

Magistrat Villach

Straße: Technologieparkstraße

Objekt: Feldwegunterführung B55



Feldwegunterführung B55

BWIM-Messung 2009

Messung durchgeführt von:

A-9560 Feldkirchen
Am Hügel 4
Tel: +43 4276 33780
Fax: +43 4276 33782
email: office@petschacher.at

pec
ZT-GmbH

psp
GmbH

PEC Petschacher Consulting
ZT-GmbH
Ingenieurkonsulent
für Bauingenieurwesen

Name: Feldwegunterführung B55**Straße:** Technologieparkstraße**km:** 0,000**Verwalter:** Bezirk/Mag**Erhalter:** Mag.Villach**BL:** Kärnten**BZ/Gemeinde:** VI: Villach(Stadt)**Meisterei:**

Anmerkung:

Obj.Nr.: B55/1

Brückentragwerk

Status: Erhaltung

Fahrbahn:**System:** keine Angabe**Lichtraum H/B:** 0,00/0,00 [m]**Norm:** Norm (0)**Baujahr:** 0**Brückenklasse:** keine Angabe**Lastbeschränkung:** [t]**Breitenband:****Winkel:** 0 [gon]

Einbauten:

Lasten:

Gründung:**Widerlager:** sonstiges Widerlager/keine Angabe - sonstiges Widerlager/keine Angabe

Pfeiler:**Material:** keine Angabe**KH:** 0,00 [m]**Querschnitt:** keine Angabe**LN:** 0,0 [%] **QN:** 0,0 [%]**Länge:** 13,50 [m] **Breite:** 5,10 [m]**Fläche:** 68,85 [m²]**Felder:** [m]

Lager:

FÜG:

Fahrbahn:**Gehweg:** keine Angabe**Belagsstärke:** 0 [cm]**Abdichtung:** unbekannt**Entwässerung:** keine Angabe

Randbalken:

Geländer:**LE:**

LSW:

Kontrolle: 1**Prüfung:****Note:** 0 nächste Prüfung 0

Inhaltsverzeichnis

. Datenblatt	2
1. Einleitung	1
2. (Bridge-) Weight-in-Motion	2
2.1. Allgemein	2
2.2. SiWIM - BWIM	2
2.3. Klassifizierung von Fahrzeugen	3
2.4. Einfluss des Verkehrs auf die Straße - ESAL-Rechnung	3
2.5. Genauigkeit der Ergebnisse	4
3. Messungen	6
3.1. Auswahl der Brücke	6
3.2. Brücke B88 Beschreibung und Instrumentierung	6
3.3. System-Installation und Konfiguration	6
3.4. Kalibrierung	7
3.5. Messungen	8
3.6. Post-Prozessing der Ergebnisse	13
4. Messbericht	15
4.1. Messergebnisse	15
4.2. ESAL	15
4.3. Verkehrscharakteristik	18
4.4. Weitere Aussagen	19
5. Achslastmodell	20
5.1. Häufigkeiten	20
5.2. Gewicht	21
5.3. Modell	23
5.4. VG 2-Achser	24
5.5. VG 3-Achser	24
5.6. VG LKW mit Anhänger	26
5.7. VG Sattelaufzieher	28
5.8. LKW-Konvoi	29
6. Zusammenfassung	32
A. Anhang	I
A.1. Begriffe	I
A.2. Klassifikations-Schemen	II
A.3. Methoden zur ESAL-Berechnung	VII
A.4. Pläne	IX
Literaturverzeichnis	XI

1. Einleitung

Aus Test- und Demonstrationszwecken wurde eine BWIM-Messung auf der Technologieparkstraße durchgeführt. Die Messung fand im Zeitraum von 24. März bis 01. April 2009 statt. Das System wurde auf der Brücke B55 mit 16 Sensoren instrumentiert und installiert. In der Regel sind Motivation und Begründung für eine BWIM Messung mehrschichtig.

Die Beurteilung bestehender Straßenbrücken hinsichtlich ihrer Restlebensdauer, und damit die Beurteilung ihrer Zuverlässigkeit, ist eine Fragestellung stetig steigender Wichtigkeit. Der Brückenbestand weist einerseits Alterungserscheinungen auf, die Belastung durch Schwerverkehr nimmt zu. Andererseits wird mit 1.1.2009 die Anwendung der EC1 Lastmodelle zwingend notwendig und diese wird zu Diskussionen bei Instandsetzungen und Oberbauverbreiterungen von Brücken führen. Dort werden in einigen Fällen die Berechnungen zu radikalen Schlussfolgerungen führen, die in Forderungen wie Neubau münden können. Die bestehende Vorschrift ONR 24008, siehe [4], bietet für solche Fälle einen Leitfaden, in Form eines 3-stufigen Vorgehens, um die bestehende Brücke hinsichtlich ihrer Trag- und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen.

Problematisch wird die Analyse, wenn zum Beispiel aktuelle EC-Windlasten und Verkehrslasten älterer Normen kombiniert werden. Hier werden verschiedene Sicherheitskonzepte vermengt und unterschiedliche charakteristische Lastgrößen verwendet. Auch die Anwendung der EC1 Norm bei der Nachrechnung kann konservativ sein, da diese die Verkehrslast für einen Neubau definiert, also eine Nutzungsdauer von $T = 100$ Jahre unterstellt wird, und eine sehr stark befahrenen Autobahn als Annahme dient. Für einen Neubau ist die Lastannahme vollkommen in Ordnung, denn hier kann günstig, im Sinne von monetärem Aufwand, viel an Sicherheit erreicht werden.

Die BWIM Messung gibt Ergebnisse, die in drei Punkte unterteilt werden können.

1. Verkehrslastbild - die Zusammensetzung der LKWs hinsichtlich einer gebräuchlichen Klassifizierung, deren Gesamtgewicht, die Achslasten und -abstände werden gemessen und ausgewertet. Daraus lassen sich Strukturantworten bei Brücken angeben und Belastungswerte in Form der ESAL-Werte für die freie Strecke.
2. Verkehrsfluss - die Abfolge von LKWs, die Länge von LKW-Schlangen, deren Abstände untereinander, die Begegnungshäufigkeit bei Gegenfahrbahnen etc. sind Grundlagen, um Simulationsmodelle zu etablieren, mit deren Hilfe große, komplexe Brücken berechnet werden können.
3. Statische Nachweise - ULS, FLS, SLS - die registrierten LKW-Ereignisse und gemessenen Strukturantworten bilden die Grundlage für die Ermittlung des dynamischen Faktors $\phi_m = M_{dyn}/M_{Stat}$ oder einer Rainflow-Analyse und den Ausgangspunkt für Ermüdungsnachweise. Das Schädigungspotenzial von einzelnen LKW-Typen, von überladenen Fahrzeugen oder Achsen kann quantifiziert werden.

Die Ergebnisse sollten im Erhaltungsmanagement Anwendung finden und Grundlage für Entscheidungen sein.

2. (Bridge-) Weight-in-Motion

2.1. Allgemein

Weigh-in-motion (WIM) wurde ursprünglich verwendet, um das Gewicht von Fahrzeugen, die mit Autobahngeschwindigkeit fahren, zu messen. WIM-Systeme bieten detaillierte Daten über Bruttogewicht, Achslasten, Geschwindigkeit und Achsabstand für nahezu alle Fahrzeuge, welche das System passieren. Brücken-WIM (BWIM) ist eine Sonderform von WIM, die existierende instrumentierte Brücken aus dem Straßennetzwerk als Wiegeplattformen nutzt. Der originale BWIM-Algorithmus, den Moses in den späten 1970ern entwickelte, benötigt Informationen von Spannungs-Sensoren - die an der Unterseite der Brücke angebracht werden - und von Achs-Detektoren - die am Asphalt angefügt oder in den Asphalt eingebaut werden, siehe [6]. Einige Systeme, die dieselben Prinzipien nutzten, wurden in den 1980ern entwickelt, doch sie hatten keinen großen Einfluss auf den WIM-Markt. In den späten 1990ern wurden im Zuge von WAVE („Weighing-in-motion of Axles and Vehicles for Europe“), einem Forschungsprojekt im 4. EU-Rahmenprogramm, beachtliche Verbesserungen erzielt. Die Hauptarbeit war auf Verbesserung der Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit, Transportfähigkeit und Lebensdauer dieser Systeme ausgerichtet.

Ungeachtet des genutzten Systems werden alle BWIM-Systeme auf existierenden Brücken oder Durchlässen angewandt, siehe Abb. 2.1. Ausgewählte Teile der Struktur werden instrumentiert und Belastungen werden gemessen, um Informationen über das Verhalten der Brücke unter dem Fließverkehr zu sammeln. Belastungen werden während der gesamten Überfahrt auf der Struktur gemessen und solche redundanten Daten liefern nützliche Informationen darüber, wann der Einfluss dynamischer Effekte der Fahrzeug-Brücken-Interaktion berücksichtigt werden muss. Das ist ein unbestreitbarer Vorteil gegenüber den Belags-WIM-Systemen, wo die Messung einer Achse lediglich einige Millisekunden dauert. Bis vor kurzem benötigten alle BWIM-Systeme Achsen- oder Fahrzeug-Detektoren auf dem Asphalt oder nahe der Brücke, um Fahrzeugklasse, Geschwindigkeit und Achsabstände zu liefern. Das von PEC genutzte System benötigt lediglich Sensoren unter der Brücke, um an diese Informationen zu gelangen.

2.2. SiWIM - BWIM

Das BWIM-System von PEC baut auf dem SiWIM®-System auf, welches im WAVE-Projekt gestartet von der Firma Cestel aus Ljubljana fertig gestellt wurde. Die Anlage sieht wie folgt aus:

- Spannungs-Umwandler, die an der Unterseite des Oberbaus angebracht werden, werden genutzt, um Informationen über das Verhalten der Brücke unter dem Fließverkehr zu geben;
- zusätzliche Spannungs-Umwandler pro gemessene Fahrspur um Geschwindigkeit und Achsabstand der Fahrzeuge zu erkennen;
- Signal-Aufbereitungs-Anlage;
- Stromversorgung, Batterie, Kabel;
- Mobile HSDPA/UMTS/GPRS-Verbindung;
- Gehäuse mit Elektronik;
- SiWiM®-Software.



Abbildung 2.1.: Systematik von BWIM/SiWIM

Datensammlung

Das System speichert Daten in einem eigenen Textformat, das Informationen wie Datum/Uhrzeit, Fahrzeug-Kategorie, Temperatur von 2 Sensoren, ESAL-Werte, Achslasten, Achsabstände, Abstand von der ersten zur letzten Achse und Gesamtgewicht für jedes Fahrzeug enthält. Die NSWD-Files werden mittels der Software-Programme SiWIM-D und VaP 2.3 nachverarbeitet.

Unter anderem wird nach zweifelhaften Ergebnissen gesucht, Histogramme, ESAL-Werte und Überlagerung berechnet sowie die Achsen gezählt. Die Ergebnisse werden in einem Berichtmodul halbautomatisch weiterverarbeitet.

2.3. Klassifizierung von Fahrzeugen

Das System teilt grundsätzlich die verschiedenen Fahrzeugklassen nach dem Achsabstand ein. Somit gibt es keine Anwendungsbegrenzung der Kategorien. Für einige spezielle Fahrzeugtypen mit ähnlichen Achsenverhältnissen, wie Zwei-Achser und Vans, wird diese Kategorie besonders auf Bruttogewicht und Nutzlast abgestimmt.

Eine Liste der verwendeten LKW-Klassen und LKW-Gruppen ist im Anhang A.1 enthalten. Des Weiteren werden die Klassifikationen der Projekte BRIME und COST der verwendeten Klassifikation gegenübergestellt.

2.4. Einfluss des Verkehrs auf die Straße - ESAL-Rechnung

Der Verkehrseinfluss auf den Belag wird gewöhnlich mit den Equivalent Single Axle Loads - ESAL (= entsprechende Einzelachslast) berechnet. Das häufigste Verfahren zur Bestimmung des steigenden ESAL-Wertes für bestimmte Verkehrsregionen kann wie folgt errechnet werden.

$$ESAL = \sum_{i=1}^n 10^{-4} \times f_t \times f_a \times P_i^\alpha \quad (2.1)$$

ESAL	- Verkehrsbeanspruchung ausgedrückt als Summe der nominalen Achslast
f_a	- Einflussgröße der Achse ist abhängig von der Achsart und der Referenz-Achslast
f_t	- Faktor, der den Einfluss des Reifenart und der Achsaufhängung dargestellt, wird oft vernachlässigt
P_i	- Achslast in Tonnen
α	- Faktor, abhängig von der Belagsart und dem Schadensbild, in den meisten Staaten wird häufig der Wert 4 benutzt
n	- Anzahl der Achsen

Folgende Referenz-Achslasten wurden zur Berechnung verwendet:

- Die Referenz-Achslast von 10 t für Einzelachsen, 18 t für Zweiachser und 24 t für Dreiachser. Eine Achslast gleich der Referenzachslast ergibt den ESAL - Wert 1.
- Die vierte Potenz der Achsbelastung ($\alpha = 4$) gemäß OECD.

Die folgenden f_a - Werte für die verschiedenen Achsentypen werden gemäß einer Empfehlung der OECD verwendet:

- $f_{a1} = 1.0000$ für Einzelachse,
- $f_{a2} = 0.1296$ für Doppelachse und
- $f_{a3} = 0.0410$ für Dreifachachse

Weitere Berechnungsmethoden zu ESAL-Werten sind in Anhang A.3 zu finden.

2.5. Genauigkeit der Ergebnisse

Die Genauigkeit der BWIM-Ergebnisse hängt von Struktur und teilweise auch Ebenheit des Belages ab und wird gemäß der Europäischen Spezifizierung der „Weigh-in-motion“[1] bewertet, indem BWIM-Resultate mit Werten einer genauen statischen Skala verglichen werden. Diese Spezifizierung definiert eine Genauigkeitsklasse durch einen Buchstaben und eine in Klammern gesetzten Zahl. Die genaueste Kategorie beginnt bei A(5), gefolgt von B+(7), B(10), C(15), D+(20) und E(30). Die Zahl ist der Vertrauensintervall δ im Vertrauensbereich π von ca. 95% aller Resultate. Der genaue Vertrauensbereich hängt von der Anzahl der Testfahrzeuge und der Testart (Anfangseinstellung oder anschließende Bewertung), sowie der Prüfung und den Umweltbedingungen ab.

In der Tabelle der Richtigkeit der Ergebnisse im Kapitel 3.4 werden zwei Vertrauensbereiche gezeigt:

- π_0 ist das Vertrauenslevel für den erhaltenen Vertrauensbereich δ und
- π ist das Vertrauenslevel für die erzielte Genauigkeitsklasse und ist generell höher als π_0 .

Es werden vier verschiedene Testszenarien und drei verschiedene Umweltbedingungen verwendet, diese sind:

1. komplett wiederholbar (ein Fahrzeug mit denselben Verkehrsbedingungen)
2. beschränkt wiederholbar (ein Fahrzeug mit verschiedenen Belastungen unter wechselnden Verkehrsbedingungen)
3. beschränkt reproduzierbar (zwei bis zehn verschiedene LKWs unter veränderten Verkehrsbedingungen)
4. komplett reproduzierbar (mehr als zehn Fahrzeuge bilden einen Verkehrsstrom)

Die Umweltbedingungen sind:

- wiederholbar (kurze Messungen mit konstanten Umweltbedingungen - Wetter)

- beschränkt reproduzierbar (kurze Messungen mit sich ständig ändernden Umweltbedingungen - Wetter)
- komplett reproduzierbar (langjährige Messungen mit verschiedenen Umweltbedingungen - Wetter)

Zuverlässigkeitssklasse B(10) bedeutet dass rund 95% der Gesamtgewichtsergebnisse sich um ca. 10% von dem wahren statisch gemessenem Wert unterscheiden. Einzelachslasten liegen im Intervall von 15% und Gruppenachsen bei 12%. Zuverlässigkeitssklassen, welche mit BWIM erreicht werden können, reichen von der exzellenten Klasse B+(7) auf guten Strukturen mit ebenem Belag bis zur akzeptablen Klasse D(25) auf weniger idealen Brücken mit sehr rauem Belag. In der Realität können normalerweise Klassen von B(10) oder C(15) erwartet werden.

3. Messungen

3.1. Auswahl der Brücke

Der Prozess besteht aus der Auswahl von Route und Brücke. Die Brücke wird vor Ort betrachtet, um sich ein Bild zu machen sowie den Zugang zur Brücke festzustellen. Darauf aufbauend wird ein Installationsplan erstellt, siehe Kapitel A.4.

3.2. Brücke B88 Beschreibung und Instrumentierung

Bei dem Objekt handelt es sich um eine Brücke auf der **Technologieparkstraße**. Technische Angaben zur Brücke sind im Datenblatt, auf Seite 2 ersichtlich.

Zur Instrumentierung wurden 16 Sensoren an der Brücke installiert, siehe Kapitel A.4. Durch Kabel wurden alle Sensoren mit der Elektronik-Einheit, welche unterhalb der Brücke platziert wurde, verbunden. Bei der Montage der Sensoren wurde auf Rissfreiheit geachtet. Es wurden zwei Arten von Sensoren installiert, die ADAMPs dienten der Achsdetektion und die WS der Ermittlung des Gewichtes, siehe Kapitel A.4.

3.3. System-Installation und Konfiguration

Vor dem Bohren und der Installation der Sensoren, Kabel, etc. wurden exakte Messungen durchgeführt. Danach wurde das Notebook mit dem System verbunden und das System konfiguriert. Nachdem die Default-Einfluss-Linie aufgrund dieser Parameter erstellt wurde, wurden Fahrzeuge mit dem System wahrgenommen und die Rohdaten zur Erstellung einer realen Einflusslinie genutzt. Dieser Vorgang benötigt einige Zeit, da man je Fahrspur etwa 10 Fahrzeuge mit einer Achsgruppe benötigt, bei deren Überfahrt es keine Störungen gegeben hat.

