



Reale Verkehrslastmodelle auf der A10 und A12

Treichl Hanspeter
ASFINAG, Baumanagement GmbH

Petschacher Markus
PEC ZT-GmbH

BRÜCKENTAGUNG WIEN, 25.06.2009



Begriffe

| **WIM = Weigh in Motion**

- | Dient der Aufzeichnung von Daten (Geschwindigkeit, Gewicht, Achsabstand, -anzahl und –lasten) von Fahrzeugen, die mit Autobahngeschwindigkeit fahren.

| **BWIM = Bridge Weigh in Motion**

- | Statt der Straße wird eine Brücke als Wiegeplattform zum Erhalten der Daten genutzt.

- | Bei WIM wird eine Achse für ein paar Millisekunden erfasst, bei BWIM über die gesamte Überfahrt.



Motivation

| Wieso BWIM?

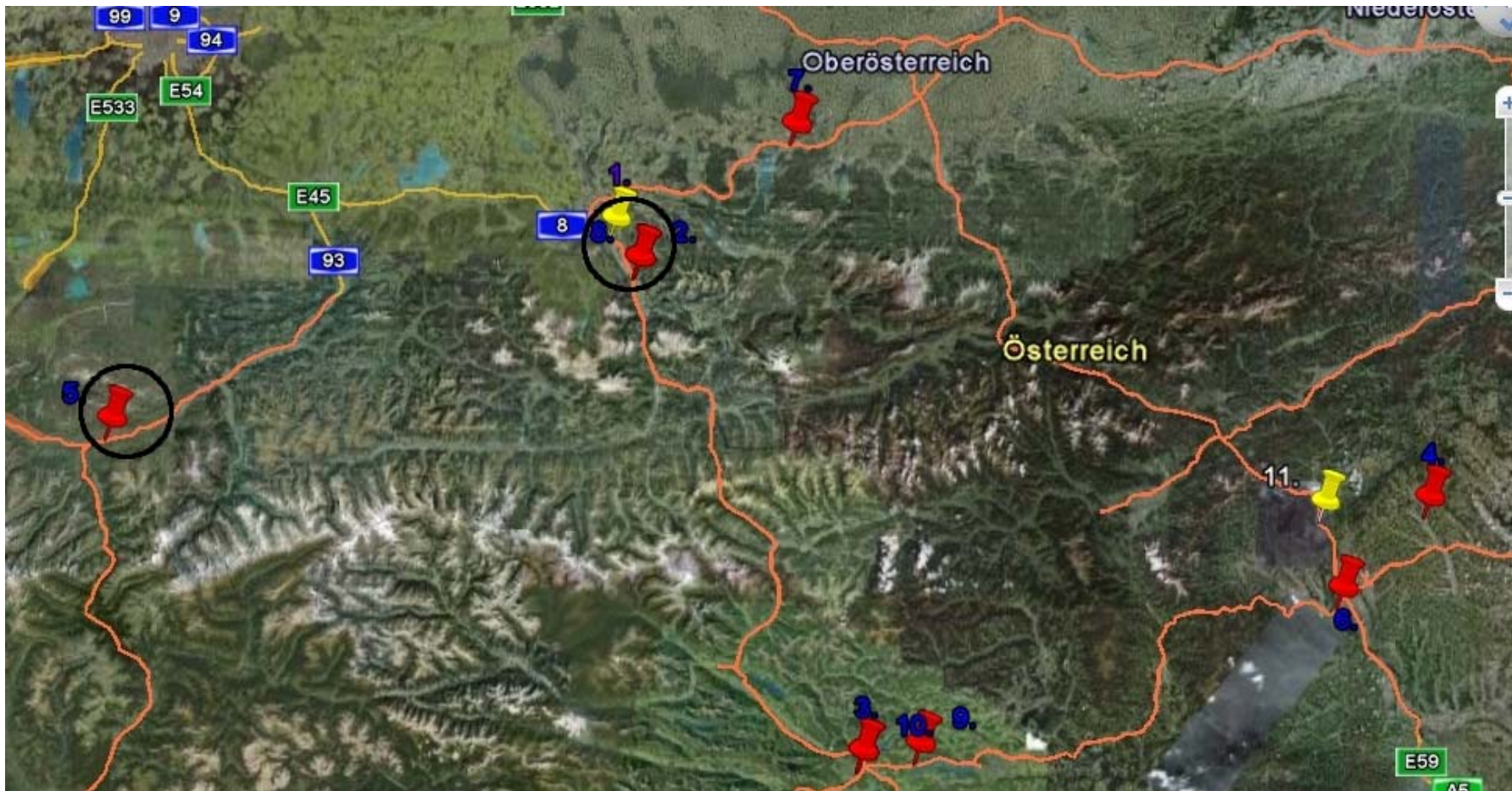
- | Wissen was auf der Straße los ist
- | Die richtige Einfluss-Linie einer Brücke erhalten
- | ESAL-Werte erhalten
- | Statistische Daten von Schwerfahrzeugen erhalten

| Anwendungsgebiete

- | Bewertung bestehender Brücken
- | Schaffung eines künstlichen Achslastmodells
- | Vorhersage der Restlebensdauer
- | Bereitstellen von Fakten für Entscheidungsträger
- | Vorwiegessystem



