



## 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

## I Wieso BWIM?

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

## I Anwendungsgebiete

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



# Bisherige Messungen





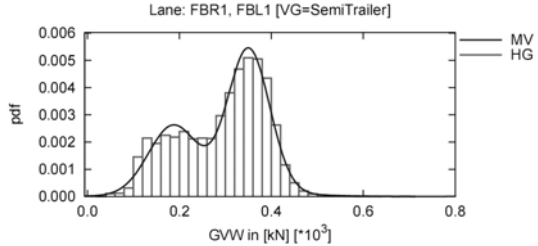
# Vergleich A10 und A12

## A 10

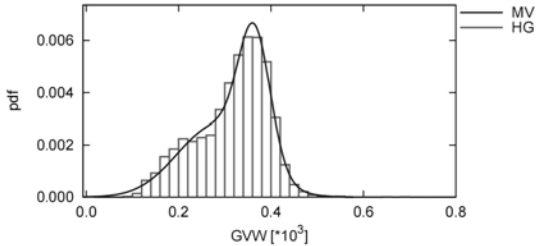
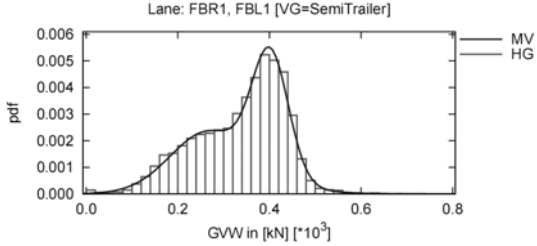
- VC 113: 31,2 %
- VG 4: 41,2 %
- LKW/Woche: 39.444

## A 12

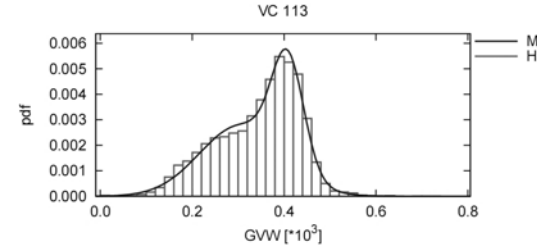
- VC 113: 46,2 %
- VG 4: 48,1 %
- LKW/Woche: 48.057



**Gesamtgewicht VG 4**



**Gesamtgewicht VC 113**



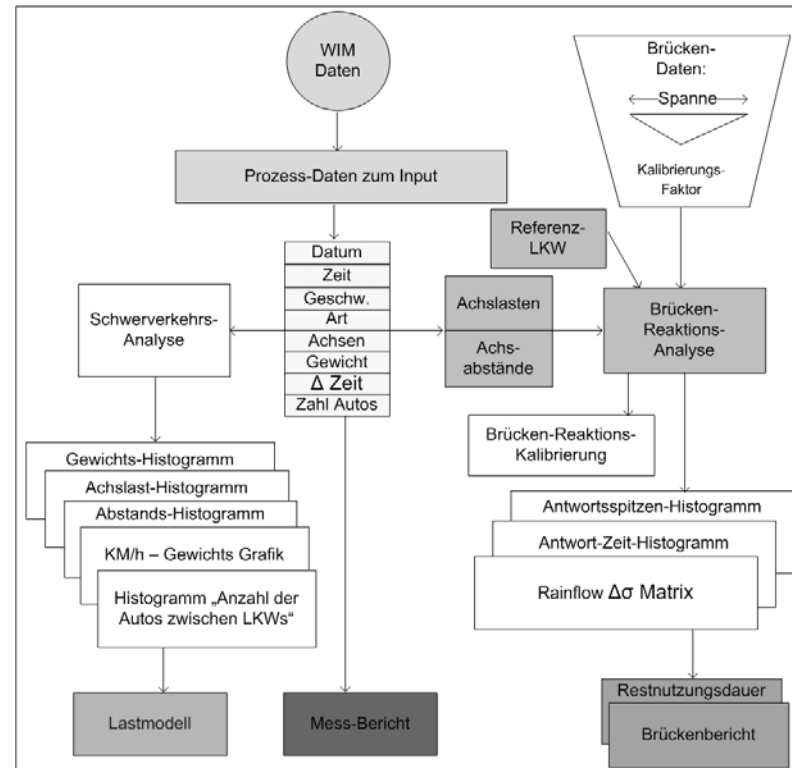


## Nutzen für die ASF|IN|AG

- 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 (65)	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

