

13. ANHÄNGE

13.1. LKW und Sondertransporten Klassifizierungssystem

Für die Klassifizierung von schweren Fahrzeugen wurden die länderspezifischen Systeme, die in die WIM-Software eingebettet sind, durch eine Neuanalyse der Daten mit der Verwendung eines Schweizer Klassifizierungssystems (mit ähnlicher Grundlage wie EUR13, aber flexibler) ersetzt.

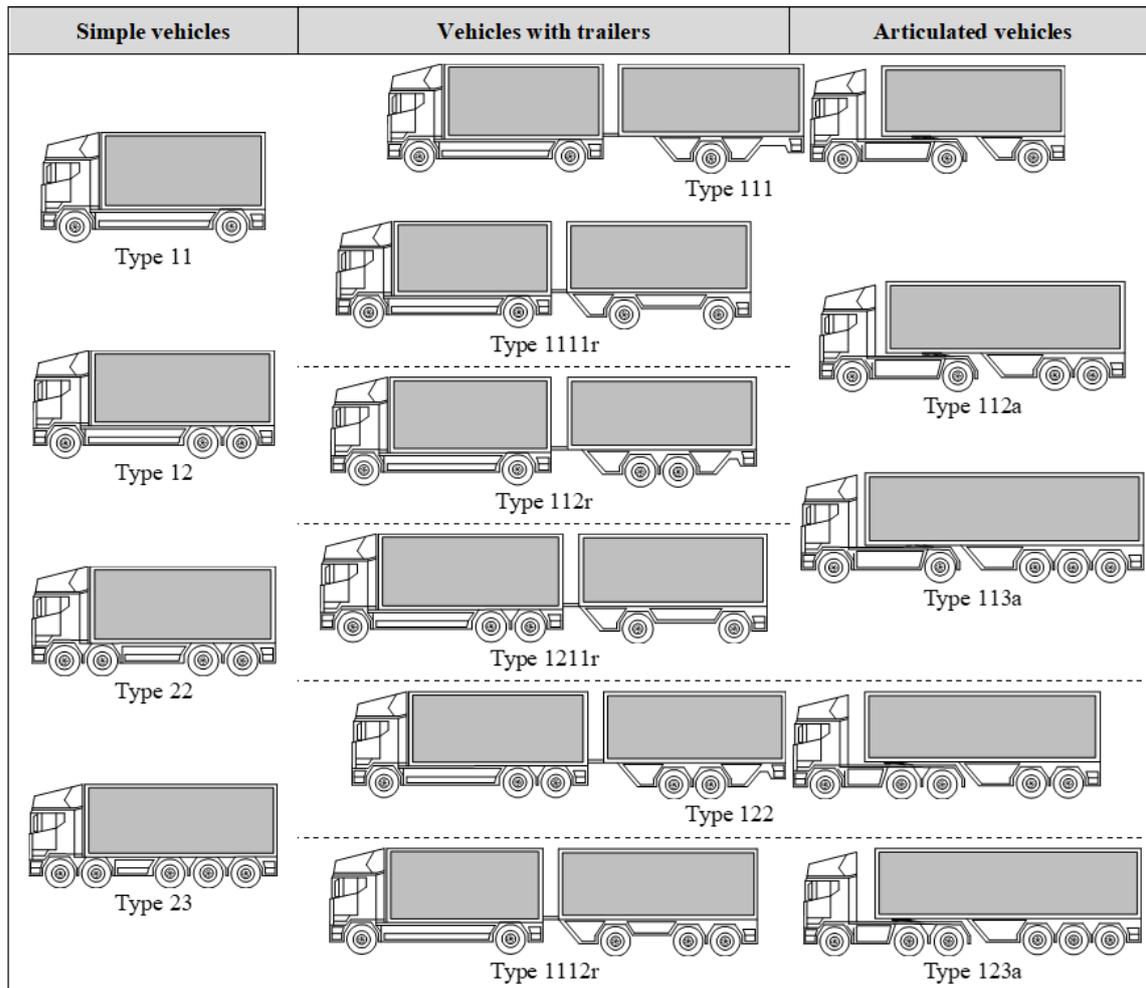


Abbildung 210: LKW-Typen nach dem Schweizer Klassifizierungssystem

Tabelle 69: Klassifizierungssystems der Sondertransporte

Typ	Abbildung mit Beispielvorlage	Abgedeckte Vorlagen
Mobil kran 60t 5-achsig		Liebherr MK 110/140 Liebherr LTM 1100-5.1/2 Liebherr LTM 1100/2 Liebherr LTM 1100/1160-5.2 Liebherr LTM 1130-5.1 Liebherr LTM 1150-5.3 Liebherr LTM 1200/30/50-5.1 Tadano ATG 130G-5 Grove GMK5095/5130/5220 Grove GMK5250/5150L Terex Explorer 5600
Mobil kran 72t 6-achsig		Liebherr LTM 1150-6.1 Liebherr LTM 1225 Liebherr LTM 1300-6.2 Liebherr LTM 1300-6.3 Grove GMK6400-1 Grove GMK6300L-1 Demag AC350-6
Mobil kran 84t 7-achsig		Liebherr LTM 1400-7.1 Grove GMK7450
Mobil kran 96t 8-achsig		Liebherr LTM 1450-8.1 Liebherr LTM 1500-8.1 Liebherr LTM 1650-8.1 Demag AC 500-1 Demag AC 500-2

13.2. Einwirkungen auf Brückenbauwerke

Tabelle 5.10 Zwängungsmomente in Balkensystemen mit exakter parabolischer Führung der Spannglieder für nachträglichen Verbund

System	Statische Unbestimmte (P, e positiv einsetzen)
	$M'_{BP} = P(f - e)$
	$M'_{BP} = P \left[\frac{2}{3} f - \left(e_\alpha - \Delta l \cdot \frac{x}{l} \right) \right]$
	$M'_{BP} = P \left[\frac{l_1 \cdot f_1 + l_2 \cdot f_2}{l_1 + l_2} - e \right]$
$l_1 = l_2 = l; f_1 = f_2 = f$	$M'_{BP} = P(f - e)$
	$M'_{BP} = P \left[\frac{l_1 \cdot f_1 + l_2 \cdot f_2}{l_1 + \frac{3}{2} \cdot l_2} - e \right]$
$l_1 = l_2 = l$	$M'_{BP} = P \left[\frac{2}{5} (f_1 + f_2) - e \right]$
	$M'_{BP} = P \left[\frac{2l_1 \cdot f_1 + l_2 \cdot f_2}{2l_1 + \frac{3}{2} \cdot l_2} - e_1 \right]$ $M'_{CP} = P \left[\frac{l_1 \cdot f_1 + \frac{1}{2} l_2 \cdot f_2}{2l_1 + \frac{3}{2} l_2} - (f_2 - e_2) \right]$

Abbildung 211: Auszug aus [67] zur Bestimmung von Zwängungsmomente für Stabtragwerke

Tabelle 70: Parameter für die Streuung der ständigen Lasten aus der Literatur

Material	Probabilistische Parameter der Streuung der ständigen Lasten [50]							
	Natürlich		Schätzung		Modell		Total	
	λ_G	ν_G	λ_G	ν_G	λ_G	ν_G	λ_G	ν_G
Beton (in-situ)	1.05	0.06	0.99	0.05	1.03	0.05	1.07	0.10

Baustahl	1.00	0.02	1.00	0.01	1.01	0.02	1.01	0.03
Asphalt / Oberfläche	1.08	0.14	1.09	0.14	1.02	0.05	1.20	0.25
Probabilistische Parameter der Streuung der ständigen Lasten [68]								
	λ_G				ν_G			
In-situ Beton	1.05				0.10			
Vorfabriziert	1.03				0.08			
Oberfläche	7.5 cm				0.25			

13.3. Parameter zur Repräsentierung der Widerstandsfunktion

13.3.1. Streuung der Abmessungen für die Bestimmung der Widerstände

Tabelle 71: Gewählte Abmessungen für Widerstände

		Min.	Max.	Einheit	Anmerkung
Betonklasse		C25/30	C45/50		
Bewehrungsklasse		B500B			
Bewehrungsgehalt Längsbewehrung	ρ_s	0.1	3	%	
Dicke Beton	t_c	0.3	4.0	[m]	
	d/h	0.85	0.95	[-]	
Breite Beton	b_c	0.5	1.5	[m]	
Zusätzliche Parameter für Beton ohne Querkraftbewehrung					
	D_{max}	48		[mm]	
	ϵ_x	$1.5 \cdot \frac{f_{sd}}{E_s}$		[-]	
Einheitsbreite Platte	b_w	1.0		[m]	
Zusätzliche Parameter für Beton mit Querkraftbewehrung					
Bewehrungsgehalt Querbewehrung	ρ_v	0.05	0.5	%	Eigene Annahme
	θ	30	45	°	
Zusätzliche Parameter für Spannbeton					
Bewehrungsgehalt Spannbeton	ρ_p	0.5	5	%	

13.3.2. Probabilistische Werte der Eingangsparameter

Tabelle 72: Probabilistische Werte der Eingangsparameter

Wert	Beschreibung	Nominell	X_d	Bias (λ)	COV (v)	Quelle
f_c	Druckfestigkeit Beton	f_{ck}	f_{ck}/γ_c	$f_{ck} + 8$	$\frac{1.64}{f_{ck} + 8}$	[83]
E_c	Elastizitätsmodul Beton	$22 \cdot f_{cm}^{0.3} \cdot 10^3$	1.0	1.0	15 %	[83], [74]
X	Abmessung Beton	X	X_{nom}	$1.003 \cdot X$	$\frac{4 + 0.6 \cdot X_{nom}}{1.003 \cdot X_{nom}}$	[74]
f_{sy}	Fließgrenze Bewehrungsstahl	$f_{sy,k}$	$f_{sy,k}/\gamma_s$	1.15	5 %	[84]
A_s	Fläche Bewehrung	$A_{s,nom}$	$A_{s,nom}$	1.0	2 %	[74]
f_{py}	Fließgrenze Spannstahl	$f_{py,k}$	$f_{py,k}/\gamma_p$	1.027	2.2 %	[85]
A_p	Fläche Spannstahl	$A_{p,nom}$	$A_{p,nom}$	1.012	1.25 %	[85]
f_{ay}	Fließgrenze Baustahl	$f_{ay,k}$	$f_{ay,k}/\gamma_a$	1.2	5 %	[86]
E_s	Elastizitätsmodul Baustahl	210000	1.0	1.0	3 %	[86]
h_a, b_a	Abmessung Stahlbaublech	1.0	1.0	1.0	0.9 %	[86]
t_a	Dicke Stahlbaublech	1.0	t_{nom}	$0.99 \cdot t_{nom}$	2.5 %	[86]

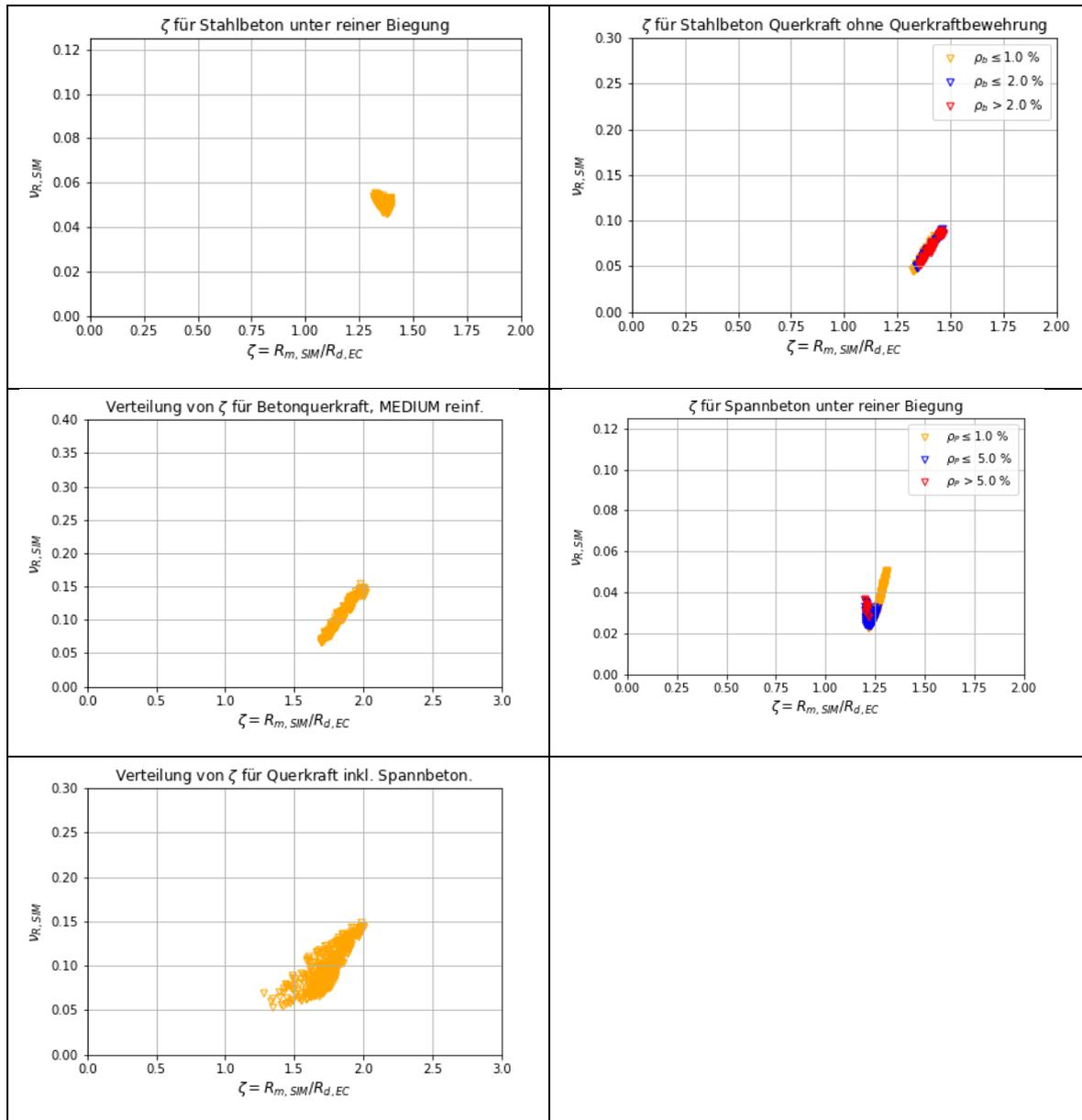
13.3.3. Modellunsicherheiten der Widerstandsfunktionen

Tabelle 73: Modellunsicherheiten für Widerstandsfunktionen

	μ_θ	V_θ	Verteilung	Quelle	Anmerkung
Beton – reine Biegung					
	1.1	0.1	LN	[87]	
	1.2	0.15		[74]	
Beton – ohne Querkraftbewehrung					
	1.0	0.15		[87]	Für Widerstand gemäß EN 1992-1 [83]
$\rho_s \leq 1\%$	1.28	0.17		[88]	Für Widerstand gemäß Model Code [89] LoA 1
$1\% < \rho_s \leq 2\%$	1.83	0.12			
$2\% < \rho_s$	2.08	0.12			
	1.4	0.25		[74]	Unklar, ob mit/ohne Querkraftbewehrung
Beton – mit Querkraftbewehrung					
$\rho_w \cdot f_{yw} \leq 1 \text{ MPa}$	1.8	0.25	LN	[87]	
$1 \text{ MPa} < \rho_w \cdot f_{yw} \leq 2 \text{ MPa}$	1.25	0.25			
$2 \text{ MPa} < \rho_w \cdot f_{yw}$	0.8	0.2			
$\rho_w \cdot f_{yw} \leq 1 \text{ MPa}$	2.50	0.26		[88]	Für Widerstand gemäß Model Code [89] LoA 1
$1 \text{ MPa} < \rho_w \cdot f_{yw} \leq 2 \text{ MPa}$	1.86	0.24			
$2 \text{ MPa} < \rho_w \cdot f_{yw}$	1.43	0.28			
	1.4	0.25		[74]	Unklar, ob mit/ohne Querkraftbewehrung
Verbund – Biegung					
	1.0 ÷ 1.1	0.05 ÷ 0.07		[90]	Stahlversagen
	1.0	0.05		[74]	Stahlversagen
Verbund – Querkraft					
	1.0	0.05		[74]	Stahlversagen

13.3.4. Probabilistische Beschreibung der Widerstandsfunktionen

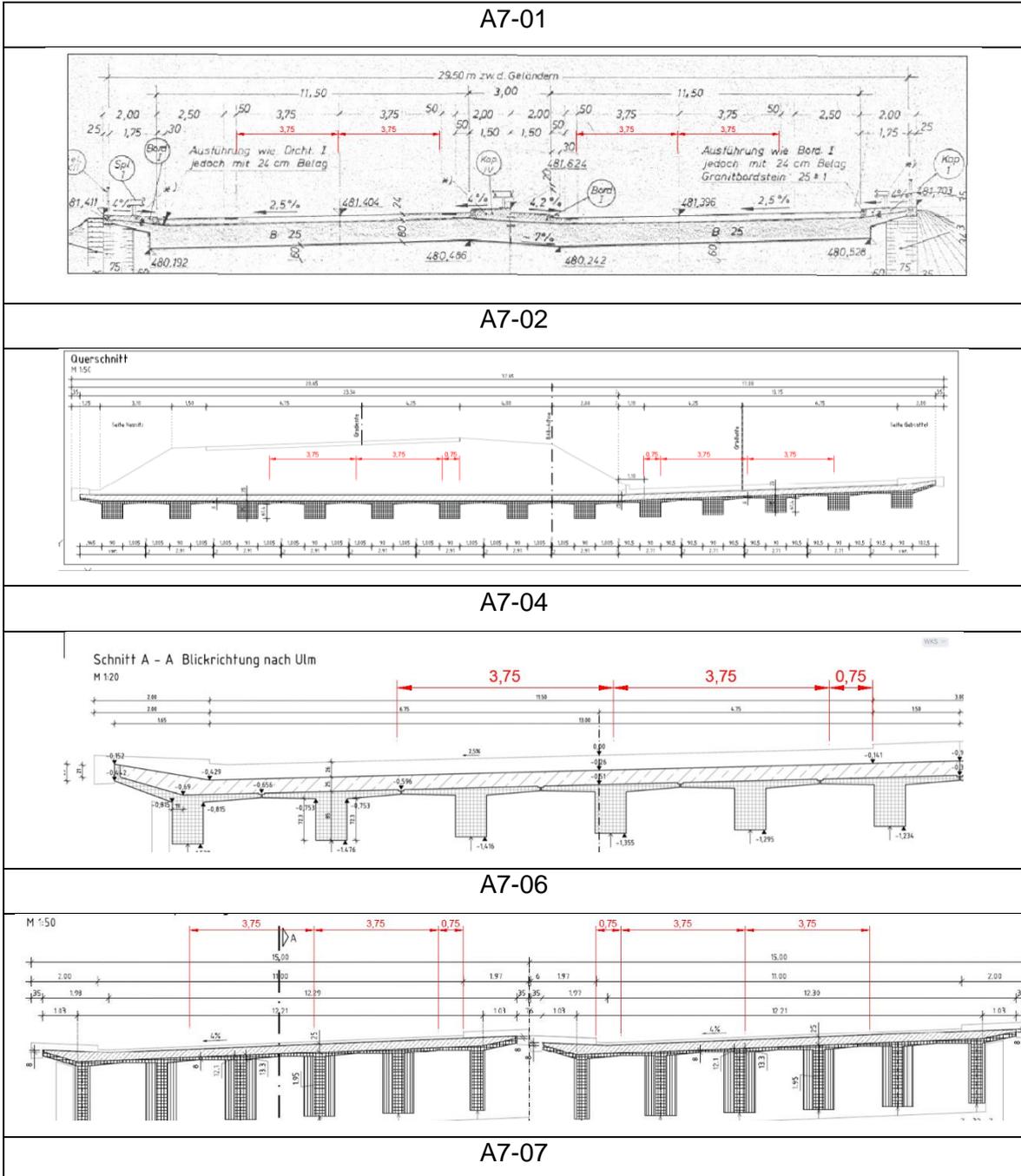
Tabelle 74: Probabilistische Beschreibung der untersuchten Widerstandsfunktionen

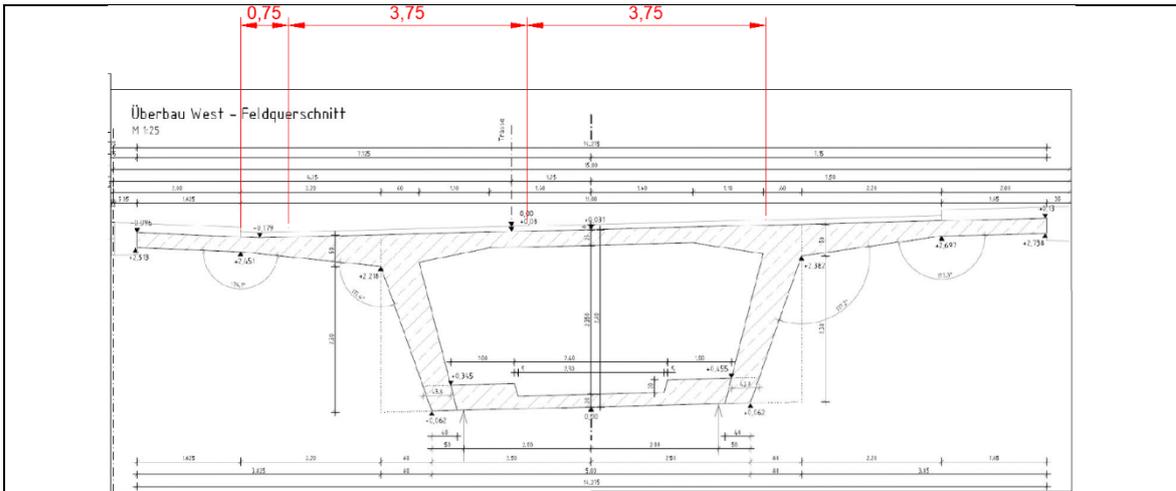


13.4. Brückenbauwerke Use-Cases

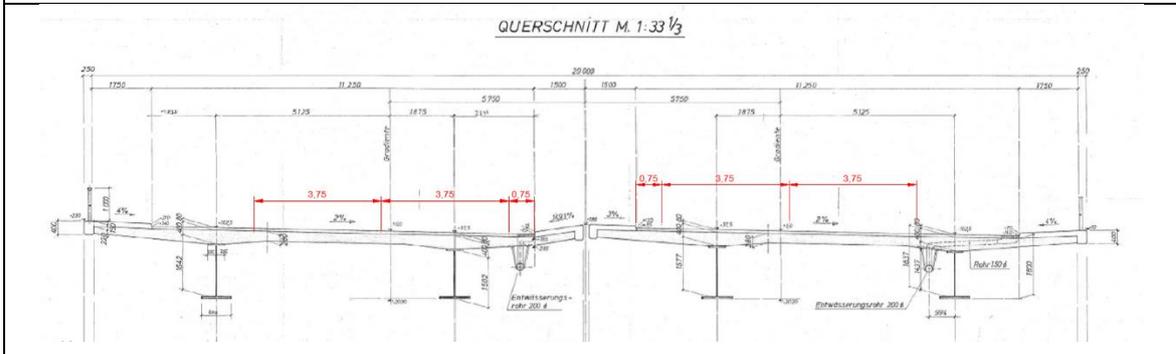
13.4.1. Deutschland

Folgende Abbildungen stammen aus den entsprechenden Bauwerksbüchern oder wurden neu gezeichnet.





A40-01



13.4.2. Österreich

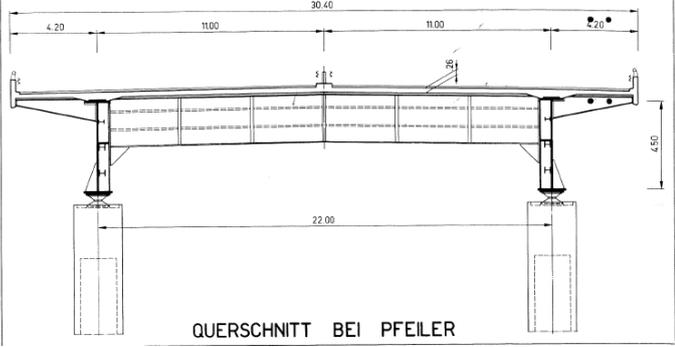
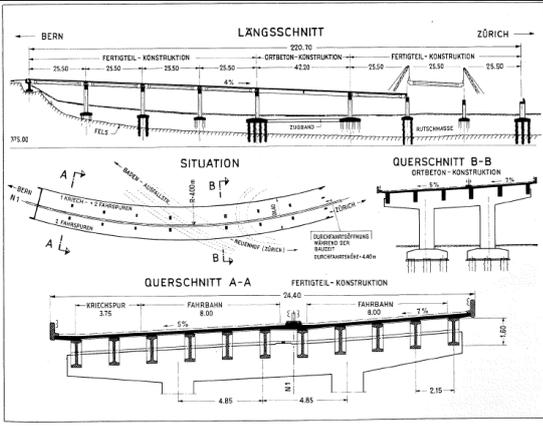
Tabelle 75: Querschnitte der Use-Case Brücken Österreich

Plattenbrücke	
B = 12 m	
L = 8 m	
EFT	DLT
$t_c = 0.5$ m	$t_c = 0.4$ m
L = 20 m	
EFT	DLT
$t_c = 1.2$ m	$t_c = 1.1$ m
Plattenbalkenbrücke	
B = 12 m	
$t_c = 0.3$ m	
$e_B = 6$ m	

	$B_w = 0.8 \text{ m}$	
	EFT	DLT
	$H = 1.5 \text{ m}$	$H = 1.2 \text{ m}$
Hohlkastenbrücke		
	$t_c = 0.25 \text{ m}$ $t_w = 0.5 \text{ m}$	
	$L = 40 \text{ m}$	
	$B = 12 \text{ m}$ $e_{B,o} = 7.0 \text{ m}$ $e_{B,u} = 4.8 \text{ m}$	
	EFT	DLT
	$H_w = 2.0 \text{ m}$	$H_w = 1.8 \text{ m}$
	$L = 55 \text{ m}$	
	$B = 15 \text{ m}$ $e_{B,o} = 7.5 \text{ m}$ $e_{B,u} = 6.0 \text{ m}$	
	EFT	DLT
	$H_w = 2.7 \text{ m}$	$H_w = 2.5 \text{ m}$
Gschnitztalbrücke		
	Geometrische Angaben und Abbildung aus [91]	

13.4.3. Schweiz

Tabelle 76: Querschnitte der Use-Case Brücken Schweiz

<p style="text-align: center;">Reusstalviadukt</p>  <p style="text-align: center;">QUERSCHNITT BEI PFEILER</p>	<p style="text-align: center;">Angaben gemäß [92]</p>
<p style="text-align: center;">Klosterbrücke Nord</p>  <p style="text-align: center;">QUERSCHNITT A-A</p> <p style="text-align: center;">QUERSCHNITT B-B</p>	<p style="text-align: center;">Angaben gemäß [92], [93]</p>
<p style="text-align: center;">Unterführung Mutschellenstrasse</p> 	
<p style="text-align: center;">Limmatbrücke Neuenhof</p>	

	<p>Angaben gemäß [92]</p>
<p>Portalrahmen</p>	
	<p>Material: Stahlbeton L = 10, 15 m $\alpha = 0^\circ, 30^\circ$</p>
<p>Durchlaufträger Plattenbalken</p>	
<p style="text-align: center;">Type 2 A-A - Scale 1:50</p>	<p>Material: Stahlbeton L = 18, 25, 32 m</p>

Durchlaufträger Plattenbalken

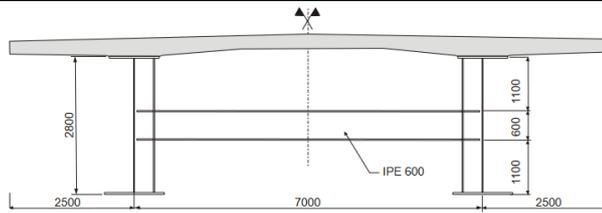


Fig. 1.2 Typical in-span cross-section

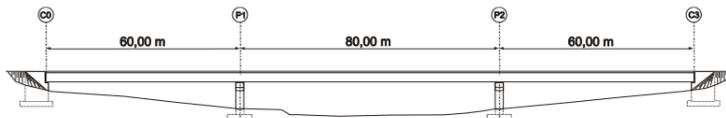
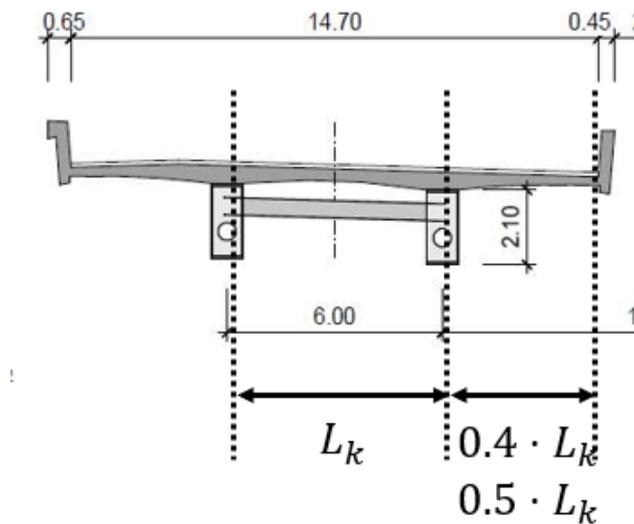


Fig. 1.1 Longitudinal elevation

Baustoff: Stahl-Beton-
Verbund
L = 40 m,
Angaben adaptiert aus
[94]

Durchlaufträger, geschweisster Hohlkasten



L = 50 m
[95]

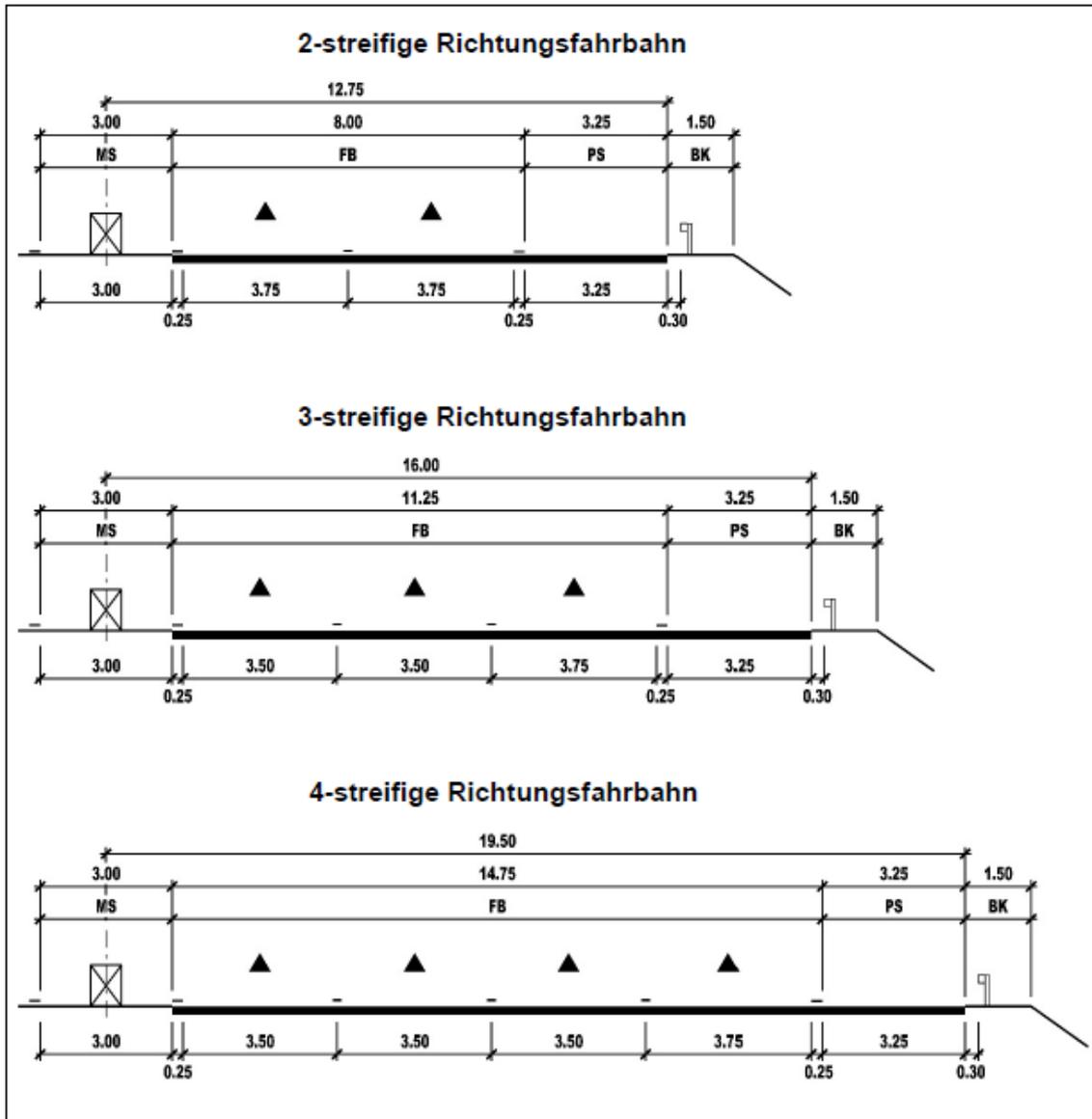


Abbildung 212: Auszug aus [81] zur Festlegung von Standardprofile für schweizerische Nationalstrassen

13.5. Benchmark Berechnung Use-Case

An dieser Stelle soll an einem einfachen Beispiel die Berechnung α -Werte der Use-Case mittels der Methode der Zuverlässigkeit (entsprechend Abschnitt 8.3) dargestellt werden. Exemplarisch wurde hierfür der einfeldrige Plattenbalken mit einer Spannweite von 30 m aus dem Use-Case Österreich ausgewählt. Untersucht wird das Biegemoment in Feldmitte. Das entsprechende Brückenmodell und die zugehörige Einflussfläche sind in Abbildung 213 resp. Abbildung 214 dargestellt. Die Einflussfläche wurde hierbei für den rechten Balken ausgewertet.