Bisherige Messungen





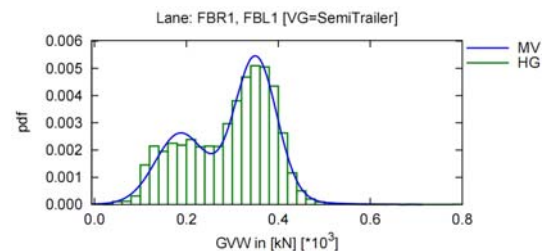
Vergleich A10 und A12

A 10

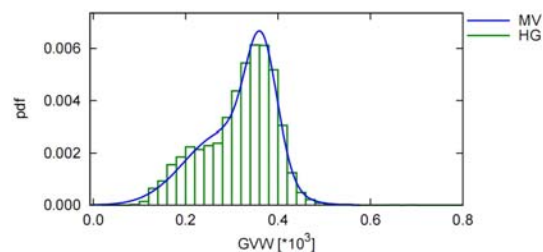
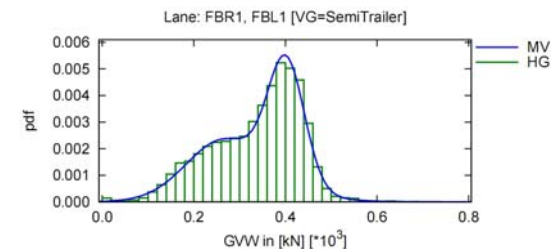
- | VC 113: 31,2 %
- | VG 4: 41,2 %
- | LKW/Woche: 39.444

A 12

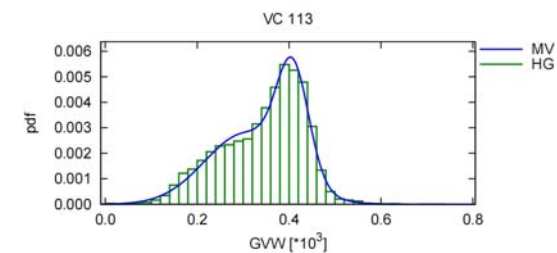
- | VC 113: 46,2 %
- | VG 4: 48,1 %
- | LKW/Woche: 48.057



Gesamtgewicht VG 4



Gesamtgewicht VC 113

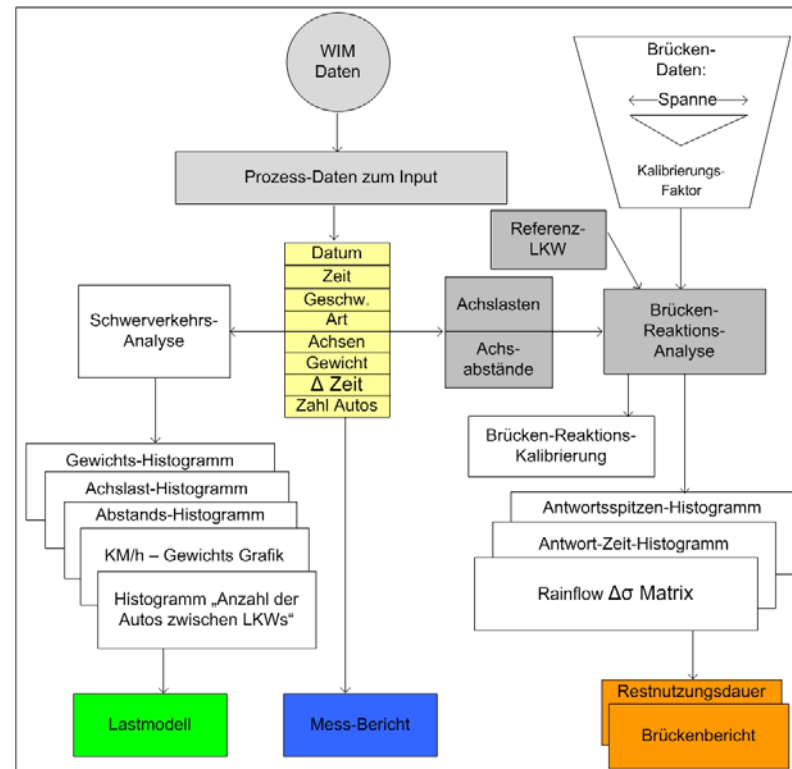




Nutzen für die ASFINAG

- | Information über den Streckenzug (zB.: A10) und Streckenvergleiche
- | Zeitliche Veränderung des Schwerlastverkehrs erfassen
- | Vergleiche zu Belastungsnormen herstellen
- | Vergleich Reale (gemessene) Verkehrslasten mit den Einwirkungsmodellen einzelner Belastungsnormen bei unterschiedlichen statischen Systemen
- | Untersuchungen von 4+0 Verkehrsführungen
- | Untersuchungen zu VC125 und VC126 (Gigaliner)

BWIM-Systematik





Messphase – Online Registrierung

Vehicles (t: 17, c: 2)