Danach wurde die Feinabstimmung durchgeführt, bei der Parameter für die LKW-Erkennung abgestimmt werden. Dieser Vorgang kann zeitintensiv werden, müssen doch LKWs unterschiedlicher Typen auf beiden Fahrbahnen abgewartet werden. Eventuell muss die Parameter-Konfiguration geändert werden, womit wiederum der Prozess von vorne beginnt. Bei einer geringen LKW-Belastung entstehen Wartezeiten, die sich auf die Gesamtdauer dieser Phase auswirken.



(a) Spannungs-Sensoren an der Decke



(b) Verbindung mit Elektronik



(c) Installation an Brücke

Abbildung 3.1.: Installation

Eine Stromquelle, welche sich ca. 350 Meter von der Brücke entfernt befand, konnte zum Betrieb der BWIM-Anlage genutzt werden.

3.4. Kalibrierung

Die Kalibrierung fand am 25. März statt. Ein 3-Achser wurde als Kalibrierungs-Fahrzeug genutzt. Im Vorfeld wurde das Fahrzeug mit Lastplatten gewogen und anschließend über die Brücke geführt, siehe Abb. 3.2.



(a) Wiegen



(b) Überfahrt 1



(c) Überfahrt 2

Abbildung 3.2.: Kalibrierung

Bruttogewicht	Achsen	Achsabstände	Achs-Gewichte				
			A 1	A 2	A 3	A 4	A5
25,1 t	3	4,63 + 1,39	7,85 t	10,65 t	6,60 t		

Tabelle 3.1.: statische Lasten

Im Folgenden werden die Kalibrierungsergebnisse darstellt, alles in Allem weist das Gesamtgewicht eine **gute Genauigkeit** auf. Die Kalibrierung für beide Fahrbahnen wurde unter vollen Wiederholbarkeitsbedingungen (ein Fahrzeug unter gleichen Verkehrsbedingungen) und wiederholbaren Umweltbedingungen (kurze Messungen mit konstanten Umweltbedingungen) durchgeführt. Für beide Fahrspuren wurde insgesamt die Klasse **B(10)** erreicht.

Fahrspur 1											
	Anzahl	Mittelwert	Varianz	δ	δ_{\min}	δ_{krit}	δ_{klasse}	π_0	π	π_{krit}	Klasse
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
GVW	10	-0.00	1.89	8.00	5.63	7.04	10	95.00	95.00	99.34	B(10)
Gruppe	10	-0.00	1.53	5.71	4.57	4.00	5	95.00	95.00	98.52	A(5)
Einzel	10	-0.00	2.76	8.74	8.22	6.56	7	95.00	95.00	96.32	B+(7)
Fahrspur 4											
	Anzahl	Mittelwert	Varianz	δ	δ_{\min}	δ_{krit}	δ_{klasse}	π_0	π	π_{krit}	Klasse
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
GVW	11	-0.00	2.01	8.00	5.95	7.44	10	95.48	95.48	99.21	B(10)
Gruppe	11	-0.00	1.59	5.71	4.70	4.12	5	95.48	95.48	98.48	A(5)
Einzel	11	-0.00	3.29	12.00	9.74	7.91	10	95.48	95.48	98.61	B(10)

Tabelle 3.2.: Kalibrierungs-Ergebnisse

In der Tabelle 3.2 ist δ der zu erreichende Vertrauensintervall, δ_{\min} steht für den erreichten Vertrauensintervall, δ_{krit} ist ein Wert für den erreichten Vertrauensintervall für ein bestimmtes Kriterium und δ_{klasse} steht für einen Grenzwert laut [1]. π_0 steht für den Vertrauensbereich, welcher erreicht werden muss, π steht für den erreichten Vertrauensbereich und π_{krit} steht für den Vertrauensbereich im erreichten Vertrauensintervall.

3.5. Messungen

Die Messungen fanden vom 24. März bis 01. April 2008 statt, die Kalibrierung erfolgte am 25. März und benötigte einen halben Tag. Am 01. April wurde das BWIM-System demontiert. Die Histogramme auf den folgenden Seiten stellen die Messungen sowie die gemessenen Fahrzeuge nach Gewicht und Uhrzeit für eine repräsentative Woche dar. Die Wochentage - im spezielllem die Werkstage, werden einzeln ausgewertet.

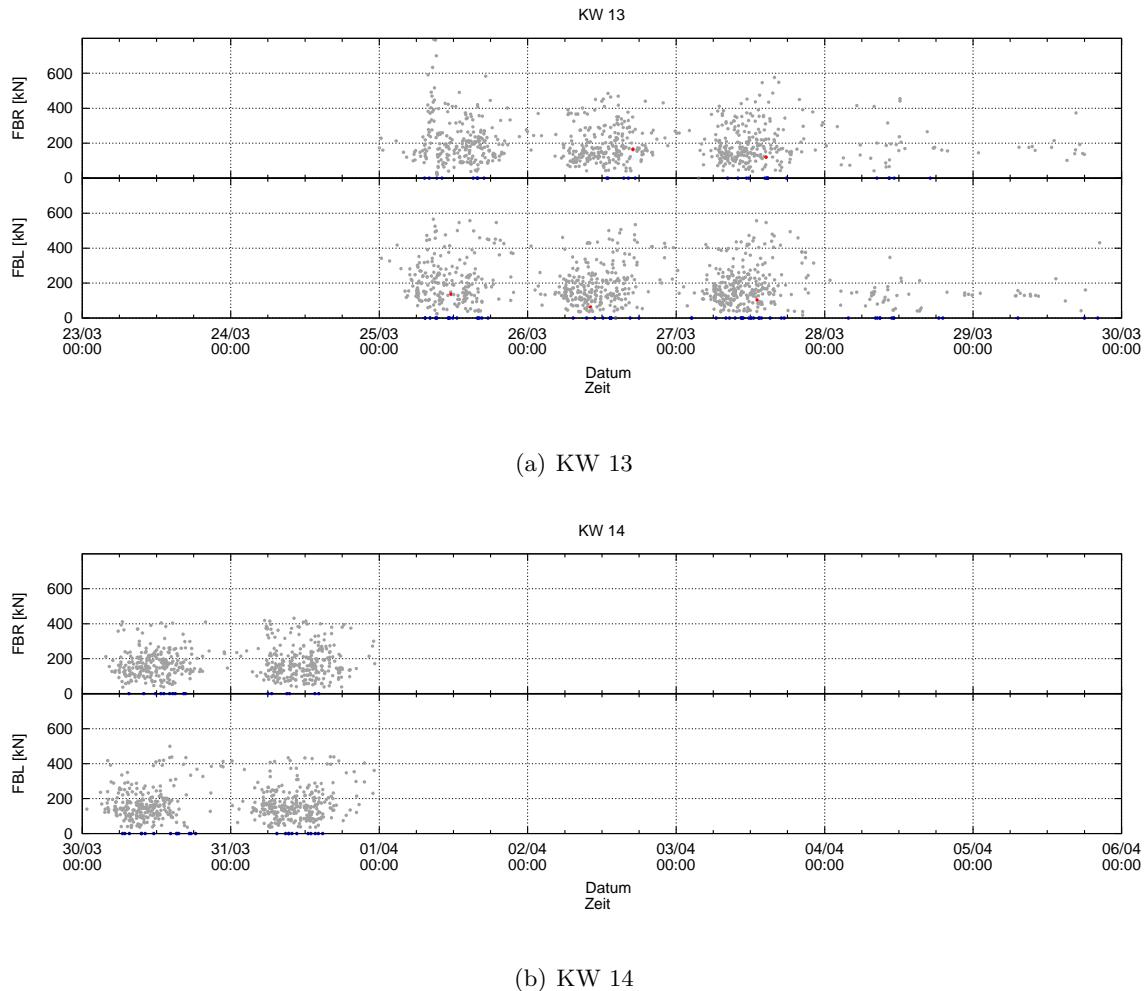
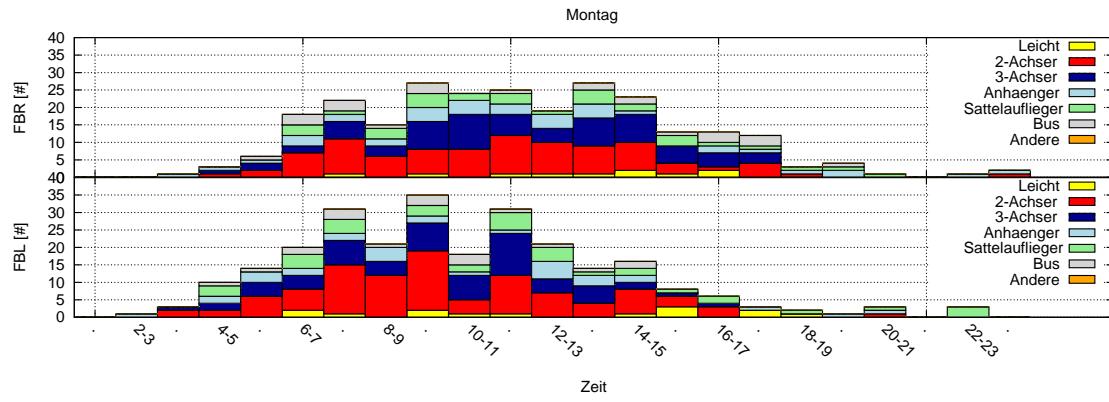
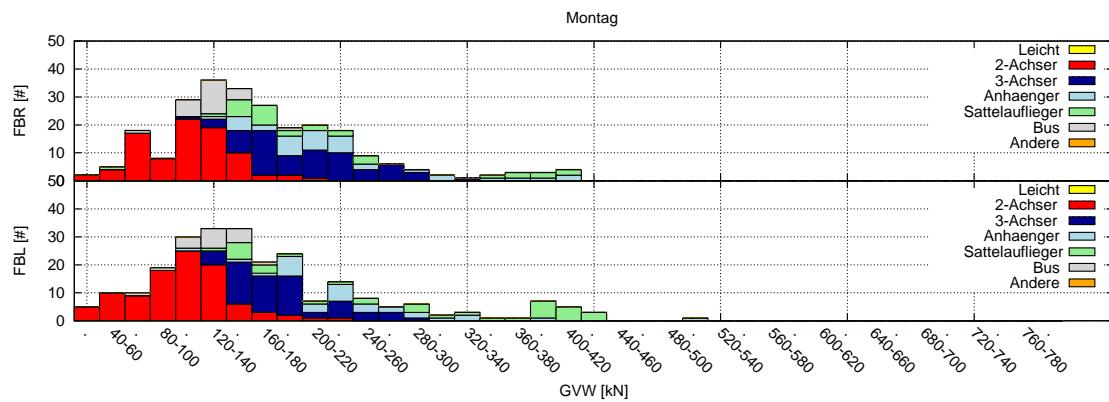


