird der Einfluss der Querschnittsausprägung quantifiziert. Innerhalb der Stichprobe der fünf Untersuchungsstrecken können „normale Fahrbahnquerschnitte“ und „reduzierte Fahrbahnquerschnitte“ unterschieden werden. Bei den reduzierten Querschnitten handelt es sich um Autobahnstrecken, welche nicht mit einem Standstreifen ausgestattet sind (vgl. Tabelle 12) und teilweise auch reduzierte Fahrstreifenbreiten aufweisen.

Ein Einfluss der Fahrzeugkategorie konnte in Ziffer 5.2.4 zwar nicht nachgewiesen werden, die Unterscheidung von PW und LW wird der Homogenität wegen dennoch beibehalten.

Die Abbildung 59 zeigt die massgebenden Begegnungsabstände für Strecken mit Überholungen. Dargestellt sind die 85 %-Begegnungsabstände für Überholungen von PW und LW in Abhängigkeit der mittleren Geschwindigkeit. Die bezeichnete Fahrzeugkategorie bezieht sich ebenso wie die mittlere Geschwindigkeit auf das überholte Fahrzeug. Angehört werden die Werte beider Fahrzeugklassen durch eine lineare Regression. Der Regressionskoeffizient (R^2) beträgt 0.51 für die Ergebnisse bei PW und 0.02 für jene mit LW.

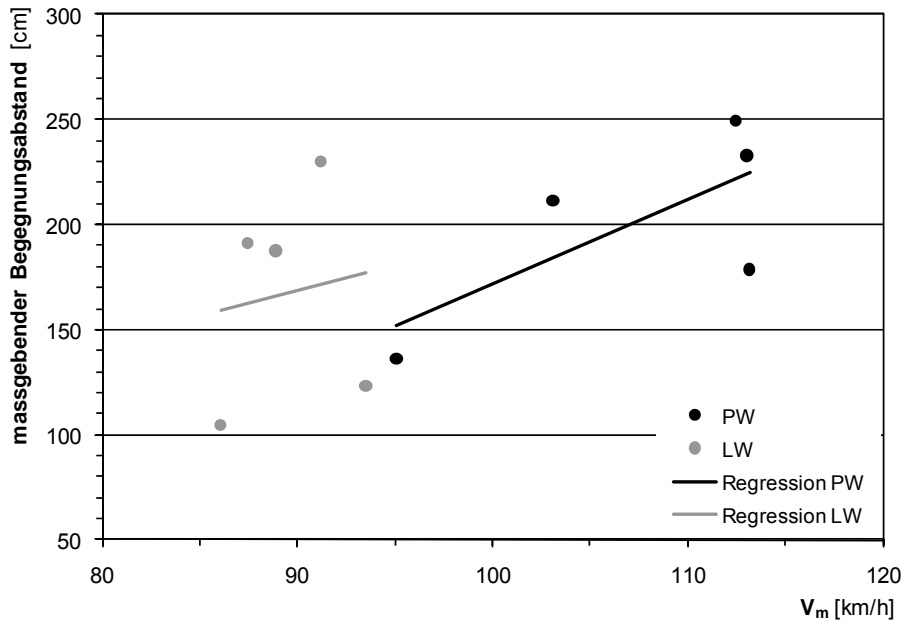


Abbildung 59: Mittlere Geschwindigkeiten (V_m) und massgebender Begegnungsabstand an Untersuchungsstrecken mit Überholungen

Die Auswertung der mittleren Begegnungsabstände ergibt keinen Zusammenhang zwischen der Fahrzeugkategorie und dem massgebenden Begegnungsabstand. Dies bestätigt die Erkenntnisse aus Ziffer 5.2.4. Bedingt durch das geringe Geschwindigkeitsspektrum und die begrenzte Anzahl an Untersuchungsstrecken kann ein Einfluss der Geschwindigkeit auf den 85 %-Begegnungsabstand nur eingeschränkt festgestellt werden. Die Überholzuschläge werden deshalb nachfolgend nicht in Abhängigkeit der Geschwindigkeit, sondern nach den Querschnittsausprägungen „normale FB-Querschnitte“ und „reduzierte FB-Querschnitte“ bestimmt. Dies ist insofern geeignet, da Überholzuschläge nur für die Bemessung richtungsgetrennter Fahrbahnen massgebend sind. Hierbei handelt es sich in der Regel um Hochleistungsstrassen. Für diese gilt nach Schweizer Norm [SN 640 041], sofern sie ausserhalb besiedelter Gebiete verlaufen, ein Wahlbereich der Ausbaugeschwindigkeit zwischen 80 und 120 km/h.

Subtrahiert man von den massgebenden Begegnungsabständen die jeweiligen Bewegungsspielräume nach Tabelle 61 und je nach Begegnung die entsprechenden Sicherheitszuschläge von 0.20 m für PW und 0.30 m für LW, so verbleiben die in Tabelle 64 angegebenen Mittelwerte der massgebenden Überholzuschläge.

Tabelle 64: Mittelwerte der massgebenden Überholzuschläge nach Querschnittsausprägung und Fahrzeugkategorie

Fahrzeugkategorie	normale FB-Querschnitte		reduzierte FB-Querschnitte	
	V_m [km/h]	Überholzuschlag [m]	V_m [km/h]	Überholzuschlag [m]
PW	112.9	0.93	99.1	0.52
LW	91.2	0.61	86.8	0.30

Die Überholzuschläge sind auf Strecken mit normalem Autobahnquerschnitt circa doppelt so gross, wie auf Strecken mit reduziertem Querschnitt. Jedoch liegt das Geschwindigkeitsniveau auf Strecken mit reduziertem Querschnitt für PW nur um 13.8 km/h und für LW nur um 4.4 km/h unter jenem auf Strecken mit normaler Querschnittsausprägung.

6.5 Überholung von Zweirädern

An sechs Untersuchungsstrecken mit Trenninseln wurden Überholungen von Zweirädern durch PW und LW erhoben. An allen Untersuchungsstrecken wurden PW oder LW durch vorausfahrende Fahrräder behindert. Nur an zwei Untersuchungsstrecken kam es zu insgesamt neun Überholungen durch PW. Überholungen durch LW sind während der Erhebungen keine vorgekommen (vgl. Ziffer 4.4).

Tabelle 65 zeigt die Begegnungsabstände für die Überholungen von Fahrrädern. Generell traten Überholungen nur bei Strecken mit Fahrstreifenbreiten von 3.50 m und mehr sowie ausschliesslich an Strecken mit kurzen oder mittellangen Inseln auf.

Tabelle 65: Begegnungsabstände bei Überholungen von Fahrrädern

Strecke	FS-Breite [m]	Anzahl Überholungen [-]	mittlerer Begegnungsabstand [m]	gewicht. Mittel [m]	85 %-Begegnungsabstand [m]
Alts	3.50	4	0.80	0.71	1.04
Irch	3.80	5	0.63		

Trotz der um 0.30 m geringeren Fahrstreifenbreite sind die Begegnungsabstände an der Strecke Irchel (Irch) im Mittel um 0.17 m geringer als an der Strecke Altstetterstrasse (Alts). Im Mittel aller Überholungen wird ein Abstand von 0.71 m zum überholten Fahrrad eingehalten.

Der massgebende Begegnungsabstand wird wiederum durch den 85 %-Begegnungsabstand beschrieben und beträgt 1.04 m. Die Grösse des Überholzuschlages erhält man durch Subtraktion der jeweiligen Bewegungsspielräume nach Tabelle 61 für PW und für Fahrräder nach Norm [SN 640 201] (0.10 m) sowie der entsprechenden Sicherheitszuschläge von 0.20 m für PW und 0.20 m für leichte Zweiräder. Die Fahrräder wurden in dieser Untersuchung auf einer Höhe von ca. 70 cm gemessen. Die aus der Messung resultierende Fahrradbreite von im Mittel 54 cm weicht um 6.3 cm von der in der Schweizer Norm massgebenden Breite der leichten Zweiräder (60 cm) ab. Somit muss zusätzlich die halbe Differenz in Höhe von 3.2 cm subtrahiert werden. Die mittlere Geschwindigkeit der überholenden PW betrug ca. 38.5 km/h, was gemäss Tabelle 61 einem Bewegungsspielraum von 0.29 m entspricht. Somit ergibt sich ein Überholzuschlag für den Begegnungsfall zwischen FR und PW von 0.22 m. Dies entspricht praktisch der bestehenden Norm, welche für Geschwindigkeiten des überholenden Fahrzeuges von 30 bis 50 km/h einen Begegnungszuschlag von 0.20 m vorsieht. Wie weit diese Übereinstimmung zwischen Norm und Messung auch für Geschwindigkeiten ≥ 50 km/h (Normwert = 0.50 m) zutrifft, kann nicht beantwortet werden, weil die Erhebungen innerorts durchgeführt wurden.

Wie bereits aus Ziffer 4.4.2 ersichtlich, besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Insellänge und dem longitudinalen Folgeabstand zu den Fahrradfahrern.

Tabelle 66 zeigt, dass von den Motorfahrzeugen an langen Inseln im Mittel ein Abstand von 15.0 m zu einem vorausfahrenden Fahrrad gehalten wird. An kurzen und mittellangen Inseln beträgt dieser Abstand lediglich 7.7 m und ist somit nur etwa halb so gross wie an langen Inseln. Diese Ergebnisse gelten unabhängig von der Fahrstreifenbreite. Ein entsprechender Zusammenhang konnte hier nicht festgestellt werden.

Tabelle 66: Folgeabstände bei Behinderungen durch Fahrräder

Strecke	Insellänge [m]	Anzahl Behinderungen [-]	mittlerer Folgeabstand [m]	gewicht. Mittel [m]	85 %-Folgeabstand [m]
Limm	66.00	19	15.35	14.97	16.28
Wein	60.00	18	16.72		
Hofw	59.30	10	11.13		
Alts	20.50	4	9.96	7.71	9.01
Wehni	8.10	2	5.79		
Irch	8.00	6	6.84		

7 Folgerungen und Empfehlungen

7.1 Folgerungen aus Erhebungen

Die Folgerungen, welche sich aus den Erhebungen und Analysen ergeben, sind nachfolgend für die untersuchten Elemente des geometrischen Normalprofils dargestellt. Abschliessend erfolgt in Ziffer 7.3 eine Auswertung der Auswirkungen dieser Folgerungen auf das geometrische Normalprofil. Zu diesem Zweck werden dort Vergleiche mit der bestehenden Norm angestellt.