Trucks (17) Cars (2) MP distribution

No	Date	Time	Cal	Comment	Lr	Cls	Spd	As	GVW	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	T
							[km/h]		[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°C]
5	2009.05.05	14:34:24	PC2 (91)	H	1	74	83,8	5	38,45	6,17	10,66	6,49	7,21	7,93				3,73	6,27	1,45	1,50				14,6
6	2009.05.05	14:34:47	C	H	1	57	81,7	4	50,59	9,72	11,13	14,34	15,40					1,77	2,35	1,77					14,9
7	2009.05.05	14:34:48	PC2 (85)	H	2	74	105,8	5	16,43	6,52	3,48	1,93	2,14	2,36				4,65	6,94	1,61	1,66				14,9
8	2009.05.07	13:27:53	PC2 (93)	H_MP	1	113	88,4	5	35,56	6,55	10,04	5,69	6,32	6,95				3,69	4,51	1,29	1,34				17,2
9	2009.05.07	13:27:53	PC6 (20)	H_MP	4	61	90,9	4	31,70	6,34	14,07	5,44	5,86					3,65	7,20	1,38					17,2
10	2009.05.07	14:06:45		H_MP	2	140	126,5	14	10,82	0,04	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,05	2,26	1,58	1,51	2,13	1,51	3,29	2,26	17,6
11	2009.05.07	14:06:46	PC1 (73)	H_MP	1	51	111,2	3	25,79	12,93	5,79	7,07						3,62	1,75						17,6
12	2009.05.07	14:06:47		H_MP	2	140	126,5	11	47,48	47,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	3,16	1,72	1,92	4,46	1,85	2,81	17,6
13	2009.05.07	14:06:54	PC2 (54)	H	1	71	89,6	5	38,56	6,29	9,23	8,81	6,40	7,82				4,67	5,10	4,76	1,41				17,4
14	2009.05.07	13:27:53	PC2 (93)	H_MP	1	113	88,4	5	35,56	6,55	10,04	5,69	6,32	6,95				3,69	4,51	1,29	1,34				17,2
15	2009.05.07	13:27:53	PC6 (20)	H_MP	4	61	90,9	4	31,70	6,34	14,07	5,44	5,86					3,65	7,20	1,38					17,2
16	2009.05.07	13:27:45	PC2 (90)	H	1	111	88,4	5	38,48	6,58	7,63	7,28	8,09	8,90				3,88	5,85	1,25	1,39				17,3
17	2009.05.07	14:06:54	PC2 (54)	H	1	71	89,6	5	38,56	6,29	9,23	8,81	6,40	7,82				4,67	5,10	4,76	1,41				17,4

Vehicle info:

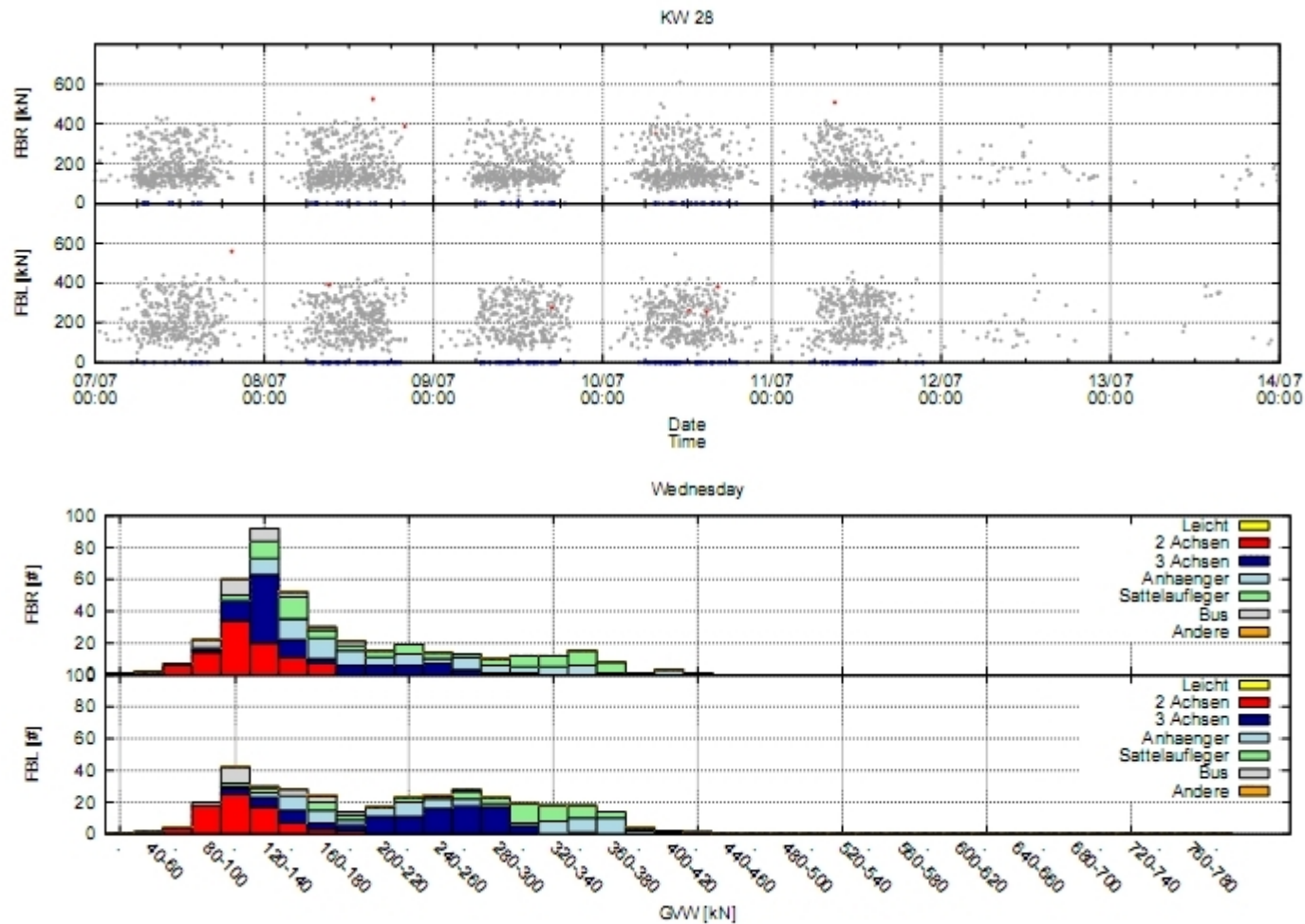
Subclass: 71
Category: 3
Gross Weight: 38,56 t
Lane: 1
Speed: 89,6 km/h
Total Axle Distance: 15,94 m
Warning flags: 0x60