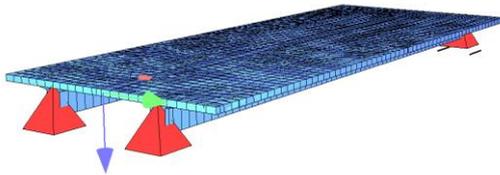


Abbildung 213: Brückenmodell Plattenbalken in SOFiSTiK

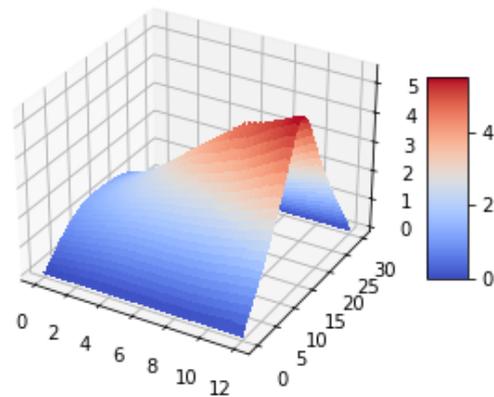


Abbildung 214: Einflussfläche für Biegemoment Plattenbalken

Als Achslastfolgen wird exemplarisch der simulierte österreichische Verkehr Fall 2 Fließverkehr ohne genehmigungspflichtigen Schwerverkehr angesetzt. Die y-Koordinaten der Fahrspuren wurden gemäß [80] auf 4.8 m resp. 8.6 m vom linken Brückenrand entfernt angesetzt.

Die Auswertung der Einwirkungseffekte infolge stündlicher Maximalwerte ist in Abbildung 215 dargestellt.

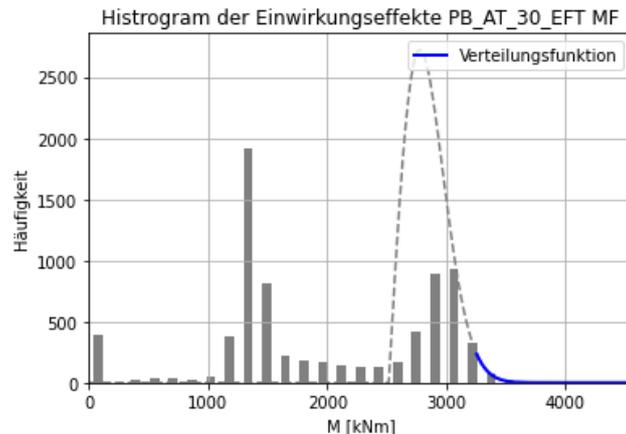


Abbildung 215: Histogramm der Einwirkungseffekte infolge stündlichen Block-Maxima (Benchmark)

Die Extremwerte der Verteilungsfunktion wurden mit einer Weibull-Verteilung mit einem Mittelwert von 2843.6 kNm und einer Standardabweichung von 171.3 kNm approximiert. Es zeigt sich, dass diese Verteilungsfunktion die Extremwerte am besten abbilden kann. Dies lässt sich auch mithilfe eines QQ-Plots (siehe Abbildung 216) verdeutlichen, wobei die Extremwerte durch eine lineare Gerade gut abgebildet werden können. Eine generelle Repräsentation der Daten durch eine Weibull-Verteilung liefert hingegen keine guten Ergebnisse (siehe hierzu die rote Regressionsgerade in Abbildung 216)

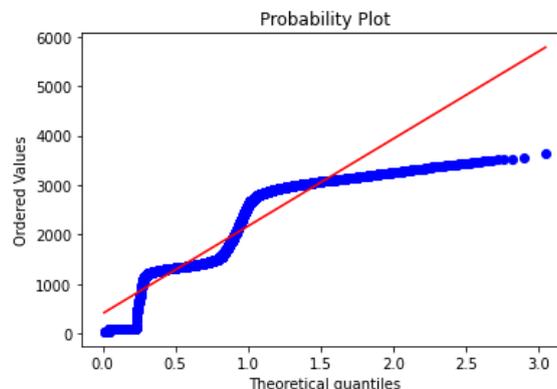


Abbildung 216: QQ-Plot für untersuchten Verkehr (Benchmark)

Die Extrapolation der Werte auf eine Extremwertverteilung von 50 Jahren, womit $n = T_2/T_1$ mit $n = 438000$ angesetzt wurde, führt zu einer Verteilung mit Mittelwert 3877.8 kNm und Standardabweichung 65.5 kNm.

In einem zweiten Schritt werden die Einwirkungseffekte infolge LM1 berechnet. Die charakteristischen Einwirkungseffekte – unterteilt in Einzellasten und gleichverteilte Belastungen sind in Tabelle 77 dargestellt. Dabei wird zwischen $q_{r,l}$ und $q_{r,r}$ – der Restfläche am linken und rechten Rand – unterschieden. Die unbelasteten Kappen wurden vereinfacht beidseitig mit einem Wert von 0.5 m berücksichtigt.

Tabella 77: Einwirkungseffekte infolge LM1 für Benchmark-Berechnung

Q_1	Q_2	q_1	q_2	$q_{r,l}$	$q_{r,r}$
2977.78	1593.07	1957.74	442.36	516.20	0

Daraus ergibt sich ein charakteristischer Wert für die Einwirkungseffekte des Lastmodells 1 von $E_k(LM1) = 7487.15 \text{ kNm}$.

Der $\alpha_{Q,q}$ -Wert lässt sich nun bestimmen, indem der Bemessungswert infolge Verkehr durch den Bemessungswert des Lastmodells (wobei der Sicherheitsbeiwert mit $\gamma_Q = 1.35$ angesetzt wird) dividiert wird:

$$\alpha_{Q,q} = \frac{4131.5}{\gamma_Q \cdot 7487.15} = 0.408$$

13.6. Ergebnisse der videobasierten Erfassung von Fahrzeug- distanzen und Zeitlücken

Die Abbildungen in der folgenden Tabelle zeigen den Vergleich zwischen dem Histogramm identifizierter Fahrzeugabstände und den angepassten Verteilungen. Gezeigt sind die Auswertungen für folgende Kombinationen von Fahrzeugtypen:

- PKW-PKW: Fahrzeugabstände zwischen PKWs
- PKW-LKW: LKW folgt einem PKW
- LKW-PKW: PKW folgt einem LKW
- LKW-LKW: Fahrzeugabstände zwischen LKWs

Tabelle 78: Identifizierte Netto-Fahrzeugabstände an Messstellen in Deutschland im Geschwindigkeitsbereich von 1 bis 5 km/h

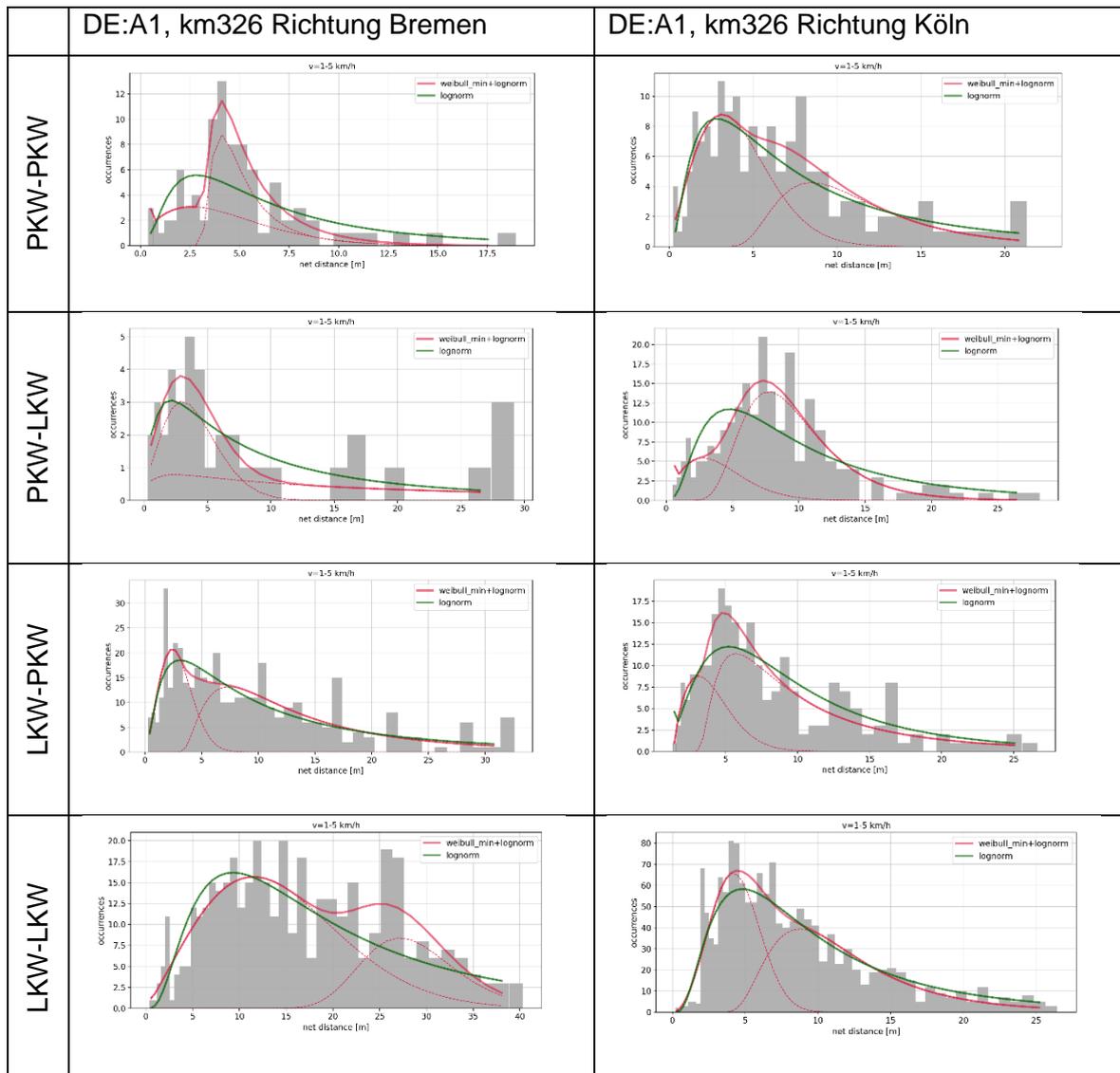


Tabelle 79: Identifizierte Netto-Fahrzeugabstände an Messstellen in Deutschland im Geschwindigkeitsbereich von 5 bis 10 km/h

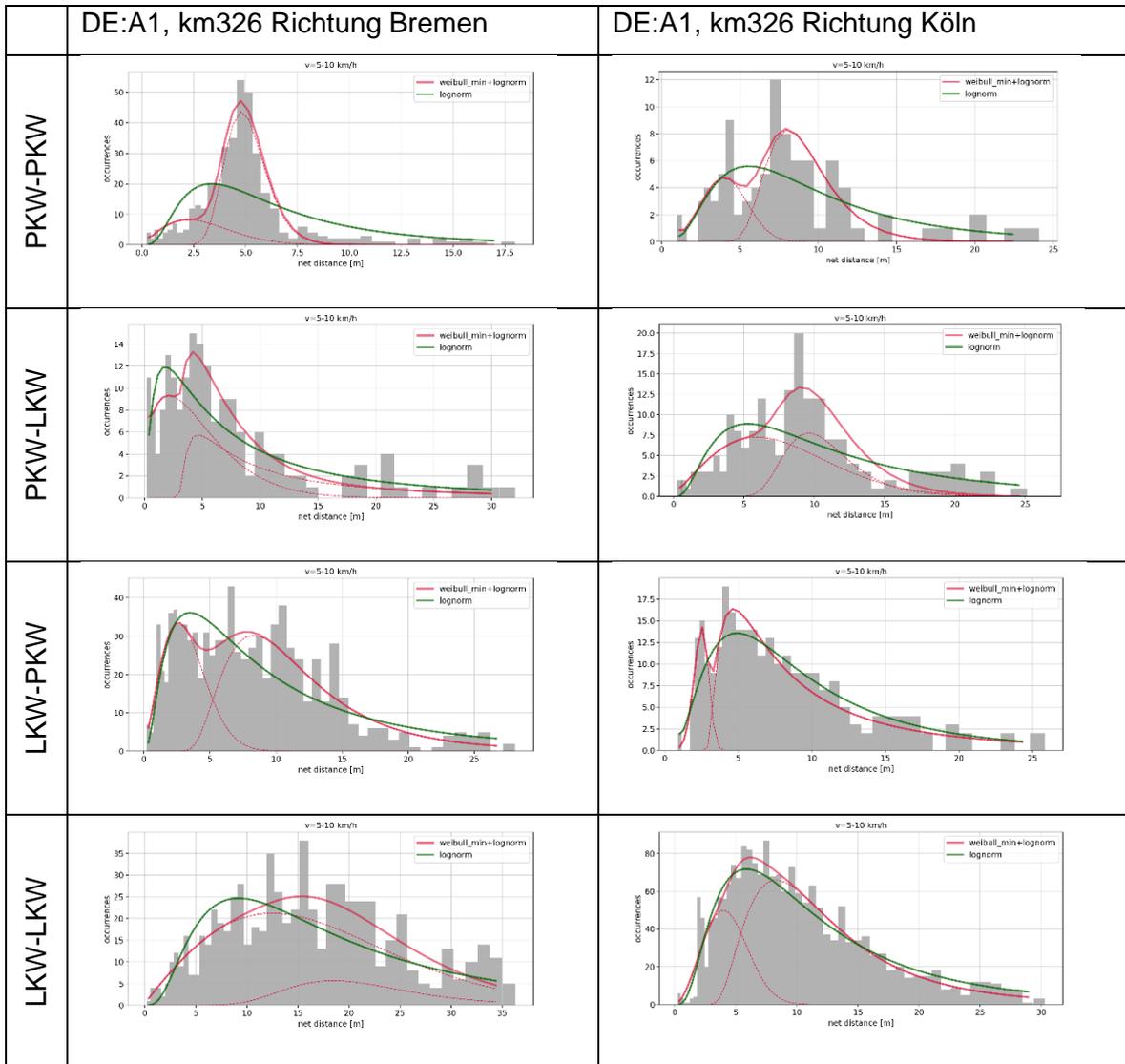
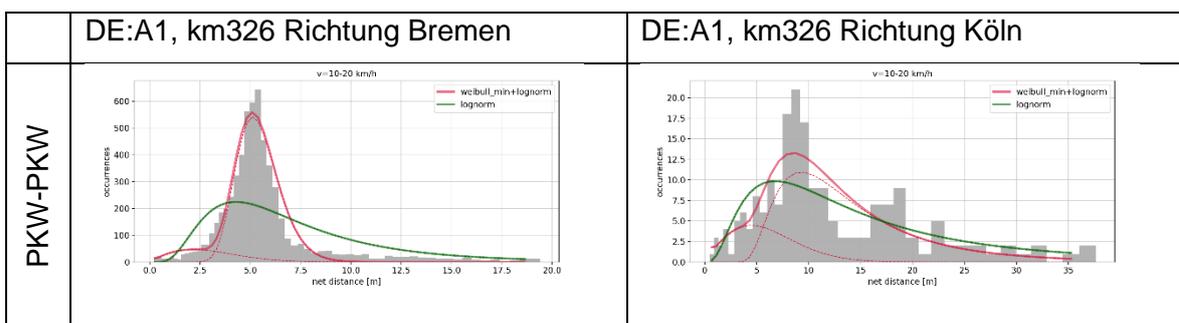
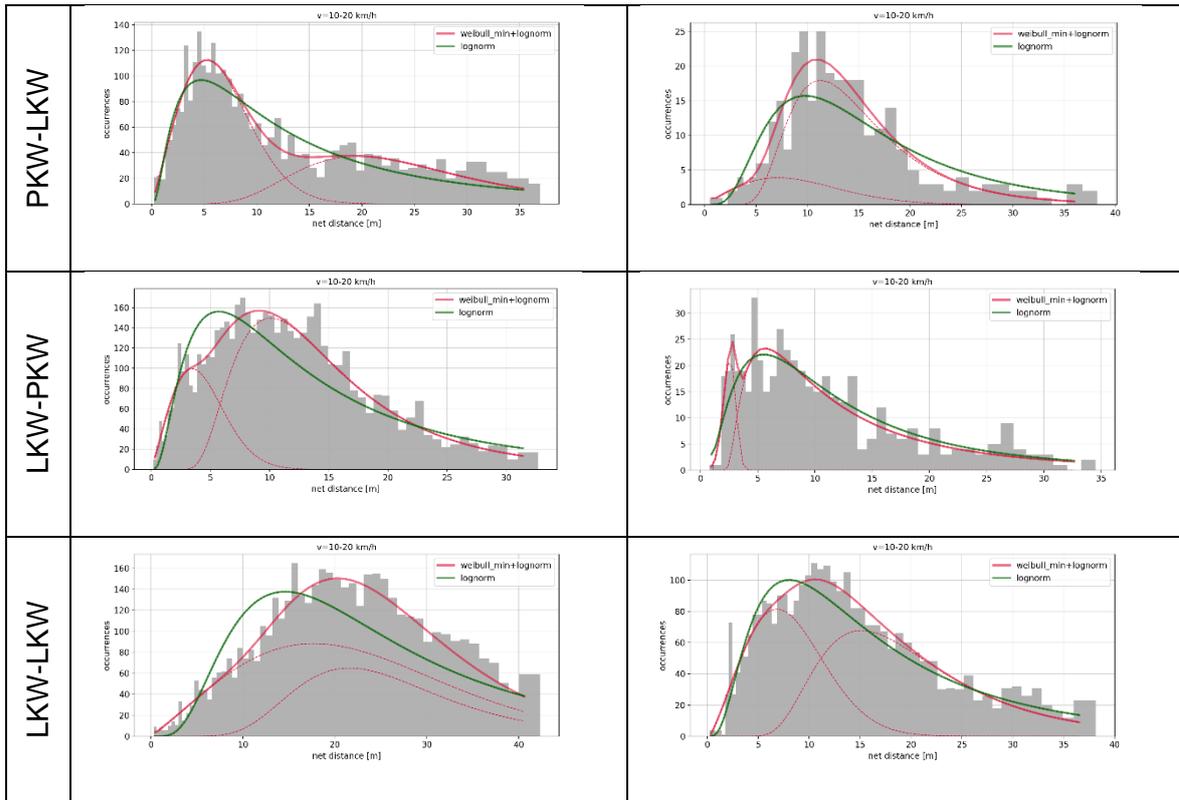


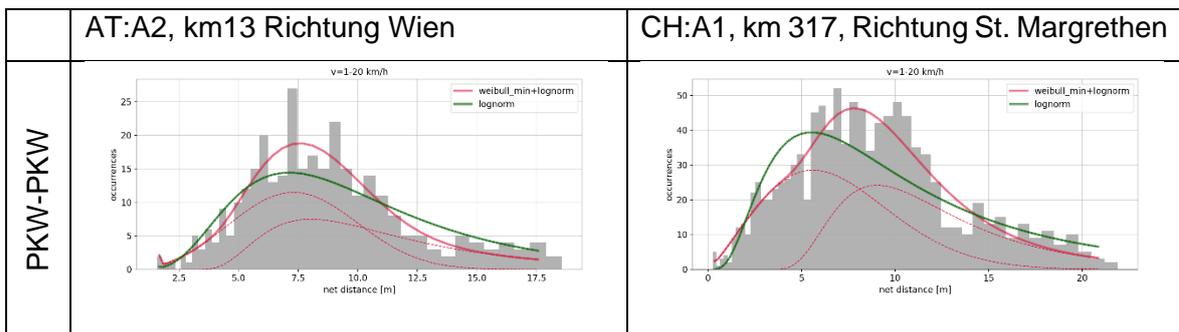
Tabelle 80: Identifizierte Netto-Fahrzeugabstände an Messstellen in Deutschland im Geschwindigkeitsbereich von 10 bis 20 km/h





Die Messstellen in Österreich und in der Schweiz enthielten wesentlich weniger Fahrzeuge im Stau, und zusätzlich auch einen kleineren LKW-Anteil. Deswegen war eine Auswertung der LKW-Abstände im Stau nicht möglich, sondern die Auswertung beinhaltet nur die PKWs.

Tabelle 81: Identifizierte Netto-Fahrzeugabstände an Messstellen in Österreich und in der Schweiz im Geschwindigkeitsbereich von 1 bis 20 km/h



Beim Fließverkehr wurden statt Abständen die Zeitlücken ausgewertet. Diese lassen sich mit bekannter Fahrtgeschwindigkeit in Abstände umrechnen.

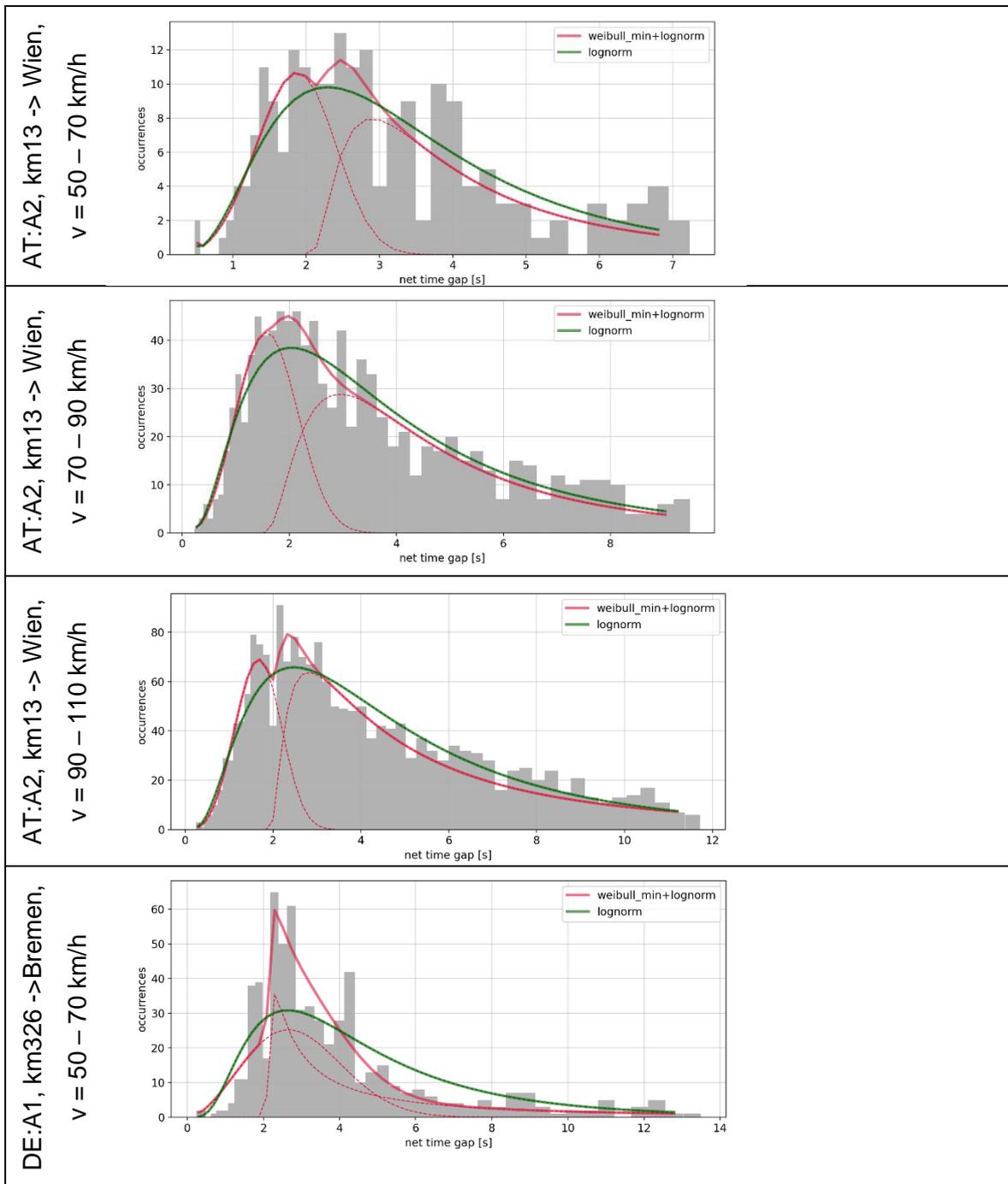
Tabelle 82 zeigt die Zeitlücken, die ohne Unterscheidung von Fahrzeugtypen identifiziert wurden.

Tabelle 82: Identifizierte Netto-Zeitlücken zwischen Fahrzeugen aller Typen im Fließverkehr

	v = 50 – 70 km/h	v = 70 – 90 km/h
DE:A1, km326 >Bremen		Nicht genug Daten
DE:A1, km326 >Köln		Nicht genug Daten
AT:A2, km13 -> Wien		
CH:A1, km 317		

Die Zeitlücken zwischen LKW-Paaren im Fließverkehr (Tabelle 83) konnten nur an manchen Messstellen ausgewertet werden, aufgrund geringerer Datenmenge.