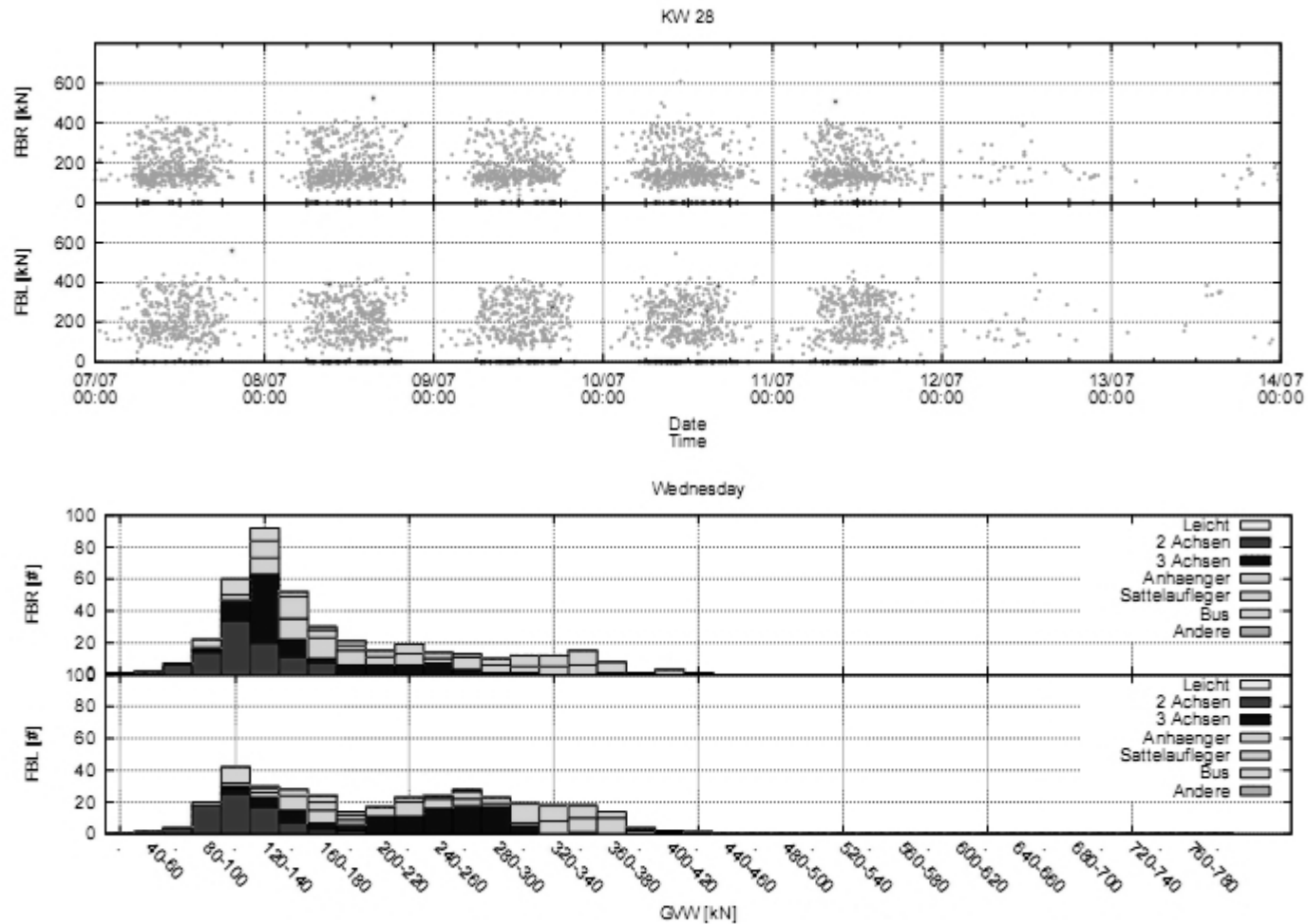
Scale: 24,46 t

Warning flags:  
MP Distribution:  
Vehicle Photo





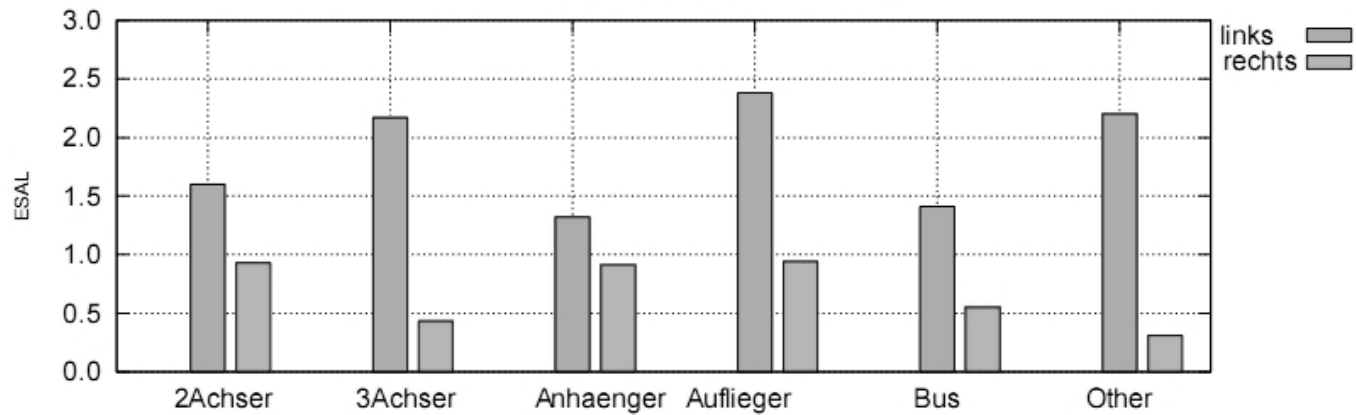
# Messbericht - Histogramme