Scale: 24,46 t

Warning flags:
MP Distribution:
Vehicle Photo

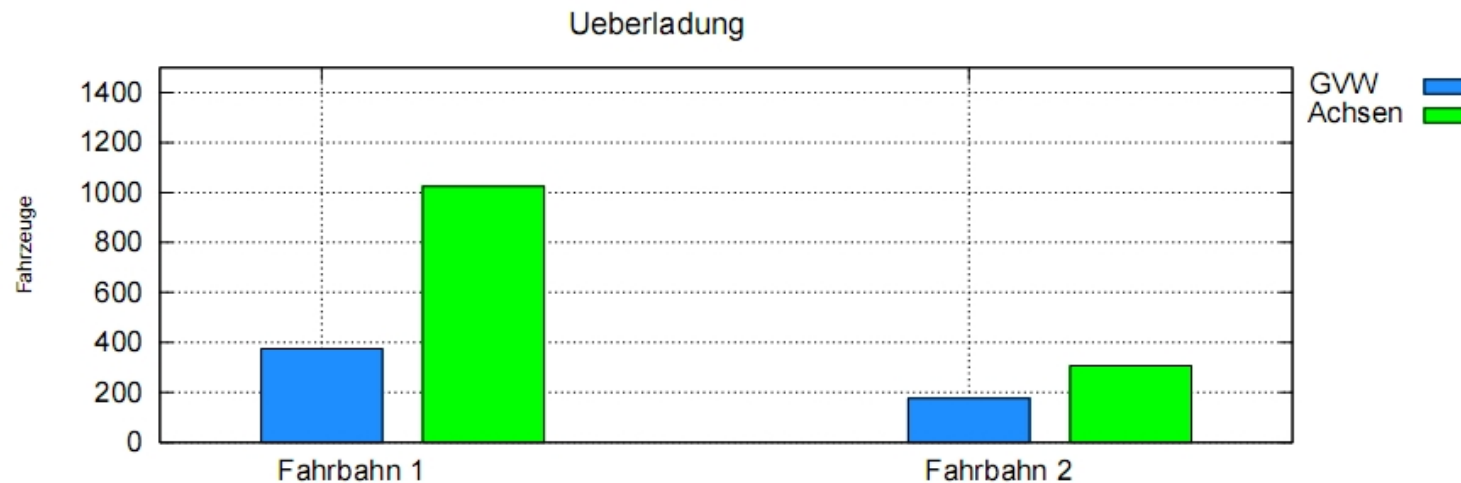
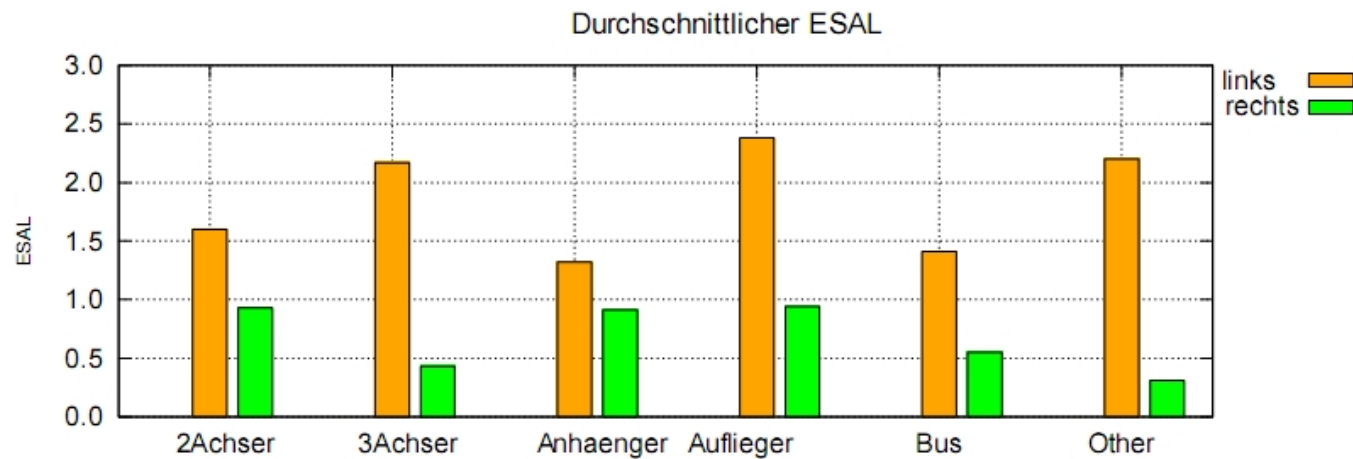


Messbericht - Histogramme





Messbericht - Auswertungen





Messbericht - Häufigkeiten

(a) Klassen

VC	Sym	p_{VC}	VC	Sym	p_{VC}
113		0.462	83		0.048
40		0.107	54		0.0316
74		0.105	51		0.0313
61		0.0979	62		0.0255