Abbildung 3.3.: Messereignisse pro Richtungsfahrbahn, 24.03. - 01.04.2009

3. Messungen

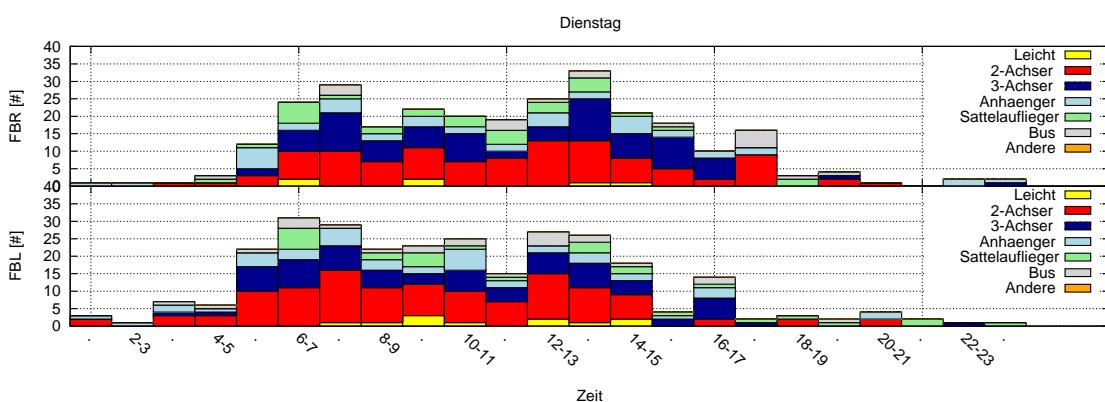


(a) Zeit



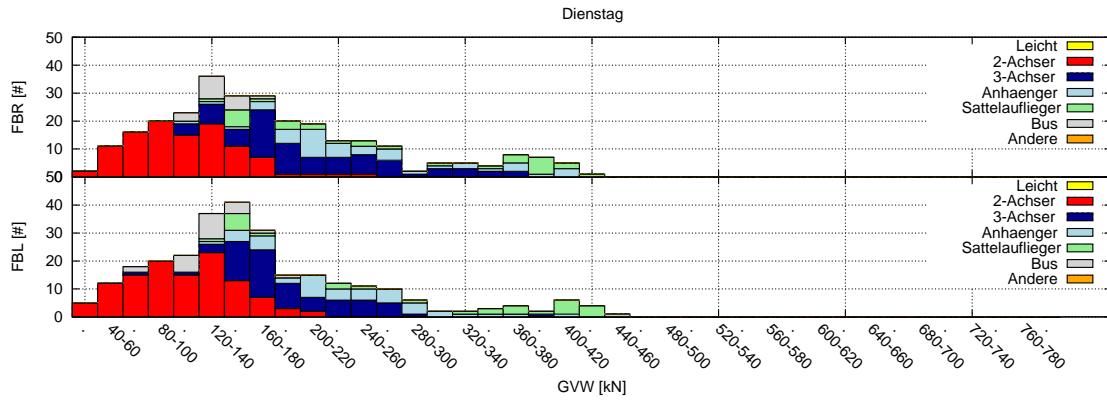
(b) Gewicht

Abbildung 3.4.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Montag



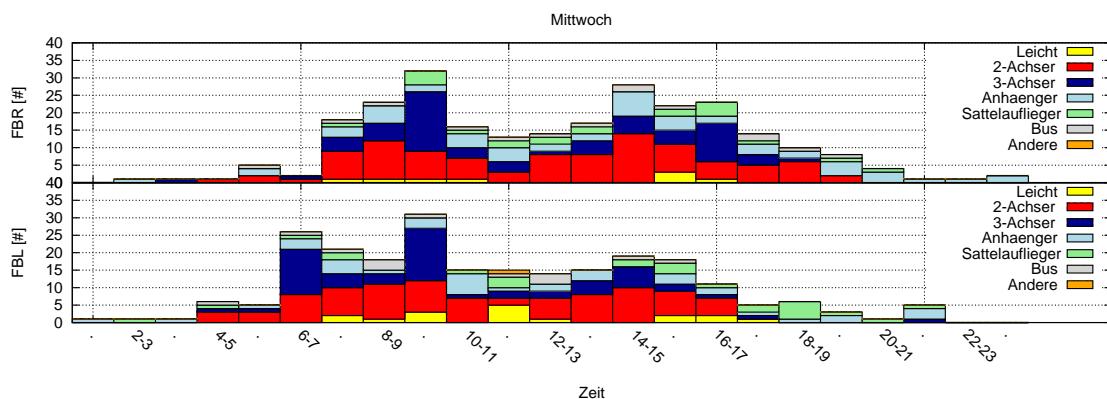
(a) Zeit

3. Messungen

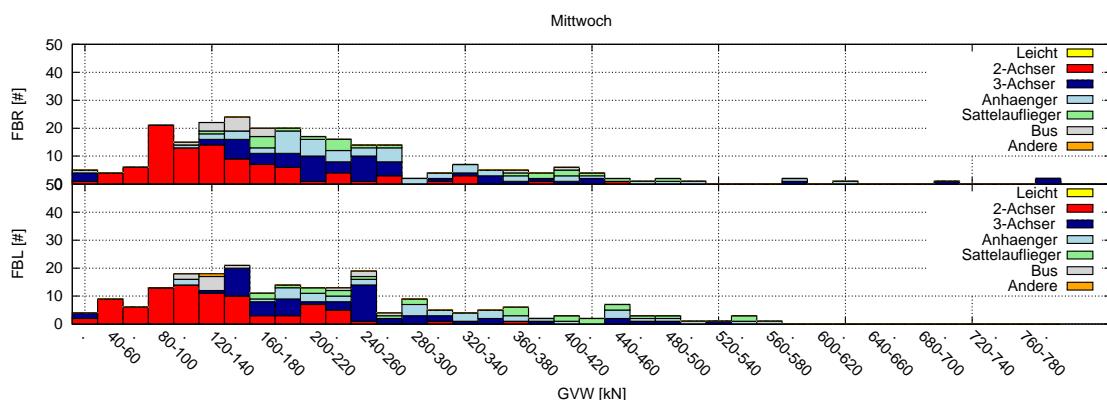


(b) Gewicht

Abbildung 3.5.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Dienstag



(a) Zeit



(b) Gewicht

Abbildung 3.6.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Mittwoch

3. Messungen

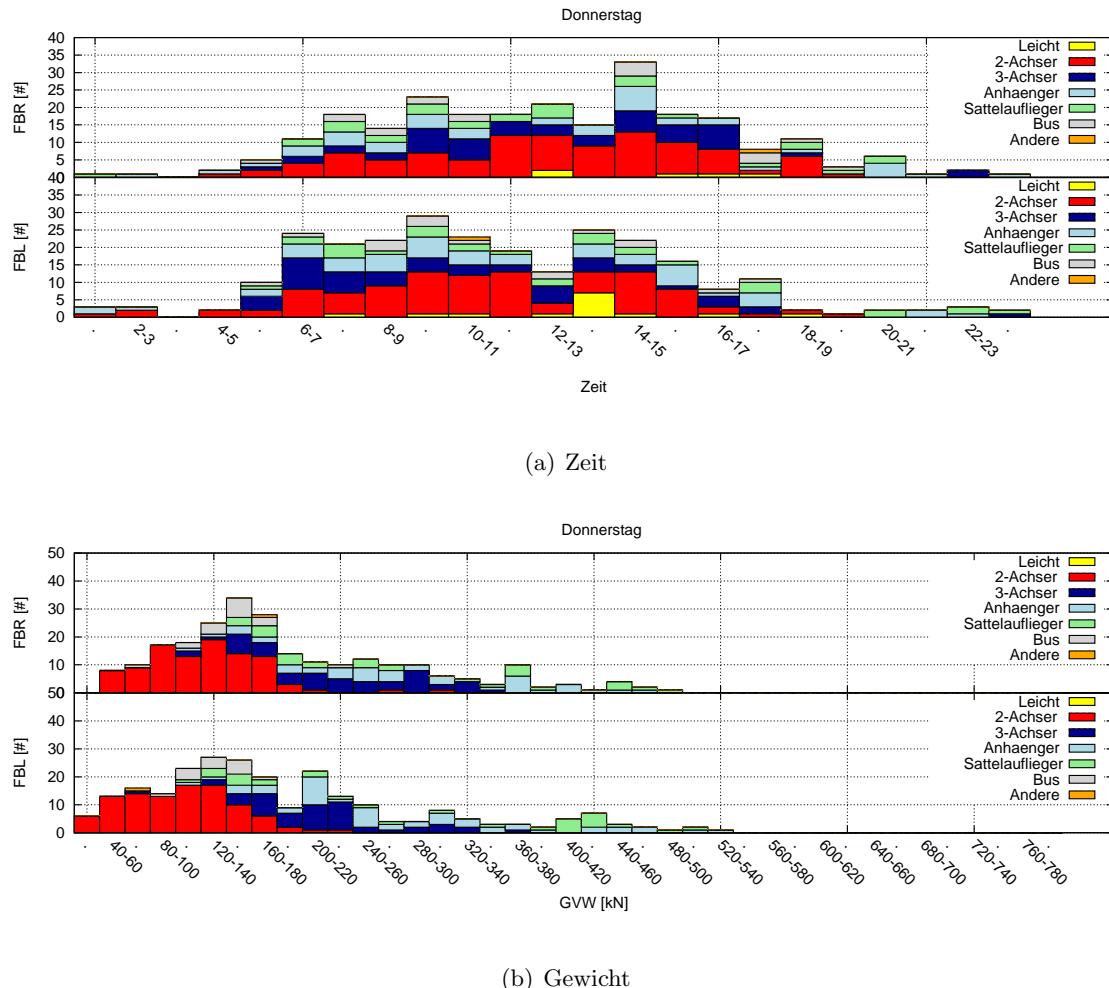
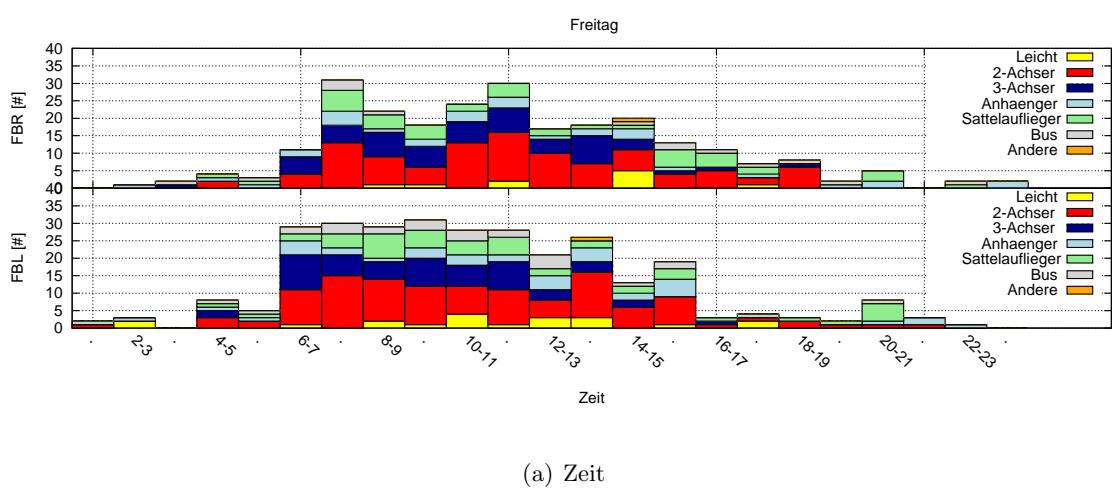
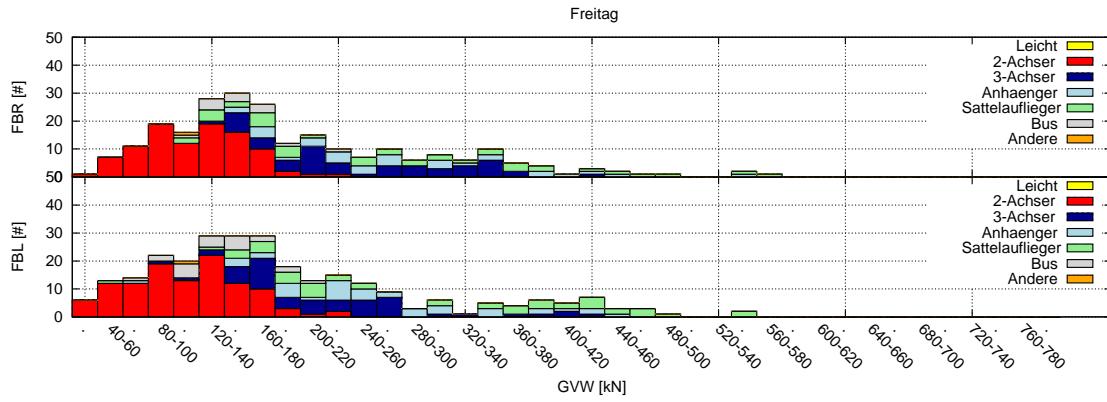


Abbildung 3.7.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Donnerstag

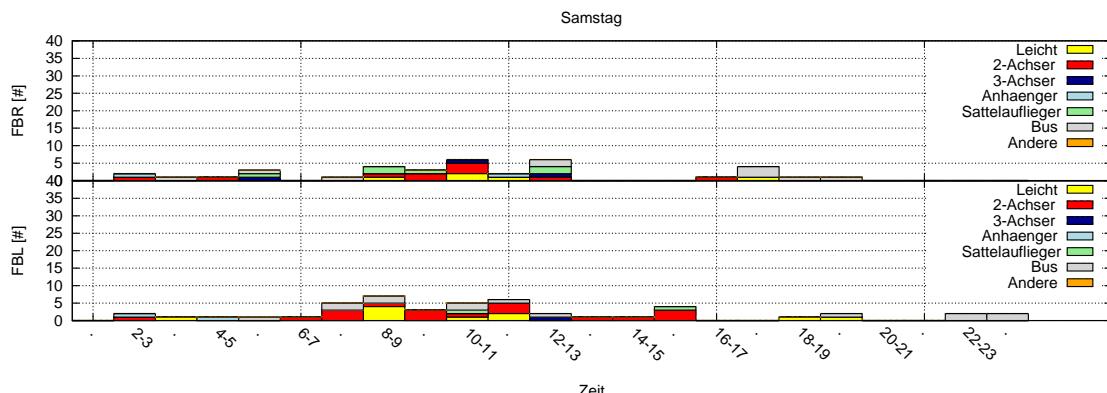


3. Messungen

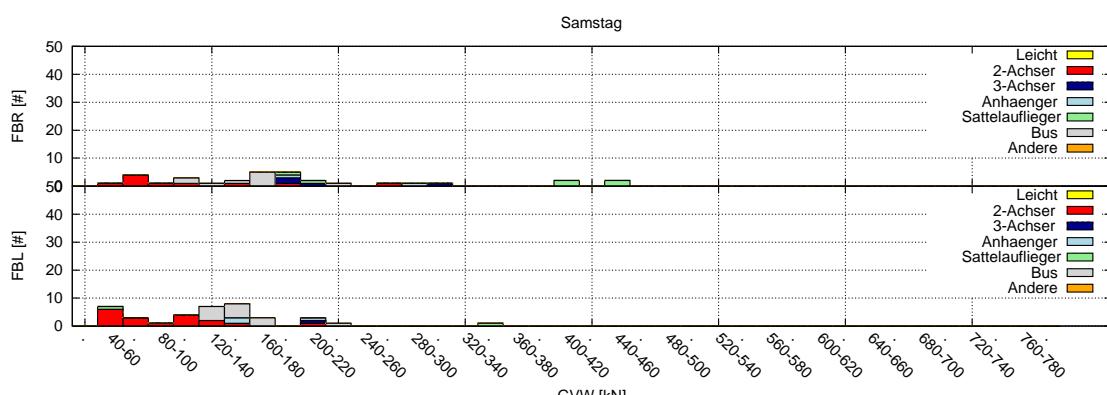


(b) Gewicht

Abbildung 3.8.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Freitag



(a) Zeit



(b) Gewicht

Abbildung 3.9.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Samstag

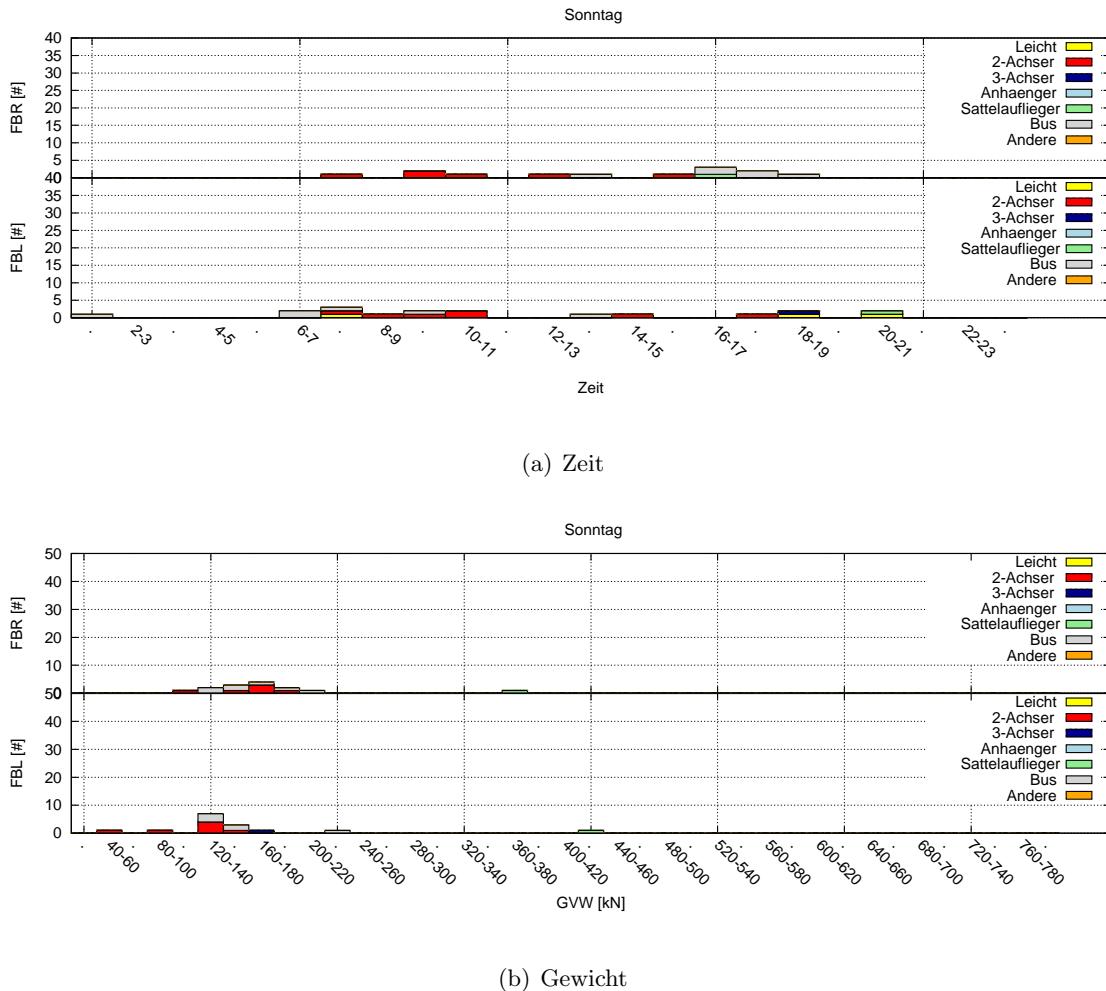


Abbildung 3.10.: Schwerverkehr nach Gewicht und Uhrzeit, Sonntag

3.6. Post-Prozessing der Ergebnisse

Alle erhaltenen Daten wurden gesammelt und auf der Festplatte des Notebooks für das Post-Prozessing gesichert. Da alle Daten als RAW-Format mit allen Informationen gespeichert wurden, gibt es keinen Informationsverlust, wenn zu einem späteren Zeitpunkt eine Re-Konfiguration oder eine Re-Kalibrierung durchgeführt wird.

Die Auswertung der während der Messung gewonnenen Daten bietet eine breite Möglichkeit Informationen über den Verkehrsstrom, das Lastbild und das Verhalten der Brücke selbst zu erhalten, schematisch dargestellt in Abb. 3.11. Aufbauend darauf kann mit Hilfe von probabilistischen Verfahren auch eine weitergehende Analyse hinsichtlich Restnutzungsdauer von Brücken erfolgen.

Die folgende Grafik - adaptiert übernommen aus [3] - zeigt die Systematik von BWIM. Der gegenständliche Bericht umfasst die Punkte Messbericht und Lastmodell. Der Punkt Brückenbericht wird methodisch und exemplarisch dargestellt.

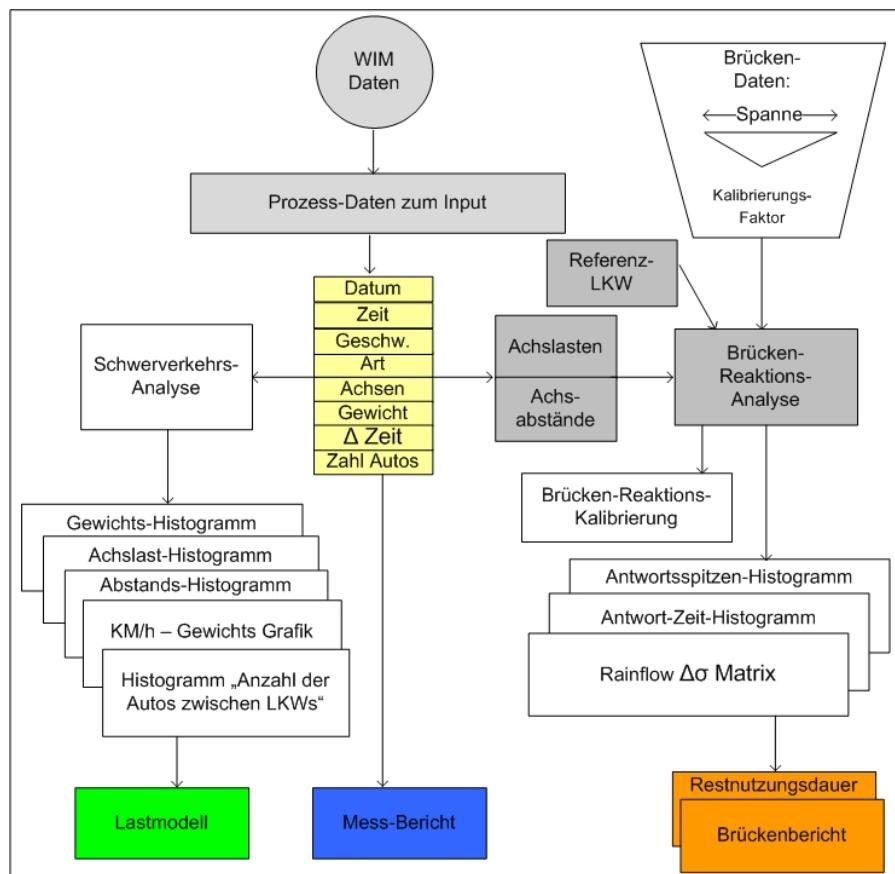


Abbildung 3.11.: Weiterverarbeitung der BWIM-Daten

4. Messbericht

4.1. Messergebnisse

Die Ergebnisse in Kapitel 4.1 bis wurden unter Verwendung des Programms SiWIM®-D erstellt. In den folgenden Tabellen werden ausgewählte Gesamtwerte von 8 Messtagen - Anzahl, Geschwindigkeit, etc. - dargestellt.