Die Herleitung der geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente erfolgt auf Basis der 85 %-Quantile. Dieser Wert wird von nur 15 % der Fahrzeuge überschritten und stellt die massgebende Grösse mit ausreichender Sicherheitsmarge dar.

7.1.1 Grundabmessungen der Verkehrsteilnehmer

Sowohl bei Personenwagen als auch bei Lastwagen haben Entwicklungen bezüglich der Grundabmessungen stattgefunden. Untersucht wurden in dieser Arbeit die Veränderungen der Fahrzeugbreiten für PW und LW sowie der Anteil der SUV an den Personenwagen (vgl. Ziffer 2.3).

Im Zeitraum von 1992 bis 2005 hat sich die massgebende 95 %-Breite von Personenwagen von 1.80 m um 3 cm auf über 1.83 m vergrössert. Diese Vergrösserung hängt auch mit der Zunahme des Anteils an überbreiten SUV zusammen. Diesem Trend folgend muss im aktuellen PW-Fuhrpark von einer 95 %-Breite von 1.85 m ausgegangen werden.

Die für Lastwagen massgebende 99 %-Breite hat sich im selben Zeitraum von 2.50 m auf 2.55 m erhöht. Dies entspricht der nach der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge [VTS, 2007] zulässigen maximalen Breite für nicht klimatisierte Lastwagen (Kühltransportwagen). Vorgängige Ausgaben der VTS liessen für diese LW lediglich eine Breite von 2.50 m zu. Die gleiche Entwicklung kann für die in Deutschland verbindliche Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung [StVZO, 2008] festgestellt werden. Als Folge dieser Entwicklung wurden die als Grundlage für die Abmessungen der deutschen Regelquerschnitte angenommenen Fahrzeuggrundmasse von 2.50 m [RAS-Q, 1996] auf 2.55 m [RAA, 2008] angehoben. Diese Anpassung ist auch in den gültigen Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen [RASt, 2006] durchgeführt worden und soll ebenso in den ausstehenden Richtlinien für die Anlage von Landstrassen berücksichtigt werden.

Sowohl für Personenwagen als auch für Lastwagen kann somit festgestellt werden, dass die massgebenden Fahrzeugbreiten seit Veröffentlichung der bestehenden Norm (1992) um jeweils 5.0 cm angewachsen sind. Der aktuell massgebende Personenwagen verfügt über eine Breite von 1.85 m und der massgebende Lastwagen über eine Breite von 2.55 m.

7.1.2 Bewegungsspielraum

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und dem Bewegungsspielraum besteht. Von dieser Geschwindigkeitsabhängigkeit wird auch in der bestehenden Norm [SN 640 201] ausgegangen. Vergleicht man die in der Norm angegebenen Bewegungsspielräume mit jenen, welche aus den empirischen Erhebungen hergeleitet wurden, so fallen deutliche Unterschiede in der Grösse der Bewegungsspielräume auf (vgl. Abbildung 60).

Allen voran muss festgestellt werden, dass ein Unterschied zwischen den Bewegungsspielräumen von Personen- und Lastwagen besteht. Personenwagen weisen einen bis zu 10 cm grösseren Bewegungsspielraum auf.

Darüber hinaus fällt auf, dass in der bestehenden Norm nur ein lückenhafter Zusammenhang dargestellt wird. Für die Geschwindigkeitsbereiche von > 40 bis < 50 km/h, > 70 bis

< 80 km/h und > 100 km/h bis < 120 km/h sind keine Bewegungsspielräume definiert.

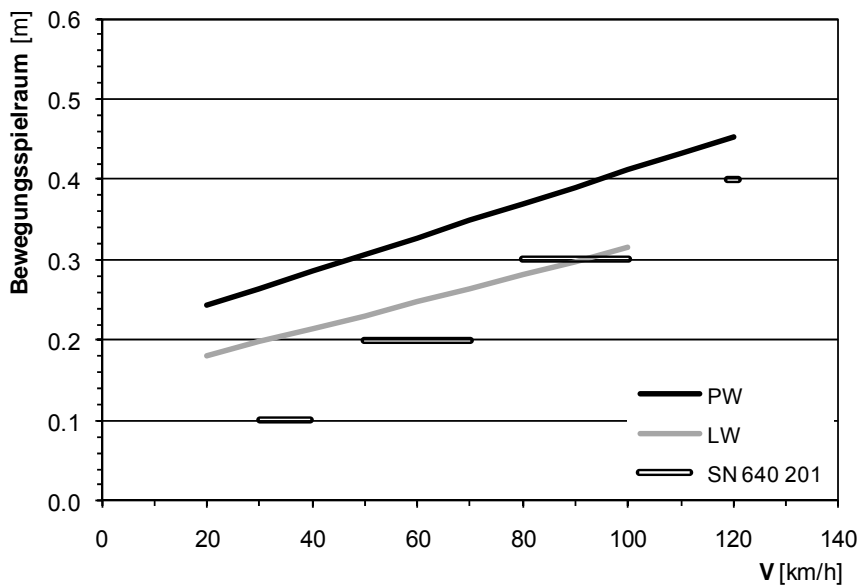


Abbildung 60: Bewegungsspielraum, Vergleich mit SN 640 201

Die empirisch ermittelten Bewegungsspielräume weichen insbesondere bei niedrigen Geschwindigkeiten auf Strecken innerorts deutlich von den Normwerten ab. Bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h sieht die Norm einen Bewegungsspielraum von 0,10 m vor. Die Auswertung der massgebenden Spuramplituden ergab für diese Geschwindigkeit einen Bewegungsspielraum von 0,20 m für Lastwagen und 0,26 m für Personenwagen. Auch bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h liegen die gemessenen Bewegungsspielräume mit 0,23 m für LW und 0,31 m für PW über dem in der Norm angegebenen Mass von 0,20 m. Bei höheren Geschwindigkeiten stimmen die Normwerte für LW gut mit den hier ermittelten Bewegungsspielräumen überein. Bei einer Geschwindigkeit von 90 km/h betragen beide Werte 0,30 m. Der empirisch ermittelte Bewegungsspielraum für PW liegt mit 0,39 m jedoch deutlich darüber.

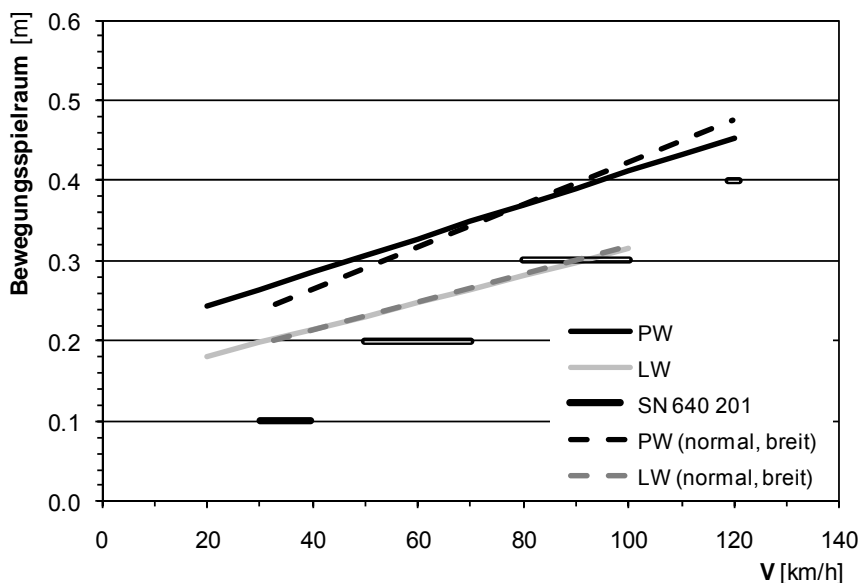


Abbildung 61: Bewegungsspielraum für alle Strecken und für normalbreite bis breite Strecken, Vergleich mit SN 640 201

In Abbildung 61 sind zusätzlich zur Abbildung 60 die Bewegungsspielräume für normalbreite bis breite Strecken ohne jene der schmalen Strecken angetragen. Dies veran-

schaulich den grundsätzlichen Einfluss der Fahrstreifenbreite auf den Bewegungsspielraum. Die Untersuchungen haben einen generellen Einfluss der Fahrstreifenbreite auf die gefahrene Geschwindigkeit ergeben (vgl. Abbildung 40). Dies bestätigt den Grundgedanken der bestehenden Norm, wonach die Geschwindigkeit die steuernde Grösse für die Bemessung des Bewegungsspielraumes ist.

Der Einfluss der Fahrstreifenbreite überlagert andere Einflüsse, wie beispielsweise jenen der Geschwindigkeit, ist jedoch quantitativ gering. Insbesondere für Lastwagen ergeben sich identische Bewegungsspielräume für alle Strecken (schmal bis breit) und für normalbreite und breite Strecken (vgl. Abbildung 61). Bei Personenwagen ergeben sich geringe Unterschiede im Bereich hoher und niedriger Geschwindigkeiten. Diese können jedoch auf Grund der geringen Ausprägung (max. 0.03 m bei 30 km/h) und der im Randbereich weniger aussagekräftigen Stichprobengrösse vernachlässigt werden. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h, für welchen die meisten Messwerte vorliegen, ist auch bei PW kein Einfluss der Fahrstreifenbreite auf den Bewegungsspielraum ersichtlich.

Die Messungen bei Nacht lassen Schlüsse auf den Bewegungsspielraum in Tunneln und Galerien zu. Die Analyse der Messergebnisse ergab, dass für PW in Tunneln und Galerien beidseitig ein zusätzlicher Bewegungsspielraum von 0.05 m notwendig ist. LW benötigen keinen zusätzlichen Bewegungsspielraum.

7.1.3 Gegenverkehrszuschlag

Auch die Untersuchungen zum Gegenverkehrszuschlag zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und dem Gegenverkehrszuschlag. Die in der bestehenden Norm [SN 640 201] angenommene geschwindigkeitsabhängige Definition wird somit generell bestätigt. Wie bei den Bewegungsspielräumen bestehen jedoch auch hier deutliche Unterschiede zwischen den Normwerten und den aus empirischen Erhebungen hergeleiteten Zuschlägen (vgl. Abbildung 62).