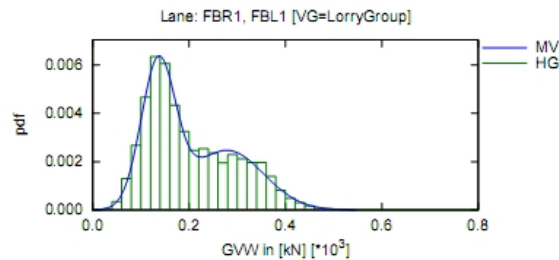
(b) Gruppen

VG	2Achser	3Achser	Anhänger	Auflieger
p_{VG}	0.107	0.0855	0.327	0.481
		  	   	

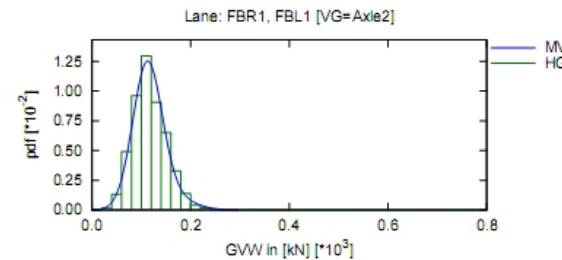
Tabelle: Häufigste Fahrzeug-Klassen und -Gruppen



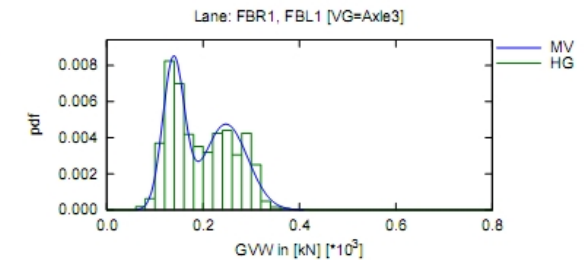
Lastmodell - Lastverteilung



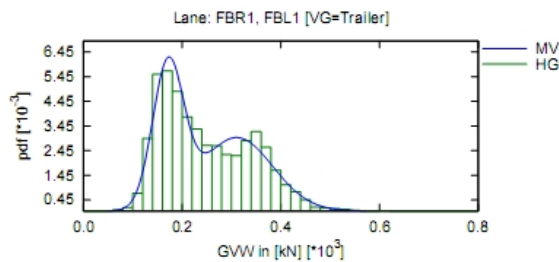
(a) Alle



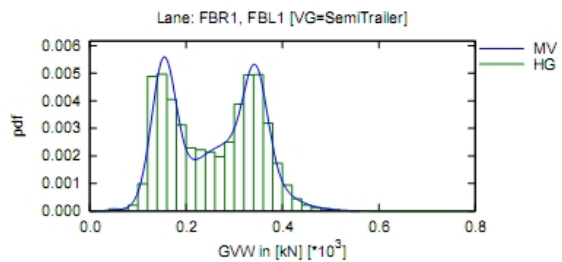
(b) 2Achser



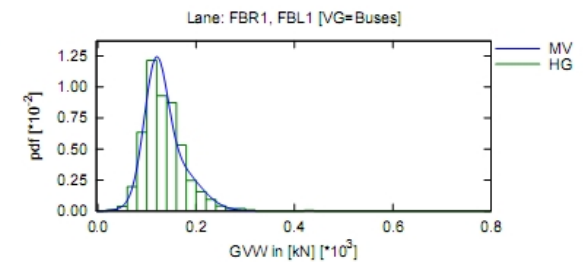
(c) 3Achser



(d) Anhänger



(e) Auflieger



(f) Bus

Abbildung: Lastverteilung nach LKW-Gruppen

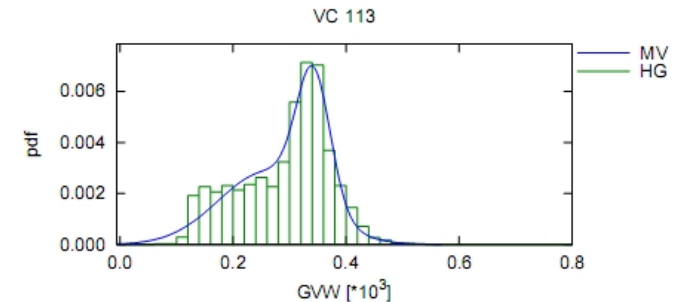
Stochastisches Modell

$GVW4 \sim \text{Mixed}(0.2185 * N(344.4, 24.51), 0.3118 * N(153.4, 25.06), 0.4697 * N(282.9, 79.35))$



Lastmodell - Achslast

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



(a) Regression, Streuung

A	α	β	σ_c
1	0.0787	37.1	14.8
2	0.274	4.15	15.4
3	0.217	-13.5	6.99
4	0.215	-13.6	5.79
5	0.215	-14.2	6.2

(b) Korrelation 1

	1	2	3	4	5
1	1	-0.368	-0.446	-0.537	-0.466
2	-0.368	1	-0.522	-0.561	-0.492
3	-0.446	-0.522	1	0.799	0.487
4	-0.537	-0.561	0.799	1	0.84
5	-0.466	-0.492	0.487	0.84	1

(c) Achsabstand

D	Definition
1	$U\#(2.3, 5)$
2	$Beta(5.11, 1.01, 2.1, 7.44)$
3	$Beta(1.37, 0.0826, 1.25, 2.38)$
4	$U\#(0.994, 1.71)$