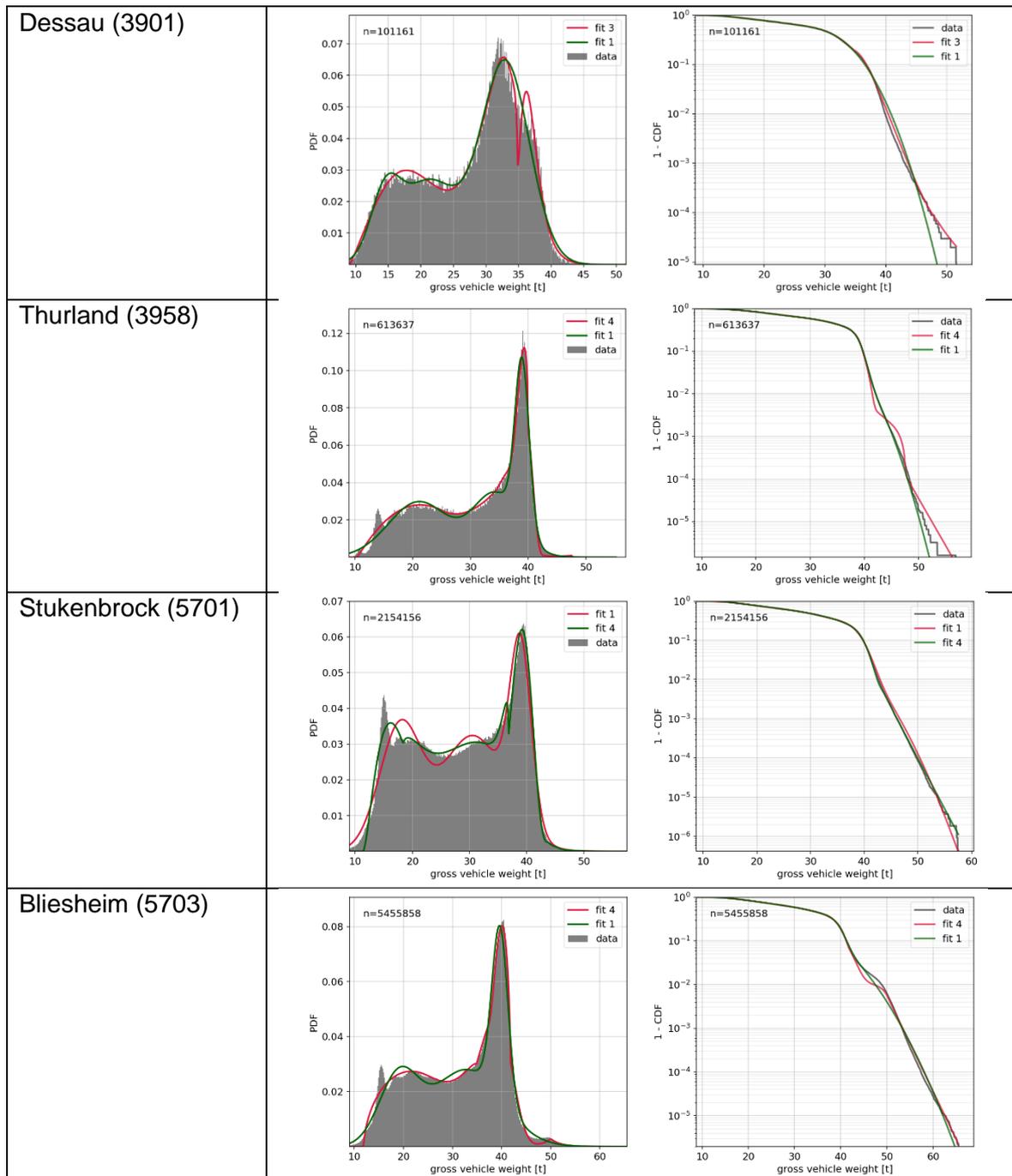
Tabelle 83: Identifizierte Netto-Zeitlücken zwischen den LKWs im Fließverkehr

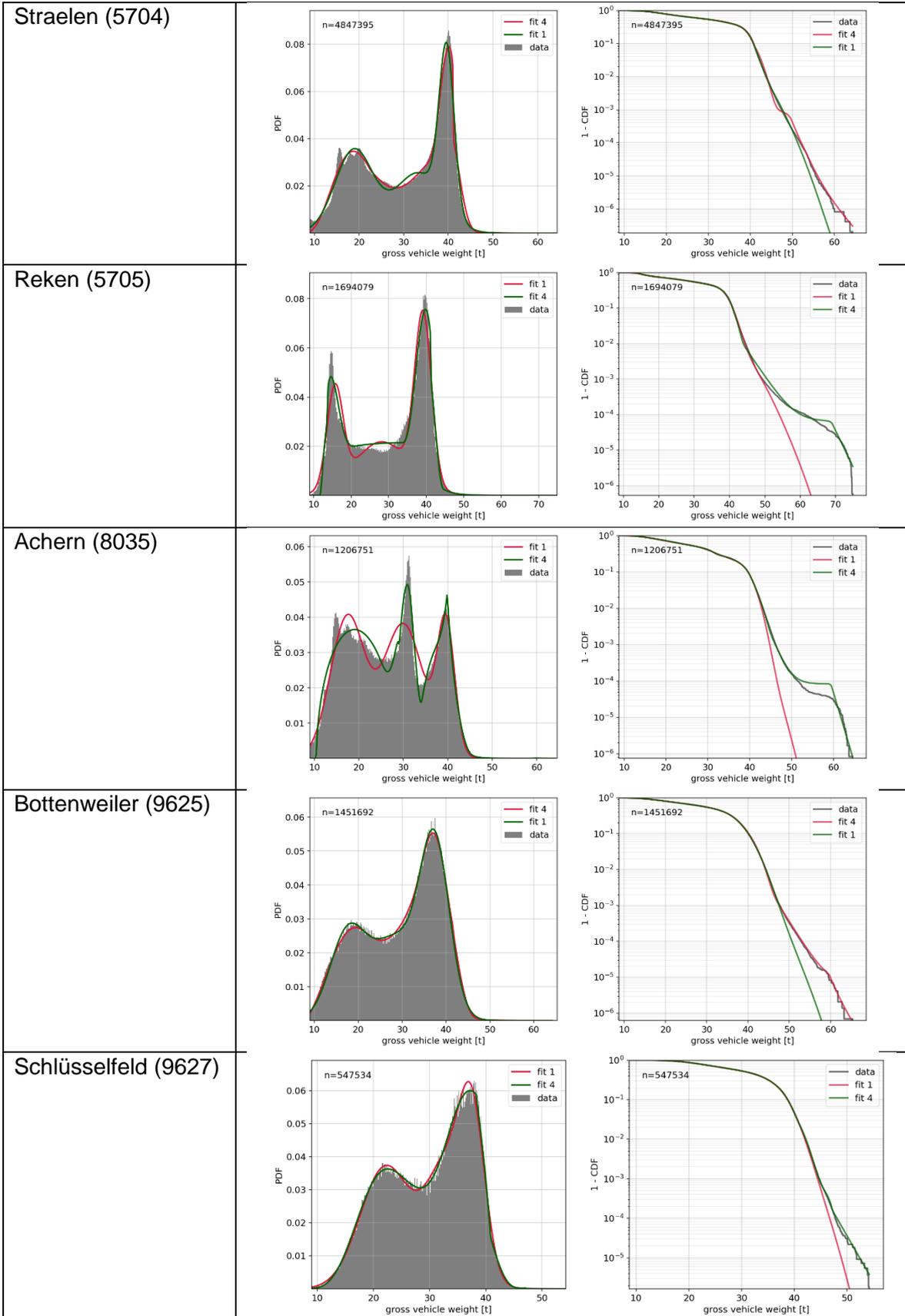


13.7. Anpassung von Gesamtgewichtsverteilungen an WIM-Daten

Die folgenden Tabellen zeigen die von den WIM-Anlagen erfassten Gesamtgewichte ausgewählter Fahrzeugtypen. Dargestellt sind pro WIM-Messstelle: die erfassten Gewichte (in grau), die daran angepasste multimodale Normalverteilungen (fit 1), sowie angepasste multimodale Verteilungen mit gemischten Verteilungstypen (fit 3, fit 4, fit 99).

Tabelle 84: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 113a an deutschen WIM-Messstellen





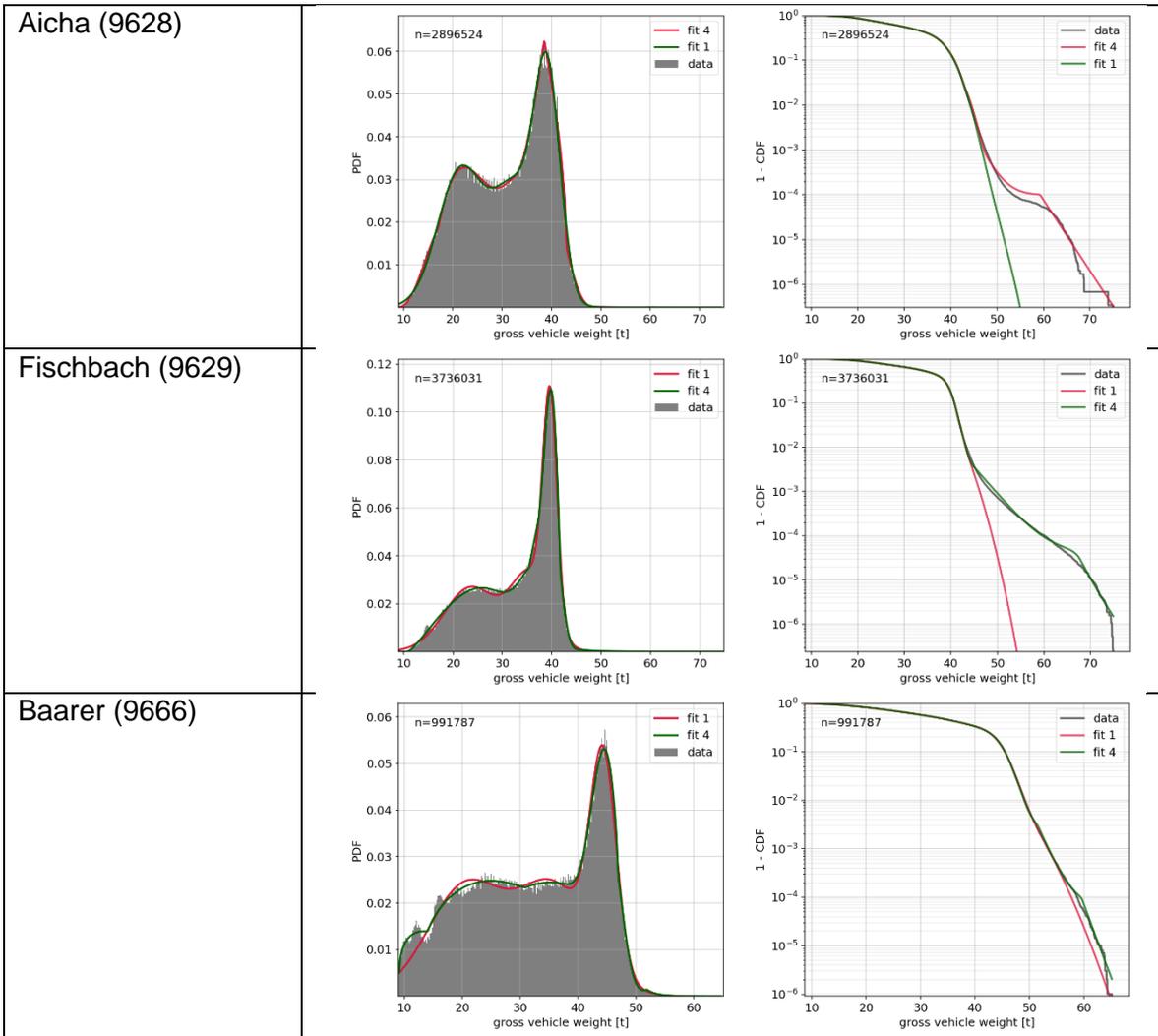
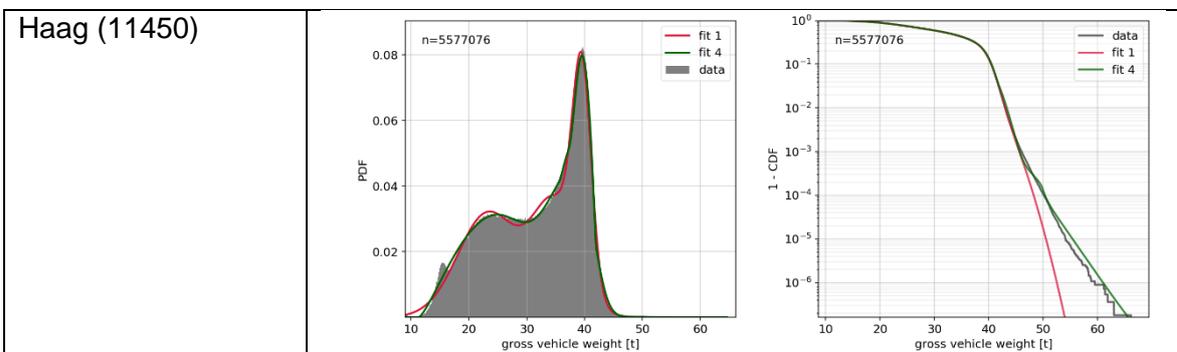
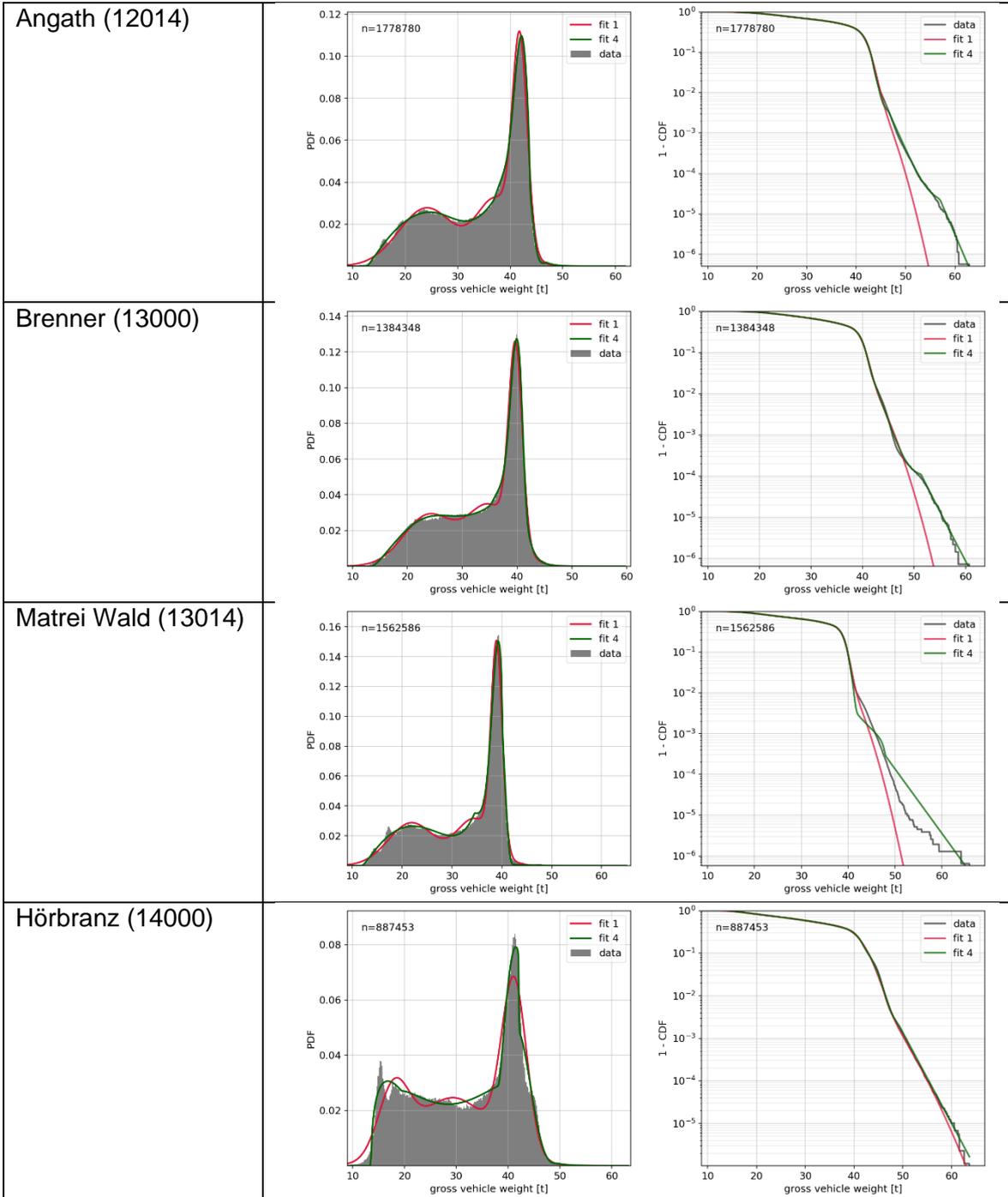


Tabella 85: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 113a an österreichischen WIM-Messstellen





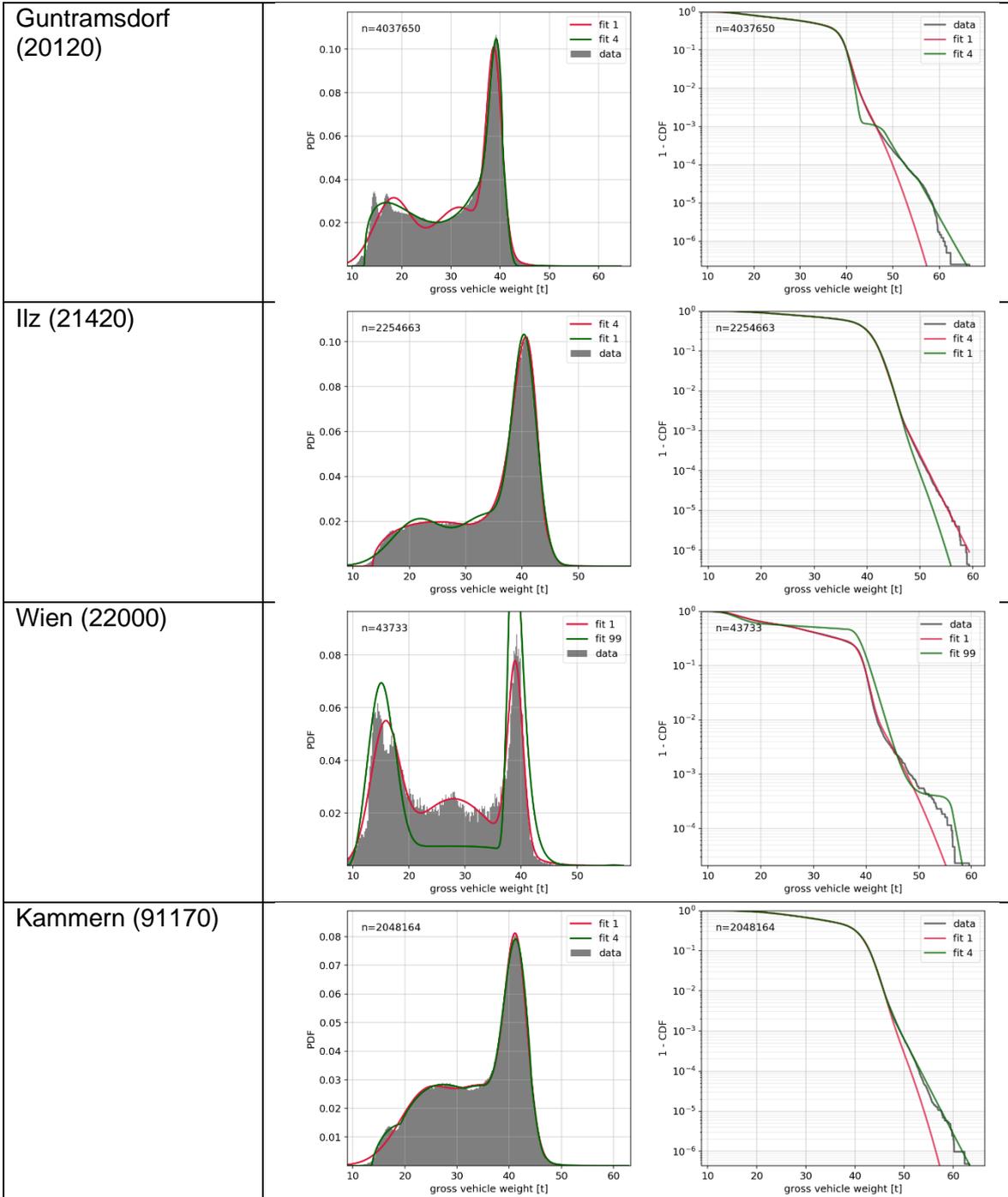
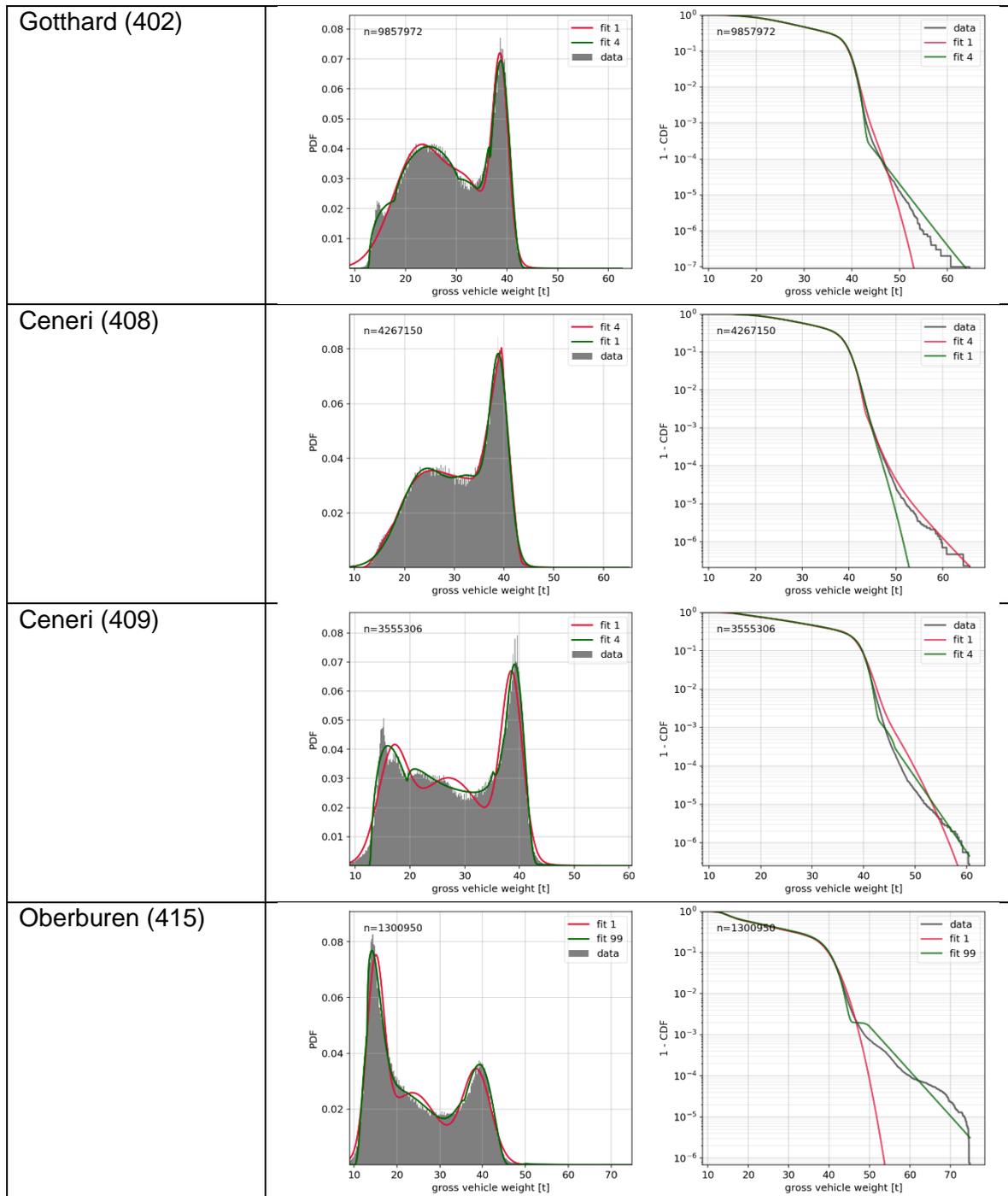
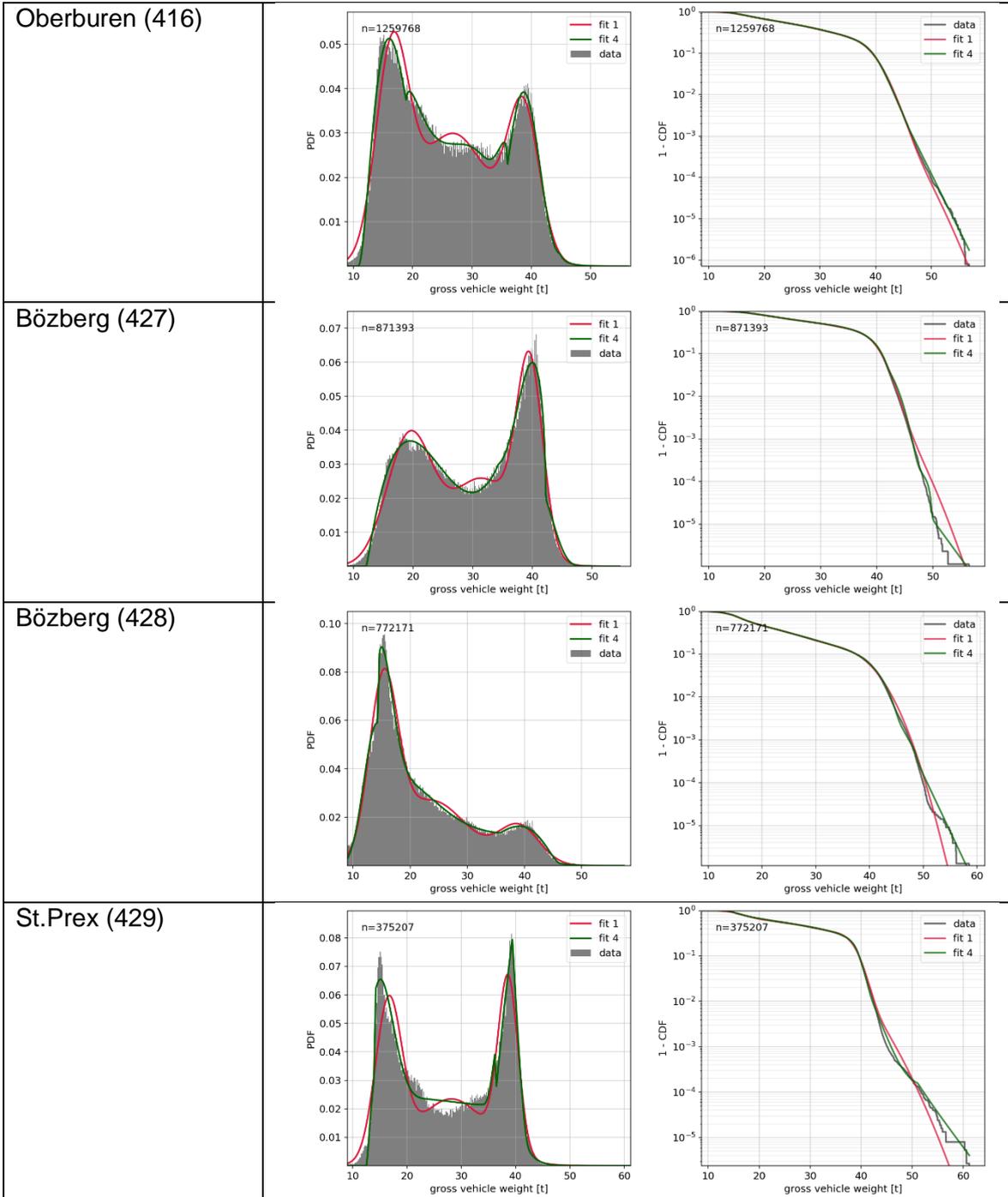
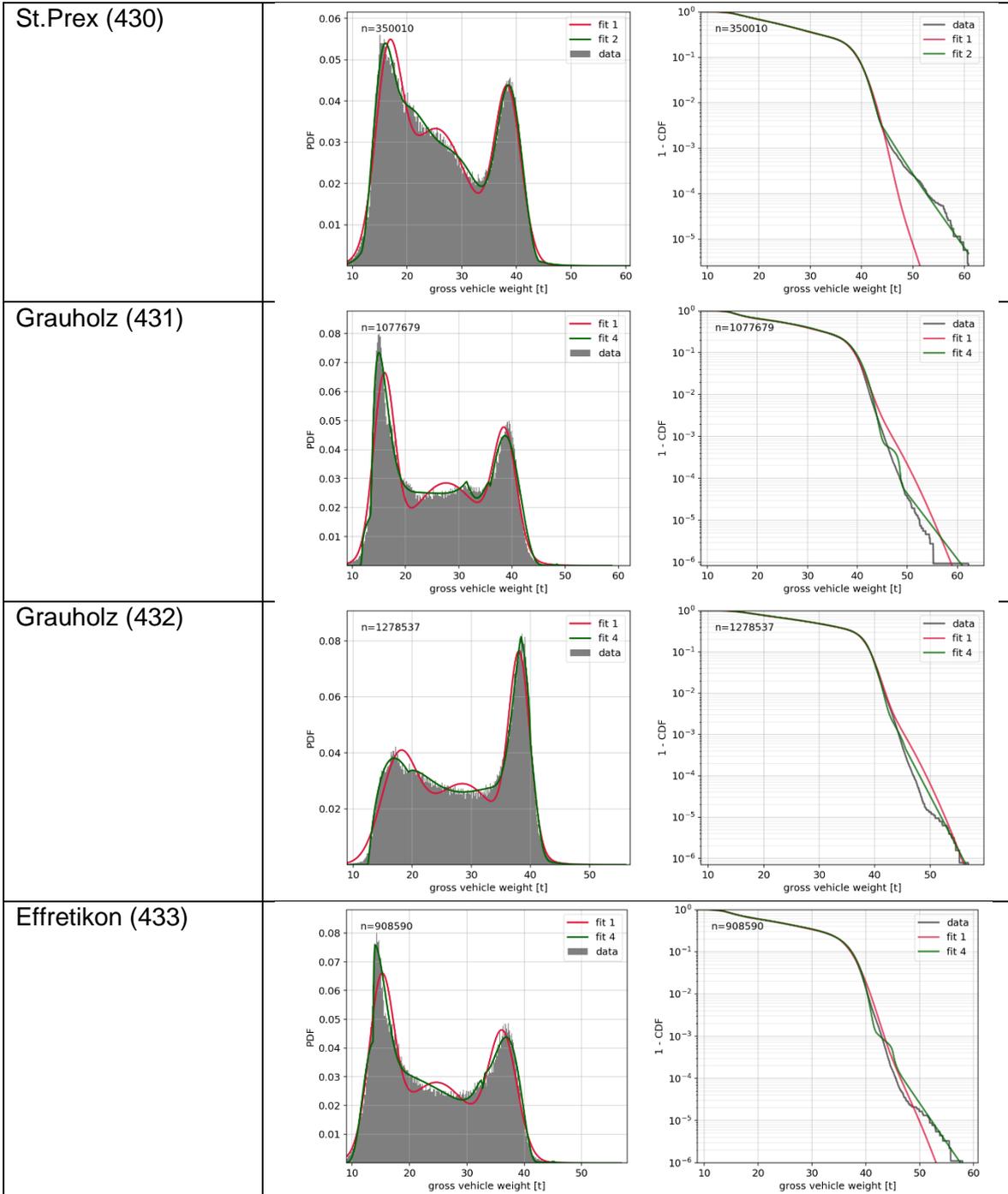


Tabelle 86: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 113a an den Schweizer WIM-Messstellen