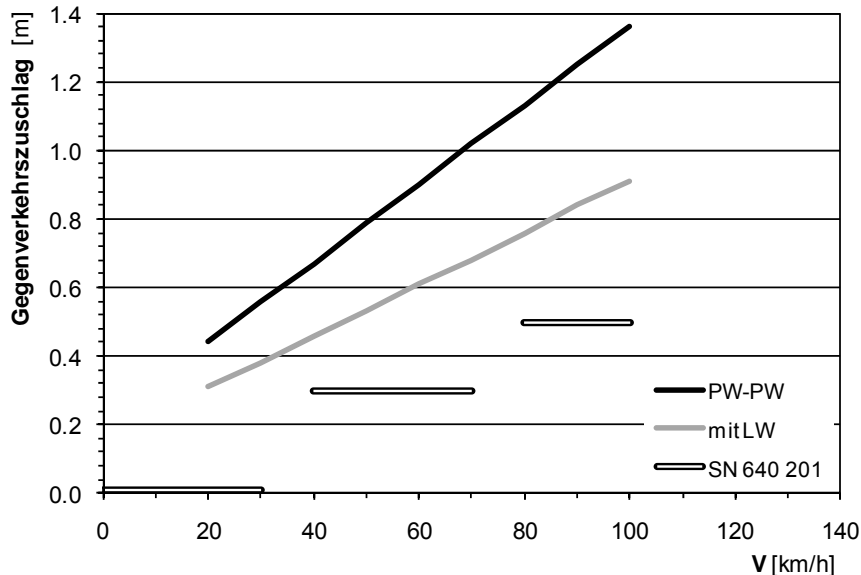


Abbildung 62: Gegenverkehrszuschlag, Vergleich mit SN 640 201

Auch bei den Gegenverkehrszuschlägen müssen die Begegnungen bezüglich der Kategorien der beteiligten Fahrzeuge unterschieden werden. Insbesondere an Strecken mit höherem Geschwindigkeitsniveau ausserorts treten grosse Differenzen zwischen den aus Begegnungsabständen ermittelten Gegenverkehrszuschlägen für Begegnungen zwischen PW und solchen mit LW auf. Der Zuschlag fällt bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h für Begegnungen mit LW um mehr als 0.35 m geringer aus als für Begegnungen zwischen PW.

Im Vergleich zur bestehenden Norm [SN 640 201] ergeben sich aus Messungen in allen

Geschwindigkeitsbereichen sowohl für Begegnungen zwischen PW als auch für Begegnungen mit LW erheblich grössere Begegnungszuschläge. Während die Norm bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h einen Gegenverkehrszuschlag von 0.50 m vorsieht, ergaben die empirischen Erhebungen Gegenverkehrszuschläge von 1.13 m für Begegnungen zwischen PW und 0.76 m für den Begegnungsfall mit einem LW.

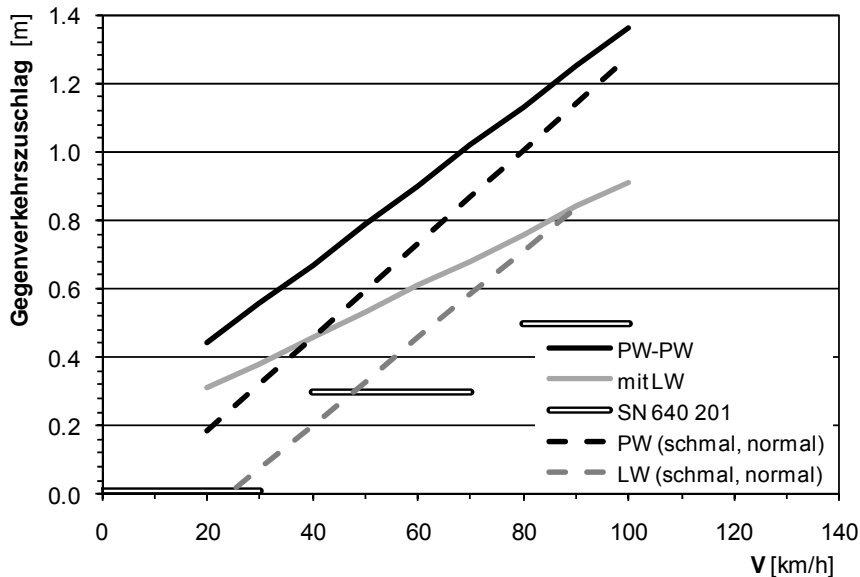


Abbildung 63: Gegenverkehrszuschlag für alle Strecken und für schmale bis normalbreite Strecken, Vergleich mit SN 640 201

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Gegenverkehrszuschlag anders als der Bewegungsspielraum deutlich abhängig von der Fahrstreifenbreite ist (vgl. Abbildung 52). Vergleicht man die Gegenverkehrszuschläge aller Strecken mit jenen der schmalen und normalbreiten Strecken, so sind grössere Unterschiede insbesondere im Bereich niedriger Geschwindigkeiten ersichtlich (vgl. Abbildung 63).

Auf breiten Strecken führt der zur Verfügung stehende Raum zu übermässig grossen Begegnungsabständen. Diese liegen deutlich über den sicherheitsbedingt notwendigen Abständen und sind unverhältnismässig. Breite Strecken werden aus diesem Grund nicht für die Herleitung normrelevanter Gegenverkehrszuschläge herangezogen.

Da die mittlere Geschwindigkeitsreduktion im Begegnungsfall mit 0.6 km/h auf schmalen Strecken äusserst gering ausfällt (vgl. 5.2.5), kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei nicht um sicherheitskritische Begegnungen handelt und dass die ermittelten Abstände normrelevante Bedeutung haben. Massgebend für die Bestimmung der geschwindigkeitsabhängigen Gegenverkehrszuschläge sind demnach die Ergebnisse an schmalen und normalbreiten Strecken.

Auf Grund dieser Festlegungen ergeben sich die in Tabelle 67 angegebenen Gegenverkehrszuschläge für Begegnungen zwischen PW und Begegnungen mit LW. Die Zuschläge für LW sind im Mittel um 0.28 m geringer als jene für PW.

Tabelle 67: Gegenverkehrszuschlag nach Begegnungskategorie und Geschwindigkeit, schmale und normalbreite Strecken

V [km/h]		20	30	40	50	60	70	80	90	100
Gegenverkehrszuschlag [m]	PW-PW	0.18	0.32	0.46	0.59	0.73	0.87	1.00	1.14	1.28
	mit LW	0.00	0.08	0.20	0.33	0.46	0.58	0.71	0.84	0.96

7.1.4 Überholzuschlag

Anders als in der Norm [SN 640 201] angenommen muss auf Grund der vorliegenden Messergebnisse zwischen dem Gegenverkehrs- und Überholzuschlag unterschieden werden. Eine Gleichstellung der beiden Zuschläge ist nicht korrekt und der Überholzuschlag wird nachfolgend separat betrachtet.

Auch die Herleitung des Überholzuschlages muss getrennt für die Fahrzeugkategorien PW und LW erfolgen. Ebenso wie bei den anderen untersuchten geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselementen konnte ein signifikanter Einfluss der Fahrzeugkategorie auf den Überholzuschlag festgestellt werden.

Ein Überholzuschlag ist nur an Strecken mit richtungstrennten Fahrbahnen, an welchen das Überholen den massgebenden Begegnungsfall darstellt, relevant. Dies trifft in der Regel auf Autobahnen sowie andere Hochleistungsstrassen mit mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen zu.

Eine Geschwindigkeitsabhängigkeit des Überholzuschlages konnte generell bestätigt werden. Diese steht jedoch in Abhängigkeit zum zur Verfügung stehenden Querschnitt. Dementsprechend erfolgte die Auswertung der Überholzuschläge für die Streckentypen mit unterschiedlichen Querschnittsausprägungen und Tempolimiten. Empirisch ermittelt wurden die Zuschläge an Autobahnen mit normalem Querschnitt und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h sowie Autobahnen mit reduziertem Querschnitt⁸ und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. In Abbildung 64 sind die ermittelten Überholzuschläge für Überholungen von PW und Überholungen von LW bei unterschiedlichen Querschnittsausprägungen in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit dargestellt.

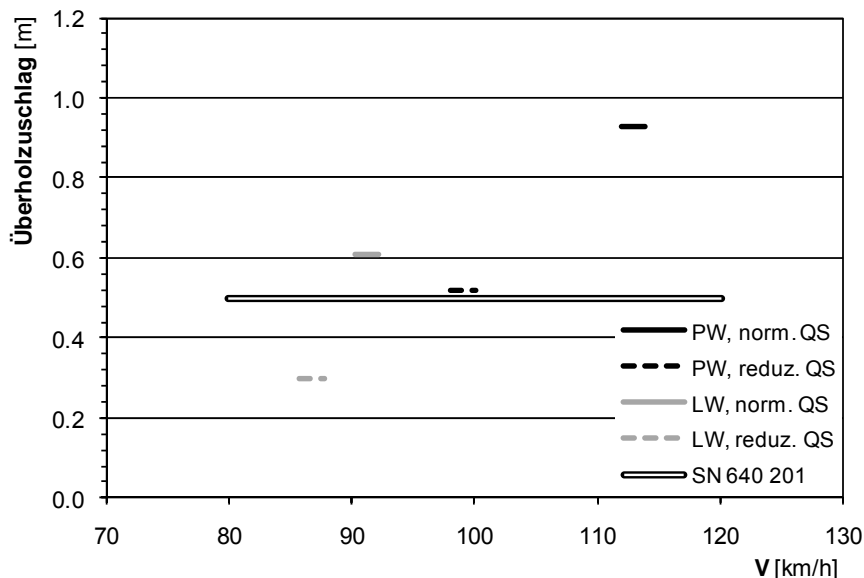


Abbildung 64: Überholzuschlag, Vergleich mit SN 640 201

Für den Geschwindigkeitsbereich von 80 bis 120 km/h wird in der Norm ein Überholzuschlag von 0,50 m angegeben. Dies deckt sich nur zum Teil mit den empirisch gewonnenen Werten. Für Überholungen von Personenwagen wurden bei normaler Querschnittsausprägung Überholzuschläge von 0,93 m und bei reduzierten Querschnitten Zuschläge von 0,52 m ermittelt. Handelt es sich bei dem überholten Fahrzeug um einen LW, reduzieren sich die Überholzuschläge auf 0,61 m bei normalen Querschnitten und 0,30 m bei reduzierten Querschnitten.