(a) Fahrspur 1

Wert	Leicht	2-Achser	3-Achser	Anhänger	Sattelaufzieger	Bus	Andere	Gesamt
Fahrzeuge	98	537	292	209	169	111	2	1418
Geschwindigkeit	46,98	58,36	57,32	59,70	57,03	62,01	48,96	57,67
GVW	0,00	11,17	21,38	27,62	31,77	14,05	12,21	17,61
STD(GVW)	0,00	7,07	12,40	15,68	19,07	5,69	3,75	15,27
COG	0,00	2,16	3,02	6,17	5,83	3,34	7,19	3,32
W.95	0,00	19,78	34,93	46,55	49,78	22,30	13,80	42,76

(b) Fahrspur 2

Wert	Leicht	2-Achser	3-Achser	Anhänger	Sattelaufzieger	Bus	Andere	Gesamt
Fahrzeuge	49	502	321	217	162	103	2	1356
Geschwindigkeit	42,74	56,94	55,24	55,37	54,76	59,29	50,58	55,68
GVW	0,00	12,25	23,54	27,07	28,23	15,15	14,56	18,99
STD(GVW)	0,00	7,31	11,81	15,39	19,49	5,92	3,75	15,44
COG	0,00	2,26	3,02	5,98	5,45	3,44	3,91	3,43
W.95	0,00	20,76	37,41	44,15	47,27	21,70	17,80	39,68

Tabelle 4.1.: Ausgewählte Werte zum Verkehr, 8 Tage

4.2. ESAL

Wie in Kapitel 2.4 beschrieben wurde, wird der Verkehrseinfluss auf den Belag mit den Equivalent Single Axle Loads berechnet. Folgende Formel zur Berechnung wird angegeben:

$$ESAL = \sum_{i=1}^n 10^{-4} \times f_t \times f_a \times P_i^\alpha \quad (4.1)$$

In skandinavischen Ländern, siehe Kapitel A.3, werden zwei weitere Berechnungsmethoden für die ESAL genutzt. Formel 4.3 kommt in Schweden zur Anwendung, Formel 4.2 kommt in Dänemark zur Anwendung.

$$ESAL_{10} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{A_i B_{ij} C_i D_{ij}}{m_i} \left(\frac{p_{ij}}{5} \right)^4 \quad (4.2)$$

$$ESAL = \sum_{n=1}^i \left(\frac{W_i}{10} \right)^4 * k_i \quad (4.3)$$

Bei Formel 4.2 ist n die Anzahl der Achsgruppen und m_i die Anzahl der Achsen in Gruppe i . A_i ist eine Konstante, die für die Anzahl der Achsen in Gruppe i und die Abstände zwischen den Achsen in Gruppe i steht, B_{ij} bezieht die Bereifung jeder Achse in die Berechnung mit ein, C_i berücksichtigt die Art der Radaufhängung und D_{ij} ist eine Konstante, die für den Reifenluftdruck steht. P_{ij} steht für die Radlast.

Bei Formel 4.3, welche auch der OECD-Berechnung entspricht, ist i die Anzahl der Achsen bzw. Achsgruppen, W_i das Achsgewicht für i in Tonnen und k_i ist ein Reduktionsfaktor für i , welcher von der Art der Achse abhängt. Handelt es sich um eine Einzelachse, so gilt für die aktuelle Berechnung dieser Brücke $k_1 = 1$, bei einer Zweifachachse gilt $k_2 = 0.1296$ und bei einer Dreifachachse gilt $k_3 = 0.0410$.

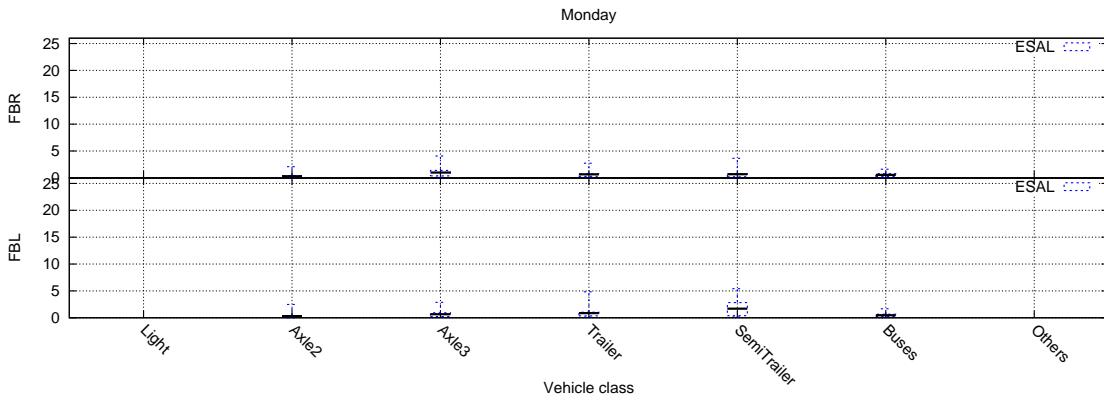


Abbildung 4.1.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Montag

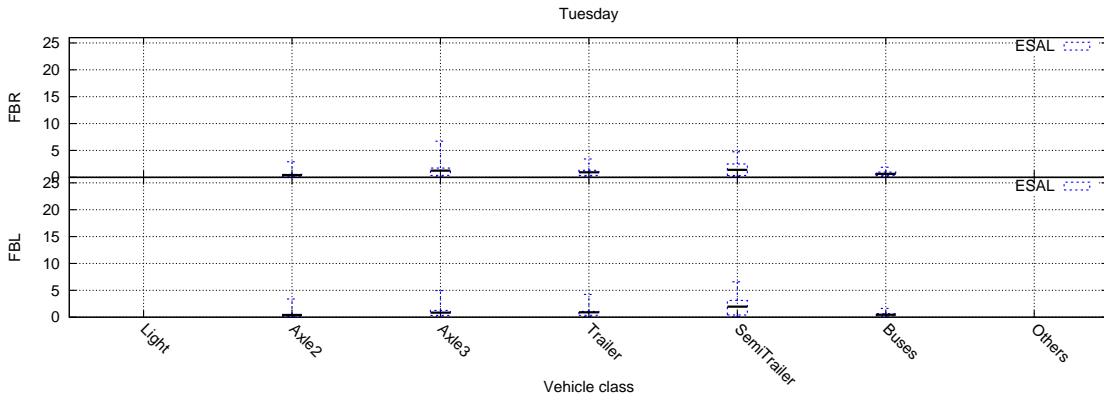


Abbildung 4.2.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Dienstag

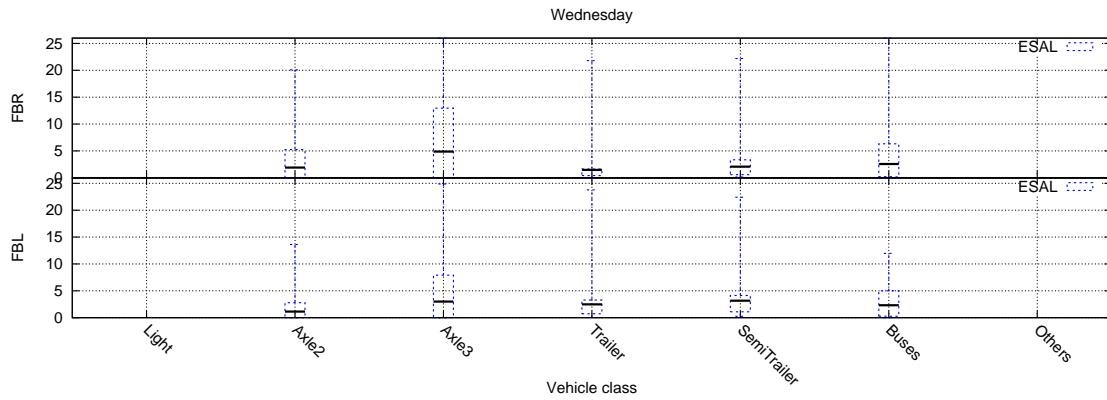


Abbildung 4.3.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Mittwoch

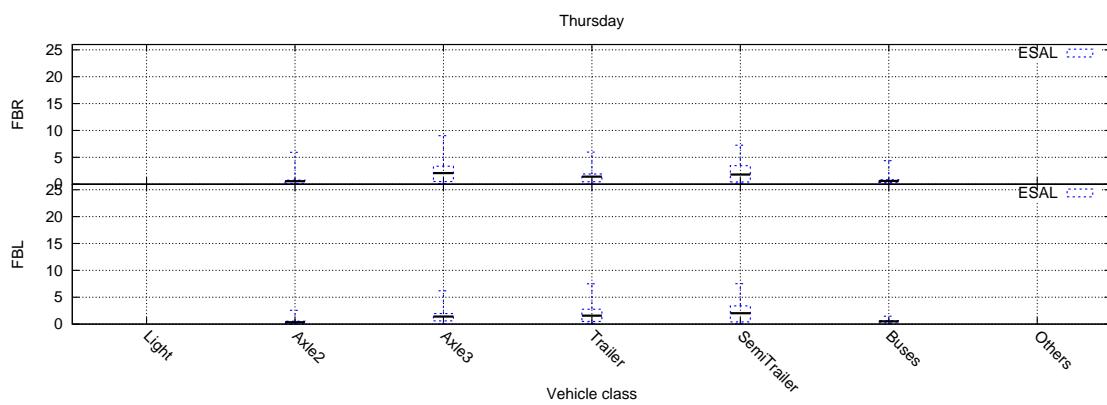


Abbildung 4.4.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Donnerstag

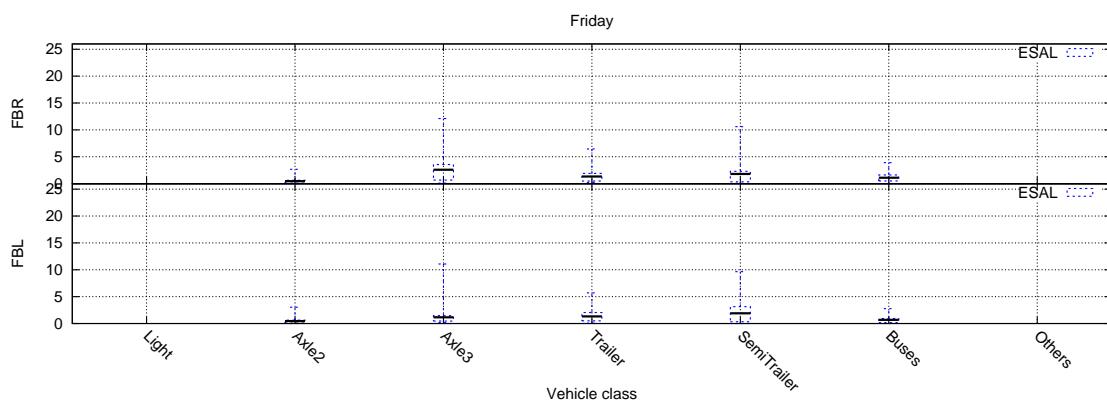


Abbildung 4.5.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Freitag

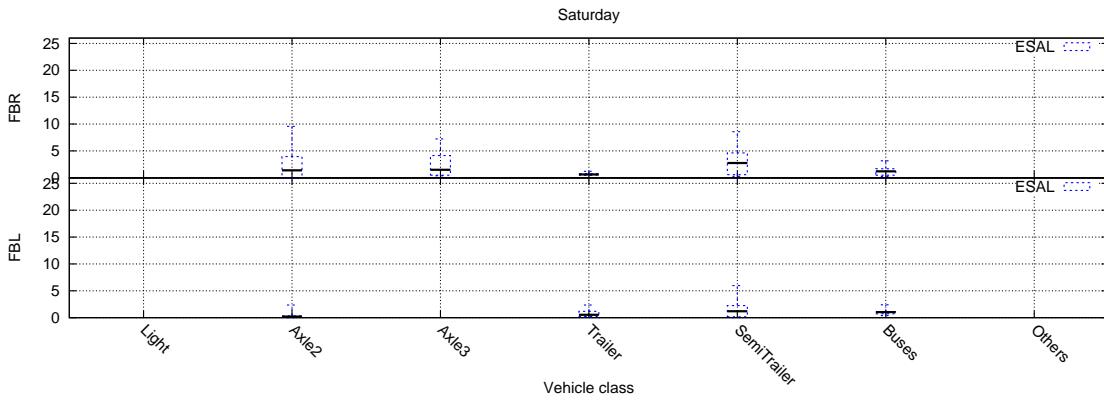


Abbildung 4.6.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Samstag

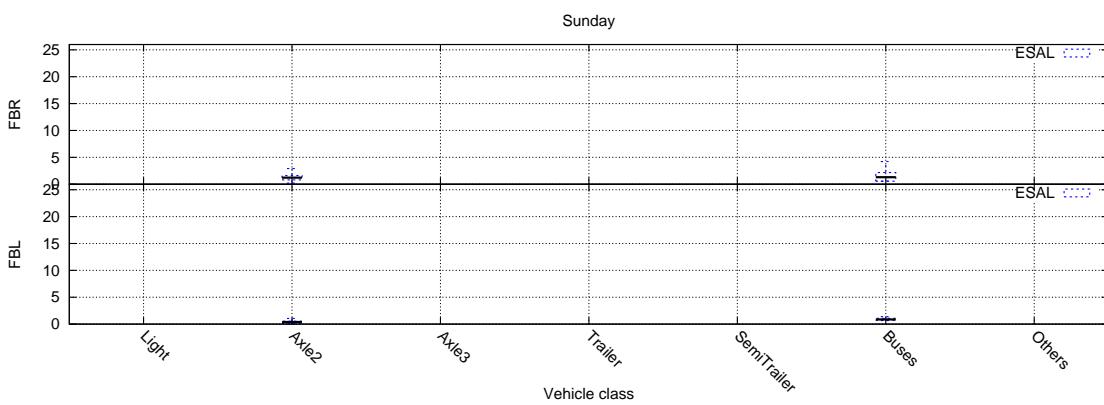


Abbildung 4.7.: ESAL-Werte des Schwerverkehrs, Sonntag

4.3. Verkehrscharakteristik

Für ausgewählte LKWs können einzelne Auswertungen erstellt werden. In dieser Verkehrscharakteristik werden die folgenden Auswertungen durchgeführt:

- Sattelaufleger Gesamtgewicht - Es wurden die VC 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 120, 121, 122, 123 berechnet, wobei nur beladene Fahrten in die Berechnung miteinbezogen worden. Das Gewicht auf mindestens 320 und maximal 500 Kilonewton begrenzt.
- Sattelaufleger 1. Achse - Es wurde nur die erste Achse der VC 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 120, 121, 122, 123 berechnet, wobei nur beladene Fahrten in die Berechnung miteinbezogen wurden. Das Gewicht wurde auf mindestens 40 und maximal 100 Kilonewton begrenzt.
- Drei-Achs-LKW Gesamtgewicht - Es wurden die VC 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 berechnet, wobei nur beladene Fahrten in die Berechnung miteinbezogen wurden. Das Gewicht wurde auf mindestens 180 und maximal 400 Kilonewton begrenzt.

	min kN	max kN	FB 1				FB 2			
			No.	Mittel	Min.	Max.	No.	Mittel	Min.	Max.
Auswertung 1	320	500	80	410,0	325,6	498,6	55	400,8	326,1	491,2
Auswertung 2	40	100	150	77,2	44,6	99,3	152	71,7	40,4	97,4
Auswertung 3	180	400	147	235,1	180,3	391,1	180	244,8	180,1	383,3

Tabelle 4.2.: Verkehrscharakteristik

4.4. Weitere Aussagen

Die Brücken-spezifischen Aussagen, sie nutzen alle Vorteile der lokal gemessenen WIM-Daten, lassen sich z.B. in den Faktor m zusammenfassen. Aus den Messungen ergibt sich ein Faktor, der das Verhältnis der Biegemomente in der Mitte des Feldes von einem Norm-LKW zu einem LKW zufälligen Typs und Gesamtgewichts beschreibt. Tab. 4.4 stellt den Faktor m für drei Vergleichsfahrzeuge dar. Die errechneten Mittelwerte zeigen, dass der 3-Achs Lkw gegenüber dem Sattelaufzieher das maßgebendere Fahrzeug für diese Brücke ist.

Nr.	Achslasten [kN]						Achsabstände [m]					Grafik
	A1	A2	A3	A4	A5	GVW	D1	D2	D3	D4	L	
SLS 1	90	105	105	-	-	300	3.50	1.30	-	-	4.80	
SLS 2	60	100	80	80	80	400	3.50	5.30	1.35	1.35	11.50	
SLS 3	80	80	110	110	-	380	1.80	2.80	1.40	-	6.00	

Tabelle 4.3.: Referenzfahrzeuge

Nr.	μ_m	σ_m
SLS 1	0.900	0.222
SLS 2	1.489	0.341
SLS 3	1.115	0.271

 Tabelle 4.4.: m -Faktoren

5. Achslastmodell

5.1. Häufigkeiten

Die Auftretenswahrscheinlichkeit einzelner LKW-Klassen ist in Tab. 5.1a dargestellt. Auf der Technologieparkstraße dominieren die 2-Achser der Klasse 40, gefolgt von den 3-Achsern der Klasse 51 sowie Sattelaufliegern der Klasse 113.

(a) Häufigste LKW-Klassen			(b) Zusammenstellung der LKW-Gruppen				
VC	Bild	p_{VC}	Vehicle Groups				
			VG	2-Achser	3-Achser	Anhänger	Sattelauflieger
40		0.429	PVG	0.43	0.256	0.176	0.137
51		0.127					
113		0.113					
54		0.0994					
83		0.0692					
62		0.0513					
61		0.0302					
57		0.0298					

Tabelle 5.1.: Zusammenstellung der LKW-Klassen und -Gruppen

Tabelle 5.1b zeigt die Zusammenstellung der LKW-Gruppen. Hierbei zeigt sich die in Tabelle 5.1a festgestellte Dominanz der 2-Achser vor den 3-Achsern. Die geringste Häufigkeit weisen die Sattelauflieger auf. Es fällt auf, dass die Häufigkeit der 2-Achser beinahe ident mit der Häufigkeit der Klasse 40 ist, dies lässt sich darauf zurückführen, dass die restlichen LKW-Klassen innerhalb der LKW-Gruppe über sehr geringe Auftretenswahrscheinlichkeiten, meist unter 1 %, verfügen, siehe Tab. 5.2.