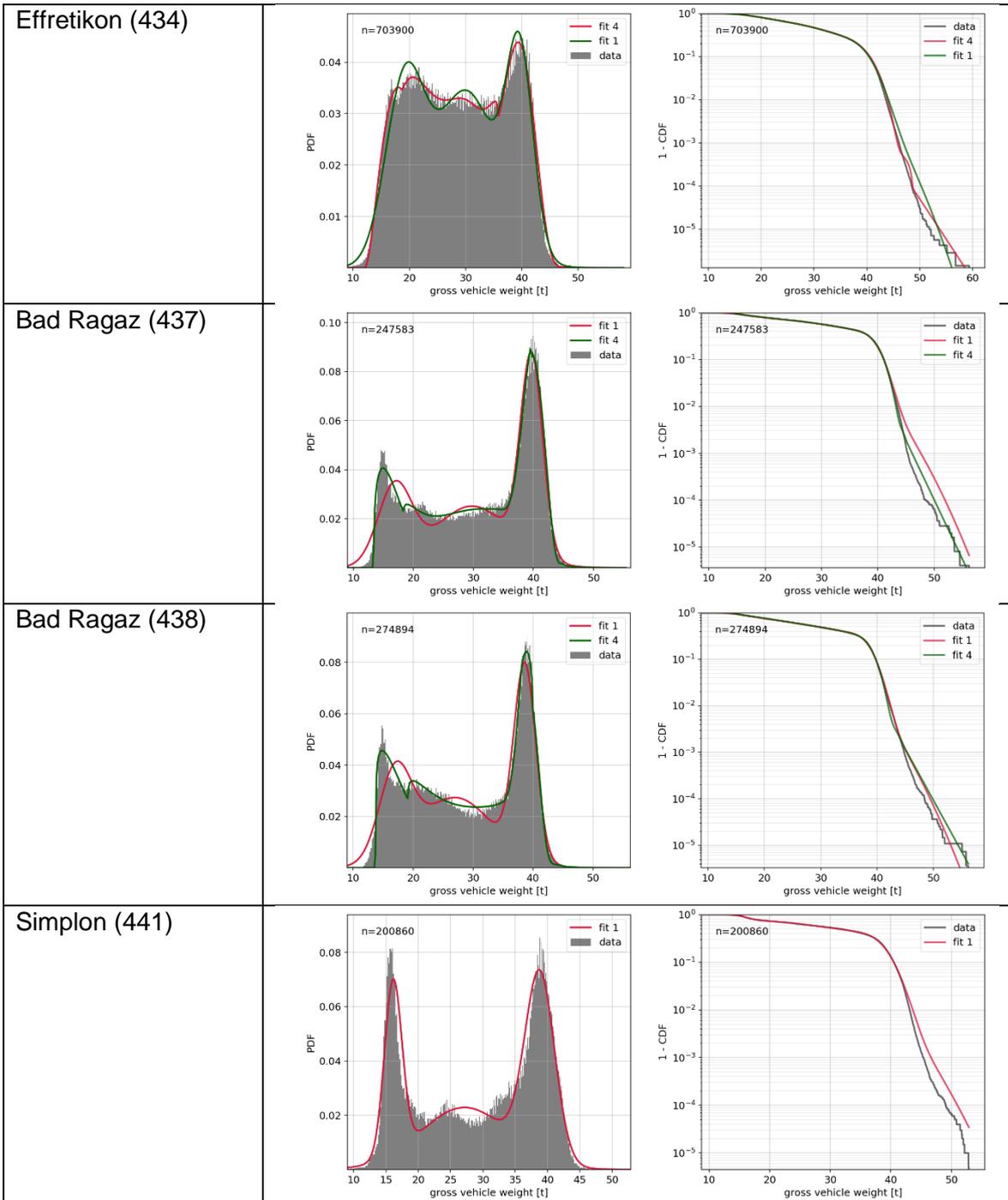
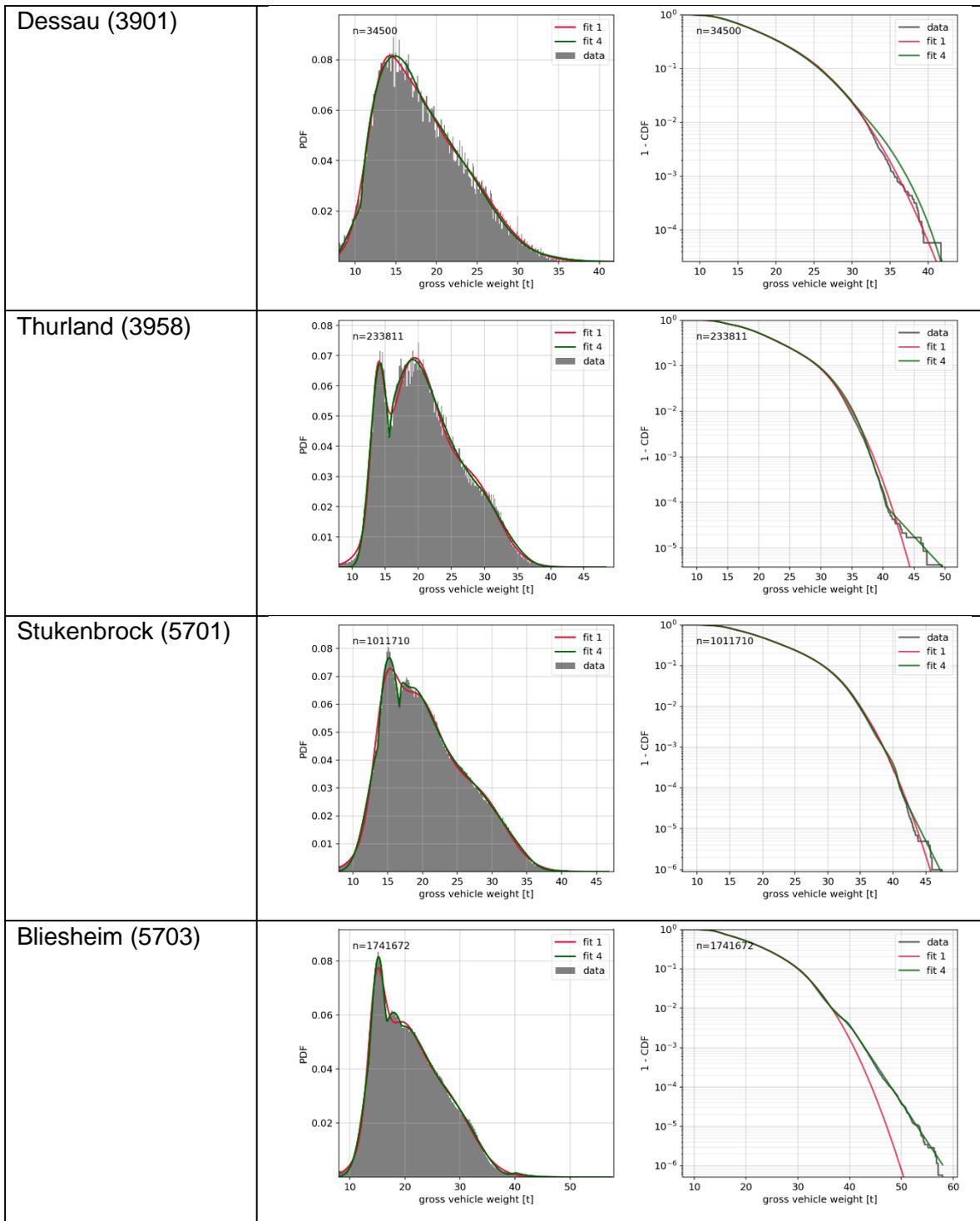
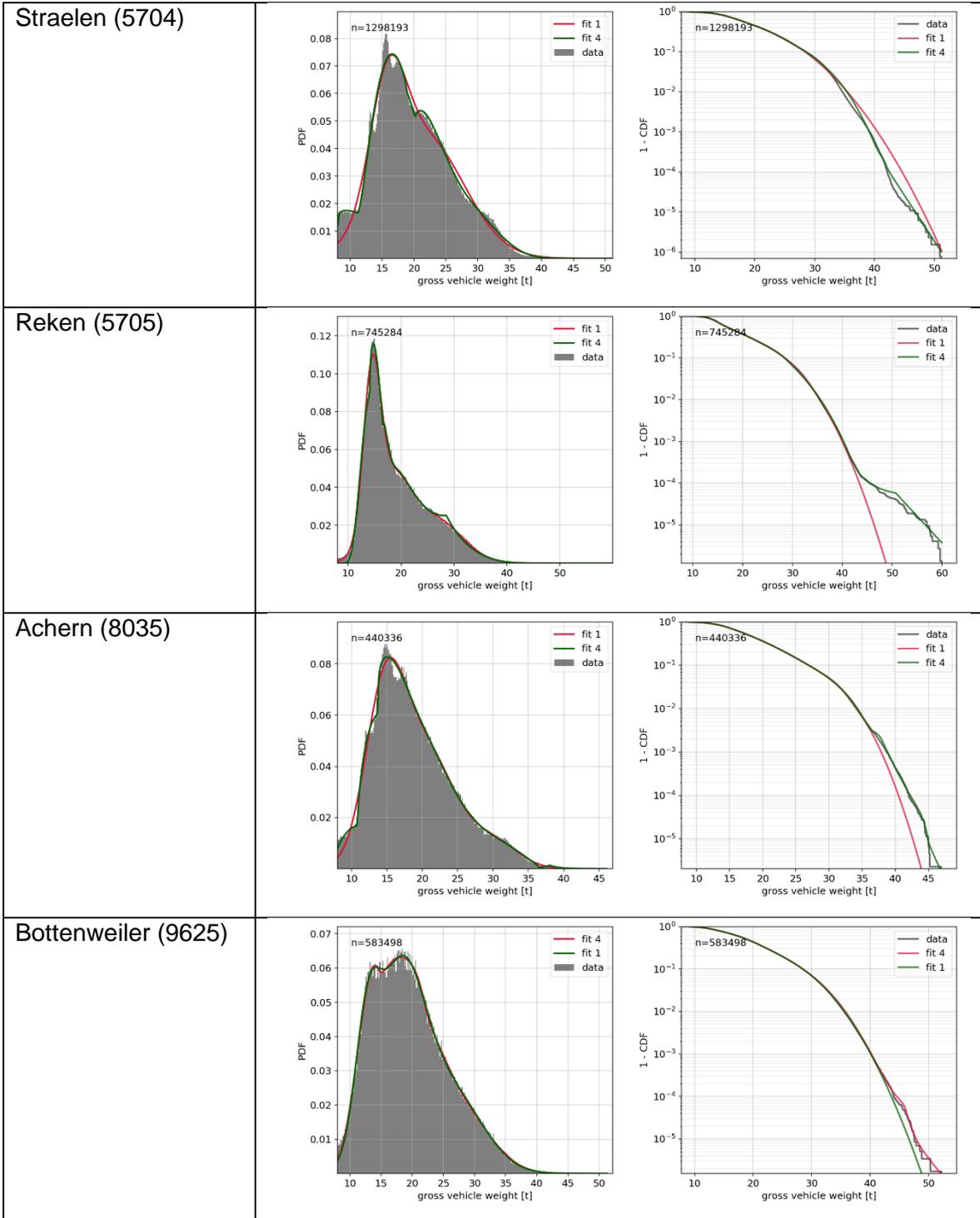


Tabelle 87: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 112a an deutschen WIM-Messstellen





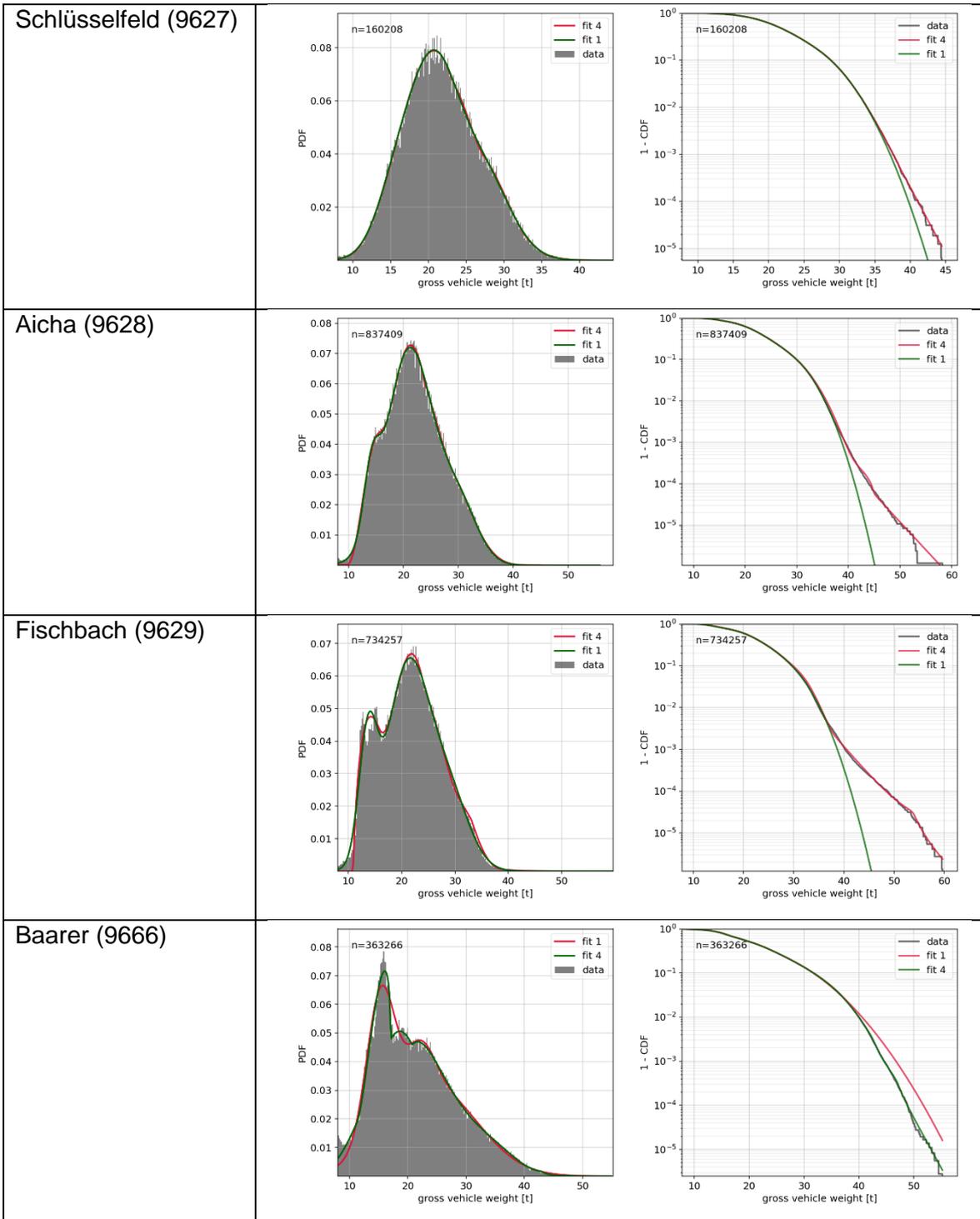
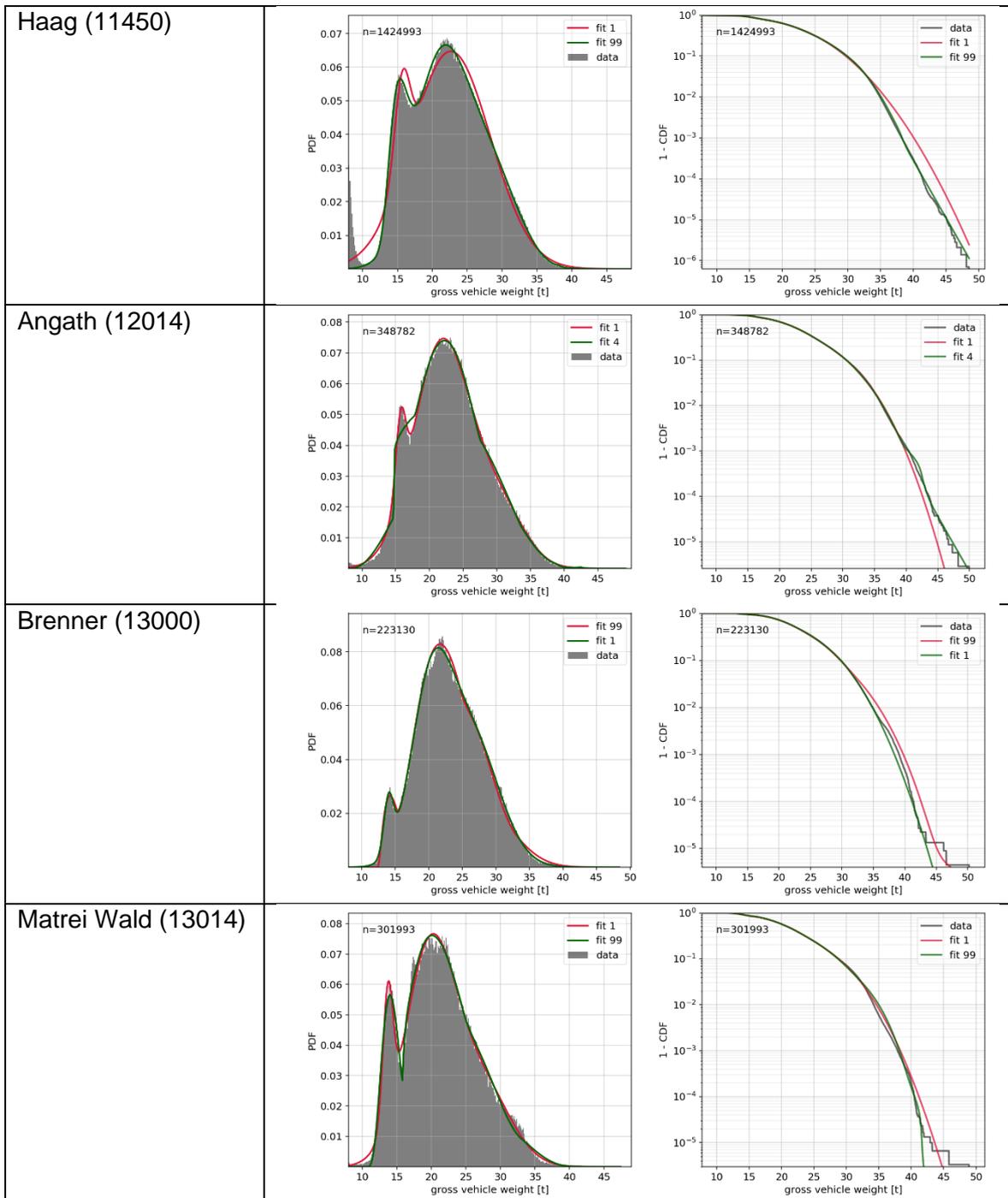
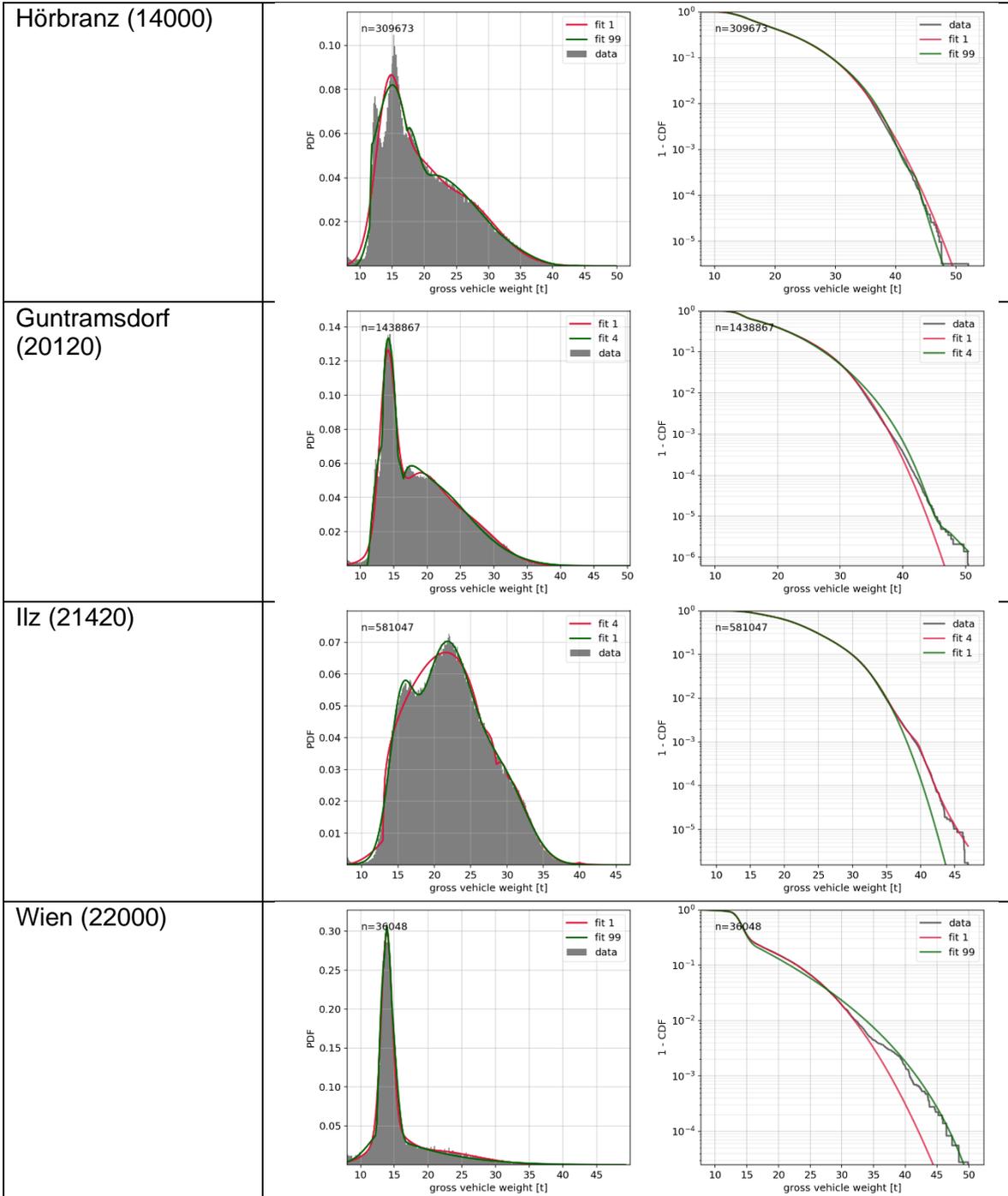


Tabelle 88: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 112a an österreichischen WIM-Messstellen





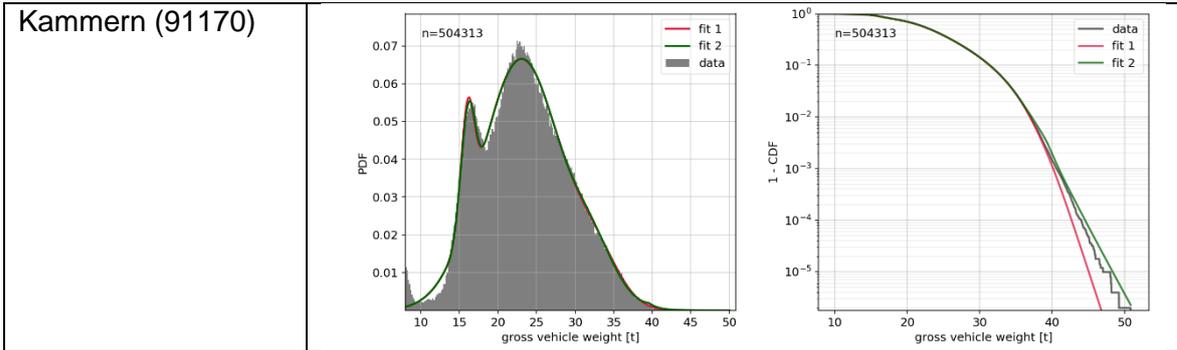
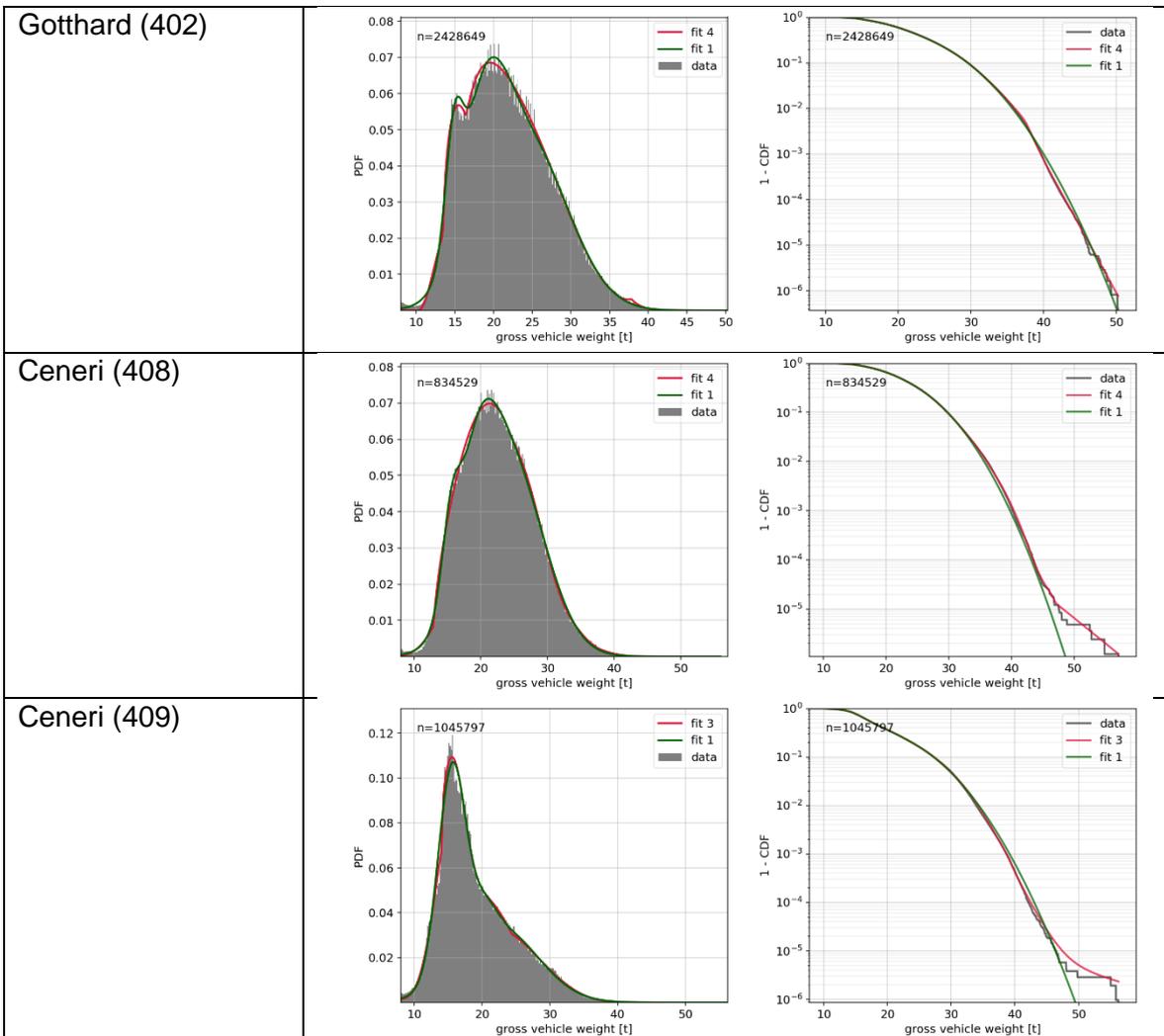
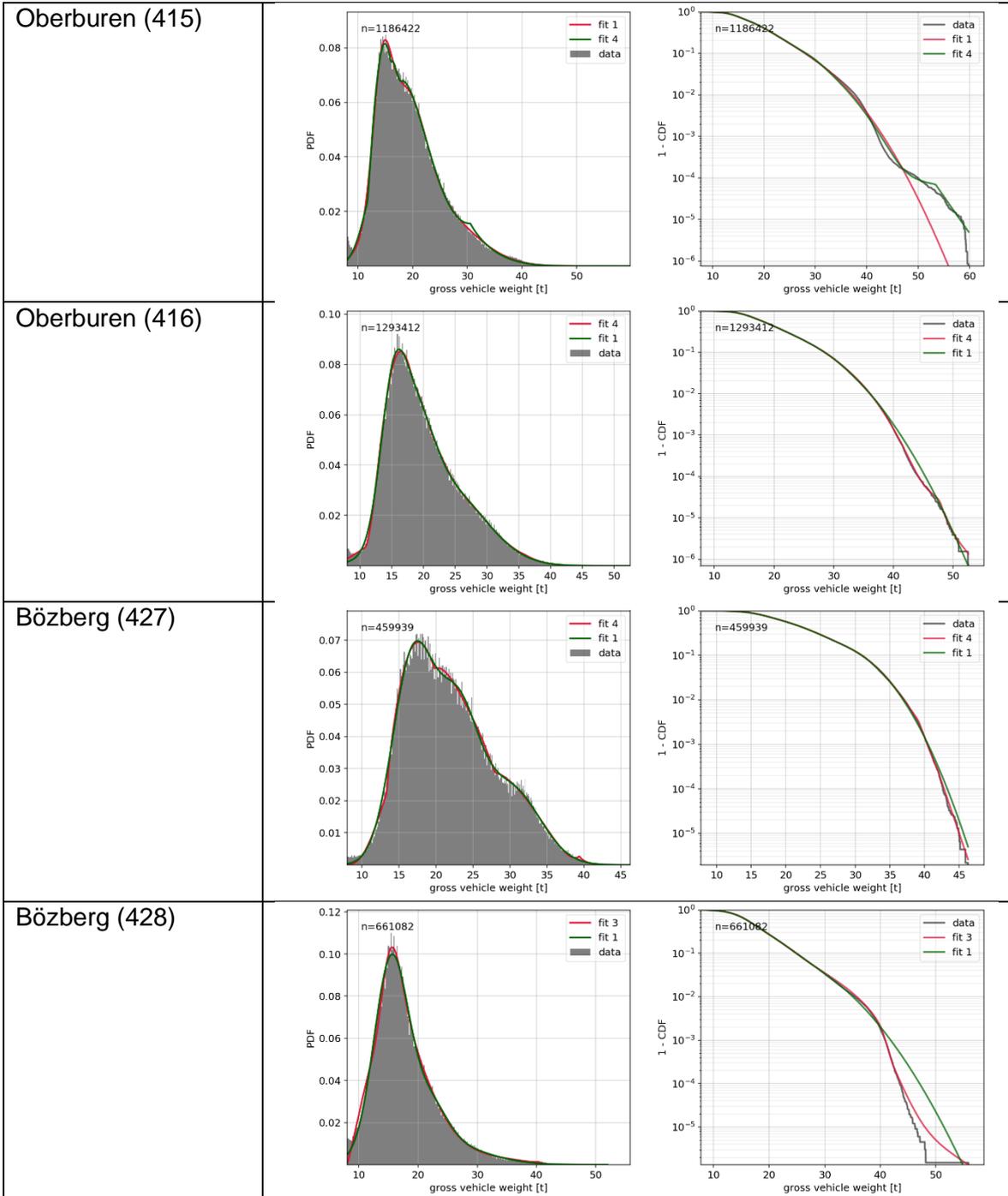
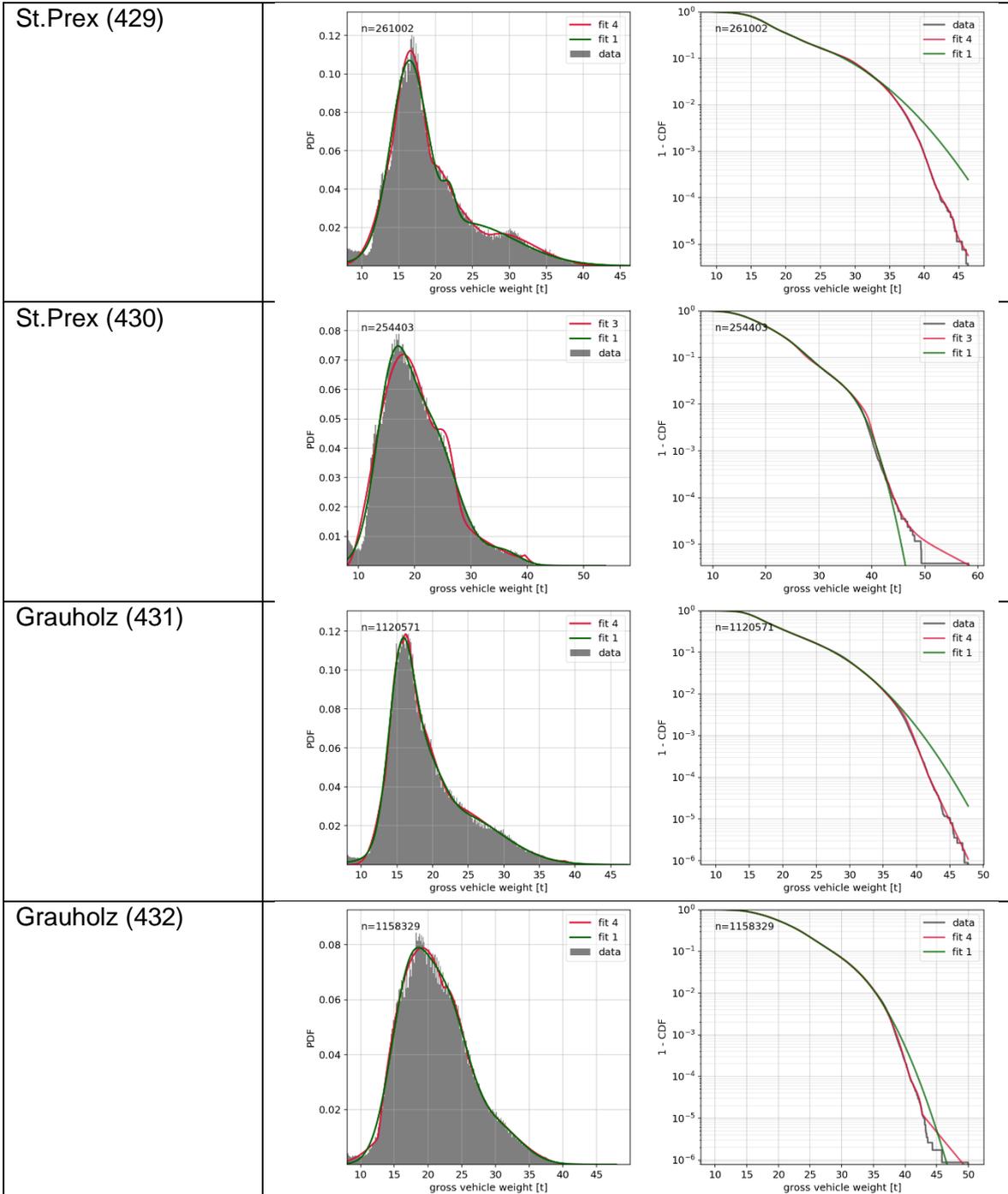
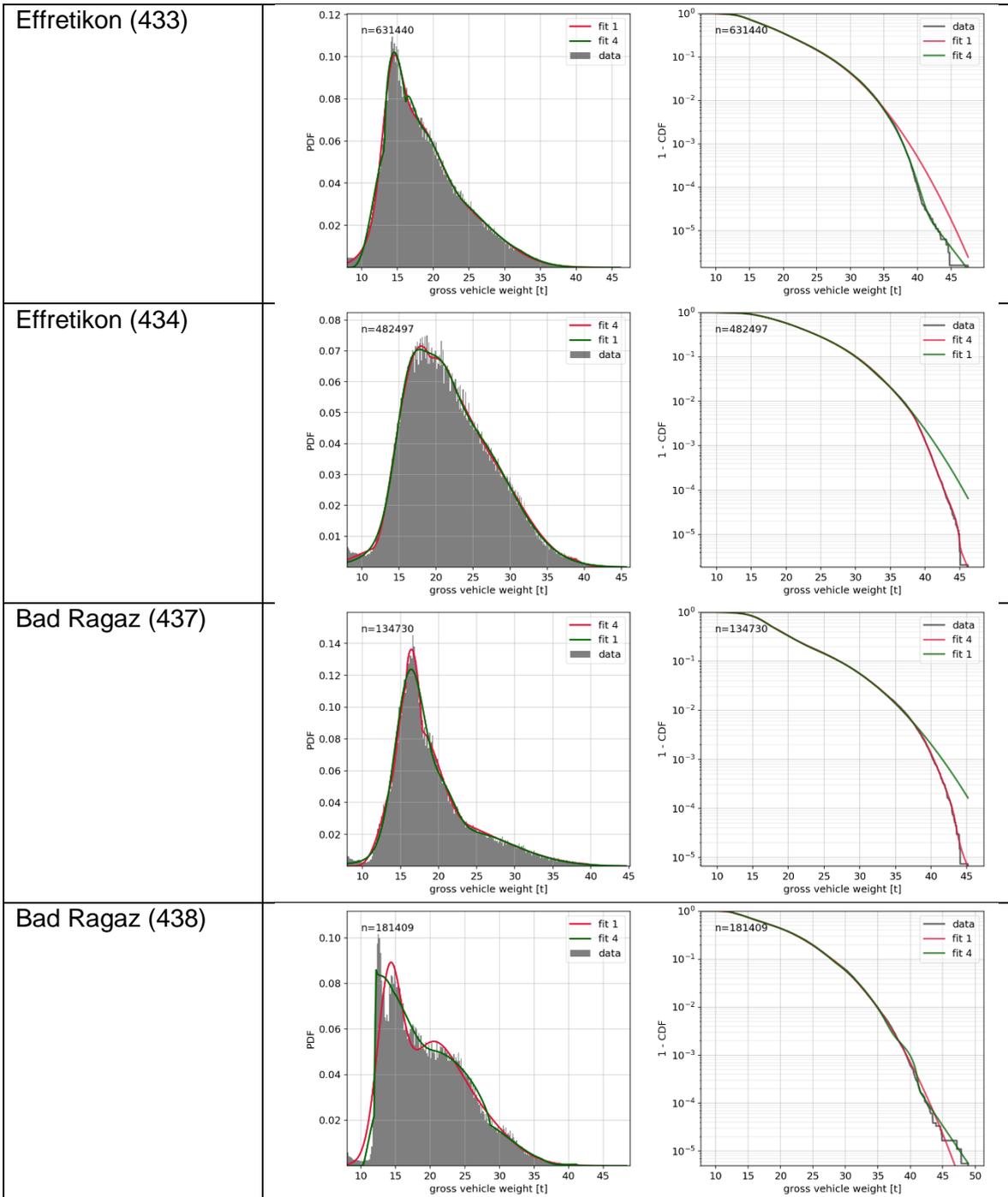