⁸ mit reduzierter Fahrbahnbreite und fehlendem Standstreifen (vgl. Tabelle 12)

Eine zusätzliche Untersuchung der Begegnungsabstände bei Überholungen von leichten Zweirädern im Bereich von Trenninseln bestätigt die in der bestehenden Norm angegebenen Überholzuschläge. Für eine mittlere Geschwindigkeit der überholenden PW von 38.5 km/h wurden Überholzuschläge von 0.22 m ermittelt. Dies entspricht praktisch dem in der Norm angegebenen Überholzuschlag für den Begegnungsfall FR-PW bei einer Geschwindigkeit von 30 bis 50 km/h von 0.20 m. Massgebend in der Norm ist die Geschwindigkeit des jeweils schnelleren Verkehrsteilnehmers.

Generell besteht ein Zusammenhang zwischen der Länge der Trenninsel und der Überholbereitschaft sowie dem Folgeabstand des PW zum vorausfahrenden FR. An langen Trenninseln (> 30 m) traten keine Überholungen auf. Der longitudinale Folgeabstand ist mit 15.0 m an langen Inseln fast doppelt so gross wie an kurzen und mittellangen Inseln.

7.1.5 Zusätzliche lichte Breite

Anders als bei den punktförmigen seitlichen Hindernissen ergab die Betrachtung der linienförmigen Hindernisse neben der Fahrbahn einen Einfluss auf das Spurverhalten. Auf schmalen Fahrbahnen kommt es zu deutlichen Verlagerungen der Fahrzeugspur in Richtung Fahrbahnmitte. Bei einer Fahrstreifenbreite von 3.00 m führt ein linienförmiges Hindernis zu einer Verschiebung der mittleren PW-Fahrspur um ca. 0.30 m nach links.

Diese Erkenntnisse haben Auswirkungen auf die Dimensionierung der zusätzlichen lichten Breite und die Gestaltung des seitlichen Strassenumfelds. Insbesondere linienförmige Hindernisse sind bei der Dimensionierung der geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente und der Bestimmung der zusätzlichen lichten Breite zu berücksichtigen.

7.2 Empfehlungen zur Normung

Auf Basis der Folgerungen in Ziffer 7.1 drängt sich eine Revision der bestehenden Norm [SN 640 201] auf. Sowohl in Bezug auf die Fahrzeugabmessungen als auch in Bezug auf die geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Werten der bestehenden Norm und den aus Messergebnissen abgeleiteten Werten.

Neben der Anpassung der nachfolgenden Normwerte sind auch die in der Norm Geometrisches Normalprofil; Erarbeitung [SN 640 202] aufgeführten Beispiele zu überarbeiten. Darüber hinaus sind Auswirkungen auf weitere VSS-Normen zu prüfen.

Breite der Motorfahrzeuge

In Anlehnung an die Erkenntnisse aus Ziffer 2.3.4 und die Folgerungen aus Ziffer 7.1.1 wird eine Anhebung der Normwerte um je 5 cm empfohlen. Dies führt zu den in Tabelle 68 dargestellten Fahrzeugbreiten von 1.85 m für Personenwagen und 2.55 m für Lastwagen, Busse und Cars.

Tabelle 68: Empfehlungen für massgebende Fz-Breiten

Fz-Typ	Fz-Breite [m]	
	PW	LW
bisher [SN 640 201]	1.80	2.50
Empfehlung	1.85	2.55

Die Erhebungen von leichten Zweirädern ergab eine mittlere Breite von 54 cm (vgl. Ziffer 6.5). Dies bestätigt generell den in der Norm angegebenen Wert der Grundabmessung von 60 cm.

Bewegungsspielraum

In der bestehenden Norm wird der horizontale Bewegungsspielraum identisch für Personenwagen und Lastwagen angegeben. Ausserdem ist er dort nur lückenhaft für die Ge-

schwindigkeiten von 0 bis 20 km/h, 30 bis 40 km/h, 50 bis 70 km/h und 80 bis 100 km/h sowie für 120 km/h definiert. In Abbildung 65 sind die Bewegungsspielräume nach bestehender Norm [SN 640 201] sowie die aus den Messergebnissen abgeleiteten Bewegungsspielräume für PW und LW in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit angegeben. Die Einteilung der Geschwindigkeiten erfolgt jeweils in 5 km/h-Intervallen und jene des Bewegungsspielraumes in Schritten von 0.05 m. Die Wahl der Geschwindigkeitsintervalle erfolgte in Anlehnung an bestehende VSS-Normen wie beispielsweise der Norm SN 640 080b, Projektierung, Grundlagen; Geschwindigkeit als Projektierungselement. Die Intervallgrösse von 5 km/h erweist sich für Entwurfszwecke als hinreichend genau. Auch die Genauigkeit, welche sich durch die 0.05 m Abstufungen des Bewegungsspielraumes ergibt, kann als genügend erachtet werden. Bereits in den bestehenden Normen zum geometrischen Normalprofil kommt dieses Mass zur Anwendung.

Die abgeleiteten Werte für den Bewegungsspielraum entsprechen den auf 0.05 m gerundeten Mittelwerten für das jeweilige Geschwindigkeitsintervall. Die Herleitung über den Mittelwert wird dabei insofern den Sicherheitsansprüchen gerecht, als dass dieser, wie bereits einleitend in Ziffer 7 erwähnt, auf dem 85 %-Quantil der gemessenen Spuramplitude basiert.

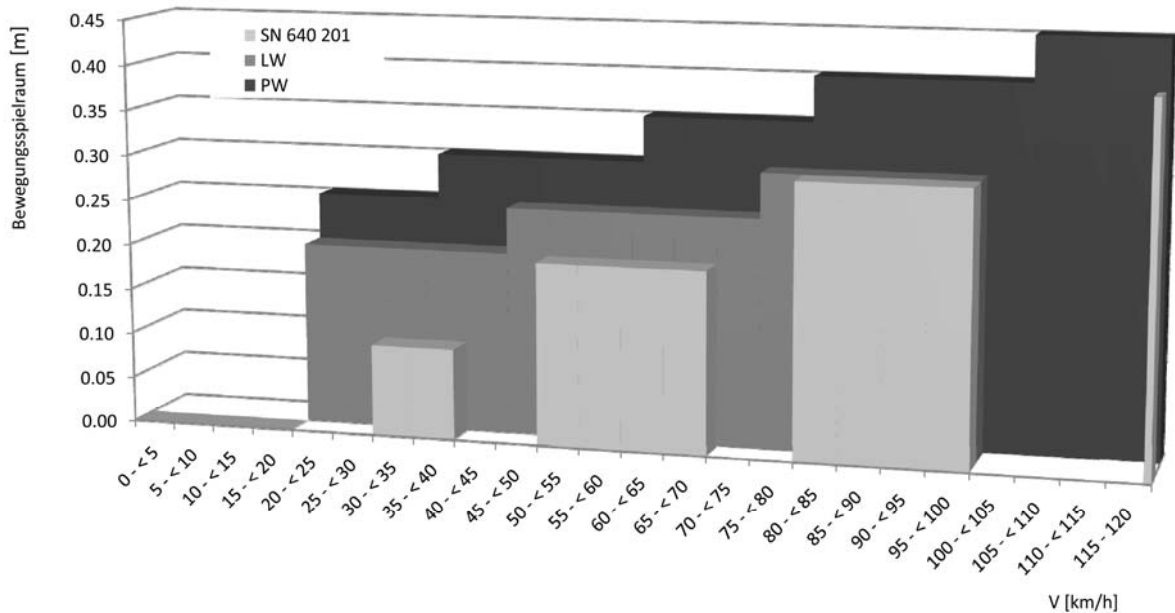


Abbildung 65: Bewegungsspielräume, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m, Vergleich mit SN 640 201

Auf Grundlage dieser Festlegungen sind in Tabelle 69 die Bewegungsspielräume für PW und LW für die entsprechenden Geschwindigkeitsintervalle angegeben.

Tabelle 69: Bewegungsspielräume, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m

V [km/h]		20 - < 25	25 - < 30	30 - < 35	35 - < 40	40 - < 45	45 - < 50	50 - < 55	55 - < 60	60 - < 65	65 - < 70	70 - < 75	75 - < 80	80 - < 85	85 - < 90	90 - < 95	95 - < 100	100 - < 105	105 - < 110	110 - < 115	115 - 120
Bewegungsspielraum [m]	PW	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.35	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45
	LW	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30			

Bei der Bemessung von Fahrbahnen in Tunneln und im Bereich von Galerien empfiehlt es sich den Bewegungsspielraum der Personenwagen um beidseitig jeweils 0.05 m zu erhöhen (vgl. Ziffer 6.2.2). Für Lastwagen ist kein zusätzlicher Bewegungsspielraum in Tunneln und Galerien erforderlich.

Eine Anpassung der Normwerte an die empirisch ermittelten Bewegungsspielräume und insbesondere die Unterscheidung der Fahrzeugtypen PW und LW werden empfohlen.

Gegenverkehrszuschlag

Der Gegenverkehrszuschlag ist in der bestehenden Norm unabhängig vom Fahrzeugtyp für die Geschwindigkeitsbereiche 0 bis 30 km/h, 40 bis 70 km/h und grösser 80 km/h angegeben. Auch hier liegt somit nur eine lückenhafte Zuordnung vor. Auf Basis der Messergebnisse muss auch für den Gegenverkehrszuschlag eine Unterscheidung der an der Begegnung beteiligten Fahrzeugtypen PW und LW als zwingend erachtet werden.

In Abbildung 66 sind die in der Norm [SN 640 201] angegebenen Gegenverkehrszuschläge sowie die aus der vorliegenden Untersuchung resultierenden Zuschläge für Begegnungen zwischen PW und Begegnungen mit LW angegeben. Analog zu den Bewegungsspielräumen erfolgt auch hier die Abstufung in 0.05 m-Schritten für 5 km/h-Intervalle der Fahrgeschwindigkeit. Die maximal zulässige Geschwindigkeit für Strecken im Gegenverkehrsbetrieb beträgt 100 km/h.