(a) VG 1 $p_{VG} = 0.43$	(b) VG 2 $p_{VG} = 0.256$	(c) VG 3 $p_{VG} = 0.176$	(d) VG 4 $p_{VG} = 0.137$
VC	$p_{VC VG}$	VC	$p_{VC VG}$
40	0.996	51	0.494
63	0.00289	54	0.388
64	0.000962	57	0.116
		58	0.00162
		81	0.0399
		71	0.0352
		74	0.0282
		80	0.00939
		91	0.00939
		82	0.00939
		93	0.00469
		60	0.00469
		79	0.00235
		84	0.00235

Tabelle 5.2.: Auftretenswahrscheinlichkeiten der Hauptklassen.

5.2. Gewicht

Als Verteilung in Formel 5.1 kommt typischerweise die Normalverteilung zur Anwendung. Eine solche Verteilung ist mit $N(\mu, \sigma)$ angegeben. Aus den Messdaten werden Histogramme erstellt, wobei die Normalverteilung grün dargestellt wird. Die gemischte Verteilung, blau dargestellt, wird mit einem geeigneten Verfahren gesucht. Die Nomenklatur für die gemischte Verteilung, um sie beispielsweise in [5] zu verwenden lautet wie folgt:

$$\text{name} \sim \text{Mixed}(p_1 * \text{Verteilung 1}, p_2 * \text{Verteilung 2}) \quad (5.1)$$

Abb. 5.1 zeigt die Bruttogewichts-Histogramme der erfassten LKWs auf allen Fahrspuren, welche benutzt werden um die Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Verkehrslast auf beiden Fahrspuren der Brücke zu berechnen. Die Histogramme werden mit bimodalen gemischten Normalverteilungen genähert, die in weitergehenden Berechnungen ihre Verwendung finden. Das Ergebnis für jede Fahrspur sind Auswertungen aller LKW-Gruppen. Die statistischen Verteilungen für das Gesamtgewicht, in unterschiedlicher Betrachtungsweise, wurden als gemischte Normalverteilungen angepasst.

$\text{GVWR} \sim \text{Mixed}(0.6791 * N(139.9, 57.6), 0.3209 * N(295.2, 125.5))$

$\text{GVWL} \sim \text{Mixed}(0.6423 * N(149.7, 57.79), 0.3577 * N(280.7, 134.9))$

$\text{GVWML} \sim \text{Mixed}(0.6894 * N(145.8, 58.12), 0.3106 * N(298.4, 130.4))$

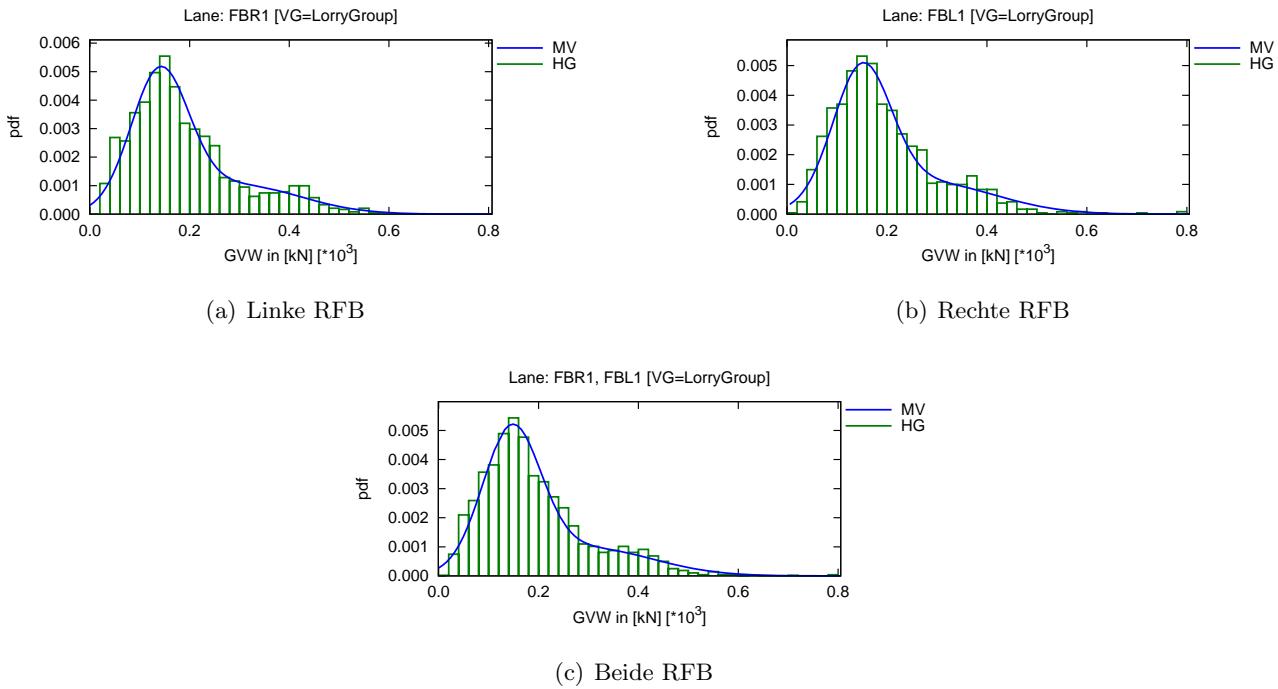


Abbildung 5.1.: Auswertungen des Gesamtgewichts nach Fahrspuren.

Die Einteilung der LKWs in Gruppen, siehe hierzu Tab. 5.1a und 5.1b, ergibt für das Gesamtgewicht die Verteilungen in Abb. 5.2. Die Gruppe der nicht klassifizierten LKWs wird nicht dargestellt, da dort auch Sondertransporte enthalten sein können. Die Gruppe der Busse wird meistens vernachlässigt, woraus sich vier relevante LKW-Gruppen ergeben, 2-Achs-, 3-Achs-LKWs, LKWs mit Anhänger und Sattelaufzieher. Die statistischen Verteilungen für das Gesamtgewicht einzelnen LKW-Gruppen wurden als gemischte Normalverteilungen angepasst.

$\text{GVW1} \sim \text{Mixed}(0.9461 * N(108.7, 40.27), 0.0539 * N(219.7, 73))$

$\text{GVW2} \sim \text{Mixed}(0.1869 * N(299.8, 141.7), 0.8131 * N(200.4, 49.22))$

$\text{GVW3} \sim \text{Mixed}(0.561 * N(214.8, 45.94), 0.439 * N(336.4, 124.3))$

$\text{GVW4} \sim \text{Mixed}(0.009831 * \text{N}(802.8, 310.6), 0.4685 * \text{N}(402.5, 56.5), 0.5216 * \text{N}(188.2, 48.89))$

$\text{GVW5} \sim \text{Mixed}(0.2 * \text{N}(149, 92.37), 0.8 * \text{N}(136.8, 20.37))$

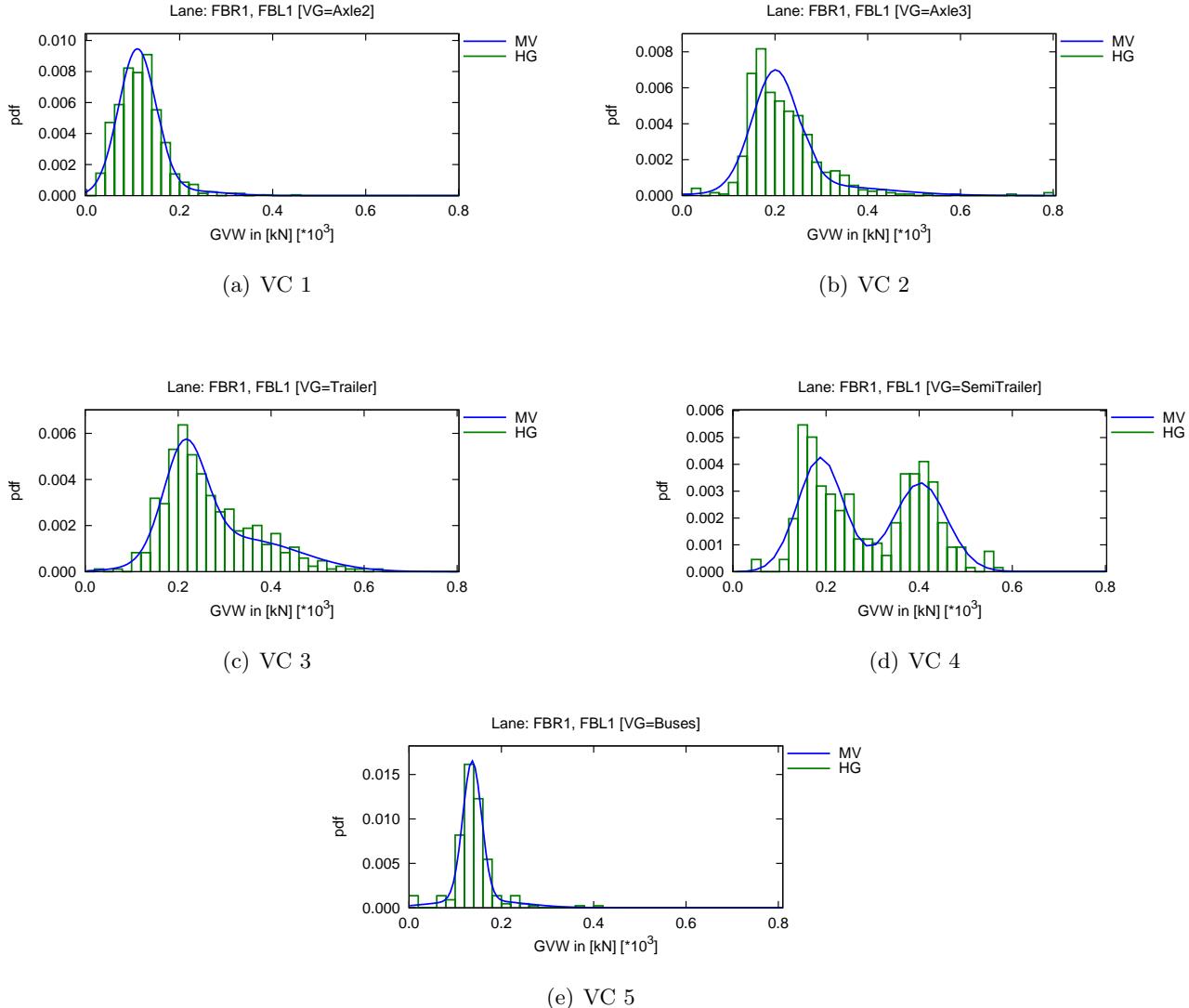


Abbildung 5.2.: Auswertungen des Gesamtgewichts nach LKW-Klassen.

Ein einfaches Achslastmodell ist in Abb. 5.3 dargestellt. Die LKWs werden hinsichtlich ihrer maximalen Einzel-, Doppel- und Trippelachse ausgewertet und als statistische Verteilung dargestellt.

$\text{Single} \sim \text{Mixed}(0.9267 * \text{N}(69.11, 24.78), 0.07329 * \text{N}(118.7, 52.53))$

$\text{Double} \sim \text{Mixed}(0.9372 * \text{N}(122.7, 52.4), 0.06283 * \text{N}(260.8, 128.2))$

$\text{Triple} \sim \text{Mixed}(0.01029 * \text{N}(561.9, 101.6), 0.9897 * \text{N}(159.9, 77.69))$

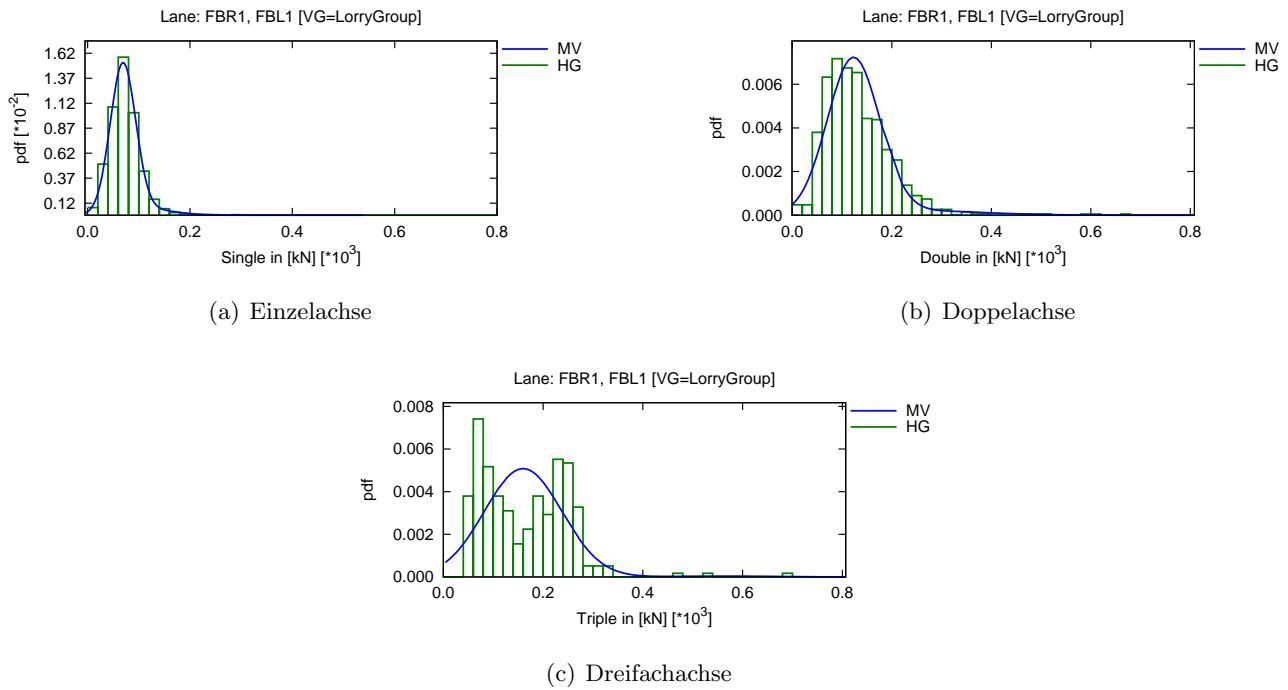


Abbildung 5.3.: Auswertungen von Achsgruppen.

5.3. Modell

Bei gegebener LKW-Klasse und Gesamtgewicht, kann der Mittelwert einer einzelnen Achslast mit folgendem Modell angegeben werden.

$$\mu_i(Q_i|W) = \beta_i + \alpha_i W \quad (5.2)$$

Q_i ist die i-te Achslast, zählend von der Vorderachse, β_i ist eine Konstante, mit der Bedingung $\sum \beta_i = 1$, α_i ist eine Konstante, mit der Bedingung $\sum \alpha_i = 1$ und W ist das LKW-Gesamtgewicht.

Die Werte für α_i und β_i und das Gesamtgewicht W , es wird als gemischte Normalverteilung modelliert. In einigen Fällen, meist bei kurzen Einflusslinien, ist es notwendig, die statistische Variation der Achslasten zu berücksichtigen. Die entsprechenden Werte für die bedingten Streuungen $\sigma(Q_i|W)$ und Korrelationen $\rho(Q_i Q_j|W)$.

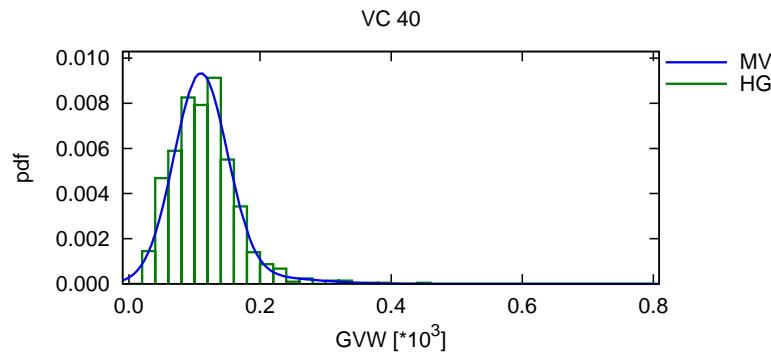
Für jede relevante Achsgruppe werden danach die folgenden Berechnungen durchgeführt:

1. Gesamtgewichtsverteilung der LKWs
2. Regressionsanalyse gem. Formel eq:modell
3. Bedingte Streuung für jede Achslast
4. Bedingte Korrelations-Matrix zwischen den Achslasten
5. Verteilung für die Achsabstände
6. Korrelations-Matrix zwischen den Achsabständen

In der Folge werden die relevanten LKW-Gruppen - VG - der 2-Achser, 3-Achser, LKW mit Anhänger und Sattelaufleger dargestellt, siehe Tab. 5.2.