Tabelle 89: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 112a an den Schweizer WIM-Messstellen









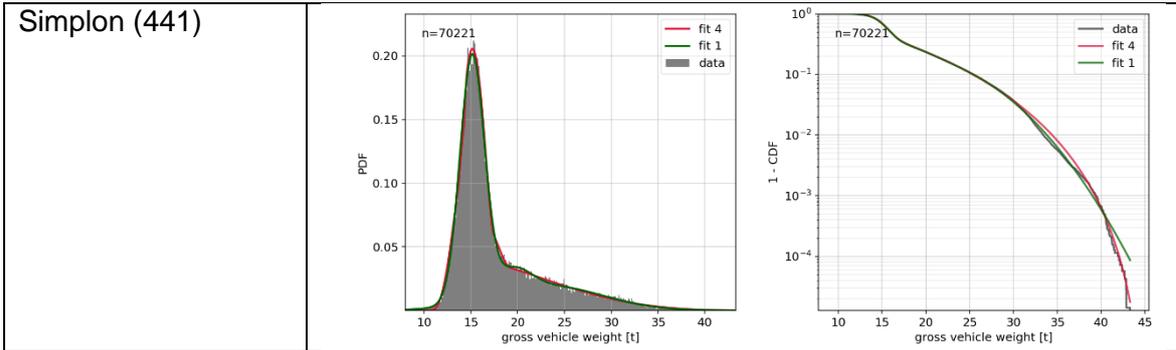
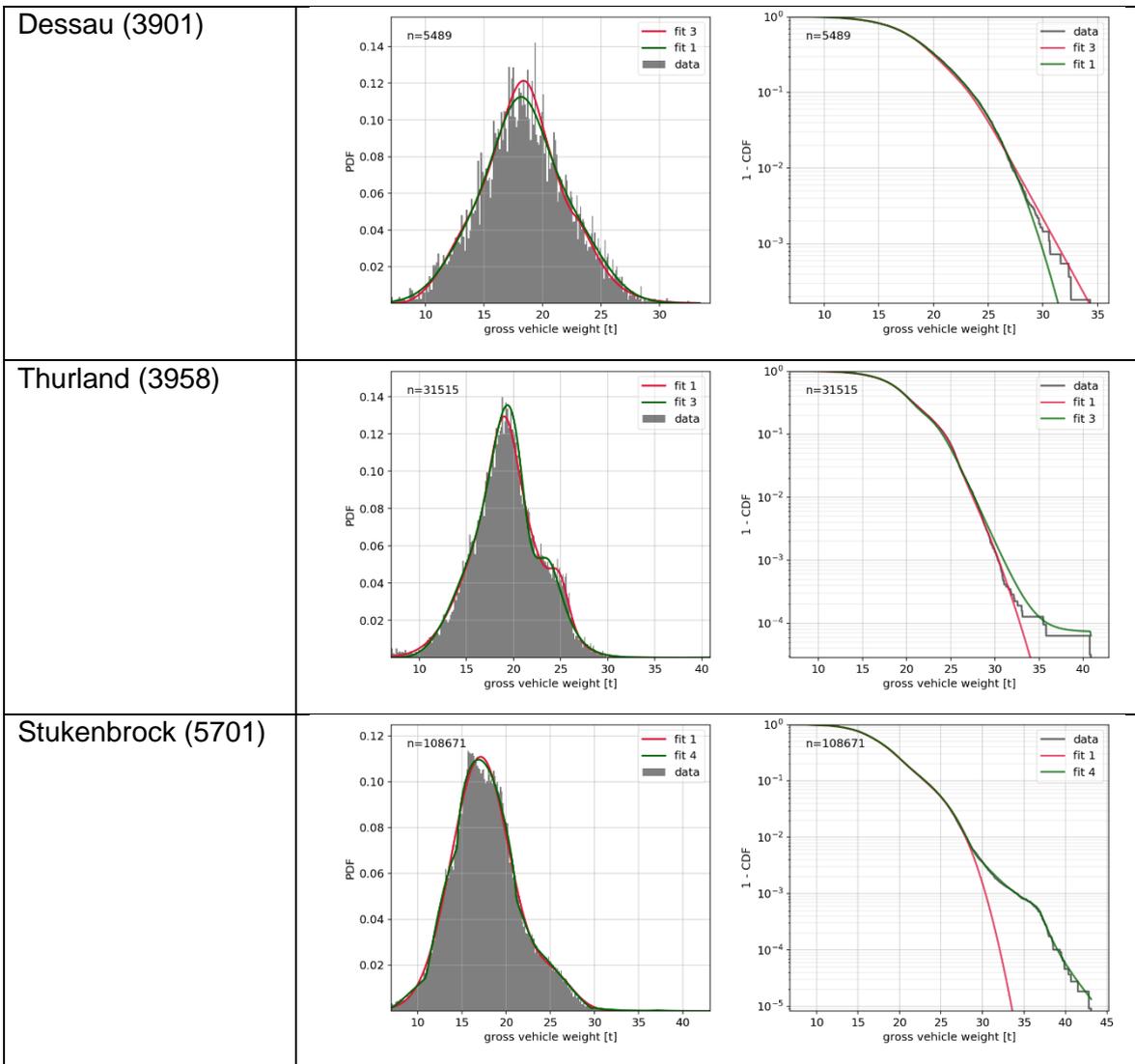
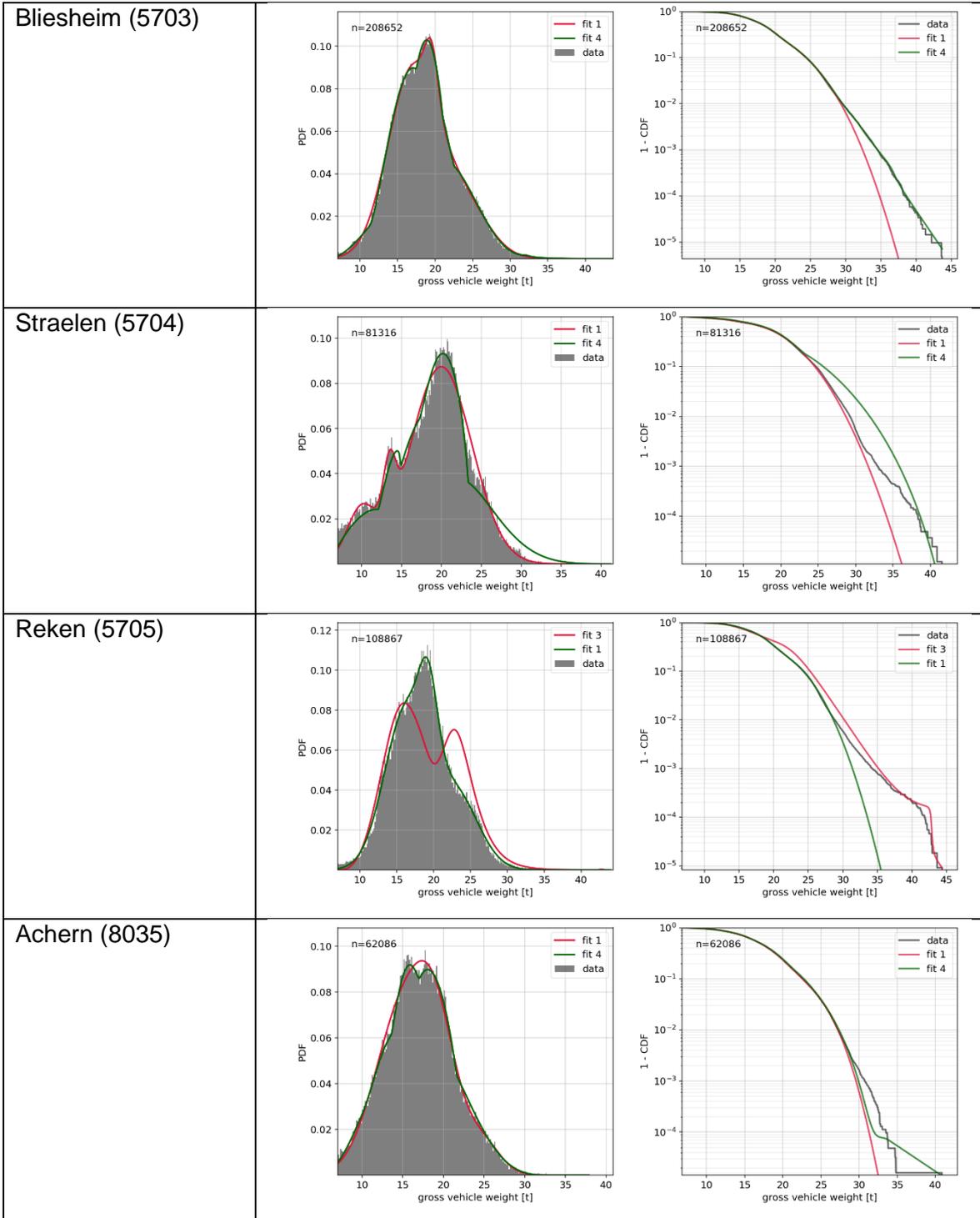
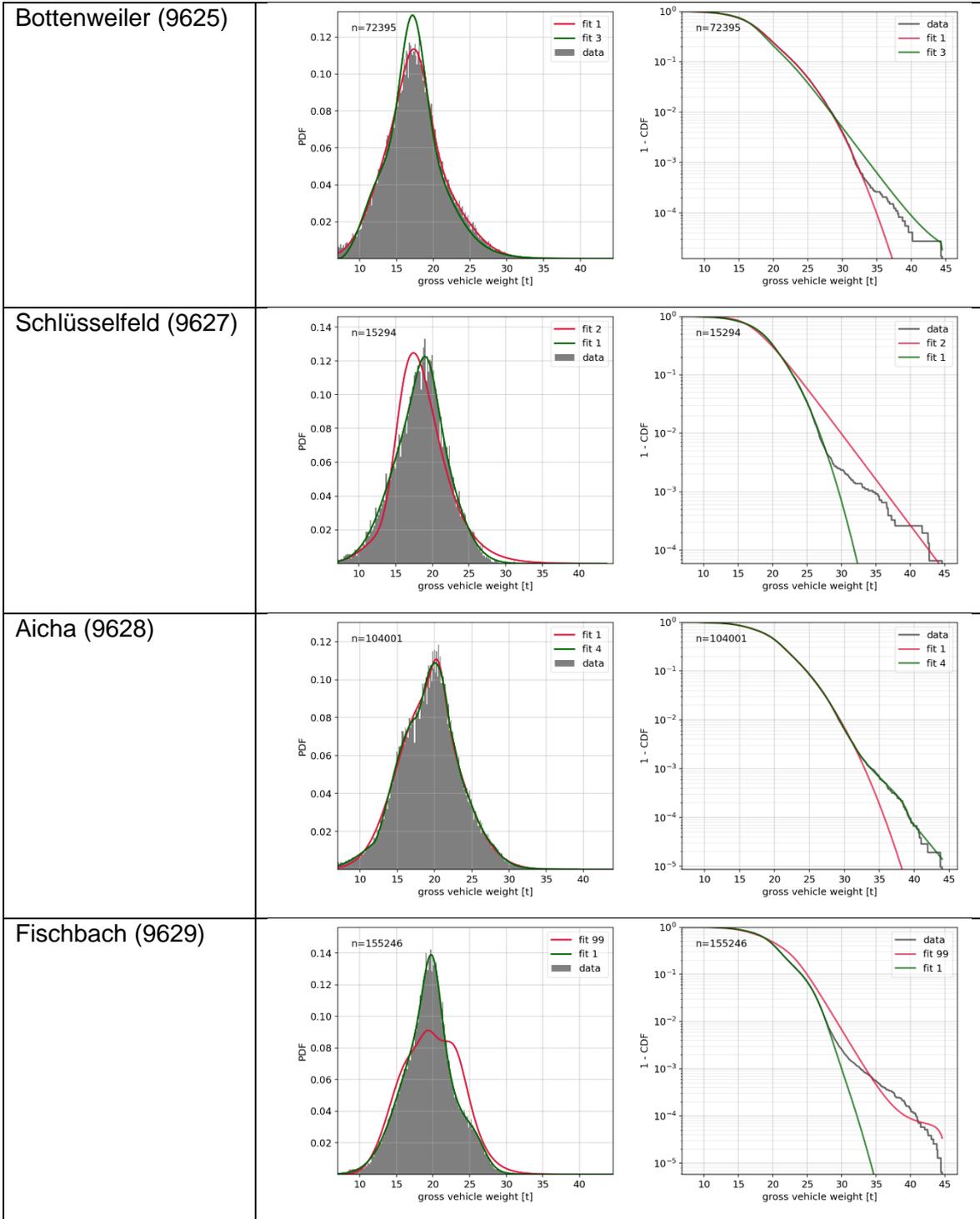


Tabelle 90: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 12 an deutschen WIM-Messstellen







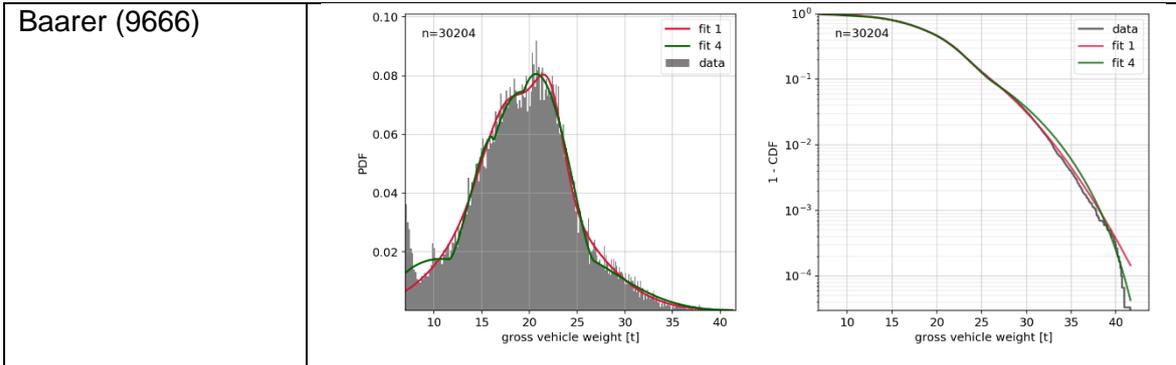
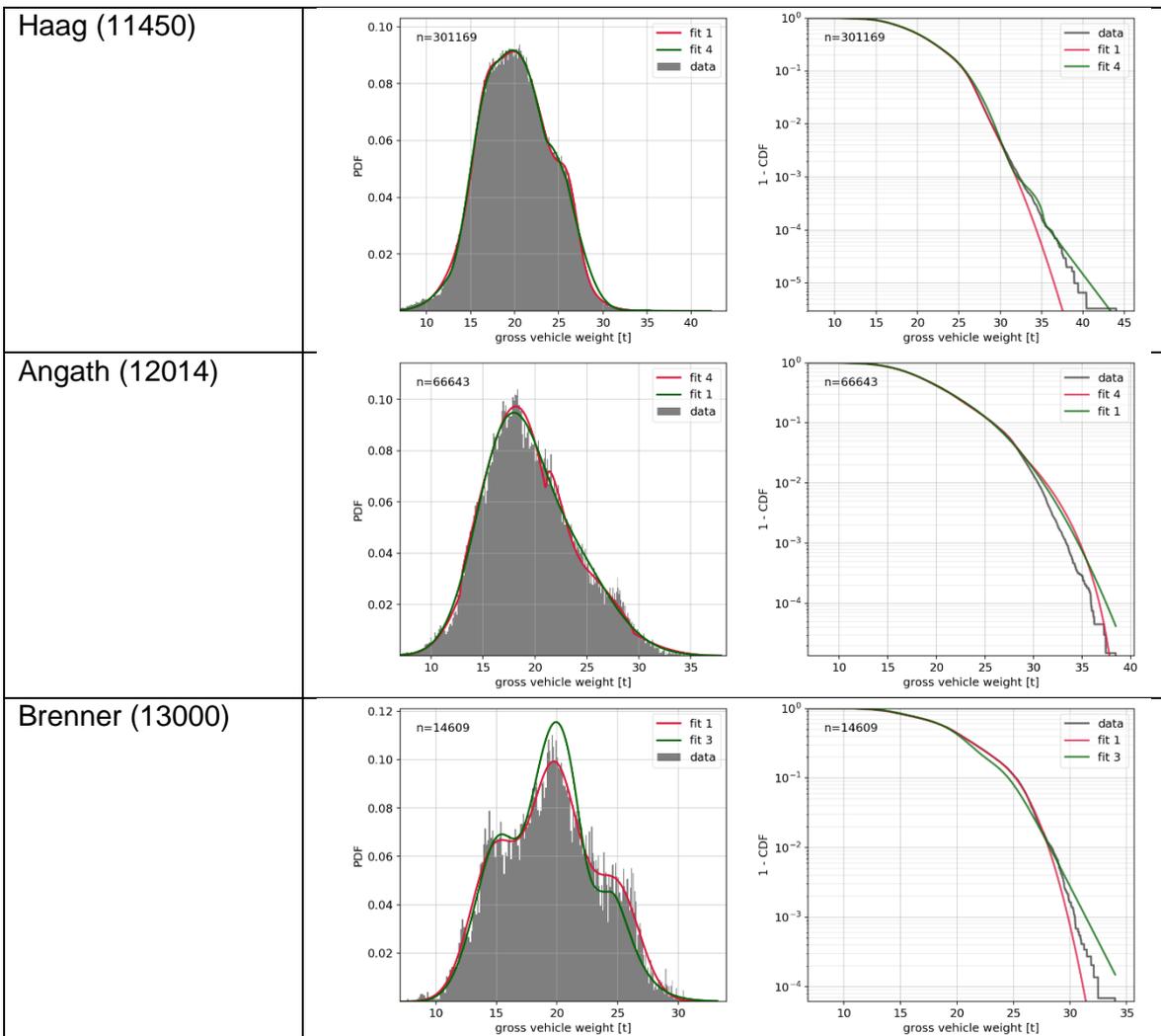
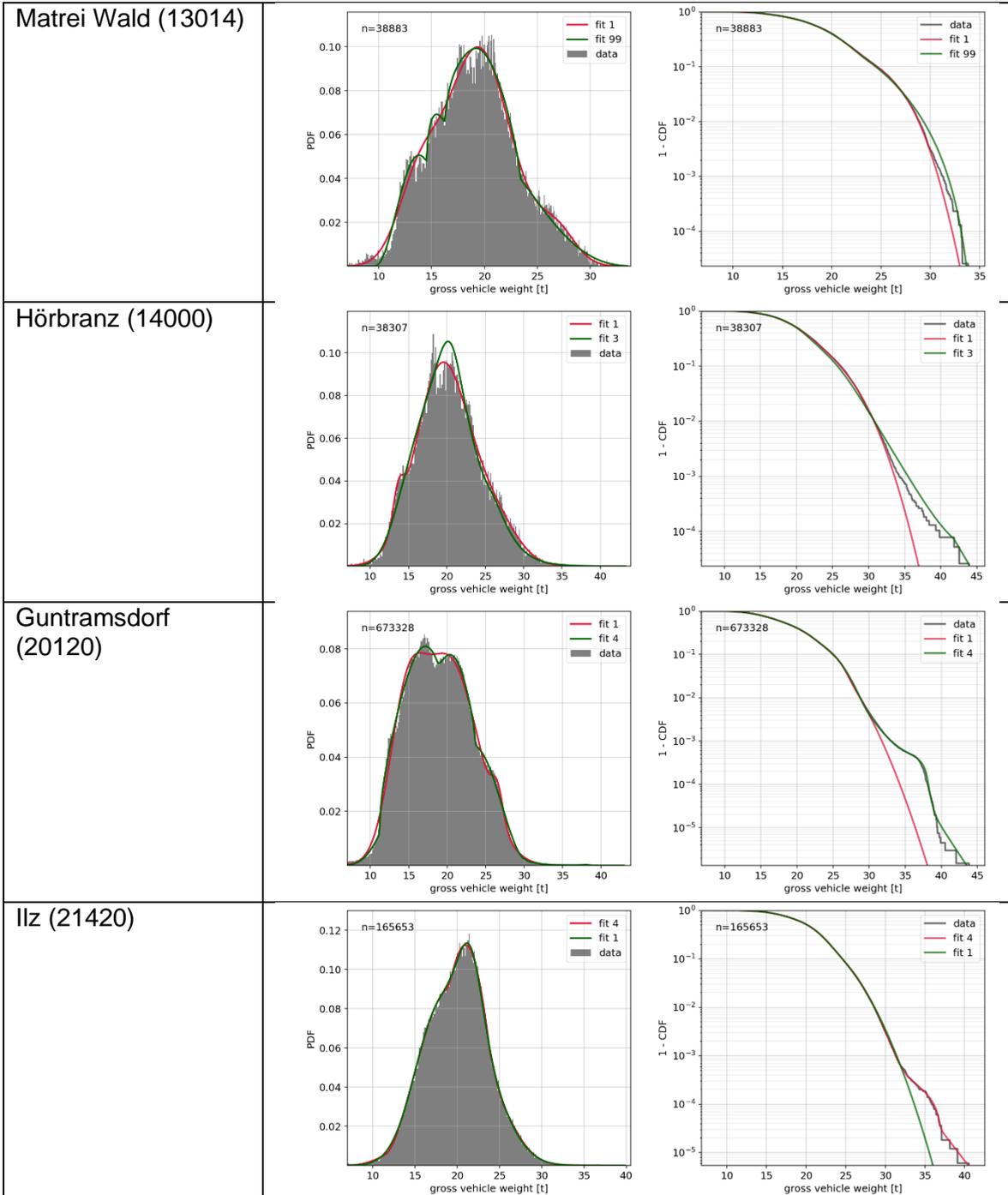


Tabelle 91: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 12 an österreichischen WIM-Messstellen