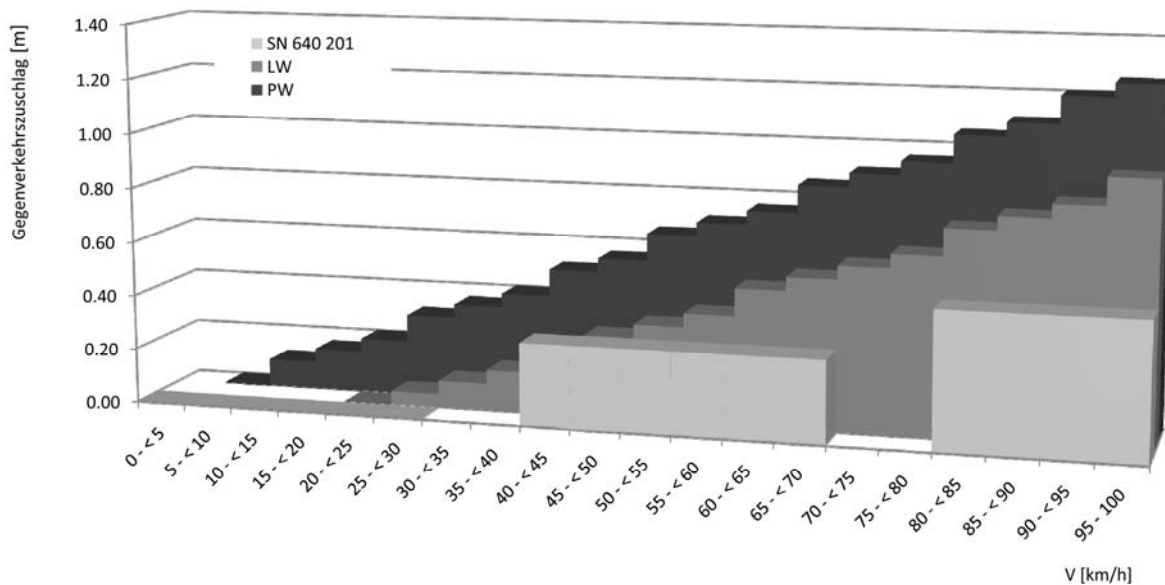


Abbildung 66: Gegenverkehrszuschläge, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m, Vergleich mit SN 640 201

Auf Grundlage der obigen Festlegungen ergeben sich die in Tabelle 70 angegebenen Normempfehlungen für die Gegenverkehrszuschläge bei Begegnungen zwischen PW und bei Begegnungen mit LW.

Tabelle 70: Gegenverkehrszuschlag, in 5 km/h-Intervallen, gerundet auf 0.05 m

V [km/h]	0 - < 10	10 - < 15	15 - < 20	20 - < 25	25 - < 30	30 - < 35	35 - < 40	40 - < 45	45 - < 50	50 - < 55	55 - < 60	60 - < 65	65 - < 70	70 - < 75	75 - < 80	80 - < 85	85 - < 90	90 - < 95	95 - 100	
Gegenverkehrszuschlag [m]	PW	0.00	0.10	0.15	0.20	0.30	0.35	0.40	0.50	0.55	0.65	0.70	0.75	0.85	0.90	0.95	1.05	1.10	1.20	1.25
	LW				0.00	0.05	0.10	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65	0.75	0.80	0.85	0.95

Eine Anpassung der Normwerte an die empirisch ermittelten Gegenverkehrszuschläge und insbesondere die Unterscheidung der an der Begegnung beteiligten Fahrzeugtypen PW und LW werden empfohlen.

Überholzuschlag

Die Gleichsetzung von Gegenverkehrs- und Überholzuschlag, wie sie in der bestehenden Norm vorgesehen wird, trifft nicht zu. Es wird demnach als zwingend erachtet, die Überholzuschläge separat auszuweisen.

Aus den in Ziffer 6.4 dargestellten Ergebnissen lassen sich die in Tabelle 71 angegebenen Überholzuschläge ableiten. Unterschieden werden Überholungen auf richtungsgetrennten Autobahnen mit normalen Querschnitten mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 120 km/h für PW und 80 km/h für LW und Busse beziehungsweise 100 km/h für Cars und Überholungen auf richtungsgetrennten Autobahnen mit reduziertem Querschnitt und mit einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h für PW und 80 km/h für LW, Busse und Cars. Darüber hinaus wird unterschieden, ob es sich bei dem überholten Fahrzeug um einen PW oder um einen LW (inkl. Busse und Cars) handelt. Als reduzierte Querschnitte gelten Querschnitte mit reduzierter Fahrbahnbreite sowie fehlendem Standstreifen.

Wie bereits bei den vorangegangenen Empfehlungen wurden auch die Überholzuschläge auf 0.05 m gerundet.

Tabelle 71: Empfohlene Überholzuschläge nach Querschnittsausprägung und Fahrzeugkategorie des überholten Fz

Fahrzeugkategorie	normale FB-Querschnitte		reduzierte FB-Querschnitte	
	V [km/h]	Überholzuschlag [m]	V [km/h]	Überholzuschlag [m]
PW	120	0.95	100	0.50
LW, Busse, Cars	80 (100)	0.60	80	0.30

Eine Unterscheidung von Gegenverkehrszuschlägen und Überholzuschlägen und die Unterscheidung der Überholungen anhand der Fahrzeugkategorie des überholten Fahrzeuges werden empfohlen.

Die Untersuchung der Überholungen von leichten Zweirädern bestätigt für den Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 50 km/h generell den in der Norm angegebenen Überholzuschlag von 0.20 m (vgl. Ziffer 6.5). Der Stichprobenumfang ist jedoch zu gering, um normrelevante Empfehlungen zu geben. An Ausserortsstrecken konnten keine Erkenntnisse zu Überholzuschlägen bei Überholungen von leichten Zweirädern gewonnen werden.

Die Begegnungsfälle zwischen Motorfahrzeugen und leichten Zweirädern wurden in die-

ser Forschungsarbeit nur im Bereich von Trenninseln mit verschiedenen Insellängen und bei unterschiedlichen Durchfahrtsbreiten untersucht. Wissenslücken verbleiben für Begegnungsfälle, die im Zuge der offenen Strecke zwischen den einzelnen Inseln entstehen.

Zusätzliche lichte Breite

Eine massgebende Quantifizierung, welche Auswirkungen auf die Normempfehlung hat, kann auf Basis der erhobenen Daten nicht gemacht werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Es ist jedoch ersichtlich, dass der mit 0.20 m angenommene Zuschlag für die zusätzliche lichte Breite als zu gering angesehen werden muss. Dies gilt insbesondere für Strecken mit im Fahrbahnbereich ausgewiesenem Sicherheitszuschlag. In diesem Fall befindet sich das seitliche Hindernis bereits 0.20 m neben dem Fahrbahnrand.

Die Ergebnisse (vgl. Ziffer 7.1.5) der Messungen haben gezeigt, dass vor allem bei linienförmigen Hindernissen neben der Fahrbahn deutliche Einflüsse auf das Spurverhalten zu beobachten sind. Die Lage der Fahrzeugtrajektorien verschiebt sich im Vergleich zum Zustand ohne linienförmiges Hindernis deutlich nach links und bei Begegnungen reduzieren sich die Begegnungsabstände entsprechend. Dieser Einfluss ist vor allem bei PW bzw. bei Begegnungen zwischen PW ausgeprägt (Verschiebungen im Mittel um ca. 30 cm). Beim Vorhandensein linienförmiger seitlicher Hindernisse sollte deshalb der Sicherheitszuschlag von 0.30 m ausserhalb der Fahrbahn ausgewiesen werden. Andernfalls ist die zusätzliche lichte Breite zu vergrössern.

Bei der Normung sollte in diesem Zusammenhang geprüft werden, ob nicht besser eine vom Strassentyp abhängige zusätzliche lichte Breite empfohlen werden soll.

Weiterer Forschungsbedarf

Neben der zusätzlichen lichten Breite besteht weiterer Forschungsbedarf im Bereich der statischen Sicherheitszuschläge sowie der vertikalen Bemessungselemente. Diese sind neben den oben genannten Elementen Bestandteil der bestehenden Norm [SN 640 201].

Die Sicherheitszuschläge sind statische und somit nicht geschwindigkeitsabhängige Zuschläge, welche dazu dienen, Massungenauigkeiten sowie über das Fahrzeug hinausragende Teile wie z.B. Aussenspiegel zu kompensieren. Für Personenwagen betragen sie horizontal beidseitig 0.20 m und vertikal 0.20 m. Für Lastwagen werden sie in der Norm mit 0.30 m in horizontaler Richtung und 0.20 m in vertikaler Richtung angenommen. Dies ist insofern von Bedeutung, als die in dieser Arbeit abgeleiteten Gegenverkehrs- und Überholzuschläge auf den Normwerten basieren, indem diese von den empirisch gemessenen Begegnungsabständen abgezogen wurden.

Diese Zuschläge wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht überprüft. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich diese Massungenauigkeiten sowie auch die Aussenspiegel der Fahrzeuge im Betrachtungszeitraum von 1992-2005 nur marginal geändert haben. Ob diese Änderungen relevante Ausmasse haben, ist bei einer allfälligen Revision der Normengruppe GNP zu prüfen.

Ebenso verhält es sich mit den vertikalen Bewegungsspielräumen. Diese betragen für Personenwagen 0.00 m für Geschwindigkeiten von 0 bis 20 km/h und 30 bis 40 km/h sowie 0.20 m bei 50 bis 70 km/h, 80 bis 100 km/h und bei 120 km/h. Bei Lastwagen betragen sie 0.00 m für Geschwindigkeiten von 0 bis 20 km/h sowie 30 bis 40 km/h. Bei 50 bis 70 km/h ist ein vertikaler Bewegungsspielraum von 0.20 m angegeben. Bei Geschwindigkeiten von 80 bis 100 km/h beträgt er 0.30 m. Auch für LW mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h ist er mit 0.30 m definiert. Eine Herleitung dieser Werte ist nicht angegeben und die Bemessung ist unverständlich und bedarf somit einer Überprüfung.