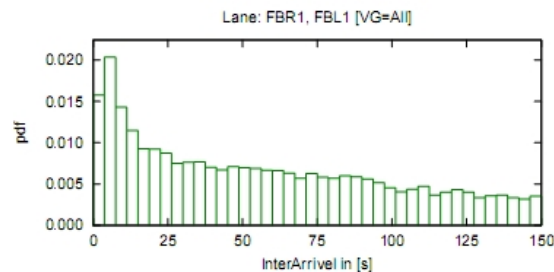
(d) Korrelation 2

	1	2	3	4
1	1	0.161	-0.0115	-0.07
2	0.161	1	0.0534	-0.147
3	-0.0115	0.0534	1	0.196
4	-0.07	-0.147	0.196	1

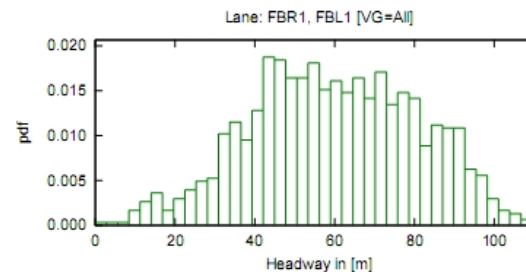
Tabelle: Achslastmodell als Funktion des Gesamtgewichts (a/b) und Achsabstandmodell (c/d)



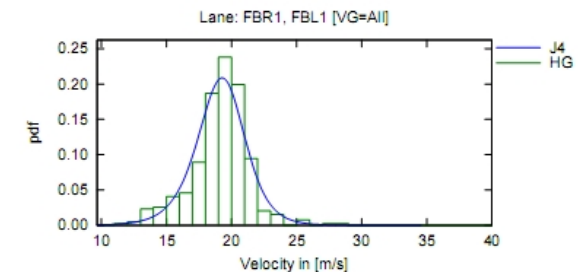
Lastmodell - Verkehrsfluss



(a) Abstandszeiten



(b) Zwischenabstand



(c) Geschwindigkeit

Abbildung: Verkehrsflussmodell

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

Erwarteter Wert

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

$P(n)$... Geometrische Verteilung

n ... Anzahl LKWs in Konvoi

α ... Parameter, erhalten aus Daten

- Menge von LKWs, die auf einer Spur mit geringen Abständen fahren
- Anzahl der Trucks in einem Konvoi wird aus gemessenen Daten ermittelt
- Auf einer Autobahn üblicherweise $E[n] = 1.4 \dots 1.7$



Lastschrittmethode

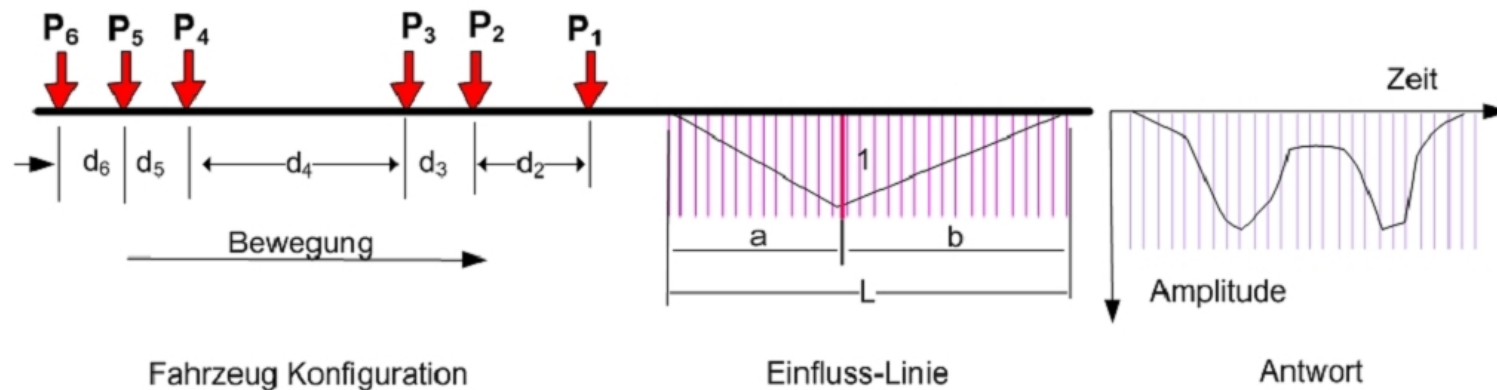


Abb. entnommen aus 'P. Grundy and G. Bouilly: *Assessment of bridge responding using weigh-in-motion-data*, 2004'