5.4. VG 2-Achser

VC 40



$\text{GVW} \sim \text{Mixed}(0.0706 * \text{N}(183.9, 86.84), 0.9294 * \text{N}(109.3, 40.69))$

(a) Regression und Streuung

A	α	β	σ_c
1	0.374	10.2	11.4
2	0.626	-10.2	11.4

(b) Korrelation

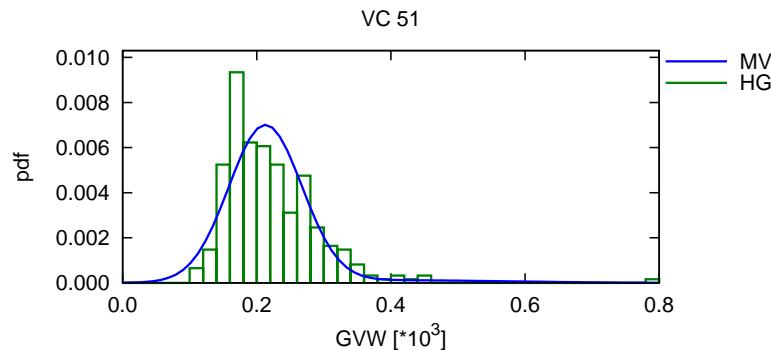
$$\begin{matrix} & 1 & 2 \\ 1 & 1 & -0.999 \\ 2 & -0.999 & 1 \end{matrix}$$

Tabelle 5.3.: VC40, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

$D \sim \text{Beta}(4.192, 0.5962, 2.24, 5.3)$

5.5. VG 3-Achser

VC 51



$\text{GVW} \sim \text{Mixed}(0.05146 * \text{N}(400.7, 173.9), 0.9485 * \text{N}(212.7, 54.5))$

(a) Regression und Streuung

A	α	β	σ_c
1	0.139	38.1	23.2
2	0.444	-20.7	14.6
3	0.417	-17.4	11.9

(b) Korrelation

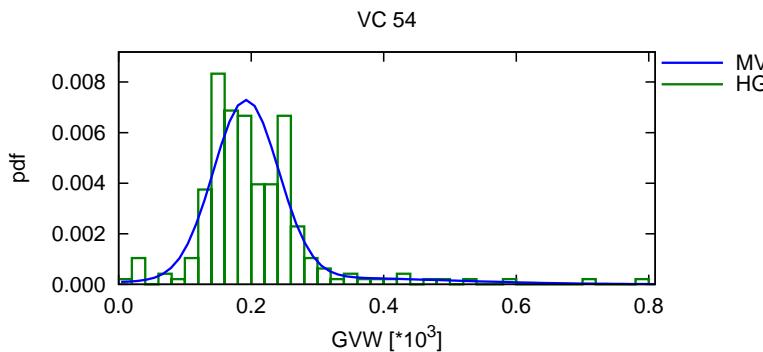
$$\begin{matrix} & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & -0.9 & -0.846 \\ 2 & -0.9 & 1 & 0.537 \\ 3 & -0.846 & 0.537 & 1 \end{matrix}$$

Tabelle 5.4.: VC51, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

		(a) Statistik	(b) Korrelation
D		Definition	1 2
1		Beta(3.585, 0.3056, 2.69, 4)	1
2		Beta(1.451, 0.04605, 1.31, 1.71)	2 $\begin{pmatrix} 1 & 0.0516 \\ 0.0516 & 1 \end{pmatrix}$

Tabelle 5.5.: VC51, Achsdistanzmodell, [m].

VC 54



$$GVW \sim \text{Mixed}(0.1312 * N(293.3, 197.3), 0.8688 * N(192, 49.09))$$

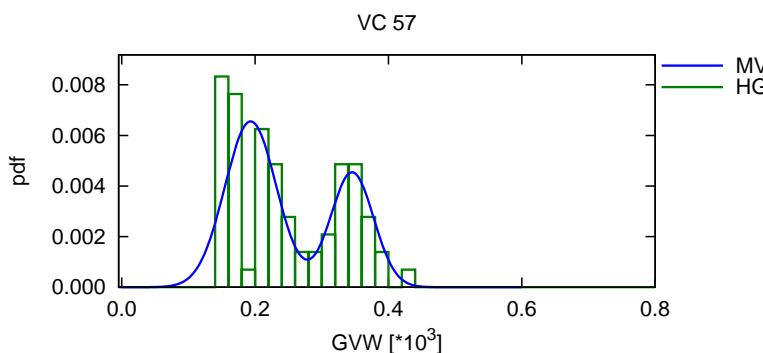
(a) Regression und Streuung				(b) Korrelation		
A	α	β	σ_c	1	2	3
1	0.212	28.9	18.1	1	-0.799	-0.747
2	0.418	-14.8	12.2	2	1	0.207
3	0.37	-14.1	11	3	-0.747	0.207

Tabelle 5.6.: VC54, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

(a) Statistik				(b) Korrelation		
D		Definition		1	2	
1		Beta(4.497, 0.2384, 4.027, 5.192)		1		
2		Beta(1.43, 0.04076, 1.265, 1.625)		2	-0.106	1

Tabelle 5.7.: VC54, Achsdistanzmodell, [m].

VC 57



$$GVW \sim \text{Mixed}(0.3655 * N(345.5, 32.09), 0.6345 * N(193.3, 38.6))$$

(a) Regression und Streuung				(b) Korrelation			
A	α	β	σ_c	1	2	3	4
1	0.138	21	12.4	1	0.635	-0.809	-0.874
2	0.138	16.9	12.5	2	0.635	1	-0.872
3	0.367	-20.8	11.7	3	-0.809	-0.872	1
4	0.357	-17.1	12.2	4	-0.874	-0.816	0.767

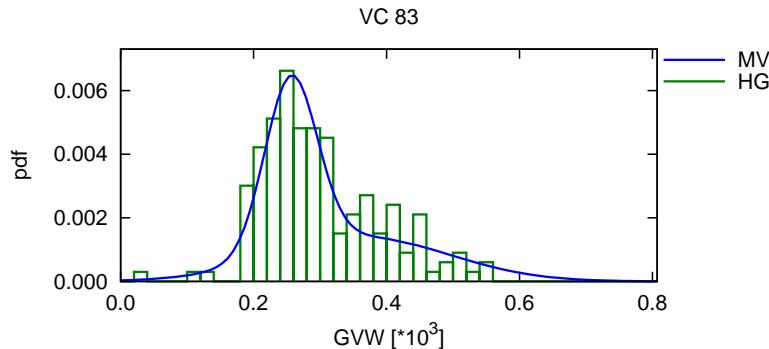
Tabelle 5.8.: VC57, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

(a) Statistik		(b) Korrelation		
D	Definition	1	2	3
1	$U\#(1.533, 2.107)$	1	0.171	-0.0392
2	$Beta(2.59, 0.3622, 2.23, 4)$	2	1	0.00859
3	$Beta(1.458, 0.03921, 1.356, 1.525)$	3	-0.0392	0.00859

Tabelle 5.9.: VC57, Achsdistanzmodell, [m].

5.6. VG LKW mit Anhänger

VC 83



$GVW \sim \text{Mixed}(0.541 * N(256.2, 39.4), 0.459 * N(362.4, 131.5))$

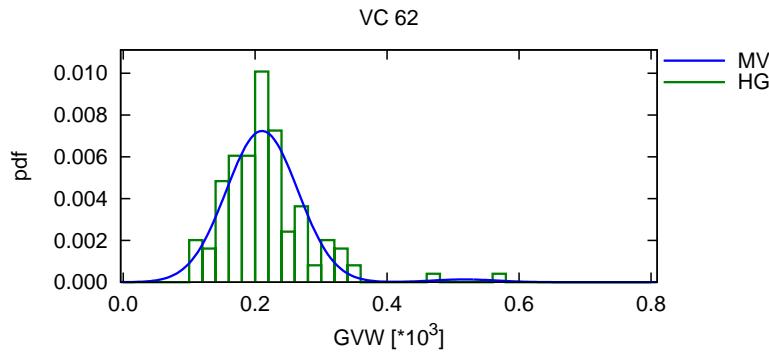
(a) Regression und Streuung				(b) Korrelation				
A	α	β	σ_c	1	2	3	4	5
1	0.0961	46	13.9	1	1	-0.493	-0.0841	-0.351
2	0.256	-9.42	12.9	2	-0.493	1	0.247	-0.28
3	0.19	-2.06	12.4	3	-0.0841	0.247	1	-0.593
4	0.217	-16.5	12.6	4	-0.351	-0.28	-0.593	1
5	0.241	-18.1	12	5	-0.163	-0.462	-0.576	0.276

Tabelle 5.10.: VC83, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

D	(a) Statistik	(b) Korrelation				
		1	2	3	4	
1	Beta(4.448, 0.3154, 3.282, 5.127)	1	1	-0.0402	0.21	0.207
2	Beta(1.431, 0.03554, 1.321, 1.536)	2	-0.0402	1	-0.108	0.104
3	Beta(4.524, 0.5648, 3.354, 5.895)	3	0.21	-0.108	1	0.146
4	Beta(4.857, 0.4509, 2.421, 5.714)	4	0.207	0.104	0.146	1

Tabelle 5.11.: VC83, Achsdistanzmodell, [m].

VC 62



$$\text{GVW} \sim \text{Mixed}(0.01614 * \text{N}(517.7, 48.74), 0.9839 * \text{N}(210.5, 54.24))$$

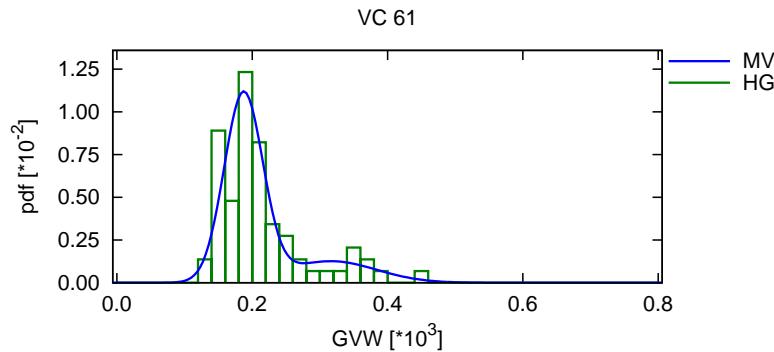
A	(a) Regression und Streuung			(b) Korrelation				
	α	β	σ_c	1	2	3	4	
1	0.19	22.8	14	1	1	-0.534	-0.317	-0.156
2	0.42	-10.4	17.2	2	-0.534	1	-0.509	-0.509
3	0.201	-7.91	11	3	-0.317	-0.509	1	0.291
4	0.19	-4.42	7.82	4	-0.156	-0.509	0.291	1

Tabelle 5.12.: VC62, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

D	(a) Statistik	(b) Korrelation			
		1	2	3	
1	Beta(4.669, 0.5289, 3.437, 5.641)	1	1	0.125	0.402
2	Beta(5.758, 0.7352, 4.028, 7.165)	2	0.125	1	0.118
3	Beta(4.651, 0.8744, 2.61, 6)	3	0.402	0.118	1

Tabelle 5.13.: VC62, Achsdistanzmodell, [m].

VC 61



$\text{GVW} \sim \text{Mixed}(0.2129 * \text{N}(316.1, 67.41), 0.7871 * \text{N}(187.1, 28.55))$

(a) Regression und Streuung

A	α	β	σ_c
1	0.131	42	11.4
2	0.392	-19.1	14
3	0.24	-12.4	7.73
4	0.237	-10.6	7.26

(b) Korrelation

	1	2	3	4
1	1	-0.346	-0.457	-0.393
2	-0.346	1	-0.636	-0.685
3	-0.457	-0.636	1	0.897
4	-0.393	-0.685	0.897	1

Tabelle 5.14.: VC61, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

(a) Statistik

D	Definition	
1	$U\#(3.45, 6.154)$	
2	$Beta(7.057, 0.4307, 6.081, 8.386)$	
3	$Beta(1.409, 0.169, 0.975, 2.033)$	

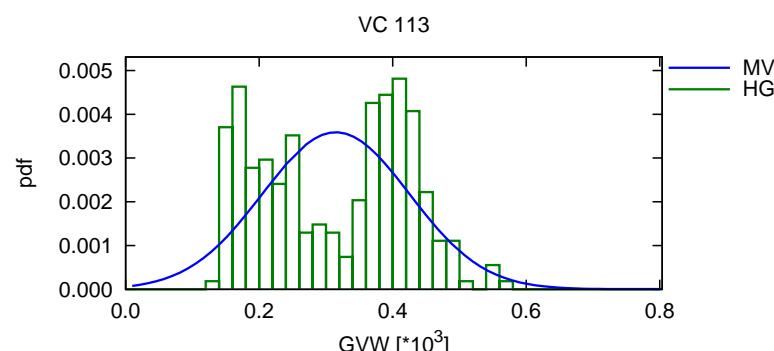
(b) Korrelation

	1	2	3
1	1	0.583	0.506
2	0.583	1	0.292
3	0.506	0.292	1

Tabelle 5.15.: VC61, Achsdistanzmodell, [m].

5.7. VG Sattelauflieger

VC 113



$\text{GVW} \sim \text{Mixed}(0.9926 * \text{N}(314.8, 110.3), 0.007391 * \text{N}(1011, 175.1))$

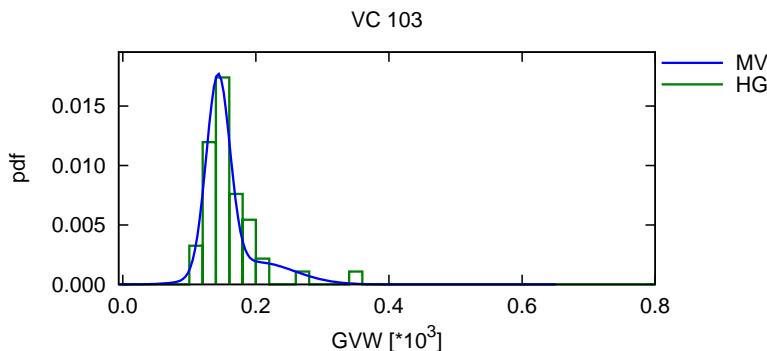
(a) Regression und Streuung				(b) Korrelation				
A	α	β	σ_c	1	2	3	4	5
1	0.0555	59	10.9	1	1	-0.0432	-0.516	-0.49
2	0.273	-5.73	15.9	2	-0.0432	1	-0.723	-0.793
3	0.215	-17.6	7.11	3	-0.516	-0.723	1	0.848
4	0.229	-18.4	7.06	4	-0.49	-0.793	0.848	1
5	0.227	-17.3	6.64	5	-0.455	-0.704	0.613	0.738

Tabelle 5.16.: VC113, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

(a) Statistik		(b) Korrelation			
D	Definition	1	2	3	4
1	Beta(3.706, 0.1233, 3.432, 4.2)	1	1	-0.00279	0.167
2	Beta(5.437, 0.5447, 2.56, 5.971)	2	-0.00279	1	-0.0757
3	Beta(1.347, 0.03481, 1.267, 1.485)	3	0.167	-0.0757	1
4	Beta(1.349, 0.03902, 1.27, 1.492)	4	0.123	-0.0184	0.351

Tabelle 5.17.: VC113, Achsdistanzmodell, [m].

VC 103



$$GVW \sim \text{Mixed}(0.7397 * N(143.2, 17.74), 0.2603 * N(201.8, 56.22))$$

(a) Regression und Streuung				(b) Korrelation			
A	α	β	σ_c	1	2	3	4
1	0.134	37.6	19.2	1	1	-0.439	-0.866
2	0.29	-2.38	9.12	2	-0.439	1	0.00232
3	0.282	-18.1	8.97	3	-0.866	0.00232	1
4	0.294	-17.1	8.42	4	-0.837	-0.0579	0.935

Tabelle 5.18.: VC103, Achslastmodell als Funktion der Gesamtlast, [kN].

5.8. LKW-Konvoi

Ein LKW-Konvoi ist definiert als eine Menge von LKWs, die auf einer Spur mit relativ geringen Abständen fahren. Der Begriff geringer Abstand hängt von der Art des Verkehrsflusses ab. Die Anzahl der LKW in einem Konvoi wird aus den gemessenen Daten ermittelt und ergibt sich zu $E[n] = 1.05$. Es wird eine geometrische Verteilung für die Anzahl der LKW in einem Konvoi empfohlen.

$$P(n) = \alpha^{n-1} (1 - \alpha) \quad (5.3)$$

(a) Statistik		(b) Korrelation		
D	Definition	1	2	3
1	$Beta(3.505, 0.7371, 2.39, 5.143)$	1	-0.334	0.486
2	$Beta(4.796, 0.4577, 3.321, 5.614)$	2	1	0.0773
3	$Beta(1.361, 0.06143, 1.268, 1.651)$	3	0.486	1

Tabelle 5.19.: VC103, Achsdistanzmodell, [m].

Darin bedeutet P die Wahrscheinlichkeit, n die Anzahl der LKW in einem Konvoi und α ist ein Parameter. Der Wert α kann aus den gemessenen Daten ermittelt werden. Der Erwartungswert ist

$$E[n] = 1/\alpha \quad (5.4)$$

Daraus ergibt sich der Parameter der geometrischen Verteilung zu $\alpha = 0.95$.