7.3 Abschätzung der Auswirkungen

Abschliessend sind in den nachfolgenden Tabellen die Werte der minimalen lichten Breite für repräsentative Querschnitte angegeben. Verglichen wird jeweils die Breite, welche sich nach Bemessung auf Basis der bestehenden Norm [SN 640 201] ergibt sowie jene minimale lichte Breite, welche aus den Empfehlungen der vorliegenden Arbeit resultiert (vgl. Ziffer 7.2).

Die minimale lichte Breite setzt sich aus den Grundabmessungen der Verkehrsteilnehmer, deren Bewegungsspielräumen, den Sicherheitszuschlägen sowie dem Gegenverkehrs- bzw. Überholzuschlag zusammen (vgl. Abbildung 67). Die minimale lichte Breite beinhaltet sowohl die inneren als auch die äusseren Sicherheitszuschläge.

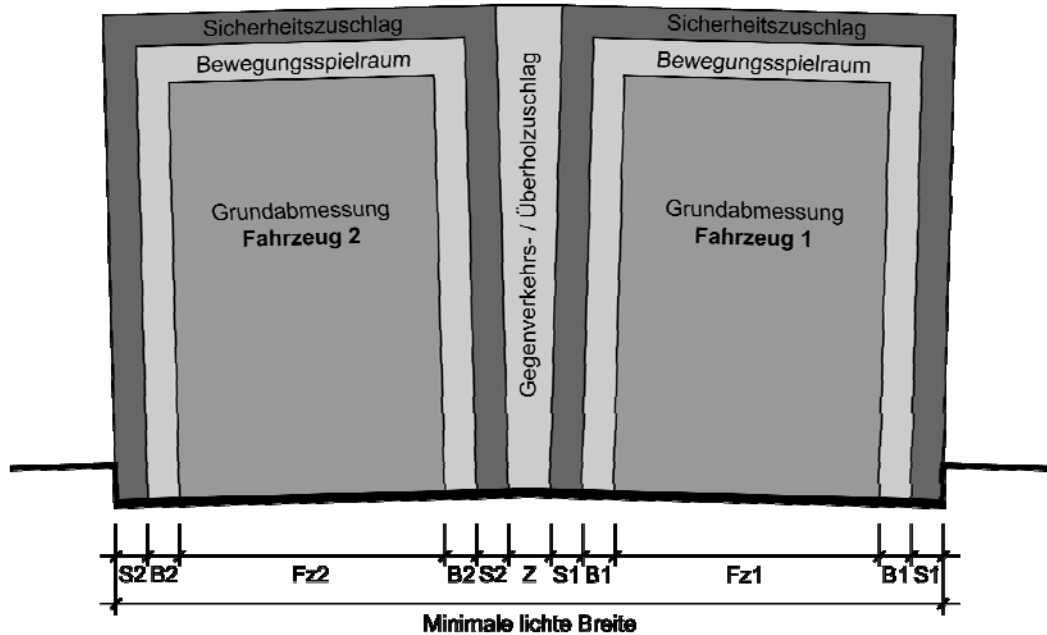


Abbildung 67: Zusammensetzung der minimalen lichten Breite

In Tabelle 72 sind exemplarisch die minimalen lichten Breiten für den Begegnungsfall LW-LW bei Gegenverkehrsbetrieb für die Geschwindigkeiten 50, 80 und 100 km/h angegeben. Sie setzen sich aus den Fahrzeuggrundabmessungen ($Fz1$, $Fz2$), jeweils zweimal den Bewegungsspielräumen ($B1$, $B2$) und Sicherheitszuschlägen ($S1$, $S2$) sowie dem Gegenverkehrszuschlag (Z) zusammen.

Generell ergeben sich für die Herleitung basierend auf den getroffenen Empfehlungen grössere lichte Breiten. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h ist nach SN 640 201 eine minimale lichte Breite von 7.30 m vorgesehen. Die auf Basis der Messergebnisse hergeleitete Breite beträgt 7.60 m und ist somit um 0.30 m grösser.

Mit steigender Geschwindigkeit nehmen für den Begegnungsfall LW-LW auch die Differenzen zu. Bei 80 km/h ergibt sich mit 8.25 m eine um 0.35 m grössere Breite. Bei 100 km/h beträgt die Differenz 0.55 m. Hierbei entfallen 0.10 m der Änderung auf die um je 0.05 m grössere Fahrzeugbreite. Nur geringe Unterschiede resultieren in diesem Fall aus den empfohlenen Änderungen der Bewegungsspielräume. Der Gegenverkehrszuschlag ist bei 80 km/h um 0.25 m und bei 100 km/h um 0.45 m grösser als in der bestehenden Norm.

Tabelle 72: Minimale lichte Breite bei Gegenverkehrsbetrieb, Begegnungsfall LW-LW, Vergleich mit SN 640 201

LW-LW Geschwindigkeit		Bemessungselemente [m] (nach Abbildung 67)							minimale lichte Breite [m]	Differenz [m]
		Fz1	B1	S1	Fz2	B2	S2	Z		
50 km/h	SN 640 201	2.50	0.20	0.30	2.50	0.20	0.30	0.30	7.30	0.30
	Empfehlung	2.55	0.25	0.30	2.55	0.25	0.30	0.30	7.60	
80 km/h	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	2.50	0.30	0.30	0.50	7.90	0.35
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	2.55	0.30	0.30	0.75	8.25	
100 km/h	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	2.50	0.30	0.30	0.50	7.90	0.55
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	2.55	0.30	0.30	0.95	8.45	

Analog zur Tabelle 72 sind in Tabelle 73 die minimalen lichten Breiten für den Begegnungsfall LW-PW bei Gegenverkehrsbetrieb angegeben. Hier fallen die Differenzen mit 0.40 m bei 50 km/h, 0.55 m bei 80 km/h und 0.75 m bei 100 km/h grösser aus.

Dies ist insbesondere auf den grösseren Bewegungsspielraum von Personenwagen und den oben erwähnten grösseren Gegenverkehrszuschlag zurückzuführen. Während in der bestehenden Norm für den Bewegungsspielraum identische Werte für Personenwagen und Lastwagen angenommen werden, fallen die empfohlenen Bewegungsspielräume für Personenwagen grösser aus. Bei den hier angegebenen Geschwindigkeiten beträgt die Differenz jeweils 0.10 m.

Tabelle 73: Minimale lichte Breite bei Gegenverkehrsbetrieb, Begegnungsfall LW-PW, Vergleich mit SN 640 201

LW-PW Geschwindigkeit		Bemessungselemente [m] (nach Abbildung 67)							minimale lichte Breite [m]	Differenz [m]
		Fz1	B1	S1	Fz2	B2	S2	Z		
50 km/h	SN 640 201	2.50	0.20	0.30	1.80	0.20	0.20	0.30	6.40	0.40
	Empfehlung	2.55	0.25	0.30	1.85	0.30	0.20	0.30	6.80	
80 km/h	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	1.80	0.30	0.20	0.50	7.00	0.55
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	1.85	0.40	0.20	0.75	7.55	
100 km/h	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	1.80	0.30	0.20	0.50	7.00	0.75
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	1.85	0.40	0.20	0.95	7.75	

Auch auf Autobahnen mit baulich getrennten Richtungsfahrbahnen ergeben sich Abweichungen zwischen den in der Norm angegebenen Werten und den auf Messergebnissen basierenden Bemessungselementen. Tabelle 74 zeigt die minimalen lichten Breiten für Autobahnen mit normalem und reduziertem Querschnitt. Als reduzierter Querschnitt gilt hier ein Querschnitt mit reduzierter Fahrbahnbreite und fehlendem Standstreifen, bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit für Personenwagen von 100 km/h. Für den reduzierten Querschnitt werden die Betriebsformen mit und ohne Überholverbot für LW unterschieden. Im Falle eines Überholverbotes für LW ist der Begegnungsfall PW-LW massgebend. Ansonsten wird von der Begegnung LW-LW als massgebend ausgegangen.

Die minimale lichte Breite bei normaler Querschnittsausprägung auf Basis der Empfehlungen liegt mit 8.10 m um 0.20 m über der auf Normwerten basierenden Breite von 7.90 m. Bei reduziertem Querschnitt führen die Empfehlungen zu einer lichten Breite von 7.80 m für den Begegnungsfall LW-LW. Dieser Wert liegt 0.10 m unter dem Normwert. Im Falle eines Überholverbotes für LW ergibt sich aus den empirisch ermittelten Werten eine lichte Breite von 7.10 m.

Tabelle 74: Minimale lichte Breite bei Richtungsbetrieb auf Autobahnen, Begegnungsfall LW-LW (LW-PW), Vergleich mit SN 640 201

LW-LW (LW-PW) Querschnitts- ausprägung		Bemessungselemente [m] (nach Abbildung 67)							minimale lichte Breite [m]	Differenz [m]
		Fz1	B1	S1	Fz2	B2	S2	Z		
normaler Querschnitt	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	2.50	0.30	0.30	0.50	7.90*	0.20
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	2.55	0.30	0.30	0.60	8.10*	
reduzierter Querschnitt	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	2.50	0.30	0.30	0.50	7.90	-0.10
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	2.55	0.30	0.30	0.30	7.80	
reduzierter Querschnitt, LW-Über- holverbot	SN 640 201	2.50	0.30	0.30	1.80	0.30	0.20	0.50	7.00	0.10
	Empfehlung	2.55	0.30	0.30	1.85	0.40	0.20	0.30	7.10	

* ohne Standstreifen

Das Bundesamt für Strassen empfiehlt in der Richtlinie zu Nationalstrassenprojekten [Pfister, 2002] für 4-spurige Nationalstrassen (NS 1. Klasse) eine minimale lichte Breite von 7.75 m im Standardprofil und 7.50 m im reduzierten Profil. Die auf Basis der Messwerte empfohlene minimale lichte Breite liegt für beide Querschnittsausprägungen (8.10 bzw. 7.80 m) über den Werten der Richtlinie.