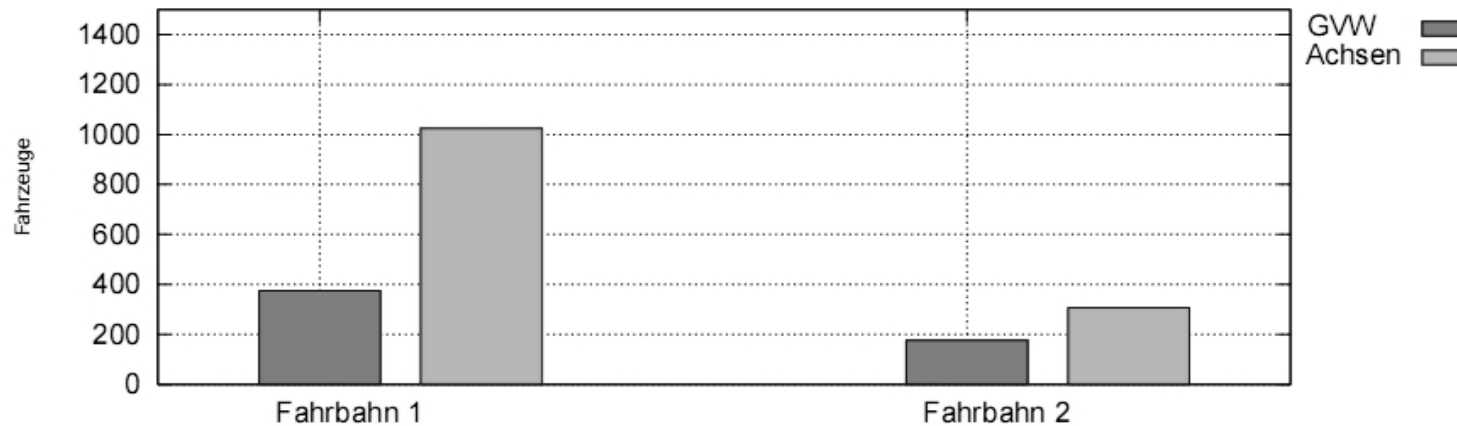


# Messbericht - Auswertungen

Durchschnittlicher ESAL











Ueberladung





# 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










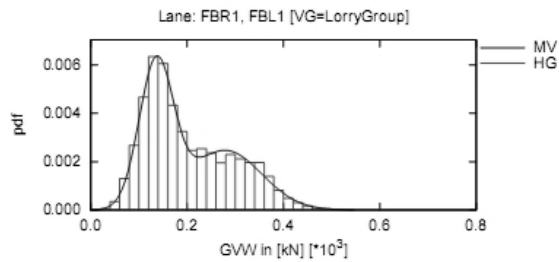
VG	2Achser	3Achser	Anhänger	Auflieger
$p_{VG}$	0.107	0.0855	0.327	0.481
		  	   	

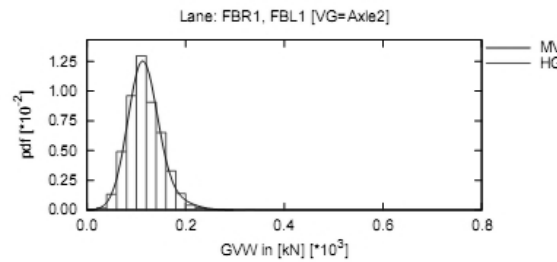
Tabelle: Häufigste Fahrzeug-Klassen und -Gruppen