Ablauf

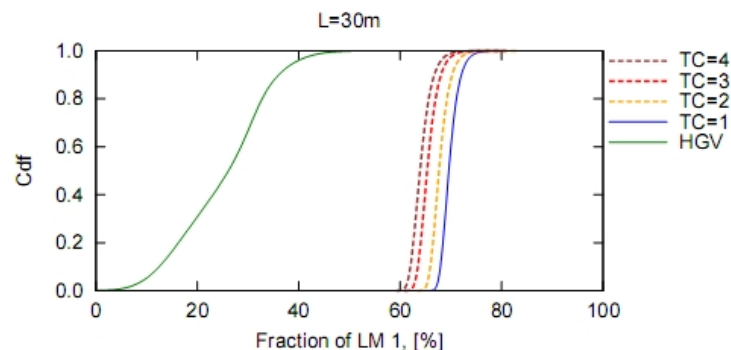
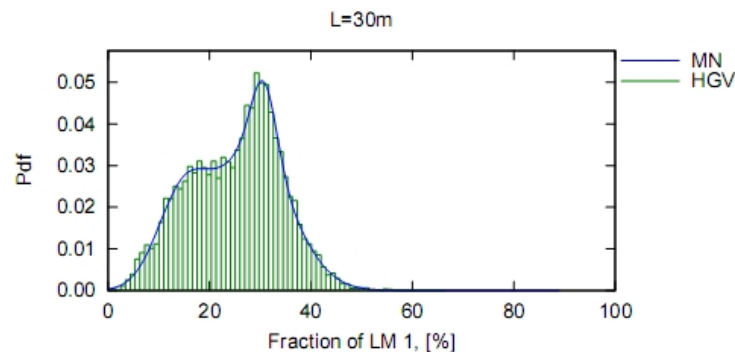
- Ein LKW wird zufällig generiert, die Grundlage bildet das Lastmodell.
- Das Achslast-Schema wird in Schritten über die Einflusslinie bewegt.
- Die Min/Max-Werte der Tragwerksantwort werden gespeichert.
- Dieser Vorgang wiederholt sich n Mal.
- Die statistische Auswertung ist Basis für weitere Extrapolationen



Anwendung der Lastschrittmethode

$$F_Y(x) = F_X(x)^N$$

$$x_k = F_Y^{-1}(0.95^{1/N_1})$$

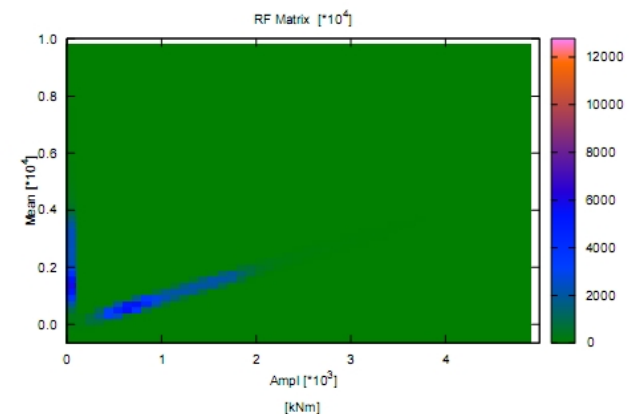
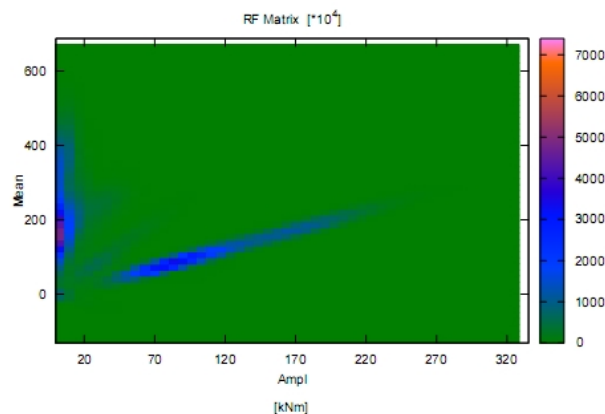
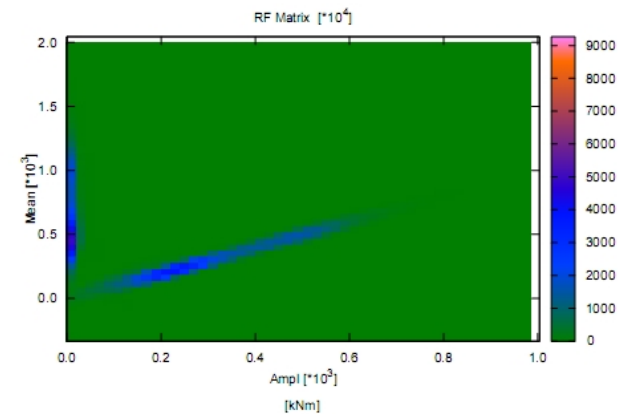
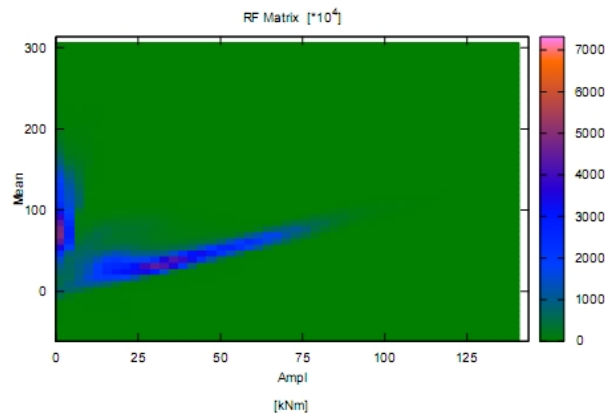


- Annahme von 250 Arbeitstagen /Jahr
- Durchschnittlicher täglicher Lastverkehr DTLV, Anzahl der Ereignisse N
- $N = \text{DTLV} * 250 * Y$
- Die Verteilung wird durch die Theorie der Extremwerte bestimmt.
- Der charakteristische Wert für einen beliebigen Betrachtungszeitraum wird mit der inversen Funktion $F^{-1}()$ der jährlichen Extremwerte berechnet.