Literaturverzeichnis

[AASHTO 2001]	A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Second Printing 2001, Washington D.C.
[Bark, 1991]	Bark A., W. Durth und V. Mattheß (1991) Überprüfung der Regelmaße von Straßenquerschnitten innerorts, Informationen – Forschung im Straßen- und Verkehrswesen – Teil: Stadtverkehr – Lieferung 12/1991, 107-108
[Belopitov, 1999]	Belopitov I. und P. Spacek (1999) Geschwindigkeiten in Kurven, UVEK-Forschungsauftrag Nr. 1/96, Schriftenreihe Nr. 420, IVT, ETH Zürich, Zürich
[Bühlmann, 1990]	Bühlmann F. (1990) Durchfahrtsbreiten bei baulichen Hindernissen, Verkehrliche Untersuchungen 3/1990, Tiefbauamt des Kantons Zürich, Zürich
[Knoflacher, 1981]	Knoflacher H. und J. Schopf (1981) Bestimmung der maßgebenden Fahrstreifenbreite für Autobahnen, Schnellstraßen und Bundesstraßen, insbesondere im Hinblick auf ihre Führung in Ballungsgebieten, Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Bauten und Technik, Heft 177, Wien
[Koy, 2003]	Koy T. und P. Spacek (2003) Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, UVEK-Forschungsauftrag, VSS 1998/079, Schriftenreihe Nr. 1054, IVT, ETH Zürich, Zürich
[Lenz, 1975]	Lenz K.-H. und W. Burger (1975) Spurverhalten von Kraftfahrzeugen auf einer zweispurigen Landstraße, Straße und Autobahn 11/1975, 419-423
[Oellers, 1976]	Oellers F. (1976) Untersuchung über den Einfluss der Fahrstreifenbreite auf den Verkehrsablauf auf Richtungsfahrbahnen, Forschungsbericht aus dem Forschungsprogramm des BMV und der FGSV. Heft 211, Bonn
[Pfister, 2002]	Pfister R. (2002) Nationalstrassenprojekte, Richtlinie über die Normalprofile, die Rastplätze und die Raststätten der Nationalstrassen, ASTRA, Bern
[RAA, 2008]	Richtlinien für die Anlage von Autobahnen RAA, Ausgabe 2008, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
[RASt, 2006]	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RASt, Ausgabe 2006, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
[RAS-Q, 1996]	Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Querschnitte RAS-Q, Ausgabe 1996, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln
[Santel, 2010]	Santel G. (2010) Laterales Fahrverhalten, Dissertation am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, laufende Forschungsarbeit (Stand Nov. 2010)
[Scheifele, 1992]	Scheifele U. und P. Spacek (1992) Messpfosten; Eine Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen, Forschungsauftrag des Fonds für Verkehrssicherheit, IVT, ETH Zürich, Zürich
[SN 640 020a]	VSS (2010) SN 640 020a Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Zweistreifige Strassen ohne bauliche Richtungstrennung, VSS, Zürich
[SN 640 041]	VSS (1992) SN 640 041 Projektierung, Grundlagen; Strassentyp: Hochleistungsstrassen, VSS, Zürich
[SN 640 042]	VSS (2003) SN 640 042 Projektierung, Grundlagen; Strassentyp: Hauptverkehrsstrassen, VSS, Zürich
[SN 640 200a]	VSS (2003) SN 640 200a Geometrisches Normalprofil; Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente, VSS, Zürich
[SN 640 201]	VSS (1992) SN 640 201 Geometrisches Normalprofil; Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer, VSS, Zürich
[SN 640 202]	VSS (1992) SN 640 202 Geometrisches Normalprofil; Erarbeitung, VSS, Zürich
[SN 640 262]	VSS (1999) SN 640 262 Knoten; Knoten in einer Ebene (ohne Kreisverkehr), VSS, Zürich
[SN 640 822]	VSS (1997) SN 640 822 Leiteinrichtungen, VSS, Zürich
[Spacek, 1984]	Spacek P. und Ph. Düggeli (1984) Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen, UVEK-Forschungsauftrag, VSS 21/80, IVT, ETH Zürich, Zürich
[Spacek, 1997]	Spacek P. (1997) Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven; Fahrverhalten in Kurvenbereichen, UVEK-Forschungsauftrag, VSS 16/84, Schriftenreihe Nr. 410, IVT, ETH Zürich, Zürich
[Stauber, 2005]	Stauber M. und S. Näf (2005) Geometrie der Parkieranlagen, UVEK-Forschungsauftrag, VSS 2000/365, Winterthur
[StvZO, 2008]	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2008) Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StvZO), Stand: 22. Januar 2008, BMVBS, Berlin
[VTS, 2007]	UVEK (2007) Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS), Stand 1. Juli 2007, UVEK, Bern

Anhänge (auf CD)

I	Untersuchungsstrecken	155
I.1	Untersuchungsstrecken an Autobahnen	155
I.2	Untersuchungsstrecken ausserorts	165
I.3	Untersuchungsstrecken innerorts	215
I.4	Untersuchungsstrecken mit Trenninseln.....	229
II	Statistische Auswertungen	241
II.1	Spuramplituden.....	241
II.2	Begegnungsabstände	266

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 28.10.2010

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2000/469

Projekttitlel: Geometrisches Normalprofil (GNP) für alle Fahrzeugtypen

Enddatum: 30.11.2010

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

Gegenstand der Untersuchung war die Überprüfung der Grundabmessungen der Motorfahrzeuge sowie der geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente des Geometrischen Normalprofils (GNP) in der VSS-Norm SN 640 001. Die statistische Auswertung ergab sowohl bei den PW als auch bei den LW grössere Fahrzeugbreiten als in der bestehenden Norm. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Bewegungsspielräume und Gegenverkehrs-/Überholzuschläge, wie sie in der bestehenden Norm enthalten ist, konnte durch empirische Erhebungen grundsätzlich bestätigt werden. Allerdings ergaben sich zwischen den Messergebnissen und den Richtwerten der Norm zum Teil erhebliche Unterschiede. Zudem hat sich gezeigt, dass bei den Bewegungsspielräumen und Gegenverkehrs-/ Überholzuschlägen zwischen den Kategorien PW und LW unterschieden werden muss, und dass die Gleichstellung der Grösse von Gegenverkehrs- und Überholzuschlägen in der bestehenden Norm nicht zutreffend ist.

Wichtige Einflüsse auf die Grösse der Bemessungselemente bilden ausserdem die vorhandene Fahrstreifenbreite sowie die linienförmige Hindernisse seitlich der Fahrbahn.

Die Untersuchung hat ferner gezeigt, dass die empirisch ermittelten Begegnungsabstände bei Überholungen der leichten Zweiräder für den Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 50 km/h den bestehenden Normwerten entsprechen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:	Obwohl der nachträglich gewünschte Einbezug der fahrzeugähnlichen Geräte (FäG) aus technischen Gründen nicht möglich war, wurden die anvisierten Ziele der Forschungsarbeit erreicht. Für die Fahrzeugkategorien PW und LW sowie für die Begegnungen mit leichten Zweirädern konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden und Vorschläge für die Revision der bestehenden Normen abgeleitet werden.
Folgerungen und Empfehlungen:	<p>Aus der Untersuchung ergaben sich folgende Folgerungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bzgl. der Grundabmessungen von PW und LW ergab sich, dass sich die Fahrzeugbreiten in den letzten Jahren erhöht haben. Die Opportunität der Erhöhung der bestehenden Normwerte ist zu prüfen. - Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Bewegungsspielräume und Gegenverkehrs-/ Überholzuschläge, wie sie in der bestehenden Norm enthalten ist, wurde durch empirische Erhebungen grundsätzlich bestätigt. - Zwischen den Ergebnissen der Messungen und den Richtwerten der Norm bestehen zum Teil erhebliche Unterschiede. Zudem hat sich gezeigt, dass bei der Angabe von geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselementen des GNP zwischen den Kategorien PW und LW unterschieden werden muss. - Die gemessenen Bewegungsspielräume liegen je nach Geschwindigkeit bei den PW ca. 10 bis 15 cm, bei den LW ca. 5 bis 10 cm höher, die Gegenverkehrszuschläge sind um ca. 40 bis 70 cm (PW) und ca. 20 bis 35 cm (LW) grösser als in der Norm. Die Überholzuschläge an HLS sind auf normalbreiten Fahrstreifen und vergleichbaren Geschwindigkeiten deutlich kleiner als die Gegenverkehrszuschläge. Die Unterschiede betragen bei Überholungen von PW ca. 40 cm, bei jenen von LW ca. 25 cm. Die Gleichstellung der Gegenverkehrs- und Überholzuschläge in der bestehenden Norm ist somit nicht zutreffend. - Neben der Geschwindigkeit werden die Bewegungsspielräume und die Begegnungsabstände auch durch die vorhandene Fahrstreifenbreite sowie die linienförmige Hindernisse seitlich der Fahrbahn beeinflusst. - Die empirisch ermittelten Begegnungsabstände bei Überholungen der leichten Zweiräder entsprechen für den Geschwindigkeitsbereich von 30 bis 50 km/h den bestehenden Normwerten. <p>Aufgrund der obigen Folgerungen wird empfohlen, die bestehende VSS-Norm SN 640 201 zu revidieren.</p>
Publikationen:	<p>Santel G. (2008) Standard-profile of cross sections, Conference paper, 8th Swiss Transport Research Conference, Ascona, Oktober 2008</p> <p>Santel G. (2010) Lateral driving behaviour, Conference paper, 10th Swiss Transport Research Conference, Ascona, September 2010</p> <p>Schlussbericht: „Geometrisches Normalprofil (GNP) für alle Fahrzeugtypen“, Forschungsauftrag VSS 2000/469, IVT-ETHZ, Zürich, November 2010</p>

Beurteilung der Begleitkommission:


Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:	<p>Im Rahmen dieser umfangreichen und anspruchsvollen Forschungsarbeit konnten aus den empirischen Erhebungen wichtige Erkenntnisse für die Erarbeitung des geometrischen Normalprofils von Strassen gewonnen werden. Angesichts der Vielzahl von sich überlagernden Einflüssen auf die geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselemente des Strassenquerschnitts hatte in dieser Untersuchung das methodische Vorgehen und die statistischen Analysen eine wichtige Bedeutung.</p> <p>Die Forschungsergebnisse, deren Folgerungen und die unterbreiteten Normungsvorschläge sind fundiert und in der Praxis gut umsetzbar. Die Normungsvorschläge sind plausibel und sollten rasch umgesetzt werden. Damit sollten auch die bisherigen Unsicherheiten bei der Anwendung der Normgruppe Geometrisches Normalprofil beseitigt werden können.</p> <p>Trotz allem Verständnis für die technischen Probleme mit den Messeinrichtungen und für die aufwendigen Erhebungen erscheint die 6-jährige Bearbeitungsdauer etwas zu lang. Dieser Mangel hängt auch teilweise mit der Problematik des zeitweise fehlenden begleitenden Gremiums zusammen.</p>
Umsetzung:	<p>Für die Umsetzung der Forschungsergebnisse ist eine umfassende Normrevision vorgesehen. Dabei wird auch Frage zu klären sein, wie weit sich die neuen Grössen der Bemessungselemente auf das in der Norm enthaltene Vorgehen bei der Erarbeitung des GNP (SN 640 200a und 640 202) grundsätzlich auswirken und ob dies Auswirkungen auf weitere VSS-Normen hätte.</p>
weitergehender Forschungsbedarf:	<p>Mit dieser Untersuchung konnten wichtige Wissenslücken bei den geschwindigkeitsabhängigen Bemessungselementen geschlossen werden. Bei den Bewegungsspielräumen betreffen sie die Zuschläge in horizontaler Richtung. Die in der Norm enthaltenen Angaben zu den vertikalen Bewegungsspielräumen wurden in dieser Arbeit nicht untersucht. Wie weit sie zutreffen und wie sie abgeleitet wurden, ist nicht bekannt. Allfälliger Forschungsbedarf besteht auch bei den (statischen) Sicherheitszuschlägen, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren.</p>
Einfluss auf Normenwerk:	<p>Die Ergebnisse haben direkte Auswirkungen auf die Norm SN 640 201 „Geometrisches Normalprofil; Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer“. Indirekt betroffen sind auch die Normen SN 640 200a (Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente) sowie die Norm SN 640 202 (Erarbeitung), in der das Vorgehen überprüft und die Beispiele im Anhang überarbeitet werden sollen.</p>

Präsident Begleitkommission:

Name:	Hermann	Vorname:	Manuel
Amt, Firma, Institut:	BOSS ET PARTENAIRES SA		
Strasse, Nr.:	Fbg de l'Hôpital 58		
PLZ:	2000	Email:	manuel.hermann@boss-sa.ch
Ort:	Neuchâtel	Telefon:	032/725 02 55
Kanton, Land:	Neuchâtel, Schweiz	Fax:	032/725 02 32

Unterschrift Präsident Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten <i>Appréciation et critères d'acceptation des risques dus aux actions extraordinaires pour les ouvrages d'art</i> <i>Assessment of residual risks and acceptance criteria for accidental loading for infrastructural facilities</i>	2009
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung <i>Bases d'une méthode pour une appréciation comparative des risques</i> <i>Methodological basis for comparative risk assessment</i>	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen <i>Efficacité et efficience des interventions</i> <i>Effectiveness and efficiency of interventions</i>	2009
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten <i>Sécurité structurale des ouvrages d'art existants</i> <i>Structural safety of existing highway structures</i>	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten <i>Efficacité et efficience des interventions sur les ouvrages d'art</i> <i>Effectiveness and efficiency of interventions on highway structures</i>	2009
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten <i>Sécurité sur les chantiers d'ouvrages d'art</i> <i>Safety on constructions sites off highway structures</i>	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers <i>Bemessung und Nachweis der Fahrbahnplatten von Strassenbrücken</i> <i>Design and verification of bridge deck slabs for highway bridges</i>	2009
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar <i>Georadar zur Auffindung von Chloriden</i> <i>Detection of chlorides using ground penetrating radar</i>	2009
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i> <i>Durable components in bituminous layers</i>	2009
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz <i>Bases pour eCall en Suisse</i> <i>Technical and organisational basis for eCall in Switzerland</i>	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen <i>Bases de dimensionnement pour le renforcement par géosynthétiques</i> <i>Design of reinforcement with geosynthetics</i>	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion: Résultats et analyse de l'enquête en Suisse <i>Stau auf Strassen: Resultate und Analysen von Untersuchungen in der Schweiz</i> <i>Acceptance of road pricing: results and analysis of surveys carried out in Switzerland</i>	2009
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests <i>Amélioration des informations fournies par l'essai d'orniérage LCPC</i> <i>Improving information on materials behaviour obtained from the LCPC wheel tracking test</i>	2009

1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert <i>Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage</i> <i>Influences and interactions of the surface quality and the bearing capacity on the intrinsic value and the user value</i>	2009
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen <i>Exigences à l'équipement routier pour l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence</i> <i>Requirements for road side equipment by hard shoulder usage</i>	2009
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen <i>Facteurs d'influence sur la résistance au feu de structures en béton</i> <i>Influences on the fire resistance of concrete structures</i>	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE) <i>Trafic net des installations générant un trafic important (IGT)</i> <i>Net traffic induction of installations producing high traffic volumes (VE)</i>	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation <i>Retention der Schadstoffe des Strassenabwassers durch das "über die Schulter Versickerungs-System". In situ Verifikation und Optimierung</i> <i>Road runoff pollutant retention by infiltration through the Roadside Slopes. In Situ verification and optimization</i>	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols <i>Vorfabrizierte, vertikale, thermische Entwässerungsleitungen für die in-situ Konsolidierung von Böden</i> <i>Prefabricated thermal vertical drains for in-situ consolidation of soils</i>	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit <i>Nouvelles méthodes pour reconnaître et faire respecter la vitesse maximale autorisée</i> <i>New methods to identify and enforce the authorized speed limit</i>	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung <i>Exigences de qualité posées au traitement vidéo numérique pour la surveillance du trafic routier</i> <i>Quality requirements for digital video-analysis in traffic surveillance</i>	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen <i>L'influence de l'aménagement de l'espace de la route sur le trafic</i> <i>La résistance de passage du trafic comme instrument de travail pour la conception urbaine de zone routière</i>	2009
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen <i>Arrêt en cap - exigences et effets</i> <i>Cape stops - requirements and impacts</i>	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der messdaten des Löttschberg-Basistunnels <i>Test de la méthode "Prédiction indirecte de zones de venue d'eau au moyen de données thermiques" à l'aide des données du tunnel de base du Löttschberg</i> <i>Test of the method "indirect prediction ahead of water bearing zones with temperatures data" with the measured data from the Löttschberg-Basistunnel</i>	2009

1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen <i>Etude de pilote pour l'évaluation d'une machine mobile à vrai grandeur qui permet de simuler le trafic sur les routes dans une manière accélérée</i> <i>Pilot-study for the evaluation of a mobile full-scale accelerated pavement testing equipment</i>	2009
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche <i>Caractéristiques de bruit de couches de roulement en comparaison avec des couches d'asphalte coulé (Gussasphalt) avec surface construite</i> <i>Comparison of noise characteristics of wearing courses with mastic asphalt (Gussasphalt) with designed surface</i>	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung <i>Politique de transport: la prise de décision dans la planification des transports</i> <i>Transport-policy decision-making in transport planning</i>	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung) <i>Relation entre les propriétés diélectriques des revêtements routiers et leur condition</i> <i>A relationship between the dielectric properties of asphalt pavements and the present condition of the road</i>	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik <i>Utilisation des standards d'échange de données basés modélisation pour la télématique des transports routiers à l'exemple des données de trafic</i> <i>Use of modal driven data transfer standards in the road transport telematic exemplified by traffic data</i>	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART) <i>PM10 emission factors of abrasion particles from road traffic</i> <i>Facteurs d'émission des particules d'abrasion dues au trafic routiers</i>	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen <i>Evaluation of road restraint systems in central reserves of motorways</i> <i>évaluation de dispositifs de retenue de véhicule sur le terre-plein central des autoroutes</i>	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung <i>Interaction route - stabilité des versants: Monitoring et calcul à rebours</i> <i>Road-landslide interactions: Monitoring and inverse stability analysis</i>	2009
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen <i>Entretien des écrans antibruit</i> <i>Maintenance of noise reducing devices</i>	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung <i>Applications des modèles simulations dans le domaine de planification en transport marchandises</i> <i>Application of simulation tools in freight traffic and transport planning</i>	2009
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology <i>Méthodologie pour l'estimation de matrices origine-destination dynamiques en réseau urbain</i> <i>Methode zur Ermittlung dynamischer Quell-Ziel-Matrizen für städtische Netzwerke</i>	2009

1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Infor,ationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht <i>Influence des systemes d'information embarqués sur le comportement de conduite et la sécurité routière</i> <i>Rapport partiel d'ingénierie de la circulation</i> <i>Influence of In-Vehicle Information Systems on driver behaviour and road safety</i> <i>Report part of traffic engineering</i>	2009
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel <i>Capacité des giratoires à deux voies de circulation</i> <i>Capacity of two-lane roundabouts</i>	2009
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen <i>Mesures in-situ des propriétés acoustiques des écrans anti-bruit</i> <i>In-situ measurement of the acoustical properties of noise barriers</i>	2009
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren <i>Procédure analytique d'estimation de la capacité et du niveau de service de carrefours sans feux complexes</i> <i>Analytic procedure to estimate capacity and level of service at complex uncontrolled intersections</i>	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos <i>Estimation du risque pour le réseau</i> <i>Estimation of the network risk</i>	2010
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten <i>Appréciation des risques pour les ouvrages d'art</i> <i>Risk assessment for highway structures</i>	2010
945	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat <i>Bases pour l'utilisation du béton de recyclage en granulats de béton</i> <i>Fundamentals for the use of recycled concrete comprised of concrete material</i>	2010
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen <i>Aménagement des feux de signalisation pour les personnes à mobilité réduite ou âgées</i> <i>Traffic control systems - Handicapped and older people at signalized intersections</i>	2010
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie <i>Niveaux de service multimodales de la circulation routière - études préliminaires</i> <i>Multimodal level of service of road traffic - preliminary study</i>	2010
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen <i>Coûts supplémentaires engendrés par l'exécution anticipée ou retardée des mesures d'entretien</i> <i>Additional costs caused by bringing forward or delaying of standard interventions for road maintenance</i>	2010