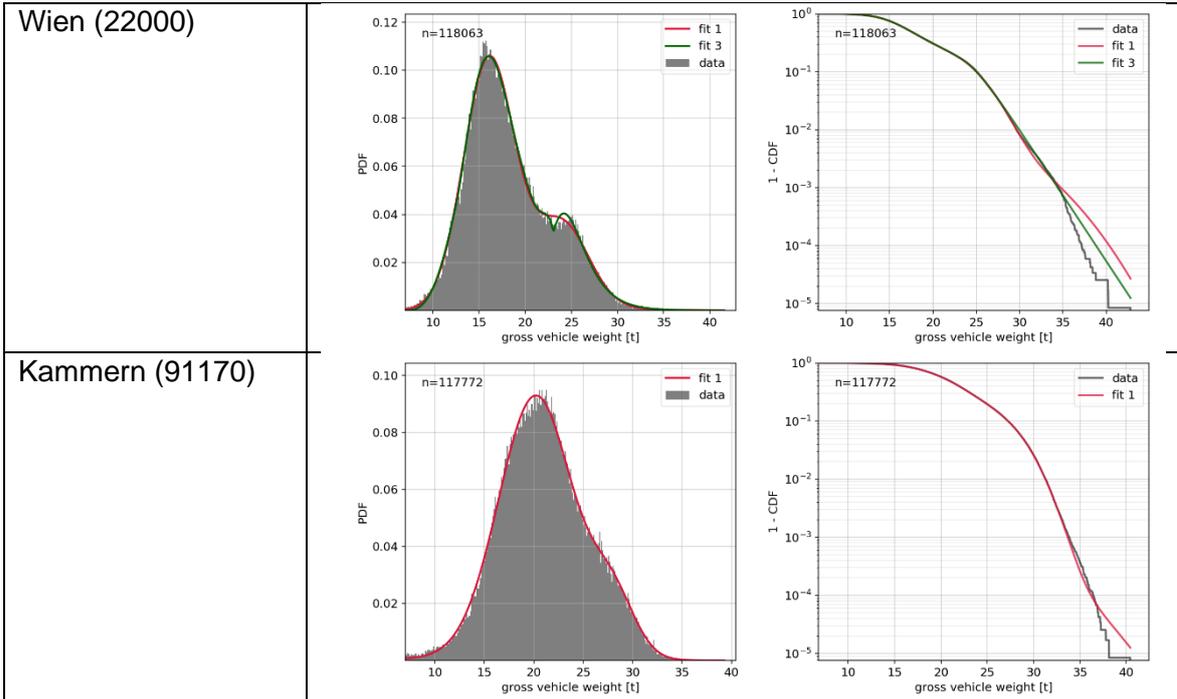
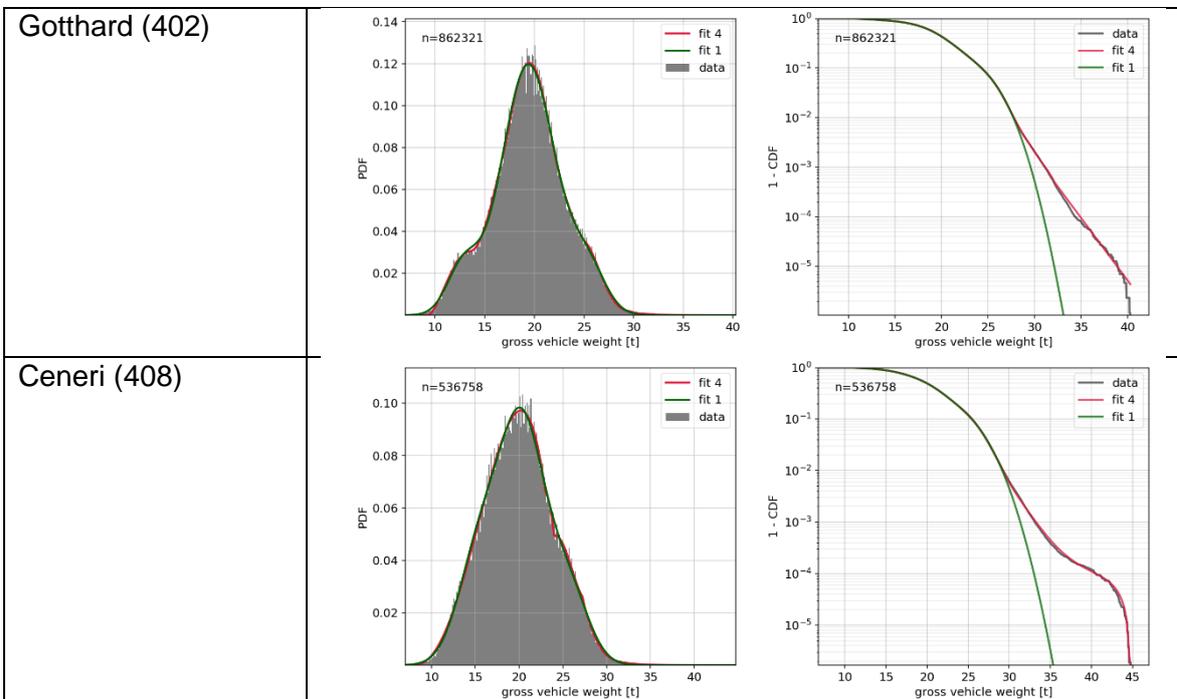
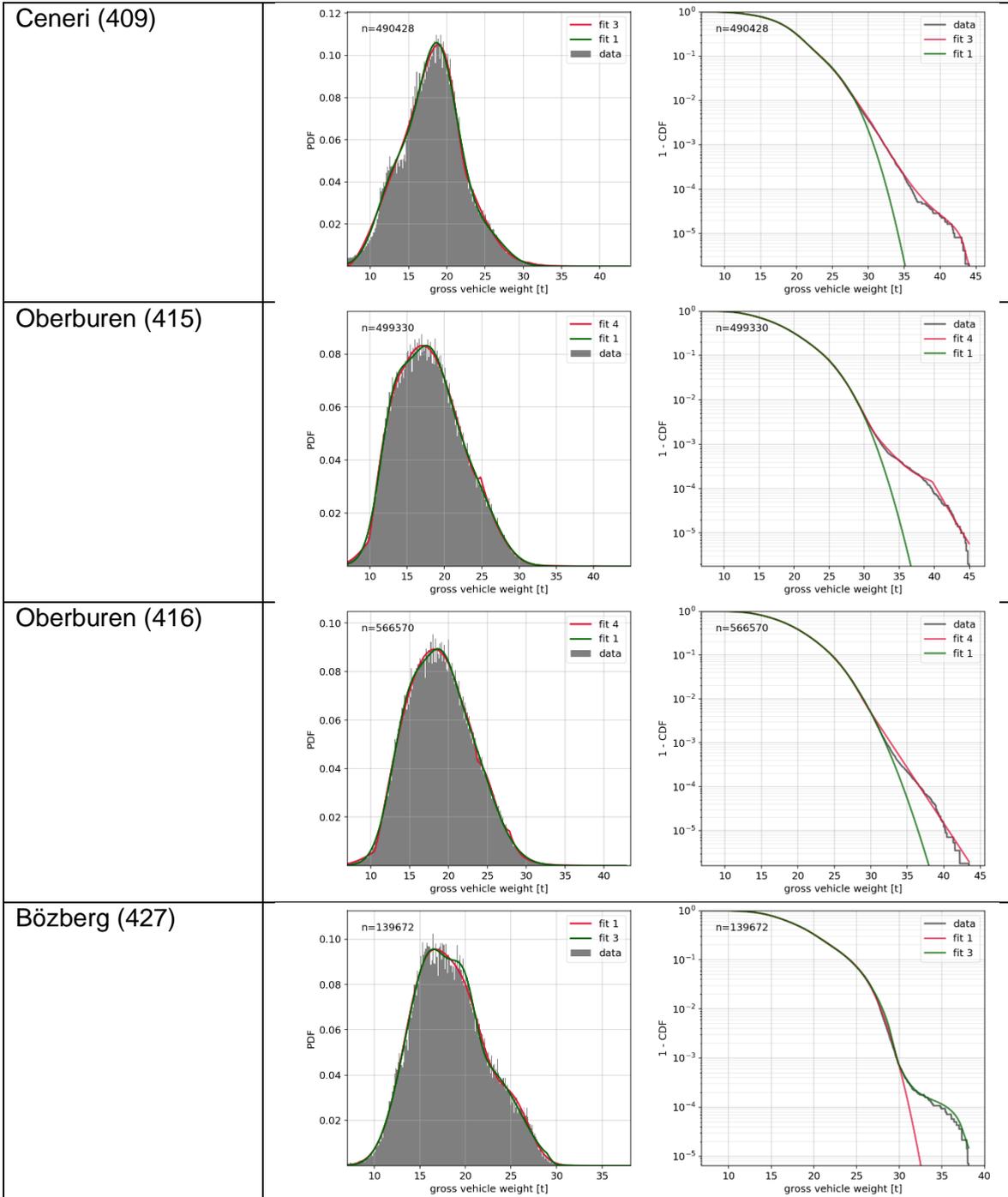
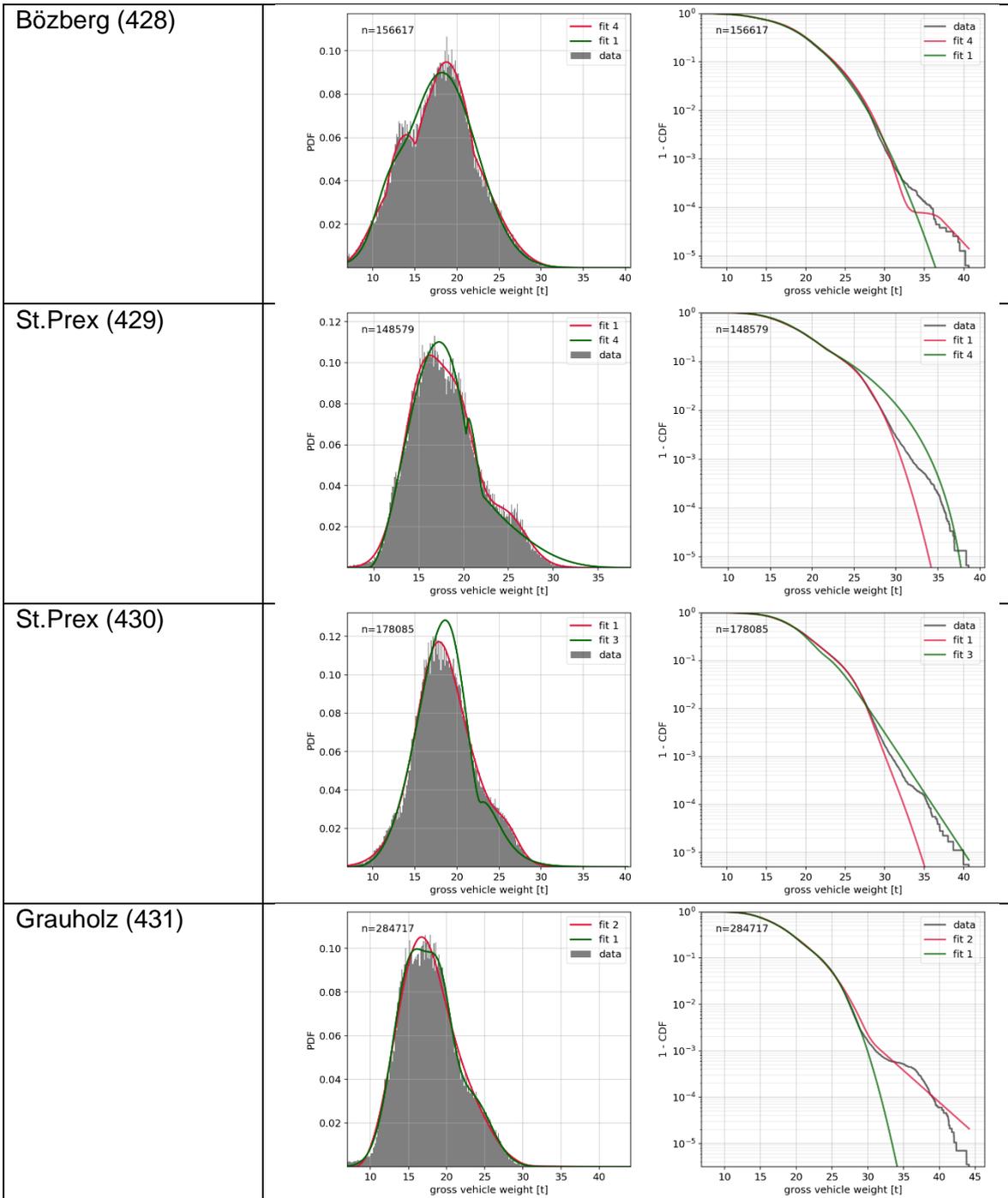
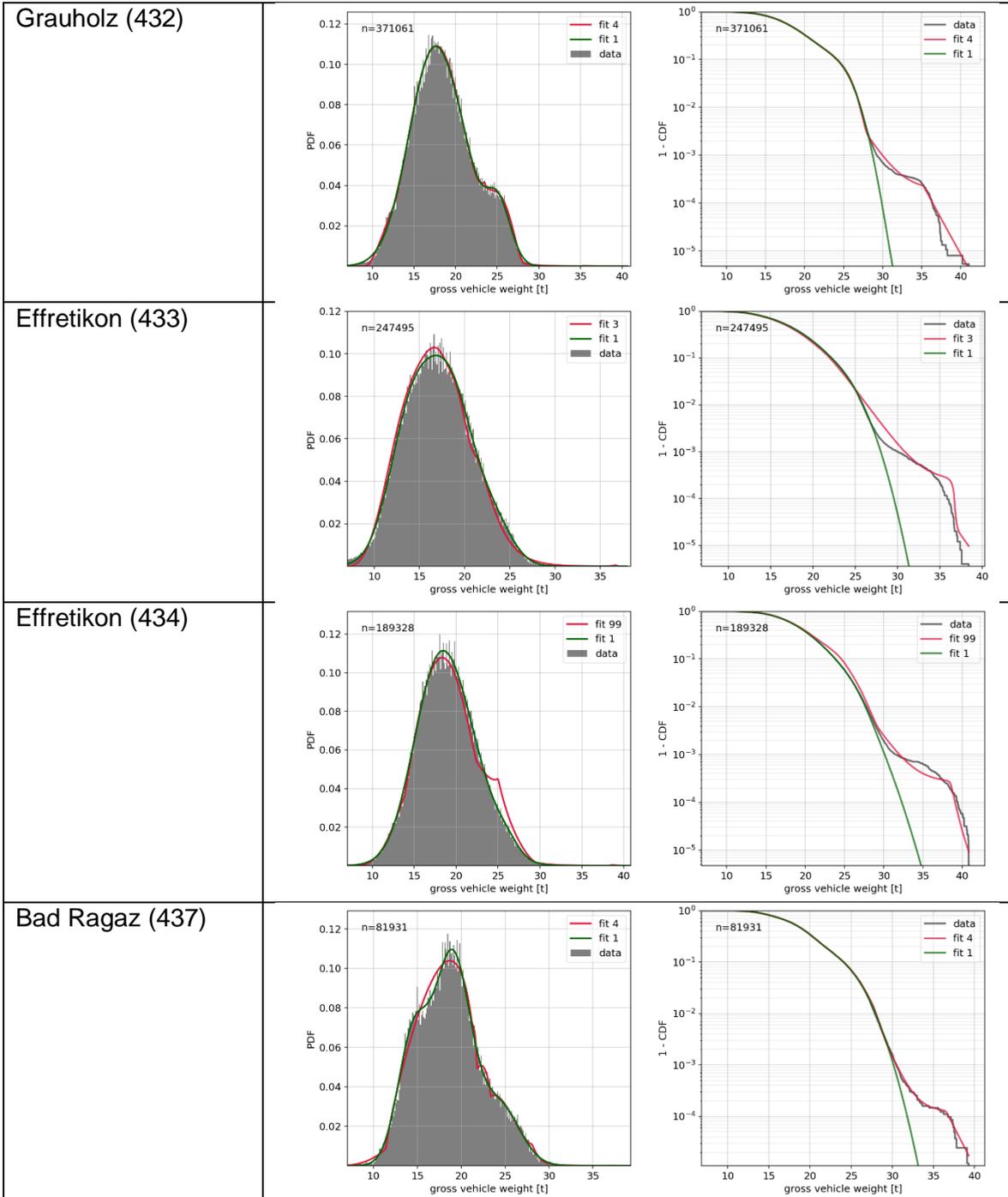


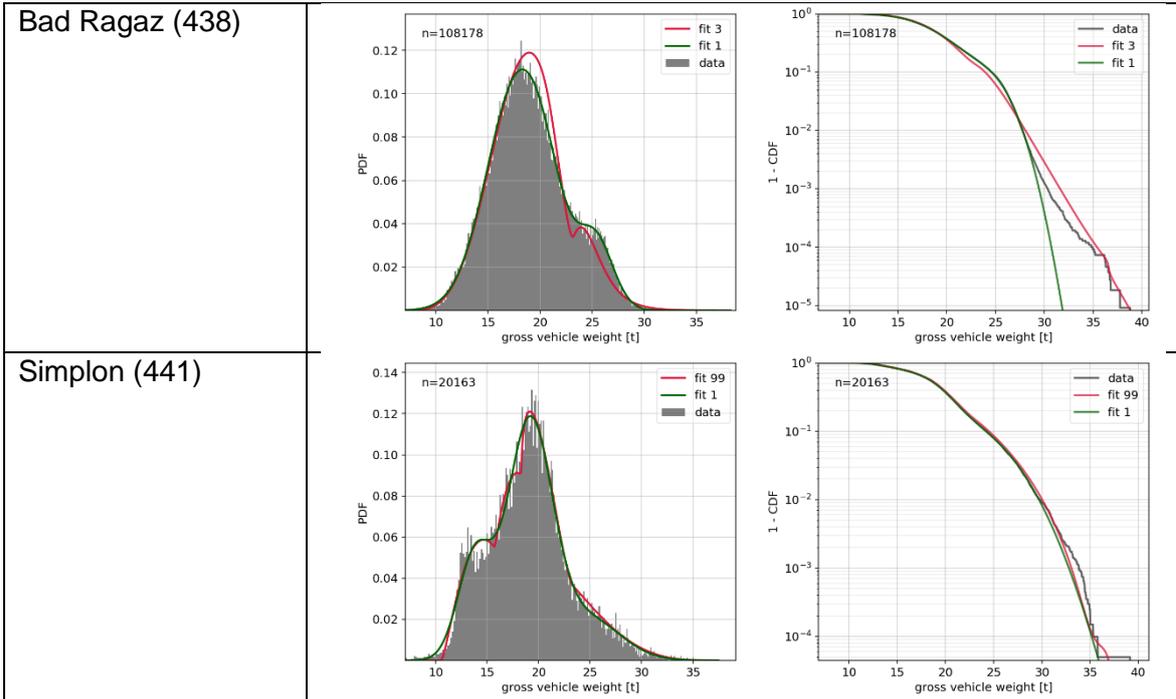
Tabelle 92: Gesamtgewichtsverteilungen vom Fahrzeugtyp 12 an den Schweizer WIM-Messstellen





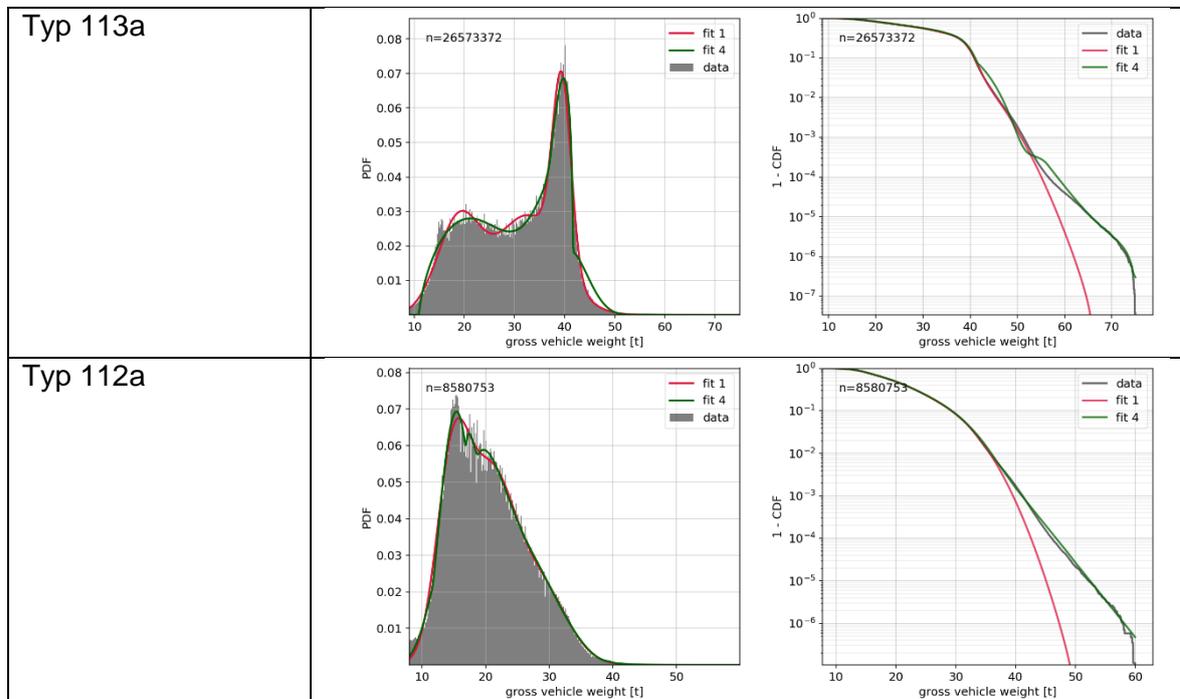






Im Weiteren erfolgt eine Darstellung der Gesamtgewichte und der Verteilungen, die gesammelt aus allen WIM-Messstellen in einem Land zusammen ausgewertet wurden.

Tabelle 93: Gesamtgewichtsverteilungen pro LKW-Typ gesammelt aus allen WIM-Anlagen in Deutschland



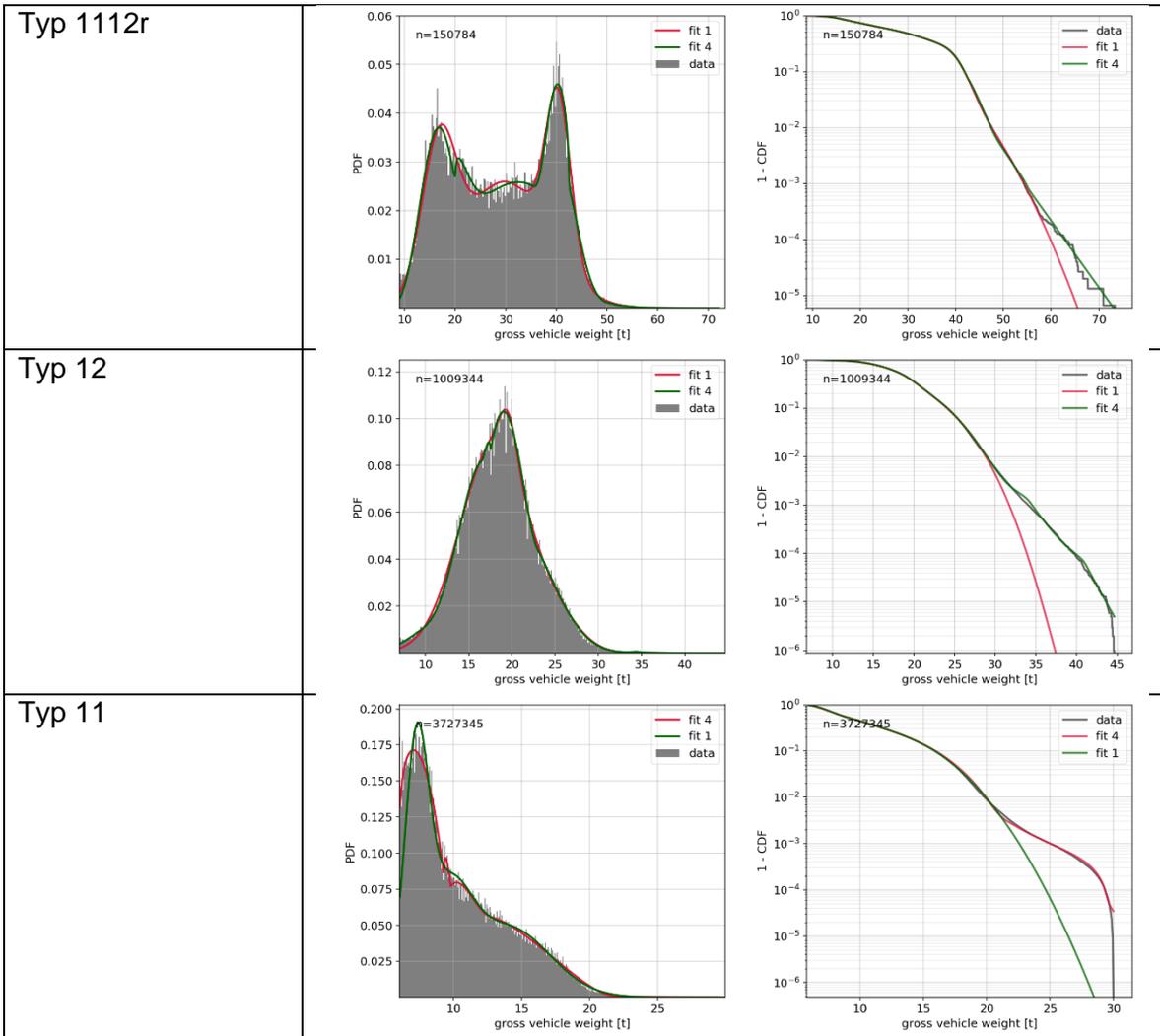
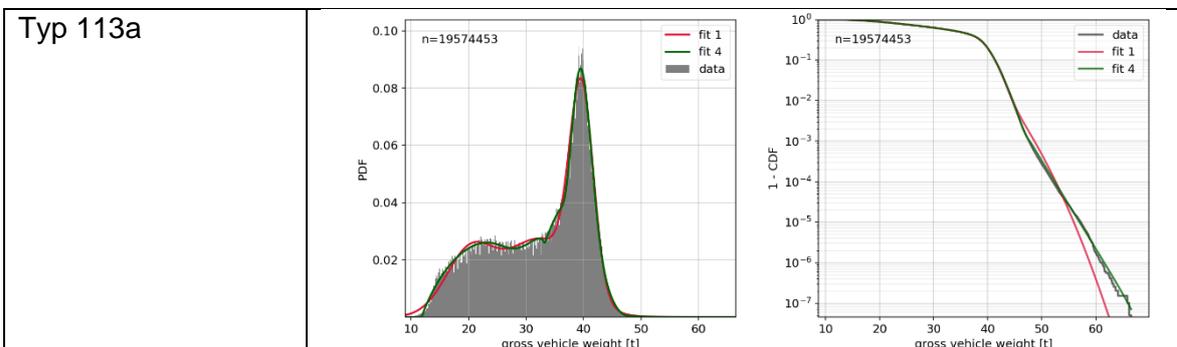


Tabelle 94: Gesamtgewichtsverteilungen pro LKW-Typ gesammelt aus allen WIM-Anlagen in Österreich



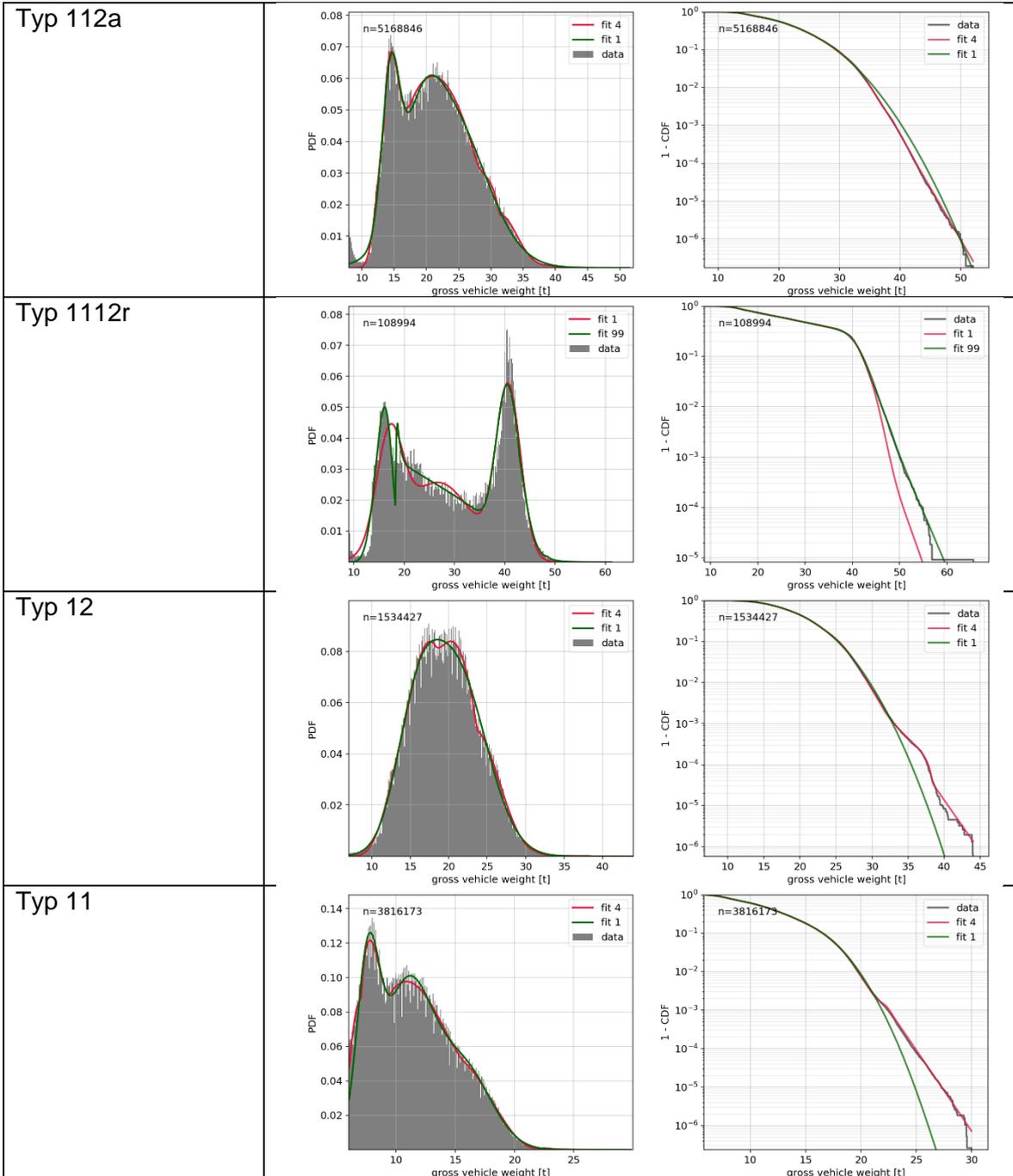
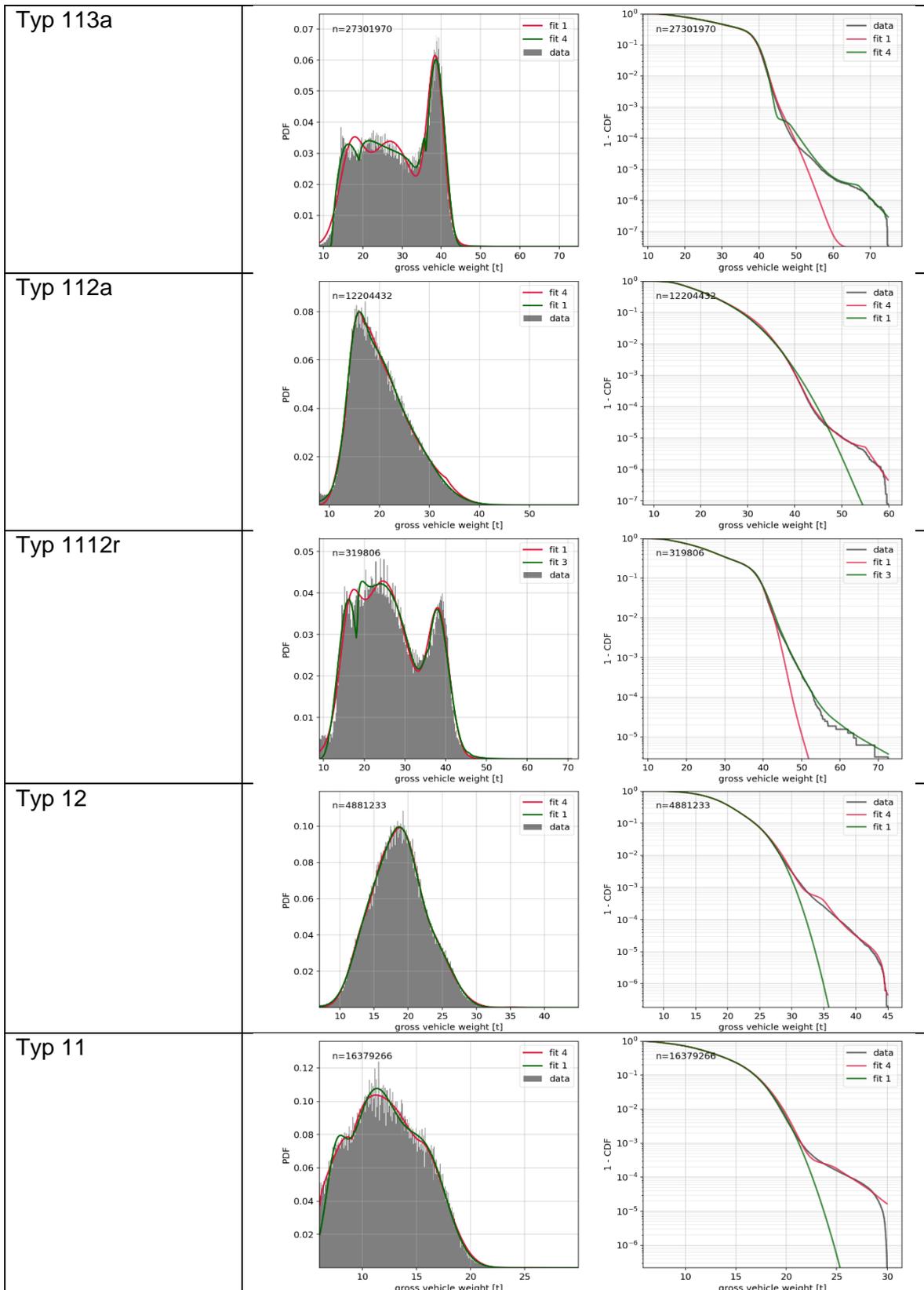


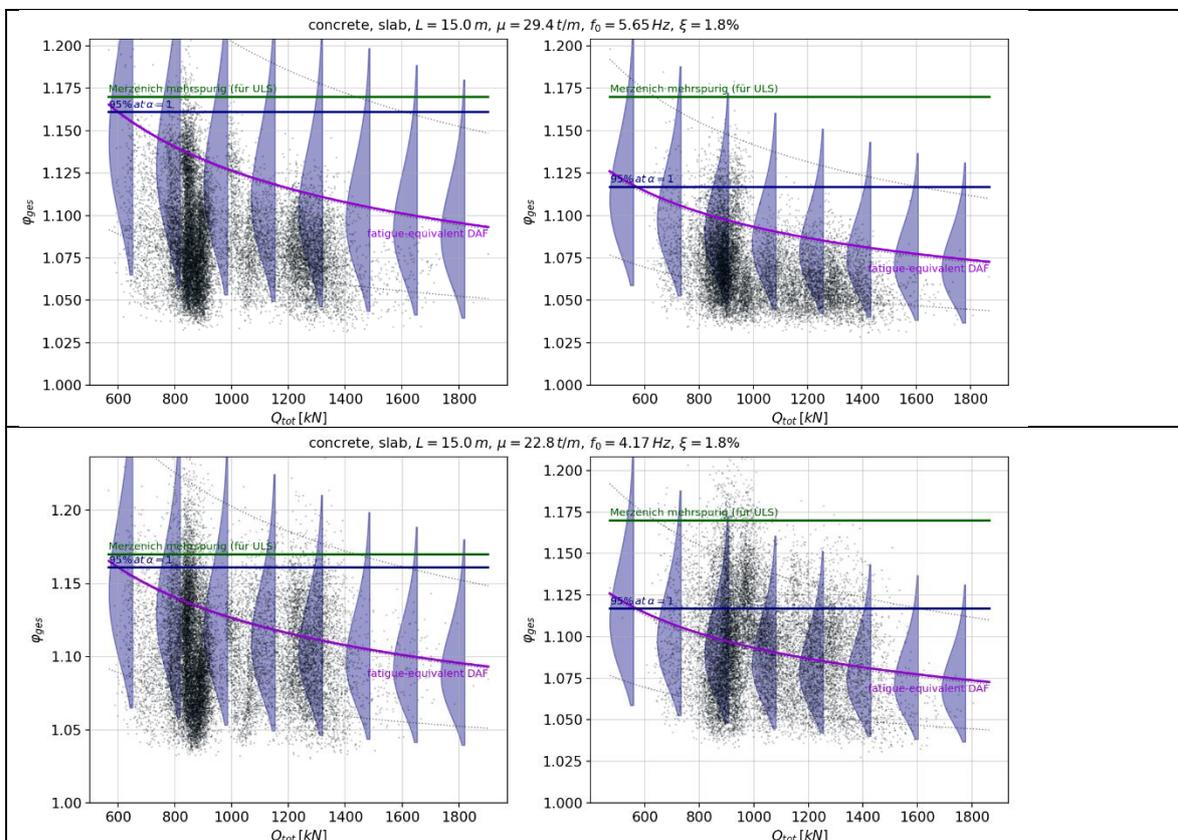
Tabelle 95: Gesamtgewichtsverteilungen pro LKW-Typ gesammelt aus allen WIM-Anlagen in der Schweiz