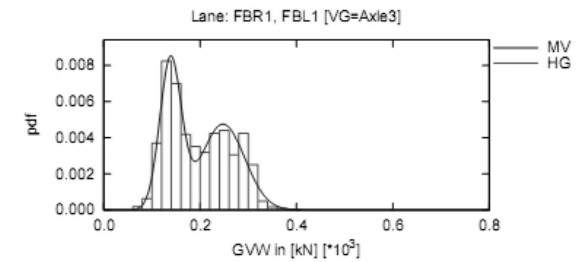
# Lastmodell - Lastverteilung



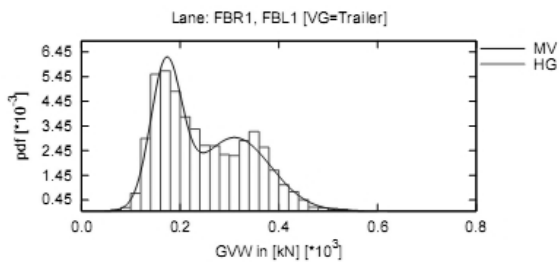
(a) Alle



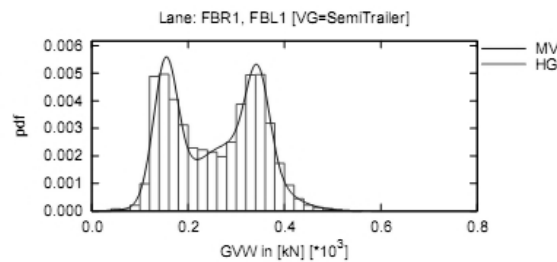
(b) 2Achser



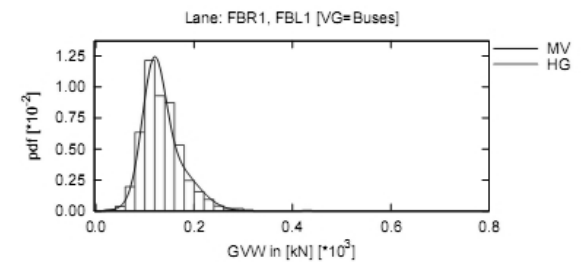
(c) 3Achser



(d) Anhänger



(e) Auflieger



(f) Bus

Abbildung: Lastverteilung nach LKW-Gruppen

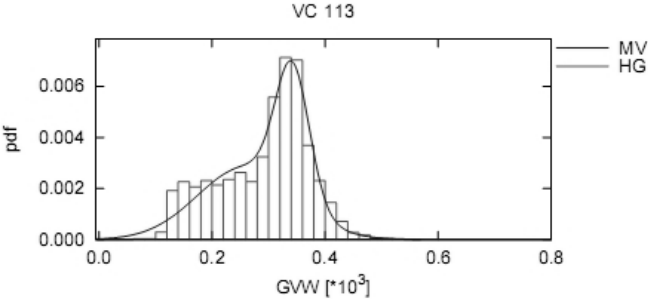
## Stochastisches Modell

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



# Lastmodell - Achslast

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



(a) Regression, Streuung

A	$\alpha$	$\beta$	$\sigma_c$
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

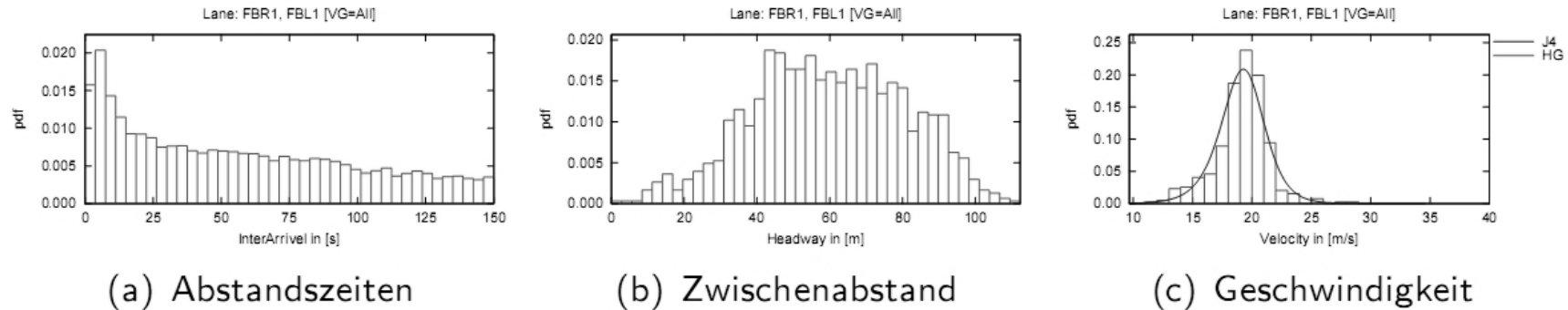


Abbildung: Verkehrsflussmodell

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

Erwarteter Wert

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

$P(n)$  ... Geometrische Verteilung  
 $n$  ... Anzahl LKWs in Konvoi  
 $\alpha$  ... 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