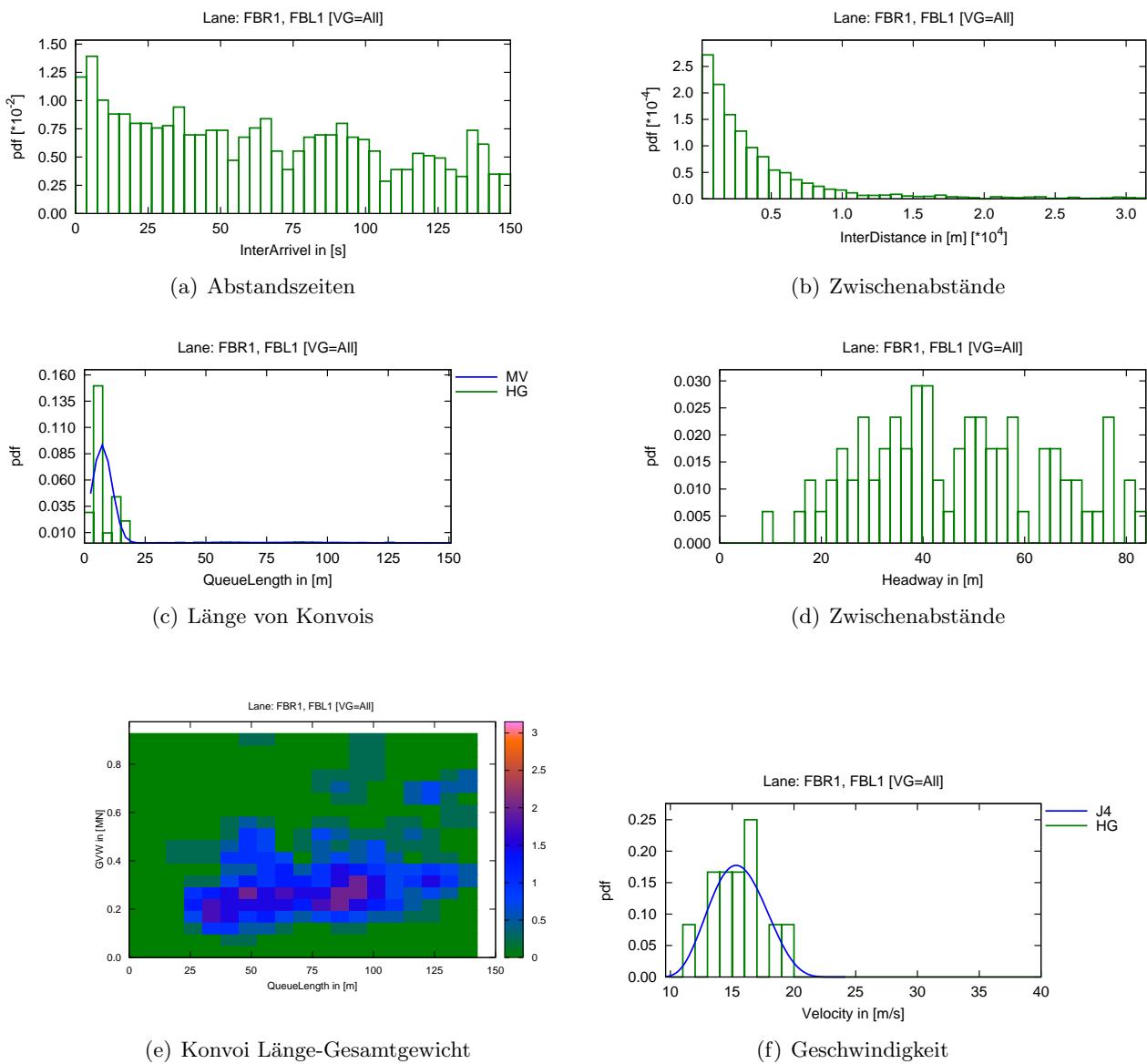


Abbildung 5.4.: Auswertungen von LKW-Konvois.

Aus den Daten wurde folgende mittlere 5-minütige Geschwindigkeit ermittelt, $\mu(v_5) = 15.5$ und $\sigma(v_5) = 2.1$.

	Alle	$\mu = 235$	$cov = ?$
Tagesintensitäten	VG1	$\mu = 100$	$cov = 0.093$
	VG2	$\mu = 61$	$cov = 0.16$
	VG3	$\mu = 42$	$cov = 0.18$
	VG4	$\mu = 32$	$cov = 0.22$
	Alle	$\mu = 10$	$cov = ?$
Stundenintensität	VG1	$\mu = 4$	$cov = 1.1$
	VG2	$\mu = 3$	$cov = 1.3$
	VG3	$\mu = 2$	$cov = 0.91$
	VG4	$\mu = 1$	$cov = 1.1$
Mittlere Konvoilänge		$E[n] = 1.09$	
Konvoi Stundenintensität		$IC = \bar{I}(VG_{1,2,3,4})/E[n]$	
Verkehrsart		Free-Cong-Stop	= 94 : 5 : 1

Tabelle 5.20.: Verkehrsmodell

Freier Verkehr	
5 min Geschwindigkeit v_5 m/s	$\mu(v_5) = v_h$ $\sigma(v_5) = 5$
Anzahl der LKW im Konvoi	$\mu_n = \bar{n}$, geometrisch
Konvoiabstand	$D_5 = v_5/IC_h$, exponential
LKW-Abstand	$d = 2l$
LKW-Länge	abhängig von VC
Zähfließender Verkehr	
5 min Geschwindigkeit v_5 km/h	$\mu(v_5) = v_h$ $\sigma(v_5) = 4$
Anzahl der LKW im Konvoi	$\mu_n = \bar{n}$, geometrisch
Konvoiabstand	$D_5 = v_5/IC_h$, exponential
LKW-Abstand	$d = l + \Delta$
LKW Vorderabstand Δ	$\mu_\Delta = 4 \dots 10$ m $V_\Delta = 0.50$, lognormal
LKW-Länge	abhängig von VC
Stau	
5 min Geschwindigkeit v_5 km/h	$\mu(v_5) = 0.25$
Anzahl der LKW im Konvoi	$\mu_n = \bar{n}$, geometrisch
Konvoiabstand	$D_5 = \sum l_i + \sum \Delta_i + \sum a_j + \sum \delta_j$
LKW-Abstand	$d = l + \Delta$
LKW Vorderabstand Δ	$\mu_\Delta = 3.6$ m $V_\Delta = 0.50$, lognormal
PKW Vorderabstand δ	$\mu_\Delta = 2.6$ m $V_\Delta = 0.50$, lognormal
LKW-Länge	abhängig von VC
PKW-Länge	$a = 4.3$ m

Tabelle 5.21.: Kurzzeit-Verkehrsmodell

6. Zusammenfassung

Im Zeitraum 24. März bis 01. April 2008 wurde eine BWIM-Messung auf der Brücke B55 auf der Technologieparkstraße in Villach durchgeführt. Ziel war ein Test und eine Demonstration des BWIM-Systems.

Die LKWs wurden klassifiziert und statistisch bezüglich Gesamt- und Achslast, sowie Achsabständen ausgewertet. Auch der Verkehrsfluss, die Konvois von LKWs, deren Zwischenanstände innerhalb eines Konvois oder zwischen diesen, die Geschwindigkeit oder das Gesamtgewicht von Konvois wurden analysiert. Auf dieser Basis liegt mit diesem Bericht ein exemplarisches Achslast- und Verkehrsflussmodell vor.

Es sei allerdings hervorzuheben, dass die in diesem Bericht getroffenen Aussagen bezüglich Verkehrsbelastung und den darauf aufbauenden Auswertungen statistisch nicht genau unterstützt werden, da eine 1-wöchige Messdauer für eine Straße mit diesem Verkehrsaufkommen als zu kurz angesehen wird. Um genauere Aussagen tätigen zu können, wäre eine Messdauer von 5 Wochen erforderlich.

Abschließend wollen wir uns beim Magistrat Villach für das zur Verfügung Stellen des Objektes sowie die Unterstützung bei Montage, Kalibrierung und Deinstallation der Anlage bedanken.

Feldkirchen, am 28. April 2009

DI Dr. Markus Petschacher

A. Anhang

A.1. Begriffe

Axle2 2-Achser
Axle3 3-Achser
BRIME BRIDge Management in Europe
Busses Busse
BWIM Bridge Weigh in Motion
COG Center of Gravity - Schwerpunkt
EC Eurocodes
ESAL Equivalent Single Axle Loads
FLS Fagigue Limit State
GVW Gross Vehicle Weight - Gesamtgewicht
kN Kilo-Newton
LE Abstand zwischen erster und zweiter Achse
Light Leichte Fahrzeuge - Motorrad, PKW, ...
OECD Organisation for Economic Cooperation and Development
Others Andere Fahrzeuge
<i>P_VC</i> prozentueller Anteil der Fahrzeug-Klasse
<i>P_VG</i> prozentueller Anteil der Fahrzeug-Gruppe
pdf Probability Density Function - Verteilungsdichte
Semi-Trailer Sattelaufleger
SLS Service Limit State
SOTRA Sondertransport
STD Standardverteilung, Varianz
Trailer Anhänger
ULS Ulitimate Limit State
VC Vehicle Class - Fahrzeug-Klasse
VG Vehicle Group - Fahrzeug-Gruppe
VaP Variables Processor
W.95 95 % Fraktile
WAVE Weigh in Motion of Axles and Vehicles for Europe
WIM Weigh in Motion

A.2. Klassifikations-Schemen

Tabelle A.1.: Klassifikations-Schema

BRIME	COST	VG	VC	Axle	Schema	LE	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
-	8	0	10	2		Min	0,9	0,90					
-	1	0	20	2		Max	2,0	2,00					
-	1	0	21	3		Min	2,0	2,00					
-	1	0	22	4		Max	2,8	2,80					
-	1	0	30	2		Min	4,4	2,00	2,40				
-	1	0	31	3		Max	9,8	2,80	7,00				
-	1	0	32	4		Min	5,3	2,00	2,40	0,90			
1	2	1	40	2		Max	11,1	2,80	7,00	1,25			
-	8	1	42	2		Min	2,8	2,80					
2	3	2	50	3		Max	3,1	3,10					
2	3	2	51	3		Min	6,1	2,80	2,40	0,90			
2	3	2	52	3		Max	11,3	3,00	7,00	1,25			
2	3	2	53	3		Min	5,1	5,10					
2	3	2	54	3		Max	5,3	4,00	1,25				
						Max	7,1	5,30	1,75				

Fortsetzung auf nächster Seite

BRIME	COST	VC	VC	Axe	Schema	LE	Fortsetzung von vorheriger Seite				
							A1	A2	A3	A4	A5
2	3	2	55	3		Min	5,8	4,00	1,75		
						Max	7,7	5,30	2,20		
3	3	2	57	4		Min	4,0	0,90	2,20	0,90	
						Max	10,6	2,20	6,00	2,40	
3	3	2	57	4		Min	4,9	3,10	0,90	0,90	
						Max	10,8	6,00	2,40	2,40	
-	6	3	60	3		Min	6,4	4,00	2,40		
						Max	15,3	5,30	10,00		
3	6	3	61	4		Min	9,9	3,00	6,00	0,90	
						Max	20,4	8,00	10,00	2,40	
3	6	3	62	4		Min	7,8	3,00	2,40	2,40	
						Max	27,8	8,00	9,90	9,90	
-	8	3	63	3		Min	3,8	1,40	2,40		
						Max	12,0	2,00	10,00		
-	6	3	64	4		Min	4,7	1,4	2,40	0,90	
						Max	22,0	2,00	10,00	10,00	
4	6	3	70	5		Min	7,9	2,20	2,40	2,40	0,90
						Max	26,8	6,50	10,00	9,00	1,25
4	6	3	71	5		Min	8,3	2,20	2,40	2,40	1,25
						Max	27,3	6,50	10,00	9,00	1,75
4	6	3	72	5		Min	8,8	2,20	2,40	2,40	1,75
						Max	27,9	6,50	10,00	9,00	2,40
4	6	3	73	5		Min	7,3	2,20	2,40	0,90	1,75
						Max	28,3	6,50	10,00	1,75	10,00
3	6	3	74	5		Min	7,5	3,30	6,00	0,90	0,90
						Max	20,0	6,50	10,00	1,75	
-	6	3	75	6		Min	8,8	2,20	2,40	0,90	2,40
						Max	28,2	6,50	8,00	2,40	11,00
-	6	3	76	6		Min	9,7	2,20	2,40	0,90	2,40
						Max	28,8	6,50	8,00	2,40	11,00
Fortsetzung auf nächster Seite											

BRIME	COST	VC	VC	Axe	Schema	LE	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Fortsetzung von vorheriger Seite						
-	6	3	77	6		Min 8,8 Max 25,3	2,20 6,50	2,40 2,40	0,90 0,90	0,90 24,40	0,90 24,40	0,90 0,90	0,90 0,90	0,90 0,90						
-	6	3	78	7		Min 9,7 Max 27,7	2,20 6,50	2,40 2,40	0,90 0,90	2,40 6,00	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90 0,90					
-	6	3	79	7		Min 11,2 Max 33,3	2,20 6,50	2,40 8,00	0,90 2,40	2,40 6,00	0,90 2,40	2,40 6,00	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90 2,40					
-	6	3	80	4		Min 6,60 Max 19,40	3,30 7,00	0,90 2,40	2,40 10,00	0,90 6,00	2,40 0,90	0,90 6,00	2,40 0,90	0,90 6,00	2,40 0,90					
4	6	3	81	5		Min 10,00 Max 20,50	2,20 7,00	0,90 1,75	10,00 10,00	0,90 6,00	1,75 1,75	1,75 1,75	1,75 1,75	1,75 1,75	1,75 1,75					
4	6	3	82	5		Min 10,90 Max 21,20	2,20 7,00	0,90 1,75	10,00 10,00	0,90 2,40	1,75 2,40	1,75 2,40	1,75 2,40	1,75 2,40	1,75 2,40					
4	6	3	83	5		Min 9,30 Max 26,80	3,60 6,00	0,90 1,75	2,40 10,00	0,90 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00					
4	6	3	84	6		Min 11,60 Max 22,90	2,50 7,00	1,25 2,40	6,00 10,00	0,90 1,75	6,00 1,75	0,90 1,75	0,90 1,75	0,90 1,75	0,90 1,75					
-	6	3	85	8		Min 14,40 Max 33,4	0,90 2,20	0,90 6,00	3,60 2,40	0,90 9,00	3,60 2,40	0,90 9,00	5,00 2,40	5,00 9,00	5,00 9,00	5,00 9,00	5,00 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	
4	6	3	90	6		Min 8,80 Max 23,10	2,20 4,00	0,90 2,40	2,40 8,30	0,90 6,00	2,40 8,30	2,40 6,00	2,40 8,30	2,40 6,00	2,40 8,30	2,40 6,00	2,40 8,30			
4	6	3	91	6		Min 10,60 Max 26,10	4,00 7,00	0,90 2,40	2,40 8,30	0,90 6,00	2,40 8,30	2,40 6,00	2,40 8,30	2,40 6,00	2,40 8,30	2,40 6,00	2,40 8,30			
4	6	3	92	6		Min 8,20 Max 30,80	2,20 7,00	0,90 2,40	2,40 9,00	0,90 2,40	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00		
-	6	3	93	7		Min 9,10 Max 33,60	2,20 7,00	0,90 2,40	2,40 9,00	0,90 2,40	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00		
-	6	3	94	7		Min 9,70 Max 34,20	2,20 7,00	0,90 2,40	2,40 9,00	0,90 2,40	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00	2,40 9,00		
-	6	3	95	7		Min 30,10 Max 30,10	7,00 7,00	2,40 2,40	9,00 9,00	8,00 8,00	2,40 2,40	9,00 9,00	8,00 8,00	2,40 2,40	9,00 9,00	8,00 8,00	2,40 2,40	9,00 9,00		

Fortsetzung auf nächster Seite

BRIME	COST	VC	VC	Axe	Schema	LE	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Fortsetzung von vorheriger Seite		
														Min	Max	
-	6	3	96	7		Min 10,10	2,20	0,90	2,40	2,40	0,90	1,25				
-	6	3	97	8		Max 31,20	7,00	2,40	9,00	8,00	2,40	2,40				
-	6	3	98	8		Min 10,60	2,20	0,90	2,40	9,00	2,40	0,90	0,90			
-	6	3	98	7		Max 33,60	7,00	2,40	9,00	2,40	0,90	2,40	2,40			
-	4	4	100	3		Min 10,70	0,90	2,00	0,90	3,60	2,40	0,90				
-	4	4	102	4		Max 27,40	2,40	4,20	2,40	8,00	8,00	2,40				
-	5	4	103	4		Min 5,50	2,60	2,00	0,90							
-	4	4	104	4		Max 15,30	5,30	10,00								
-	5	4	110	5		Min 6,00	2,20	2,00	0,90							
-	5	4	111	5		Max 15,40	7,00	6,00	2,40							
-	5	4	112	5		Min 6,00	2,20	2,00	0,90	0,90						
-	5	4	113	5		Max 13,50	5,00	6,00	1,25	1,25						
-	5	4	114	5		Min 6,40	2,20	2,00	0,90	1,25						
-	8	4	115	6		Max 14,00	5,00	6,00	1,25	1,75						
-	8	4	116	6		Min 6,40	2,20	2,00	1,25	0,90						
						Max 15,20	5,00	6,00	2,40	1,75						
						Min 7,20	2,20	2,00	1,25	1,75						
						Max 19,80	5,00	10,00	2,40	2,40						
						Min 8,00	2,20	2,00	1,25	1,25						
						Max 16,30	5,00	6,00	1,75	1,75						
						Min 8,00	2,20	2,00	1,25	1,25						
						Max 24,60	5,00	10,00	2,40	3,60	3,60					

Fortsetzung auf nächster Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite													
BRIME	COST	VC	VC	Axle	Schema	LE	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
3	4	4	120	5		Min 6,00 Max 16,00	2,20 7,00	0,90 1,25	2,00 6,00	0,90 2,00	0,90 1,75		
3	4	4	121	5		Min 6,90 Max 16,70	2,20 7,00	0,90 1,25	2,00 6,00	0,90 2,40	0,90 2,40		
3	4	4	122	5		Min 6,40 Max 17,20	2,20 7,00	1,25 2,40	2,00 6,00	0,90 1,75			
3	4	4	123	5		Min 7,20 Max 18,40	2,20 7,00	1,25 2,40	2,00 6,00	1,75 3,00			
3	5	4	130	6		Min 7,30 Max 16,9	2,20 5,00	0,90 1,25	2,40 7,00	0,90 2,40	0,90 0,90	0,90	
3	5	4	131	6		Min 7,70 Max 17,40	2,20 5,00	0,90 1,25	2,40 7,00	0,90 2,40	0,90 1,25	0,90	
3	5	4	132	6		Min 8,20 Max 18,10	2,20 5,00	0,90 1,25	2,40 7,00	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90	1,75
3	5	4	133	6		Min 7,70 Max 18,10	2,20 5,00	1,25 2,40	2,40 7,00	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90	1,75
3	5	4	134	6		Min 8,00 Max 18,60	2,20 5,00	1,25 2,40	2,40 7,00	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90	1,75
3	5	4	135	6		Min 8,50 Max 19,20	2,20 5,00	1,25 2,40	2,40 7,00	0,90 2,40	0,90 2,40	0,90	1,75
-	8	4	136	7		Min 6,7 Max 26,6	2,20 5,50	0,90 2,40	0,90 9,50	0,90 2,80	0,90 2,80	0,90	0,90
-	7	5	41	2		Min 5,3 Max 7,5	5,30 7,50						
-	7	5	56	3		Min 6,2 Max 9,8	5,30 8,00	0,90 1,75					
-	7	5	101	3		Min 7,1 Max 18,0	5,30 8,00	1,75 10,00					
-	9	6	140					0					

A.3. Methoden zur ESAL-Berechnung

Unterschiedliche Kalkulationsmodelle werden in den nordischen Ländern genutzt um die relative Straßenabnutzung durch Schwerverkehr zu vergleichen. [2] stellt zwei dieser Modelle dar.