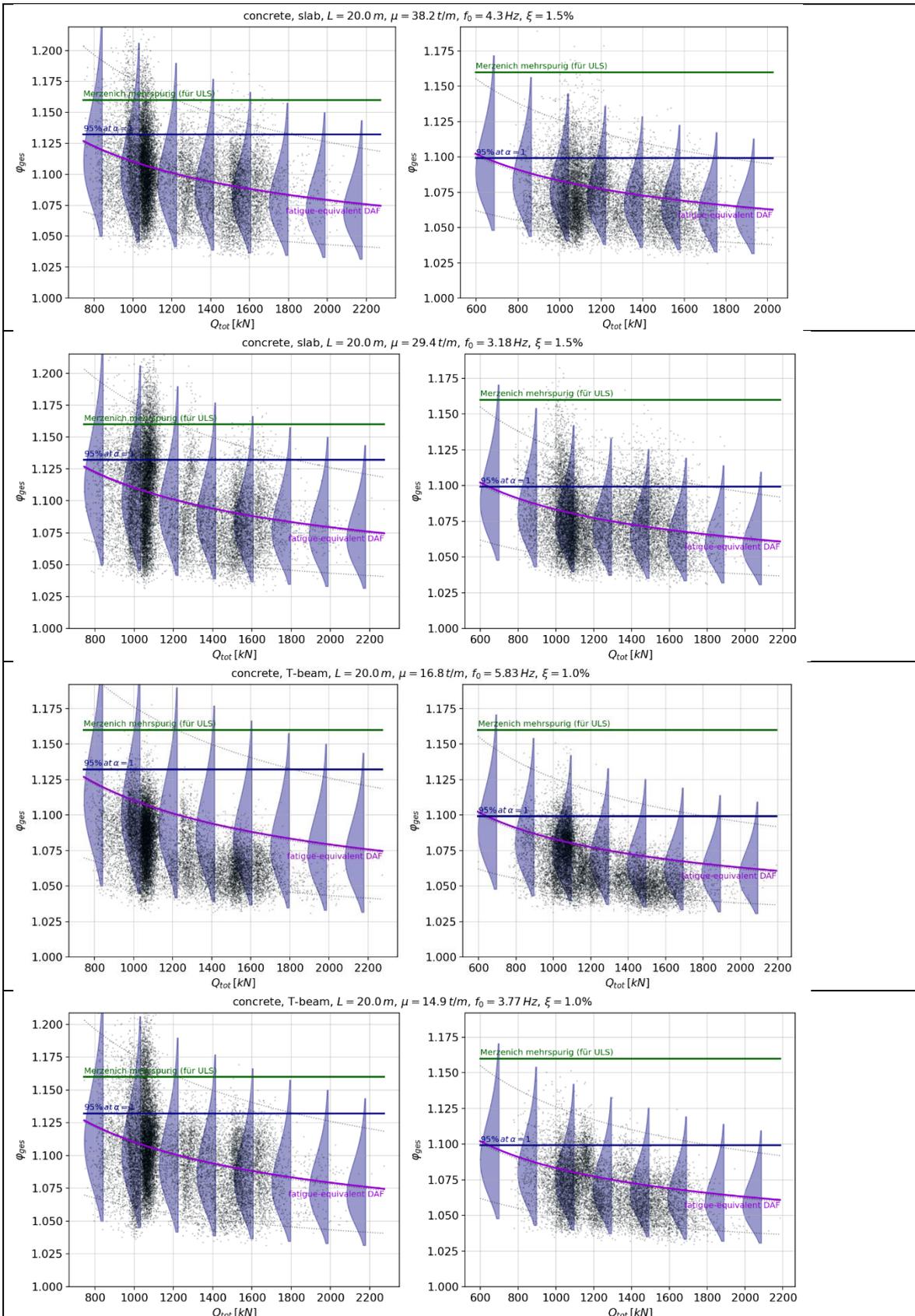


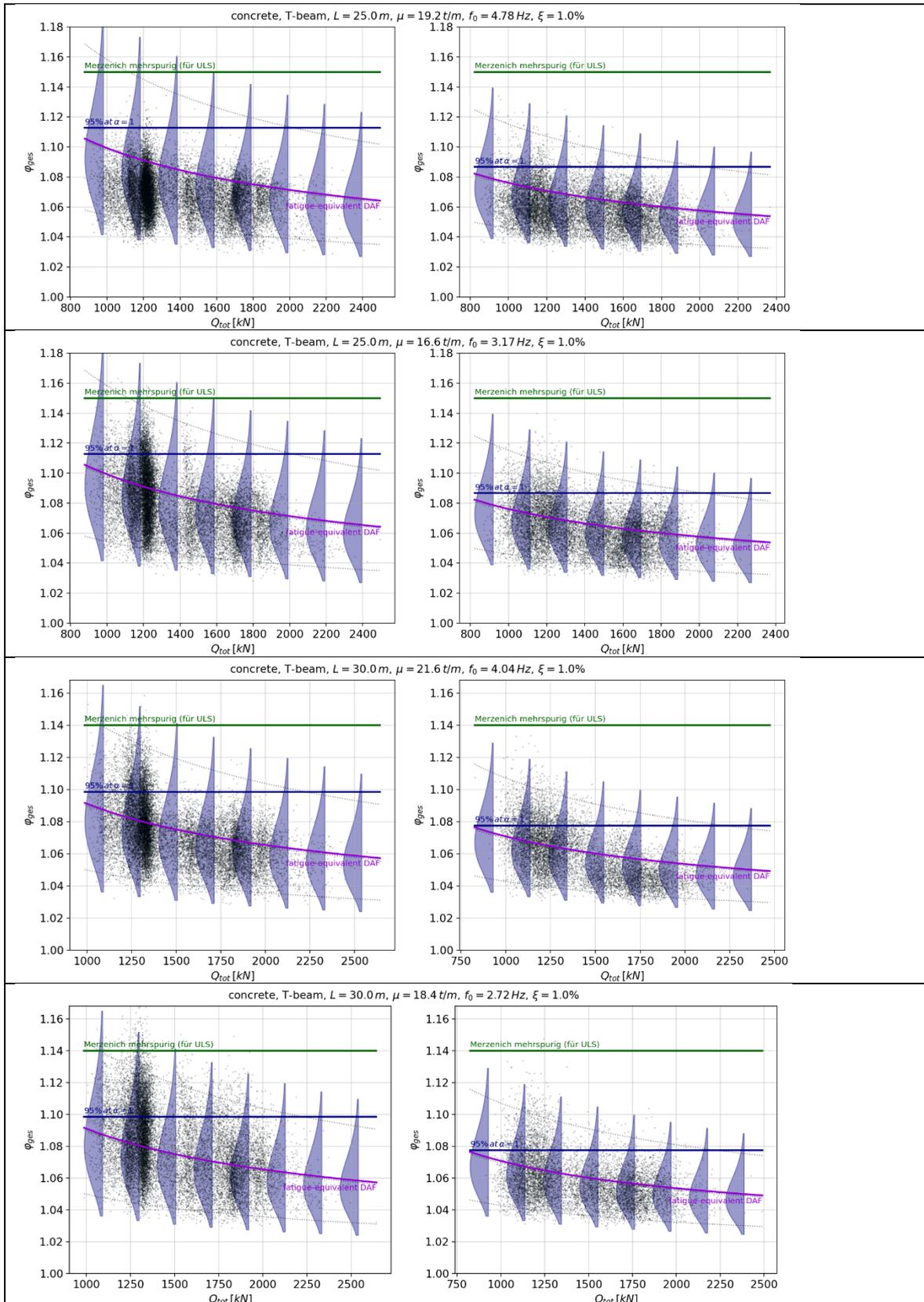
13.8. Simulationen zur Ermittlung dynamischer Lasterhöhungsfaktoren

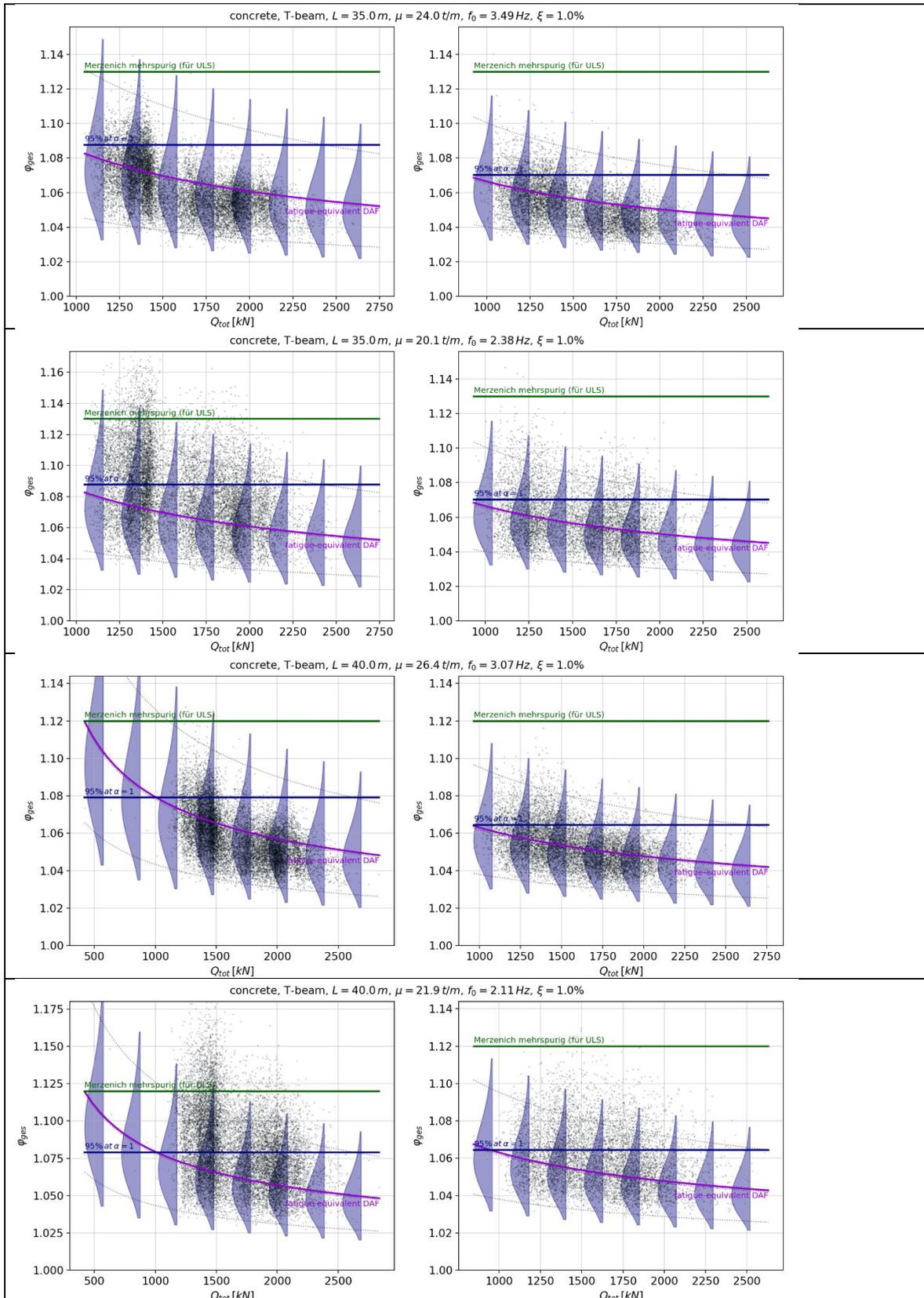
Im Folgenden werden Darstellungen der Simulationsergebnisse von strukturdynamischen Berechnungen gezeigt. Es sind die Punktwolken (ein Punkt pro Verkehrseignis) der dynamischen Faktoren φ_{ges} dargestellt, welche sowohl die Brücken- als auch die Fahrzeugdynamik beinhalten. Weiterhin ist das angepasste Modell dargestellt, analog zur Abbildung 26 (siehe Abschnitt 3.4). Links sind immer die Ergebnisse für das Biegemoment, rechts für die Schubkraft.

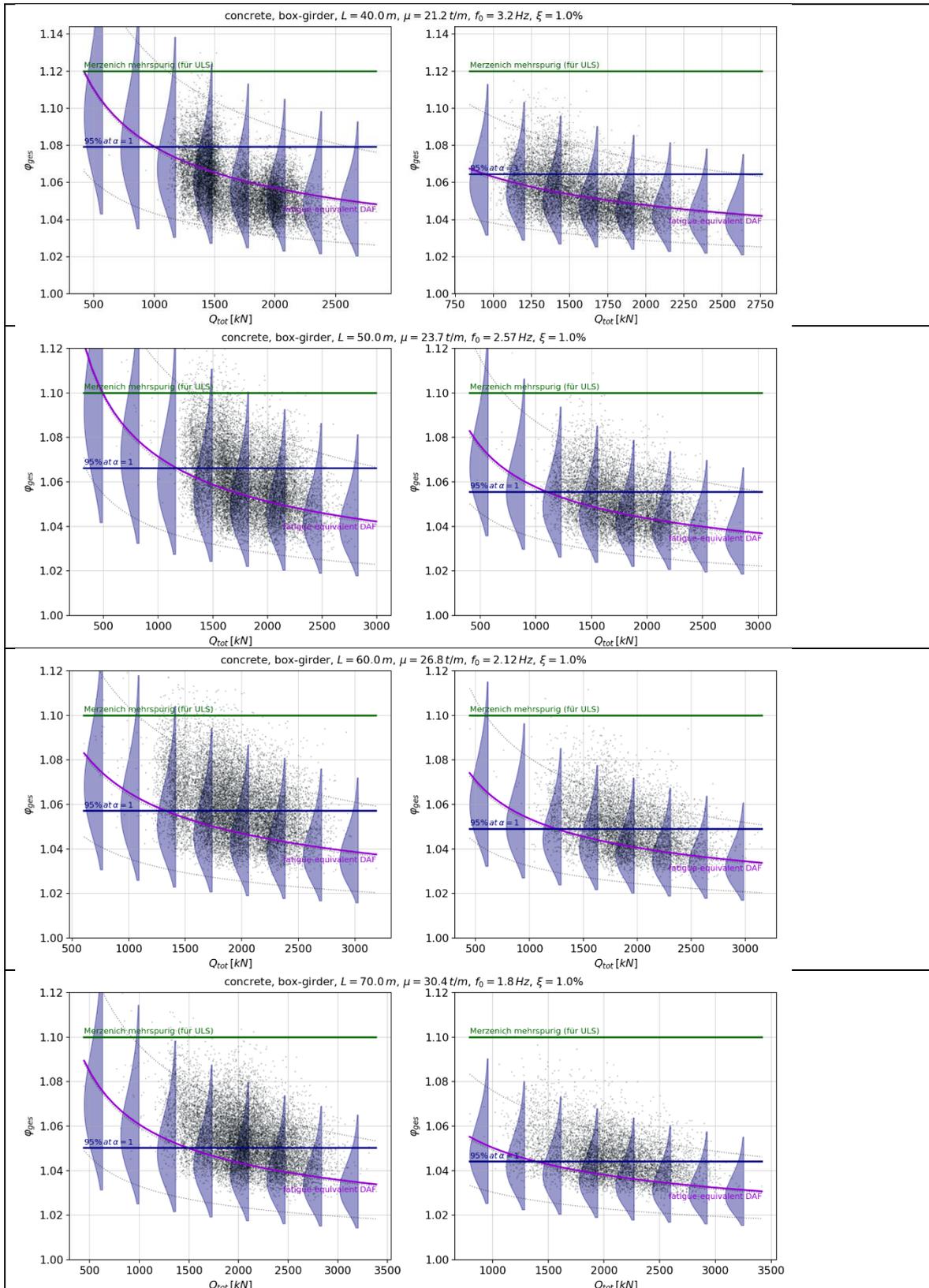
Tabelle 96: Ermittelte dynamische Faktoren φ_{ges} und das angepasste Modell

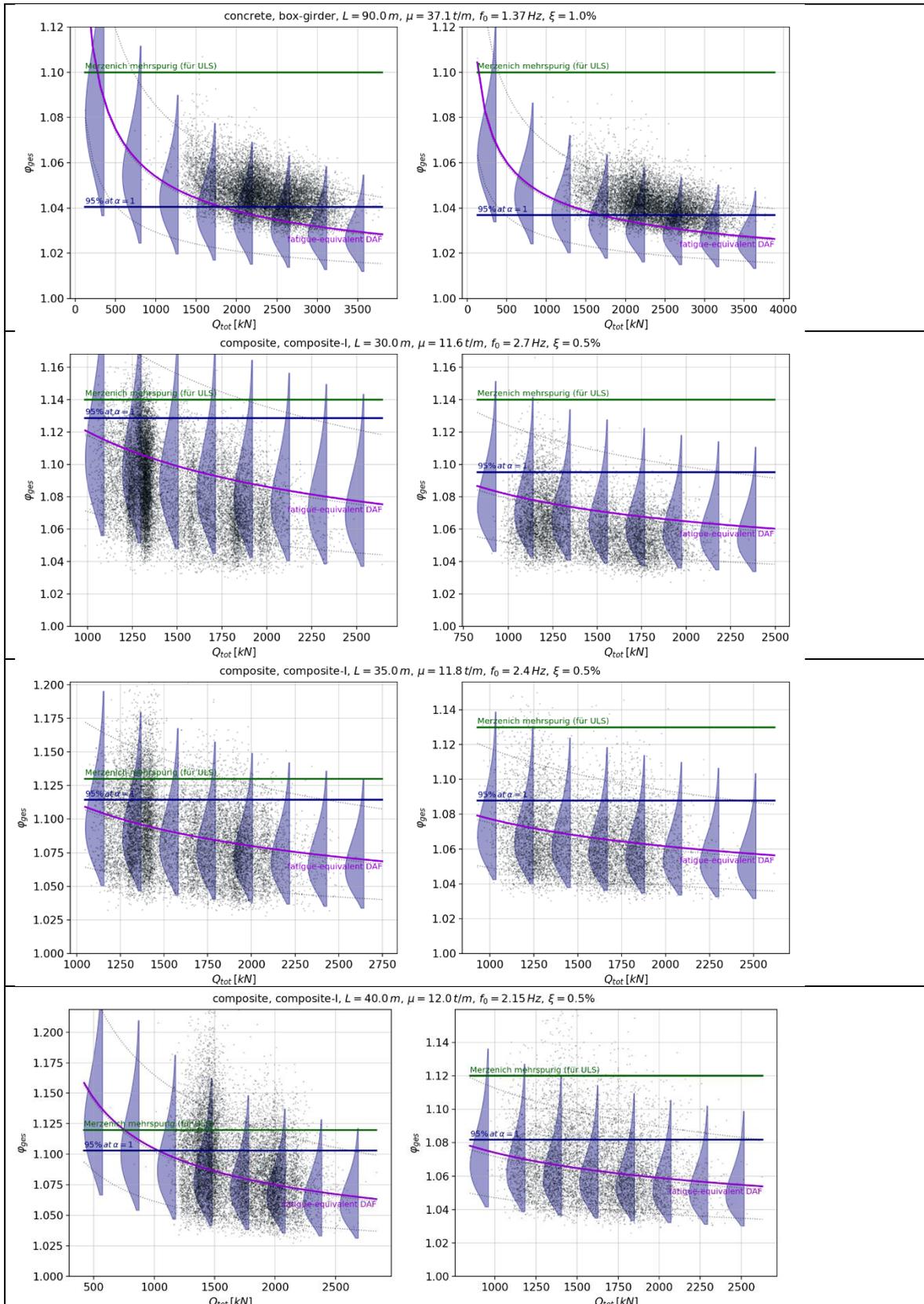


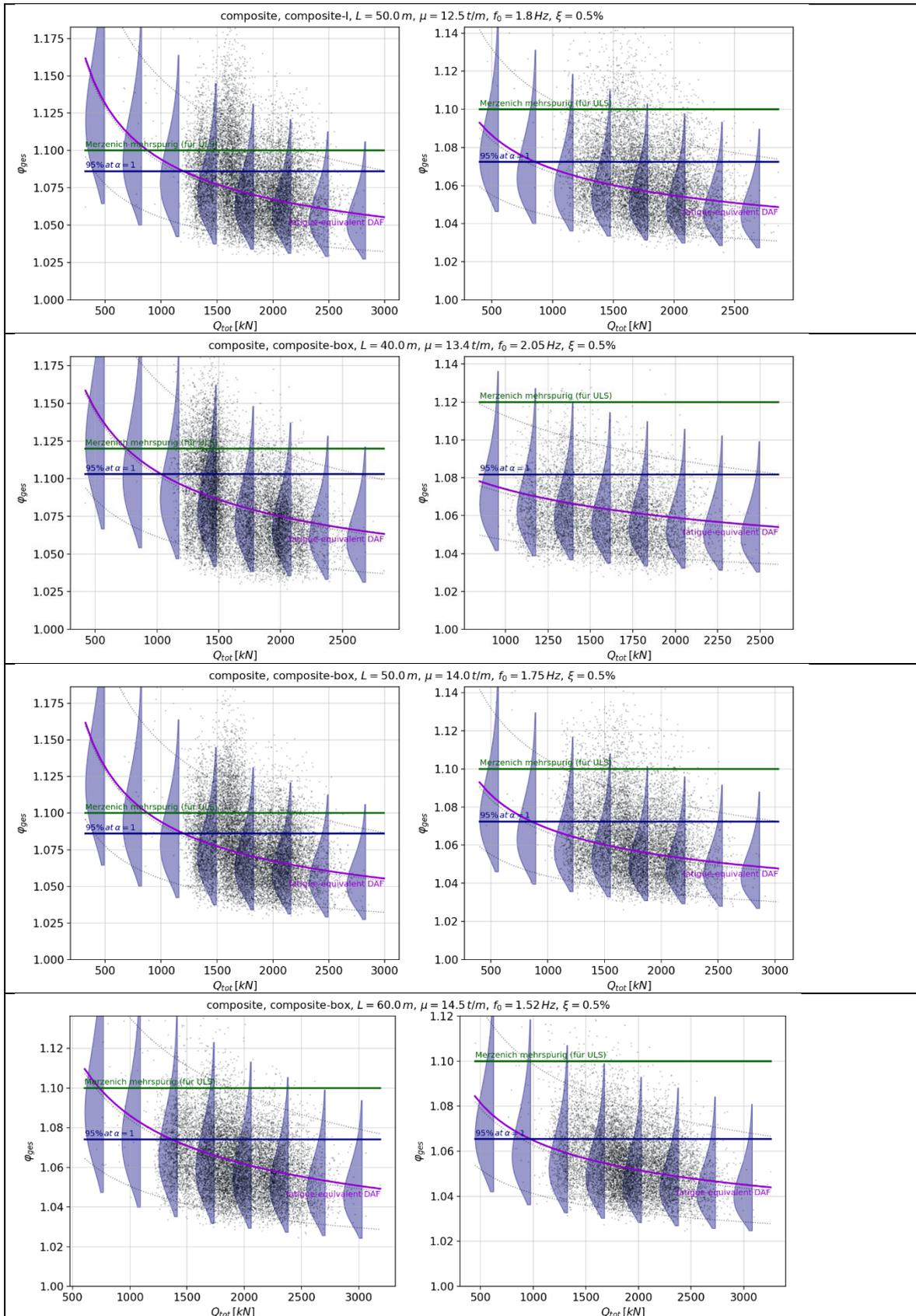


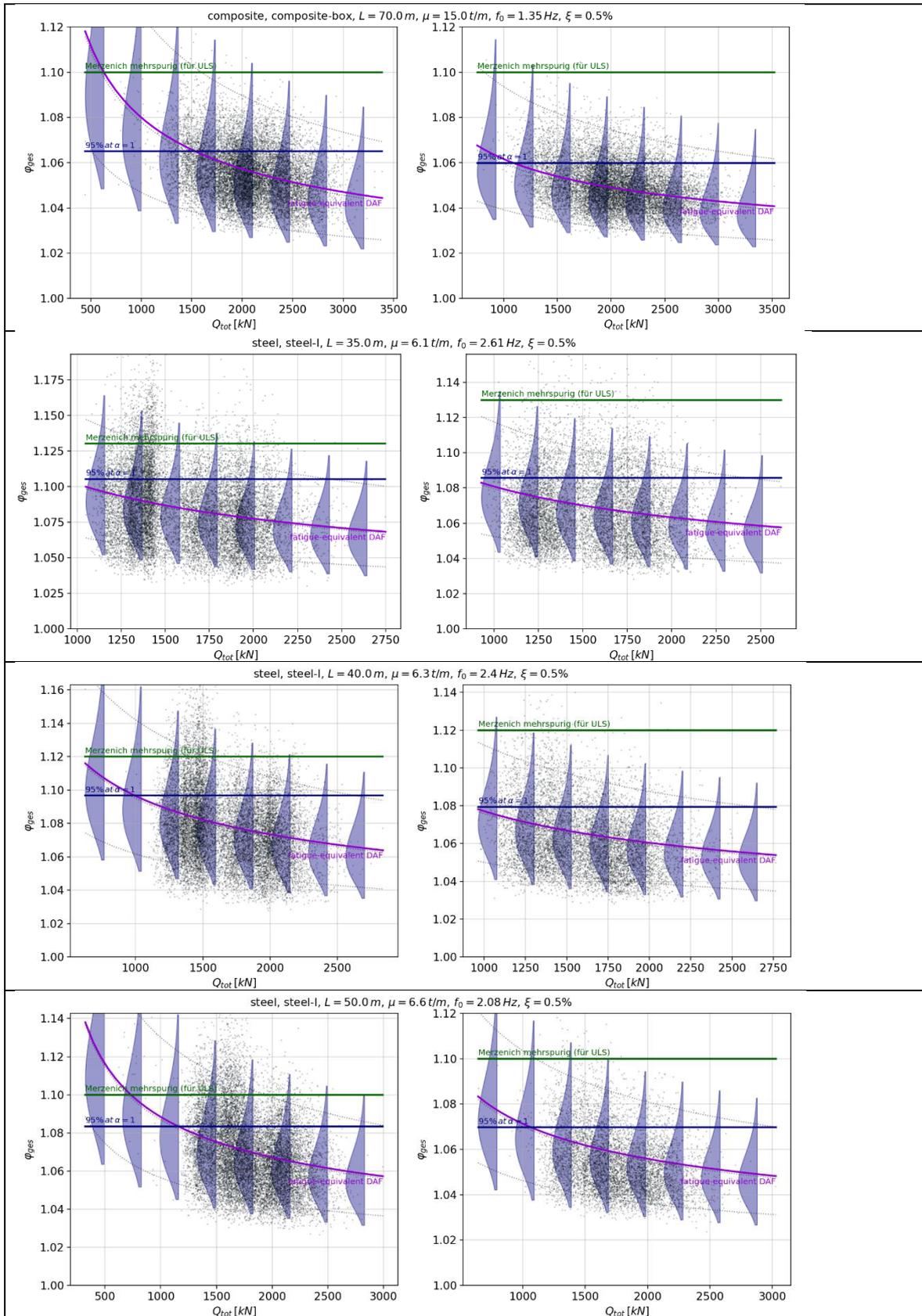


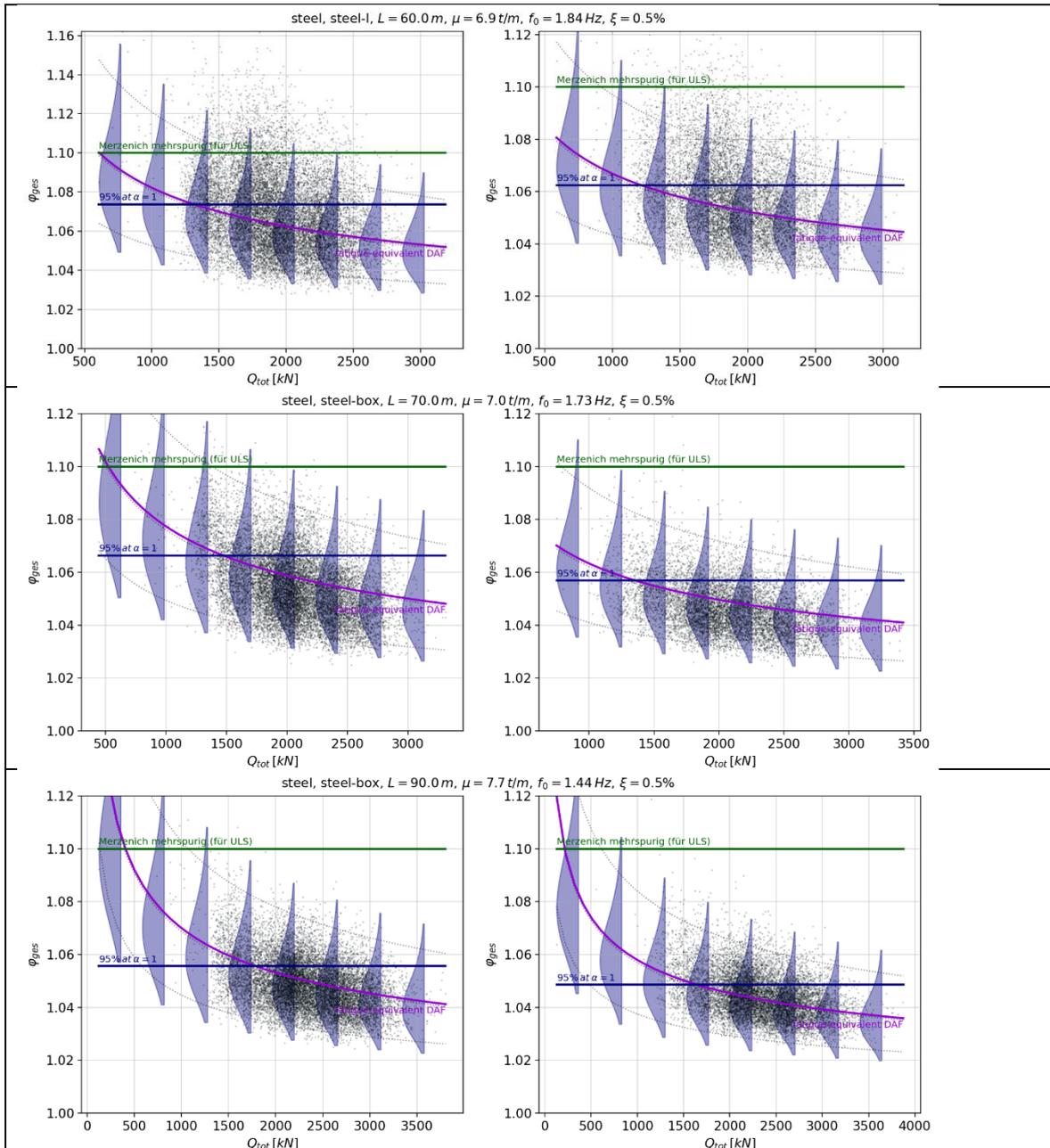












13.9. Vergleich von Achslastfolgen „WIM-direkt“ mit synthetisch generierten Daten

In dem nachfolgenden Beispiel soll untersucht werden, ob signifikante Unterschiede in charakteristischen Kennwerten auftreten, wenn die der Simulation zugrunde gelegten Achslastfolgen einerseits direkt aus den WIM-Daten übernommen werden und andererseits mit Hilfe abgeleiteter Informationen und Modellanpassungen (**Aggregation des Schwerverkehrs auf 5 Fahrzeugtypen**, aus WIM-Daten ermittelte angepasste Gesamtgewichtverteilungen, statistische Aufteilung der Gesamtgewichte auf die Achslasten, Festlegungen zu Achsabständen der Fahrzeuge, definierte Fahrzeugabstände) synthetisch erzeugt werden. Dazu werden Daten der WIM-Station „Bliesheim“ (DE) ausgewählt. Für diese Messstelle liegt eine mit Daten von 2004/2005 erstellte Verkehrscharakteristik vor, mit der die Vergleichsbetrachtungen durchgeführt werden.