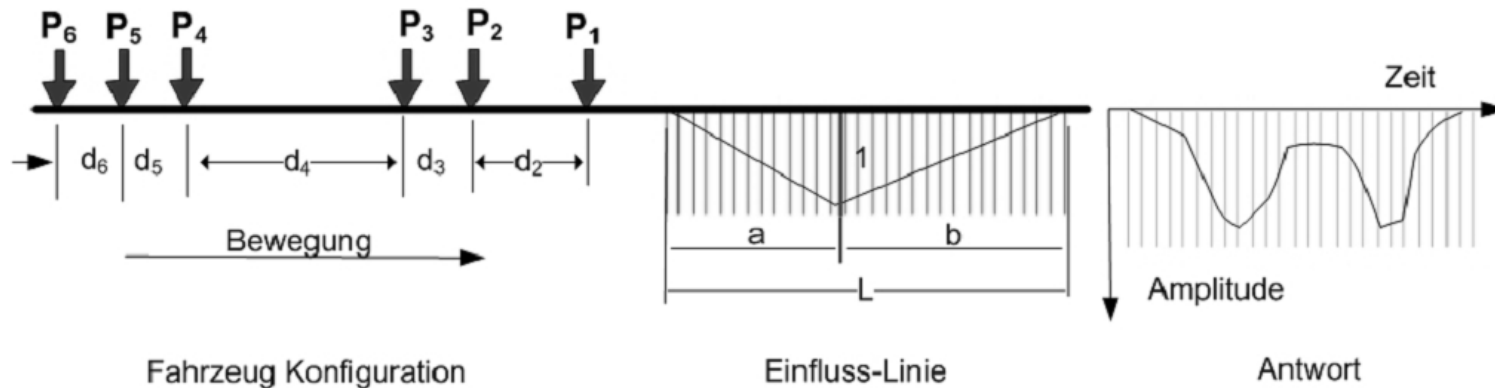


Abb. entnommen aus 'P. Grundy and G. Bouilly: *Assessment of bridge responding using weigh-in-motion-data*, 2004'

## Ablauf

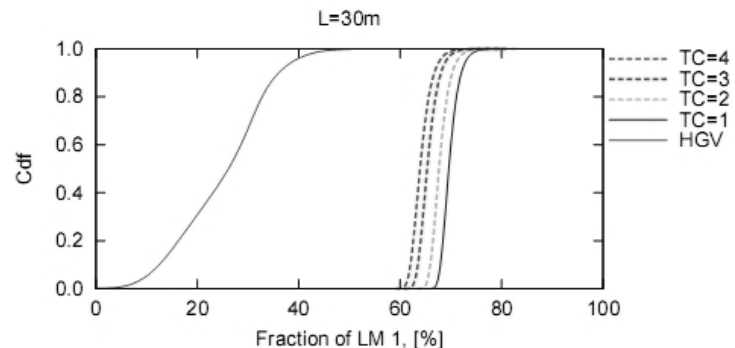
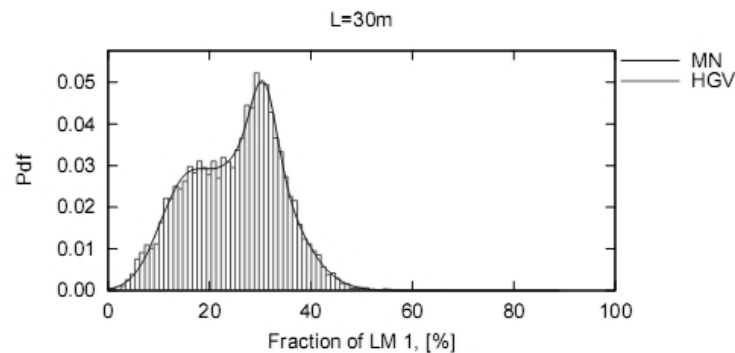
- Ein LKW wird zufällig generiert, die Grundlage bildet das Lastmodell.
- Das Achslast-Schema wird in Schritten über die Einflusslinie bewegt.
- Die Min/Max-Werte der Tragwerksantwort werden gespeichert.
- Dieser Vorgang wiederholt sich  $n$  Mal.
- Die statistische Auswertung ist Basis für weitere Extrapolationen