Rainflow Matrix

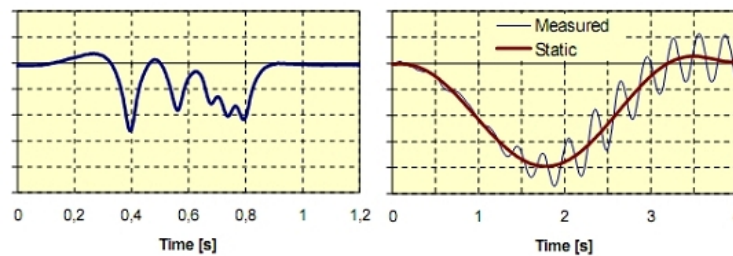
Vergleichsrechnung für Einfeldträger mit $L = 5, 10, 20, 30\text{m}$





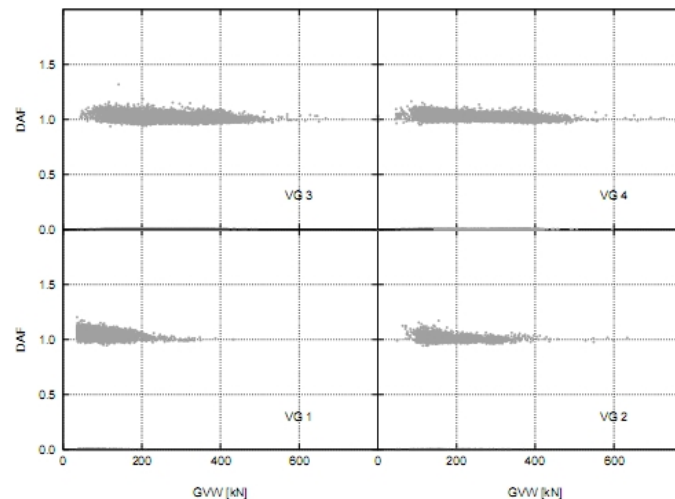
Dynamik

Berechnung des Dynamic Amplification Factor (DAF)



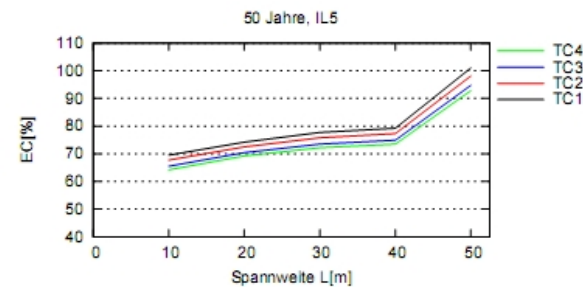
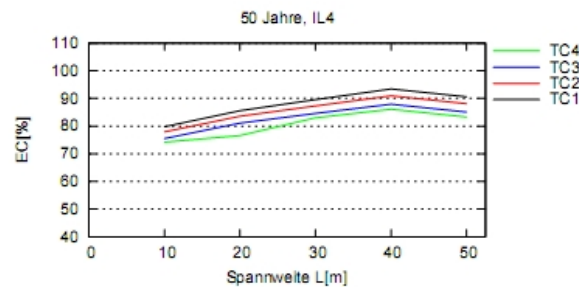
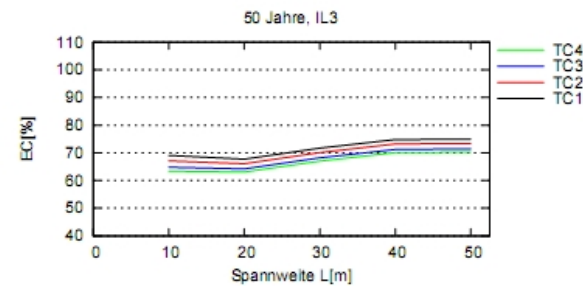
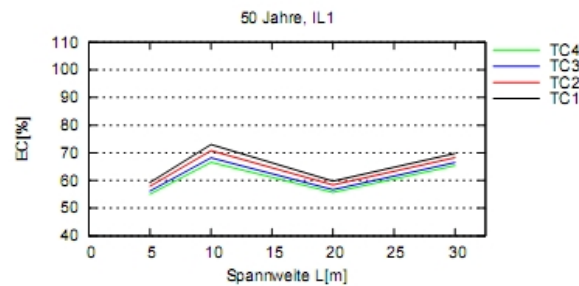
$$DAF = \frac{\max g(t)}{\max \sum_{i=1}^N w_i I(t-t_i)}$$

Auswertung einer Autobahnbrücke





Einflusslinien – Influence Line IL



**TC - Traffic Classes,
Verkehrsparameter**

TC	DTLV
1	10.000
2	2.500
3	500
4	200

- IL 1 ... maximales Biegemoment in Feldmitte eines Einfeldträgers
- IL 3 ... maximales Biegemoment in Feldmitte eines Zweifeldträgers
- IL 4 ... maximales Biegemoment über der Mittelstütze eines Zweifeldträgers
- IL 5 ... minimale Querkraft der Mittelstütze eines Zweifeldträgers



Zusammenfassung

- | BWIM ist ein Tool, um wertvolle Daten zum Schwerverkehr zu erhalten.
- | Das Achslast- und Verkehrsflussmodell unterstützt statistische Auswertungen mit realistischen Lastmodellen.
- | BWIM-Ergebnisse können mit semi- und probabilistischen Methoden genutzt werden.
- | Die Dominanz der Lastannahme ist evident und muss untersucht werden.
- | Die Beachtung der Verschlechterungsprozesse ist besonders bei der Bewertung bestehender Brücken wichtig.