Dänemark

Seit 2002 wird ein Modell zur Klassifizierung der Sondertransporte genutzt, welches den relativen Straßenschaden, den ein Sondertransport auf einer Straße verursacht hat, in Relation stellt zu dem Schaden, den ein herkömmlicher Schwerverkehr verursacht. Die relative Straßenabnutzung wird durch die ESAL₁₀-Nummer spezifiziert, wo für die Referenzachse von 10 Tonnen ESAL₁₀ = 1 gilt. Die Parameter, welche in dem Modell zur Berechnung von ESAL₁₀ inkludiert sind, sind die Achsen- und die Reifenkonfiguration.

Die Achsenkonfiguration beinhaltet die Anzahl der Achsgruppen (Achsen mit einem Abstand von über 1.8 Metern werden in verschiedene Gruppen aufgeteilt), die Anzahl der Achsen in jeder Gruppe, der Abstand zwischen den Achsen in einer Gruppe und die Radlast für jede Achse. Die Reifenkonfiguration beinhaltet die Reifenbreite, den Abstand zwischen Reifen auf derselben Achse, den Luftdruck sowie die Art der Radaufhängung. Die Formel lautet

$$\text{ESAL}_{10} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{A_i B_{ij} C_i D_{ij}}{m_i} \left(\frac{p_{ij}}{5} \right)^4 \quad (\text{A.1})$$

Wobei

n = Anzahl der Achsengruppen

m_i = Anzahl der Achsen in Gruppe i

A_i = Konstante, die für die Nummer der Achsen in Gruppe i und den Abstand zwischen den Achsen in Gruppe i steht. Es gibt einen Unterschied zwischen Straßen mit einer starken Basis und einer schwächeren Basis (wo eine permanente Deformation unterhalb des Asphalt vorkommt) unterschieden. Für die schwächeren Straßen ist A_i die Nummer der Achsen in der Gruppe, unabhängig von den Abständen zwischen den Achsen. Für stärkere Straßen wird angenommen, dass eine Gruppe von Achsen mit kürzeren Achsenzwischenabständen weniger Schaden an der Straße anrichtet, verglichen mit derselben Achsengruppe mit größeren Zwischenabständen. Deshalb ist auf solchen Straßen, A_i geringer als die Anzahl der Achsen. Ein kleinerer Achsenzwischenabstand führt zu einem kleineren Wert der Konstante.

A_i	Starke Straße					Schwache Straße Alle Achsenzwischen- Abstände	
	Achsenzwischen- Abstand (m)						
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8		
2	1.05	1.25	1.40	1.55	1.75	2.00	
3	-	1.50	1.90	2.20	2.50	3.00	
4	-	1.70	2.35	2.80	3.30	4.00	
5	-	1.90	2.80	3.40	4.05	5.00	
6	-	2.00	3.20	4.00	4.75	6.00	
7	-	2.20	3.60	4.60	5.45	7.00	
8	-	2.35	4.00	5.15	6.10	8.00	

B_{ij} = Konstante, die die Bereifung jeder Achse in die Berechnung miteinbezieht. Wenn Zwillingsbereifung genutzt wird (oder wenn der Abstand zwischen den Reifen auf einer Achse weniger als die Reifenbreite + 8 cm ist) ist $B_{ij} = 1$. Wenn die Bereifung einfach ist (wenn der Abstand zwischen

den Reifen auf einer Achse mehr als $2.5 \times$ die Reifenbreite ist), dann wird B_{ij} eine Nummer gegeben, die größer ist als 1 und von der Reifenbreite abhängt. Ein breiterer Reifen führt zu einem geringeren Wert der Konstanten. Wenn der Abstand zwischen den Reifen zwischen den Definitionen einfache und Zwillingsbereifung fällt, so wird B_{ij} durch die Interpolation zwischen den einfachen und Zwillings-Werten der Konstante bestimmt, es wird ebenfalls der Abstand zwischen den Reifen in die Berechnung miteinbezogen. Die Werte für diese Konstante für einfache Bereifung sind:

Reifenbreite [mm]	B_{ij}
256	3.99
315	2.91
365	2.19
425	1.68
445	1.25

C_i = Konstante, die die Art der Radaufhängung berücksichtigt. Diese Konstante liegt zwischen 1.0 - Federblattaufhängung - und 1.4 - keine Aufhängung.

D_{ij} = Konstante die für den Luftdruck der Reifen auf einer bestimmten Achse steht. Eine Unterscheidung wird gemacht zwischen einfacher und Zwillingsbereifung, und ob die Straße stark oder weniger stark ist. D_{ij} ist nahezu linear bezüglich des Luftdrucks, wie in der unteren Grafik gezeigt wird. Hierbei steht 1 für eine starke Straße, 2 für eine schwache Straße mit einfacher Bereifung und 3 für eine schwache Straße mit Zwillingsbereifung.

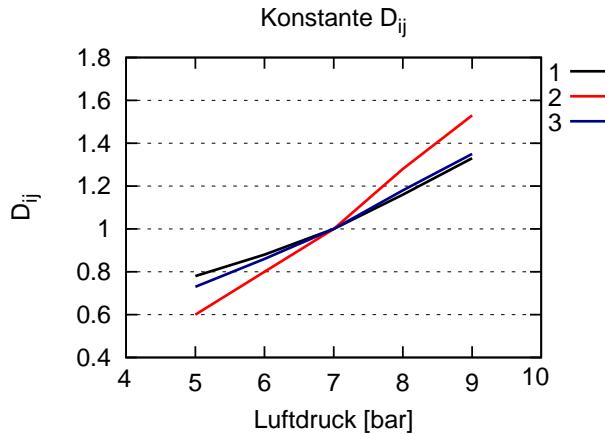


Abbildung A.1.: Konstante für Luftdruck

Es ist zu berücksichtigen, dass der Schaden beschrieben durch $ESAL_{10}$ „der Straßenschaden pro Reifen-spur“ ist. D.h. die Anzahl der Räder an der Achse werden nicht explizit in die Berechnung genommen. Sie werden in der Berechnung indirekt verwendet, da die Radlast P_{ij} von der Anzahl der Räder auf der Achse abhängt, und die Anzahl der Räder auf einer Achse kann ebenso die Bereifungskonstante P_{ij} beeinträchtigen. Nach diesem Modell verursachen zwei identische, nebenherfahrende Fahrzeuge denselben Schaden auf der Straße, den eines der Fahrzeuge alleine verursachen würde.

Schweden

In Schweden ist die äquivalente Anzahl von Standard Achsen pro Schwerfahrzeug ein wichtiger Parameter für die Straßendimensionierung. In den schwedischen Normen wird dieser Wert als B-Faktor bezeichnet, dieser ist die durchschnittliche Zahl für den gesamten Schwerverkehr auf der Straße.

Seit 1994 wird ein Faktor von 1.3 verwendet. Es wurden aber auch andere Berechnungsmethoden vorgeschlagen:

- Um den B-Faktor zu bestimmen werden innerhalb einer Periode von längstens 7 Tagen Messungen der Gesamt- und Achslasten durchgeführt, ein Beispiel hierfür sind BWIM-Messungen. Aus

den Ergebnissen der Messungen wird der B-Faktor errechnet. Die Formel lautet wie folgt:

$$ESAL = \left(\frac{W}{100} \right)^4 \quad (\text{A.2})$$

wobei W das Gewicht einer bestimmten Achse in kN ist.

- Können keine Messungen durchgeführt werden, so wird empfohlen, dass 4 bis 5 der häufigsten Fahrzeugklassen genutzt werden, mit Gewichten, welche auf Erfahrungswerten beruhen.

In einem Report der Schwedischen Straßenadministration wurden einige Beispiele zur ESAL-Berechnung dargestellt, woraus folgende Formel abgeleitet werden konnte:

$$ESAL = \sum_{n=1}^i \left(\frac{W_i}{10} \right)^4 * k_i \quad (\text{A.3})$$

i= Nummer der Achsen oder Achsengruppen

W_i = Achs(-Gruppen)-Gewicht für Achsen(-Gruppe) i in Tonnen

k_i = Reduktionsfaktor für Achsen(-Gruppe) i

$k = 1$ für Einzelachse

$k = (10/18)^4 = 0,0952$ für Zweifachachse

$k = (10/24)^4 = 0,0302$ für Trippelachse

Für einen LKW, welcher aus einer einzelnen Vorderachse a 6 Tonnen und drei Zweifachsachsen a 18 Tonnen besteht, lautet die Formel also

$$ESAL = \left(\frac{18}{10} \right)^4 * 0.0952 + \left(\frac{18}{10} \right)^4 * 0.0952 + \left(\frac{18}{10} \right)^4 * 0.0952 + \left(\frac{6}{10} \right)^4 = 3.1 \quad (\text{A.4})$$

A.4. Pläne

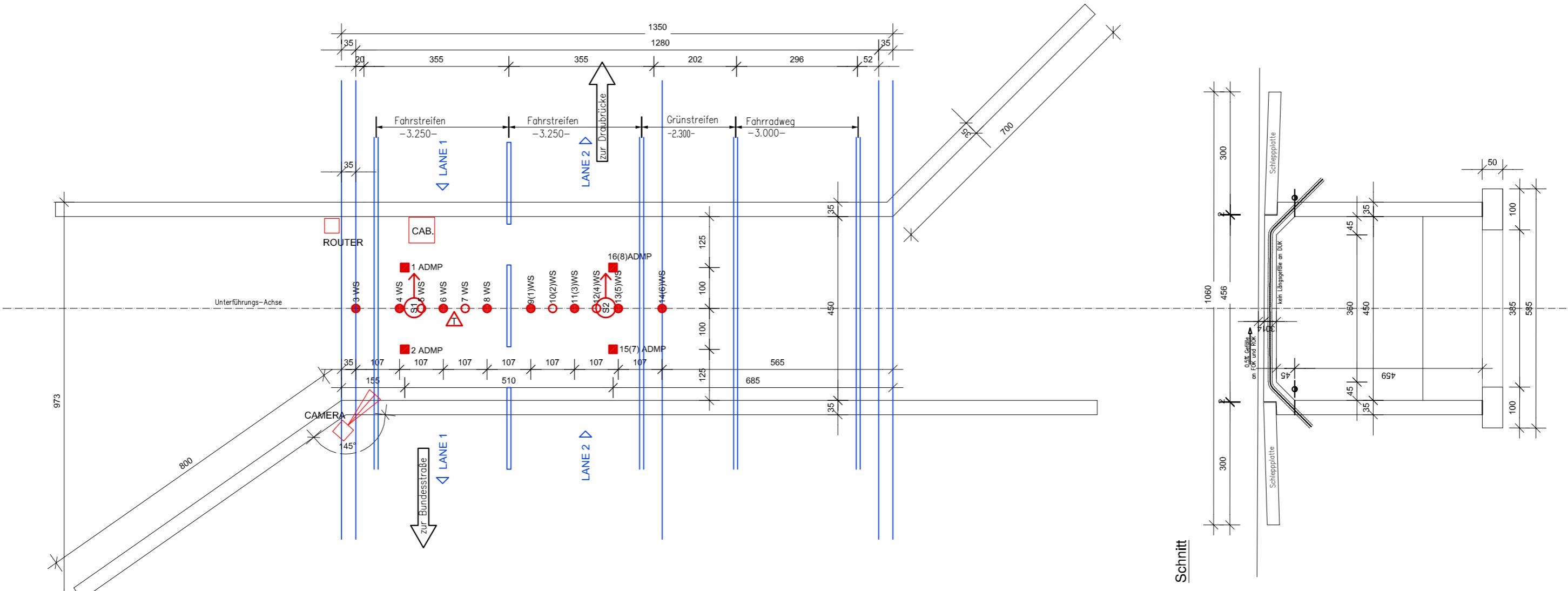
Nr	Bezeichnung	Seite
4	Sensorauslegung	X

Tabelle A.2.: Übersicht über Pläne

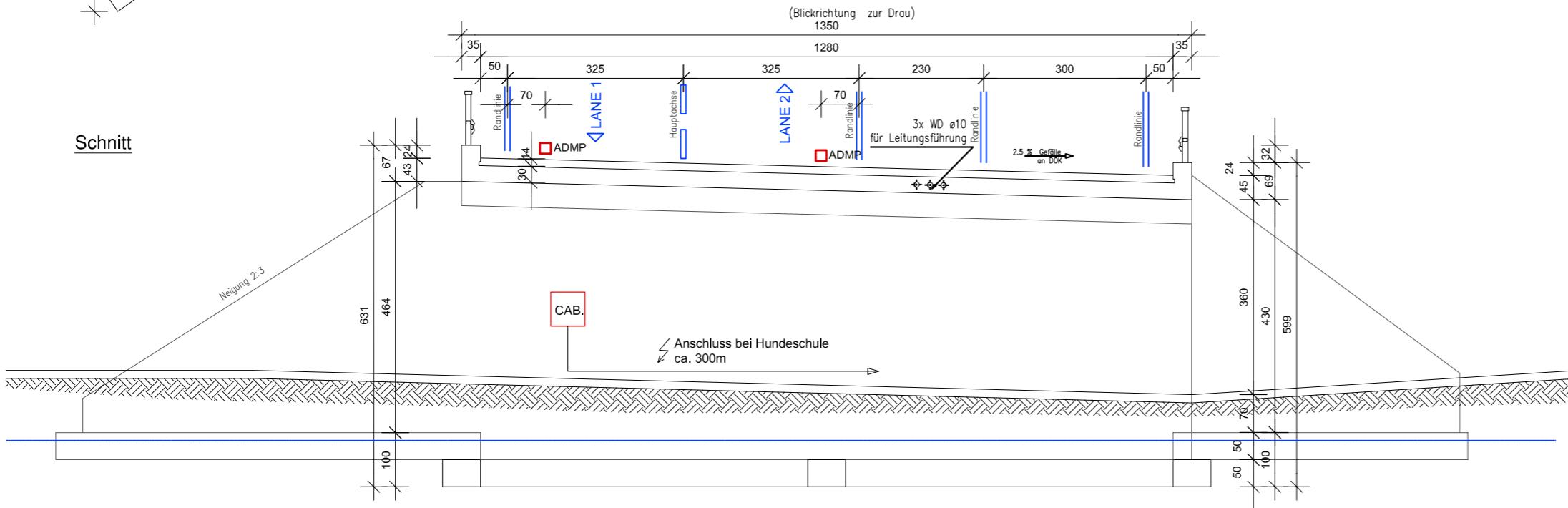
AUSLEGUNG DER SENSOREN M 1:100

16 Sensoren

Draufsicht



Schnitt



ADMP	Lane 1	1	2
	Lane 2	15	16

S1	A1	1	ADMP - 629
	A2	2	ADMP - 622
	A3	3	WS - 676
	A4	4	WS - 608
	A5	5	WS - 619
	A6	6	WS - 669
	A7	7	WS - 666
	A8	8	WS - 665
S2	A1	9	WS - 661
	A2	10	WS - 601
	A3	11	WS - 663
	A4	12	WS - 674
	A5	13	WS - 614
	A6	14	WS - 612
	A7	15	ADMP - 617
	A8	16	ADMP - 618

PEC - Petschacher Consulting, ZT-GmbH

STADT VILLACH
B55 - Feldwegunterführung GAV A6 (hinter OBI)
km 4 +234.000

DRAUFSICHT
SCHNITTE

M.: 1:100

MÄRZ 2009

PLANBLATT: 1

Literaturverzeichnis

- [1] COST 323. European weigh-in-motion specifications, version 3.0. Technical report, LCPC, Paris, 1999.
- [2] M. Hjort et. al. Road wear from heavy vehicles. an overwiev. Technical report, NVF comitee Vehicles and Transports, 2008.
- [3] P. Grundy and G. Bouilly. Assessment of bridge response using weigh-in-motion data. Technical report, 5th AustroroadsBridge Conference, 2004.
- [4] ONR24008. Bewertung der tragfähigkeit bestehender eisenbahn- und straßenbrücken. Technical Report 24008, Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- [5] M. Petschacher. User Manual - Variables Processor VaP 2.3. Technical Report 1, PSP - Petschacher Software und Projektentwicklungs GmbH, 2006.
- [6] A. Znidaric and W. Baumgärtner. Bridge Weigh-in-Motion Systems - An Overwiev. In *2nd European Conference on Weigh-in-Motion*, 1998.