# Anwendung der Lastschrittmethode

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

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



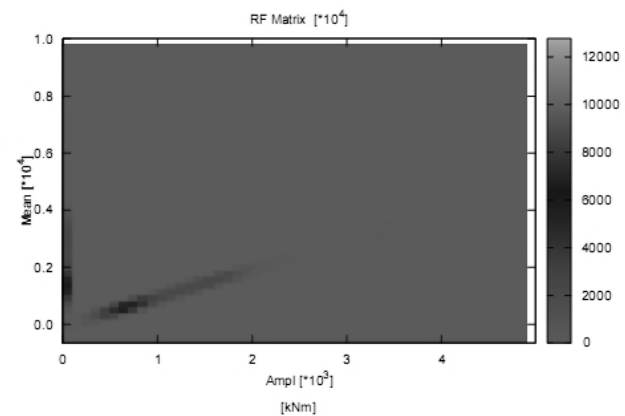
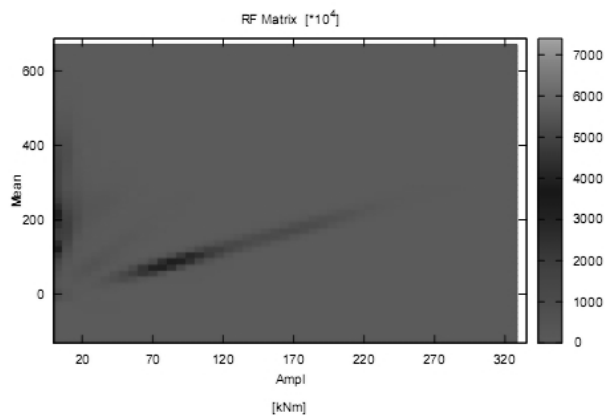
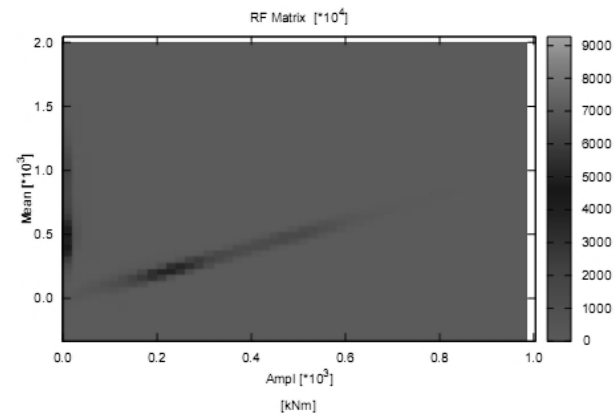
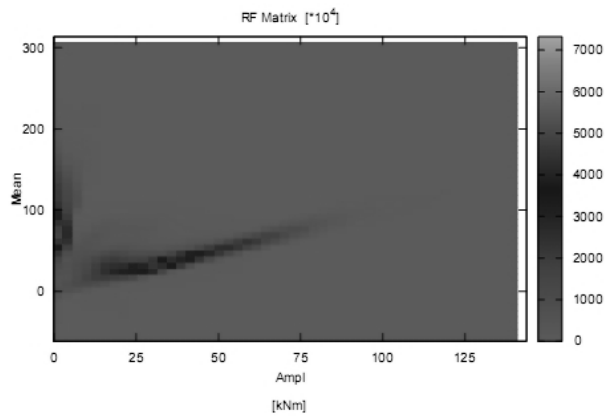
- Annahme von 250 Arbeitstagen /Jahr
- Durchschnittlicher täglicher Lastverkehr DTLV, Anzahl der Ereignisse N
- $N = \text{DTLV} * 250 * Y$
- Die Verteilung wird durch die Theorie der Extremwerte bestimmt.
- Der charakteristische Wert für einen beliebigen Betrachtungszeitraum wird mit der inversen Funktion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





# Rainflow Matrix

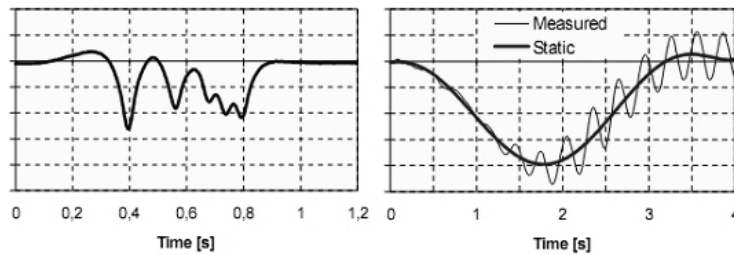
Vergleichsrechnung für Einfeldträger mit  $L = 5, 10, 20, 30\text{m}$





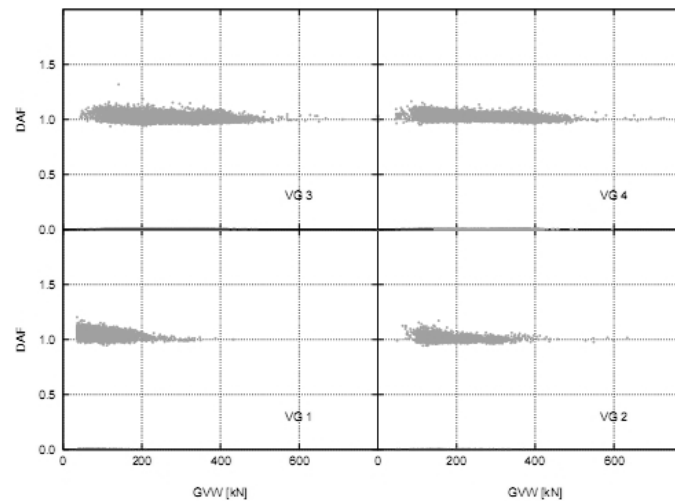
# Dynamik

Berechnung des Dynamic Amplification Factor (DAF)



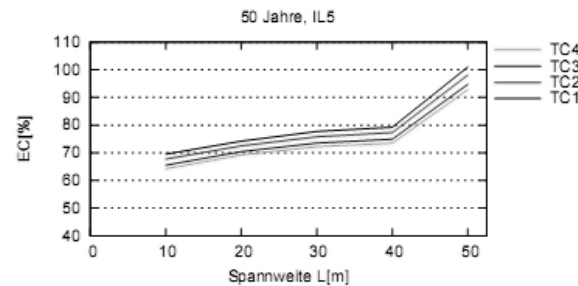
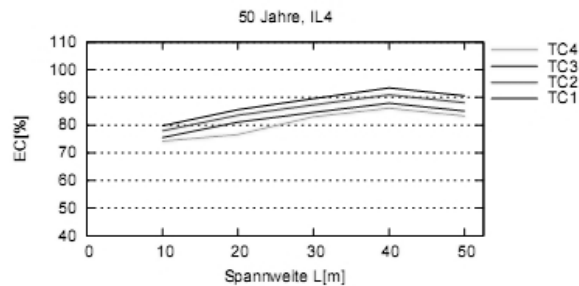
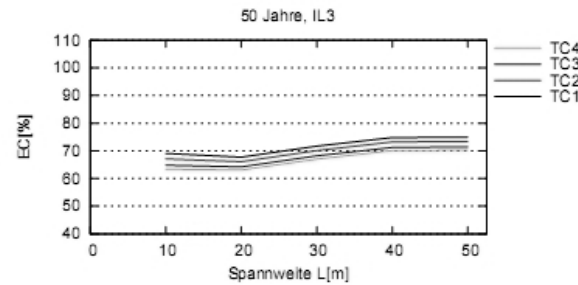
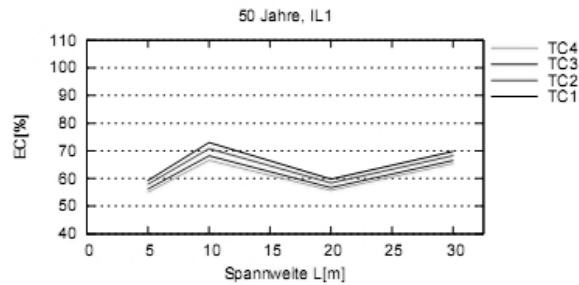
$$DAF = \frac{\max g(t)}{\max \sum_{i=1}^N w_i I(t-t_i)}$$

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.