Beispiel:

- WIM-Daten: Messstelle Bliesheim Juni 2018
 - Ausgewählte Wochentage: 4.6. bis 8.6.2018 und 11.6 bis 15.6.2018
 - Damit kein Zeitsprung entsteht, wurden die Datumswerte der zweiten 5 Tage auf 9.6. bis 13.6.2018 verschoben!

- Datenumfang 10 Wochentage:

Fahrstreifen	alle Fahrzeuge	SV	
1:	165.048	94.954	ausgewählt!
2:	96.250	14.260	
3:	55.338	5.045	
33:	70.393	48.555	
34:	84.944	12.376	
<u>35:</u>	<u>68.100</u>	<u>5.713</u>	
Summe:	540.073	180.913	

- Datenbereinigung:
 - 880 Fahrzeugabstände < 800cm → auf 800cm gesetzt!
 - 1119 Achsabstände < 100cm → auf 100cm gesetzt!
 - Lasten und Achsabstände von Typ 201 bis Typ 211 mit Mittelwerten der Gesamtgewichte und Achsabstände gleichartiger Typen 8, 41, 98 und 120 ergänzt; (Definition der Fahrzeugtypen nach DE-Notation siehe Anlage)

- GG(Pkw) = 2000kg und Achsabstand 250cm gesetzt
- **Testrechnung (A)** für Plattenbalkensystem 2 x 40m (PBM1) und Feldmoment M_{xm}
 - Querschnitt siehe Anlage 13.15.3.
 - Für den Verkehr an der WIM-Station „Bliesheim“ wird die vorliegende synthetisch erstellte Verkehrscharakteristik **BAST_Fakt_RV_2Sp_8020_VS10000_GE_oGSV_FS0_fl** verwendet:
 - DTV_SV=8000 im Hauptfahrstreifen,
 - Gesamtgewichtsverteilung, Achsaufteilungen, Achsabstände und Fahrzeughäufigkeiten siehe Anlage 13.15.3. Gemäß Nachrechnungsrichtlinie DE sind diese als Verkehrsart „Große Entfernung GE“ definiert.
 - kein genehmigungspflichtiger SV,
 - Verkehrszustand fließend,
 - Simulationsdauer 10 Tage
 - 10 Realisationen

▪ **Ergebnisse:**

Charakteristisches Vergleichsmoment M_{xm} (Verkehr nur im Hauptfahrstreifen!): **Mittelwert = 4015 kNm**; StAbw = 473 kNm

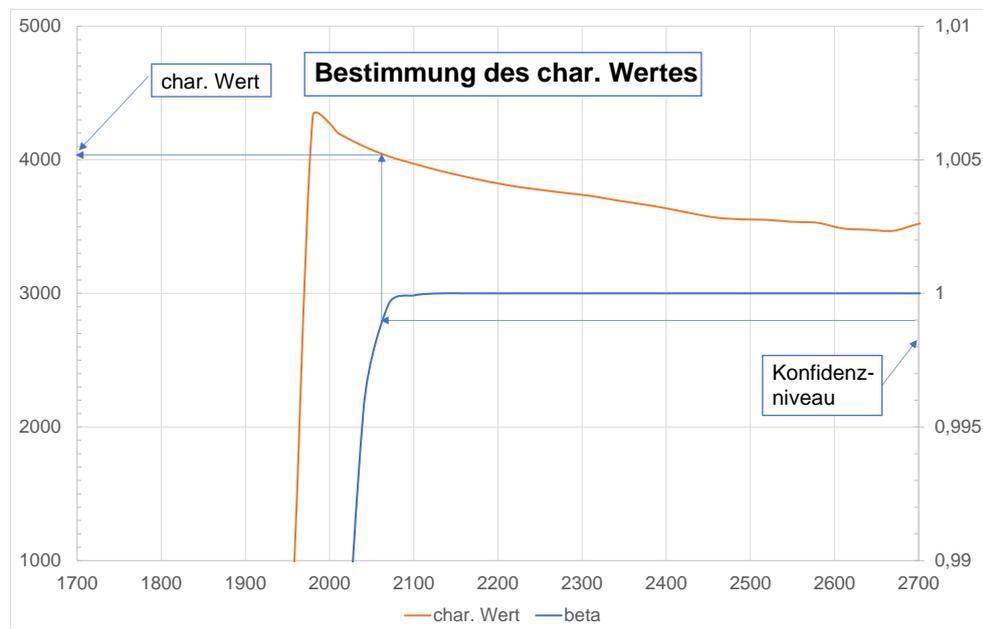


Abbildung 217: LCC-Diagramm zur Bestimmung des charakteristischen Wertes der simulierten Achslastfolge (A) für das Konfidenzniveau 0,999 (bei einer Wiederkehrperiode von 1000 Jahren)

- **Testrechnung (B)** mit externer WIM-Achslastfolge des Hauptfahrstreifens mit **allen** Fahrzeugen:

- Anzahl Fahrzeuge = 165.048 → DTV = 16.505
- Anzahl LKW = 94.954 → DTV_SV = 9.495
- **Ergebnis:**

Als charakteristischer Wert ergibt sich **11847** kNm, etwa das 3fache vom Vergleichswert der Testrechnung (A)!

Als Ursache wurde eine relativ hohe Zahl von Sonderfahrzeugen ermittelt, die in der Fahrzeugkategorie Typ 108 zusammengefasst sind und z.T. sehr hohe Gesamtgewichte haben.

- **Testrechnung (C)** mit externer WIM-Achslastfolge im Hauptfahrstreifen mit allen Fahrzeugen entsprechend (B) jedoch ohne TYP 108

- Anzahl Fahrzeuge = 158.006 → DTV = 15.801
- Anzahl LKW ... = 87.912 → DTV_SV = 8.791
- 7042 Fahrzeuge vom Typ 108 werden aus der Achslastfolge entfernt;
- GG-Verteilung Typ 108:

Summe GG [t]	Anzahl	Summe GG [t]	Anzahl
≤ 40	5951	≤ 40	5951
40 < ... ≤ 50	899	40 < ... ≤ 50	899
50 < ... ≤ 60	71	50 < ... ≤ 60	71
60 < ... ≤ 70	39	60 < ... ≤ 70	39
70 < ... ≤ 80	25	70 < ... ≤ 80	25
80 < ... ≤ 90	17	80 < ... ≤ 90	17
90 < ... ≤ 100	10	90 < ... ≤ 100	10
100 < ... ≤ 110	11	100 < ... ≤ 110	11
110 < ... ≤ 120	11	110 < ... ≤ 120	11
120 < ... ≤ 130	6	120 < ... ≤ 130	6
130 < ... ≤ 140	0	130 < ... ≤ 140	0
140 < ... ≤ 150	0	140 < ... ≤ 150	0
150 < ... ≤ 160	2	150 < ... ≤ 160	2

- Ergebnis:
Als charakteristischer Wert ergibt sich: 4096 kNm.

- **Testrechnung (D)** mit externer WIM-Achslastfolge im Hauptfahrstreifen mit allen Fahrzeugen außer TYP 108 und GG größer 60t (121 Fahrzeuge mit GG >60t).

- Anzahl Fahrzeuge = 165.048 - 121 = 164.927 → DTV = 16.493
- Anzahl LKW,... = 94.954 - 121 = 94.833 → DTV_SV = 9.483

- 121 Fahrzeuge vom Typ 108 mit GG > 60t werden aus der Achslastfolge entfernt;
- **Ergebnis:**
Als charakteristischer Wert ergibt sich **4117 kNm**; vergleichbar mit dem Wert der Testrechnung (C). D.h. die Sonderfahrzeug mit Gesamtgewichten <60t wirken sich nicht aus!
- **Testrechnung (E)** mit externer WIM-Achslastfolge im Hauptfahrstreifen mit allen Fahrzeugen außer TYP 108 mit GG größer 60t und außer Fahrzeugen mit Achslasten > 20t. (2 Fahrzeuge mit Achslasten > 20t wurden entfernt)
 - Anzahl Fahrzeuge = 164.927 - 2 = 164.925 → DTV = 16.493
 - Anzahl LKW = 94.833 - 2 = 94.831 → DTV_SV = 9.483
 - **Ergebnis:**
Als charakteristisches Moment ergibt sich mit **4117 kNm** der gleicher Wert wie für Testrechnung (D).
- **Testrechnung (F) für Plattenbalkensystem 2 x 40m (PBM1) und Feldmoment Mxm**
Verkehrsdaten wie Testrechnung (A) jedoch mit der angepassten Verkehrsstärke DTV-SV=9483 entsprechend Testrechnung (E) und der angepassten Lognormalverteilung für die Fahrzeugabstände gemäß der externen Achslastfolge (siehe Abbildung 222)
Ergebnis:
Als charakteristisches Moment ergibt sich **4276 kNm mit einer StAbw = 330 kNm**.
Gegenüber der Testrechnung (A) steigt der Wert um ca. 6,5% infolge der höheren Verkehrsstärke und einer etwas ungünstigeren Abstandsverteilung. Gegenüber der dem charakteristischen Moment von **4117 kNm** infolge der externen Achslastfolge entsprechend Testrechnung (E) ist der Wert ca. 4% größer. Wegen der etwas ungünstigeren Gesamtgewichtverteilung (s. Abbildung 220 und Abbildung 221) ist das Ergebnis plausibel).

- **Detaillierte Vergleiche zwischen der verwendeten Verkehrscharakteristik und der externen Achslastfolge**

- **Vergleich der Fahrzeughäufigkeiten**

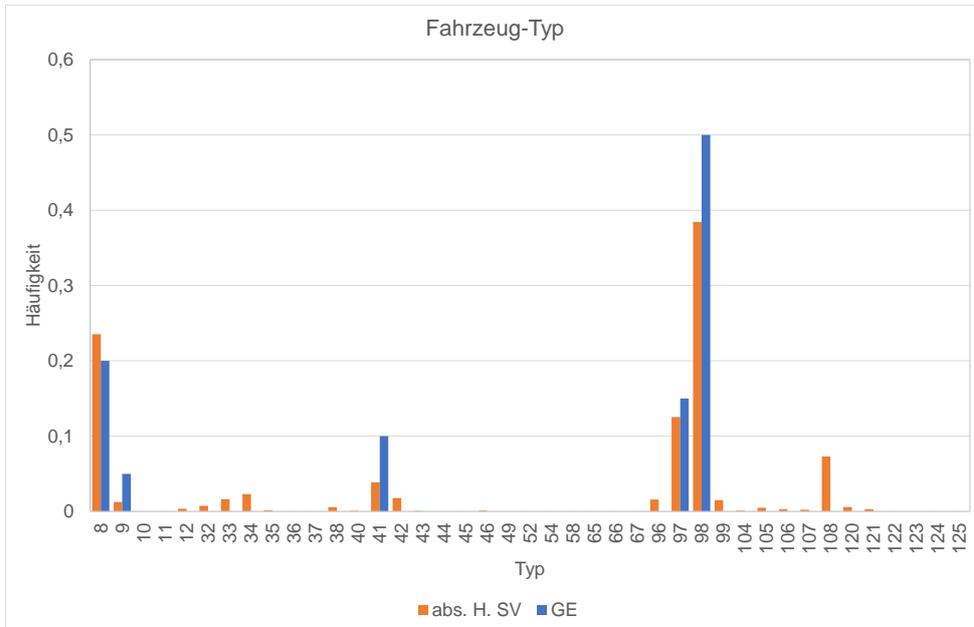


Abbildung 218: Vergleich der Verteilung der Fahrzeugtypen zwischen der WIM-Achslastfolge und den Annahmen der Verkehrsart „Große Entfernung GE“

- **Vergleich der Gesamtgewichtsverteilung**

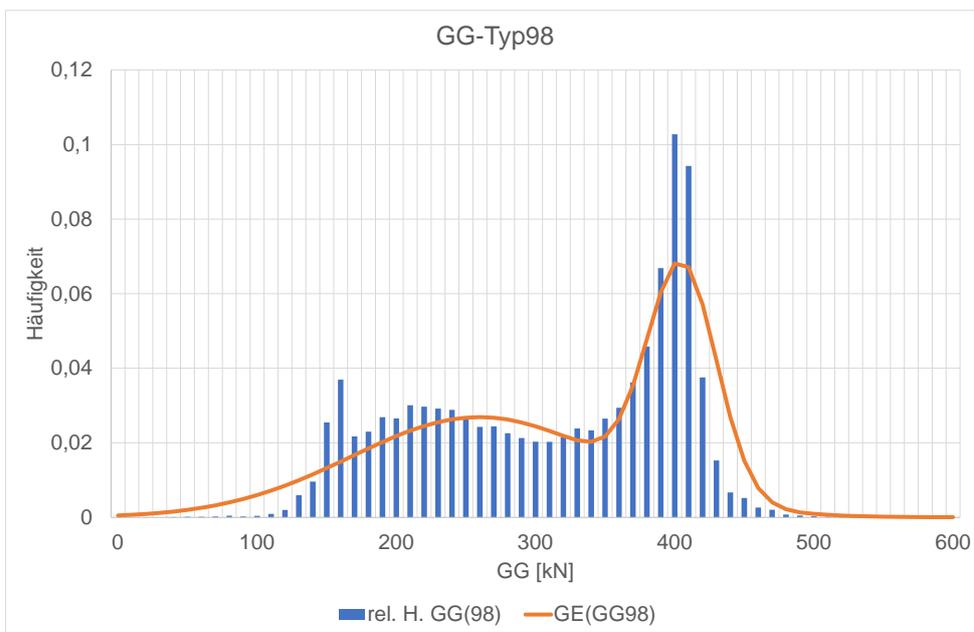


Abbildung 219: Vergleich der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps 98 zwischen der WIM-Achslastfolge und den Annahmen der Verkehrsart „Große Entfernung“

▪ **Vergleich des gesamten Schwerververkehrs**

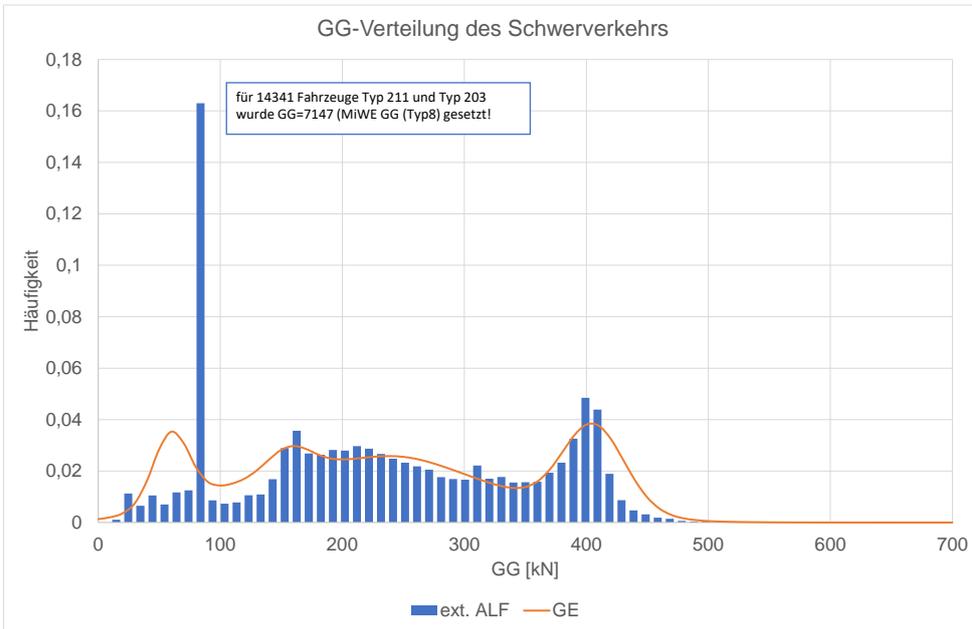


Abbildung 220: Vergleich der Gesamtgewichtverteilung des gesamten Schwerververkehrs zwischen der ext. Achslastfolge (ext. ALF) und den Annahmen für die Verkehrsart „Große Entfernung GE“

▪ **Vergleich der Verteilungen der Antriebsachse Typ 98**

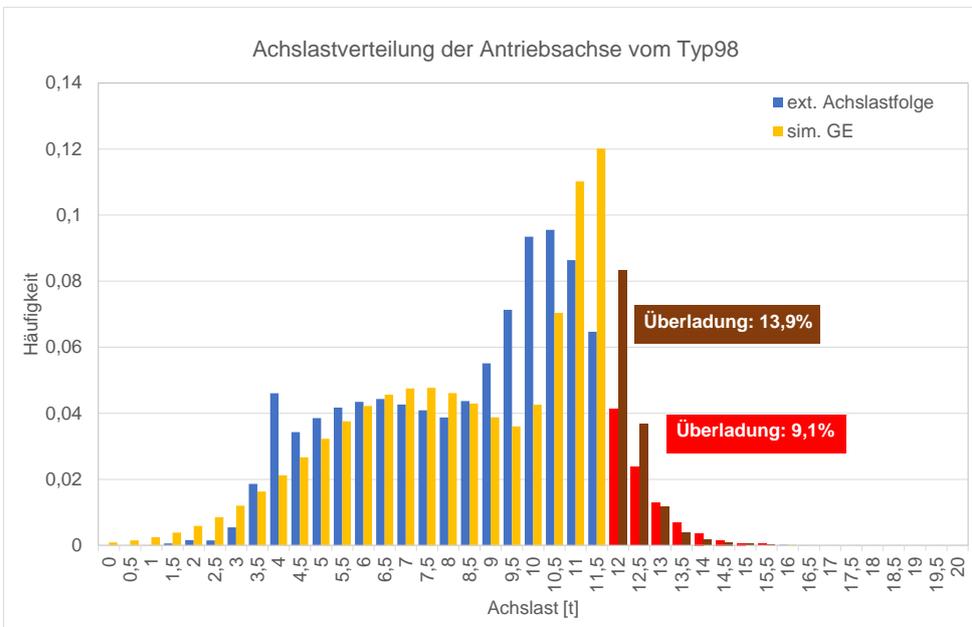


Abbildung 221: Vergleich der Achslastverteilungen der Antriebsachse (Achse 2) Typ 98 von externen Achslastfolge und der Verkehrsart GE

- **Vergleich der Verteilungen der Fahrzeugabstände**

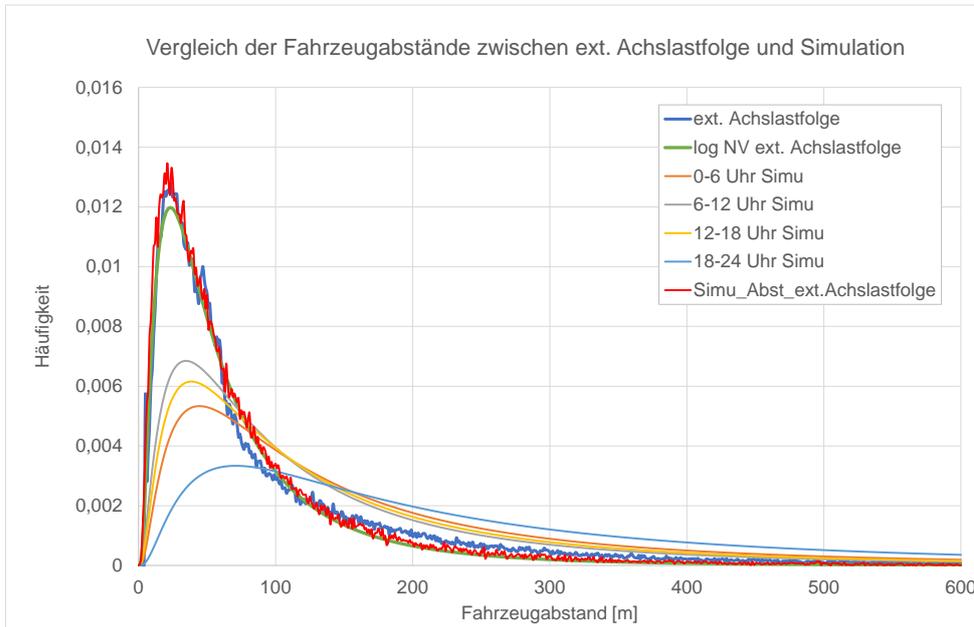


Abbildung 222: Verteilungen von Fahrzeugabständen

Ergebnisse:

- **Häufigkeiten der Fahrzeugtypen**

Die Annahmen zu GE stimmen ganz gut mit denen der WIM-Achslastfolge (ext. ALF) überein, wenn man den Anteil vom Typ 108 zum Typ 98 und die Anteile der Fahrzeugkombinationen 32, 33, 34, 38, 42 zum Typ 41 addiert (Abb. 164).

- **Gesamtgewichtsverteilung Typ 98**

Die Verteilung der ext. Achslastfolge ist im oberen Teil der zweiten modalen Funktion etwas schmäler; dafür sind die absoluten Werte dort größer. Die Anteile der GG $\geq 40t$ sind mit 26,8% (ext. ALF) und 29,5% (GE) etwa vergleichbar (Abbildung 218).

- **Gesamtgewichtsverteilung des gesamten Schwerverkehrs**

Die Verteilungen passen besonders gut im mittleren Bereich; im oberen Teil kommen die Unterschiede vom Typ 98 zum Tragen. Im unteren Bereich ist die Verteilung der ext. Achslastfolge durch den manuellen Eingriff für den Typ 8 verfälscht (Abbildung 219), was jedoch für die Ermittlung des charakteristischen Moments ohne Einfluss ist.

- **Achslastverteilung der Antriebsachse vom Typ 98 der externen Achslastfolge**

Für die Sattelzüge beträgt der Überladungsanteil der Antriebsachse 9,1% (Abbildung 221). Mit den Annahmen zur Verkehrsart GE lässt sich der Überladungsanteil der Antriebsachse aus der GG-Verteilung der Sattelzüge ableiten. Der Anteil der Antriebsachse am Gesamtgewicht wurde zu 28,1% angenommen. Damit ergibt sich bei der angenommenen Achsverteilung bei einem GG von 41t eine Achslast von $0,281 \cdot 41 = 11,5$ t. Alle Sattelzüge mit GG über 41t haben demnach eine überladene Antriebsachse. Dieser Anteil beträgt 13,9% (Abbildung 221).

- **Verteilungen der Fahrzeugabstände**

In Abbildung 222 sind die Verteilungen der Fahrzeugabstände von externer Achslastfolge und den üblichen im Simulationsprogramm verwendeten Funktionen dargestellt. Dabei ist erkennbar, dass Abstände bis ca. 60m deutlich häufiger bei der externen Achslastfolge auftreten (blaue Kurve = tatsächlich vorhandene Werte; grüne Kurve = angenäherte Lognormalverteilung) als bei den üblich benutzten Funktionen der Simulation. In der Abbildung 222 bedeutet die rote Kurve die in der Simulation (F) verwendeten Fahrzeugabstände, die jetzt gut zu den Fahrzeugabständen der externen Achslastfolge (blaue und grüne Kurve) passt.

FAZIT:

Die ermittelten charakteristischen Werte für das Feldmoment am gewählten System PBM1° „2 x 40m“ infolge simulierter Verkehrscharakteristik:

„BAST_Fakt_RV_2Sp_8020_VS10000_GE_oGSV_FS0_fl“ und WIM-Achslastfolgen von 10 Wochentagen liefern eine gute Übereinstimmung, wenn für die Achslastfolgen Fahrzeuge des TYP 108 mit Gesamtgewichten größer 60t und Achslasten größer 20t ausgeschlossen werden. Diese Fahrzeuge unterliegen in der Regel einer Einzelfahrerlaubnis ggf. sogar mit Fahrauflagen.

Daraus ergibt sich als Schlussfolgerung, dass genaue zulässige Kriterien für die Verwendung externer Achslastfolgen (Fahrzeuge, Gewichte, Achsabstände, ect.) zu definieren sind. Eine Aggregation des gesamten Schwerverkehrs auf die fünf häufigsten Fahrzeugtypen ist möglich, ohne dass relevante Genauigkeitsverluste zu erwarten sind.

13.10. Fahrzeugkodierung nach TLS

Angeführt ist die Fahrzeugkodierung nach TLS [96]

Seite 154		Klassifizierung von Fahrzeugen		ANHANG 2.3	
		Klassifizierung nach Silhouette und Achskonfiguration			
3 Klassifizierung nach Silhouette und Achskonfiguration					
Achslasterfassungsgeräte sind in der Lage, die Fahrzeugklassen nach ANHANG 2, 2 anhand der Achskonfiguration weiter nach folgenden Fahrzeugtypen zu differenzieren. Dafür wird folgende Codierung verwendet:					
Fahrzeug- klasse bei 5+1 Klassen	Fahrzeug- klasse bei 8+1 Klassen	Code Fahrzeug- typ	Beschreibung des Fahrzeugtyps	Grenzwert für Überladung in kg	
6	6	0	unbekannter Fahrzeugtyp / nicht zuordnungsbares Fahrzeug		
1	7	1	Pkw (E, E)	3500	
2	2	2	Pkw mit Anhänger (E, E + E)	7000	
2	2	3	Pkw mit Anhänger (E, E + Dp)	7000	
1	11	4	Kleintransporter (E, E)	3500	
2	2	5	Kleintransporter mit Anhänger (E, E + E)	7000	
2	2	6	Kleintransporter mit Anhänger (E, E + Dp)	7000	
		7	reserviert für spätere Definition		
3	3	8	Lkw (E, E)	18000	
3	3	9	Lkw (E, Dp)	26000	
3	3	10	Lkw (E, Dr)	32000	
3	3	11	Lkw (Dp, E)	26000	
3	3	12	Lkw (Dp, Dp)	32000	
4	8	32	Lkw mit Anhänger(E, E + E)	28000	
4	8	33	Lkw mit Anhänger(E, E + E, E)	36000	
4	8	34	Lkw mit Anhänger(E, E + Dp)	36000	
4	8	35	Lkw mit Anhänger (E, E + E, Dp)	40000	
4	8	36	Lkw mit Anhänger (E, E + Dp, Dp)	40000	
4	8	37	Lkw mit Anhänger(E, E + E, Dr)	40000	
4	8	38	Lkw mit Anhänger(E, E + Dr)	40000	
		39	reserviert für spätere Definitionen		
4	8	40	Lkw mit Anhänger(E, Dp + E)	36000	
4	8	41	Lkw mit Anhänger (E, Dp + E, E)	40000	
4	8	42	Lkw mit Anhänger(E, Dp + Dp)	40000	
4	8	43	Lkw mit Anhänger (E, Dp + E, Dp)	40000	
4	8	44	Lkw mit Anhänger (E, Dp + Dp, Dp)	40000	
4	8	45	Lkw mit Anhänger (E, Dp + E, Dr)	40000	
4	8	46	Lkw mit Anhänger(E, Dp + Dr)	40000	
		47	reserviert für spätere Definitionen		
4	8	48	Lkw mit Anhänger(E, Dr + E)	40000	
4	8	49	Lkw mit Anhänger(E, Dr + E, E)	40000	
4	8	50	Lkw mit Anhänger(E, Dr + Dp)	40000	
4	8	51	Lkw mit Anhänger(E, Dr + E, Dp)	40000	
4	8	52	Lkw mit Anhänger(E, Dr + Dp, Dp)	40000	
4	8	53	Lkw mit Anhänger(E, Dr + E, Dr)	40000	
4	8	54	Lkw mit Anhänger(E, Dr + Dr)	40000	

ANHANG 2.3

Klassifizierung von Fahrzeugen
Klassifizierung nach Silhouette und Achskonfiguration

Seite 155

Fahrzeug- klasse bei 5+1 Klassen	Fahrzeug- klasse bei 8+1 Klassen	Code Fahrzeug- typ	Beschreibung des Fahrzeugtyps	Grenzwert für Überladung in kg
		55	reserviert für spätere Definitionen	
4	8	56	Lkw mit Anhänger(Dp, E + E)	36000
4	8	57	Lkw mit Anhänger(Dp, E + E , E)	40000
4	8	58	Lkw mit Anhänger(Dp, E + Dp)	40000
4	8	59	Lkw mit Anhänger (Dp, E + E, Dp)	40000
4	8	60	Lkw mit Anhänger (Dp, E + Dp, Dp)	40000
4	8	61	Lkw mit Anhänger (Dp, E + E, Dr)	40000
4	8	62	Lkw mit Anhänger(Dp, E + Dr)	40000
		63	reserviert für spätere Definitionen	
4	8	64	Lkw mit Anhänger(Dp, Dp + E)	40000
4	8	65	Lkw mit Anhänger (Dp, Dp + E , E)	40000
4	8	66	Lkw mit Anhänger (Dp, Dp + Dp)	40000
4	8	67	Lkw mit Anhänger (Dp, Dp + E, Dp)	40000
4	8	68	Lkw mit Anhänger (Dp, Dp + Dp, Dp)	40000
4	8	69	Lkw mit Anhänger (Dp, Dp + E, Dr)	40000
4	8	70	Lkw mit Anhänger (Dp, Dp + Dr)	40000
		71..95	reserviert für spätere Definitionen	
4	9	96	Sattelkraftfahrzeug (E, E + E)	28000
4	9	97	Sattelkraftfahrzeug (E, E + Dp)	36000
4	9	98	Sattelkraftfahrzeug (E, E + Dr)	40000
4	9	99	Sattelkraftfahrzeug (E, E + E, E)	38000
		100..103	reserviert für spätere Definitionen	
4	9	104	Sattelkraftfahrzeug (E, Dp + E)	36000
4	9	105	Sattelkraftfahrzeug (E, Dp + Dp)	44000
4	9	106	Sattelkraftfahrzeug (E, Dp + Dr)	44000
4	9	107	Sattelkraftfahrzeug (E, Dp + E, E)	44000
6	6	108	Sonderfahrzeug mit beliebig vielen Achsen und Achskombinationen	65000
		109..119	reserviert für spätere Definitionen	
5	5	120	Bus (E, E)	18000
5	5	121	Bus (E, Dp)	26000
5	5	122	Bus (E, E + E)	28000
5	5	123	Bus (E, E + Dp)	36000
5	5	124	Bus (E, Dp + E)	36000
5	5	125	Bus (E, Dp + Dp)	40000
		126...200	reserviert für spätere Definitionen	
1	-	201	PkWG	-
2	2	202	PkWA	-

TLS, Ausgabe 2012



Fahrzeug- klasse bei 5+1 Klassen	Fahrzeug- klasse bei 8+1 Klassen	Code Fahrzeug- typ	Beschreibung des Fahrzeugtyps	Grenzwert für Überladung in kg
3	3	203	Lkw	-
4	-	204	LkwK	-
5	5	205	Bus	-
6	6	206	nk Kfz	-
1	7	207	Pkw	-
4	8	208	LkWA	-
4	9	209	Sattel-Kfz	-
1	10	210	Krad	-
1	11	211	Lieferwagen	-
		212...255	reserviert für spätere Definitionen	

Tabelle 2-12: Klassifizierung nach Silhouette und Achskonfiguration

E = Einzelachse

Dp = Doppelachse

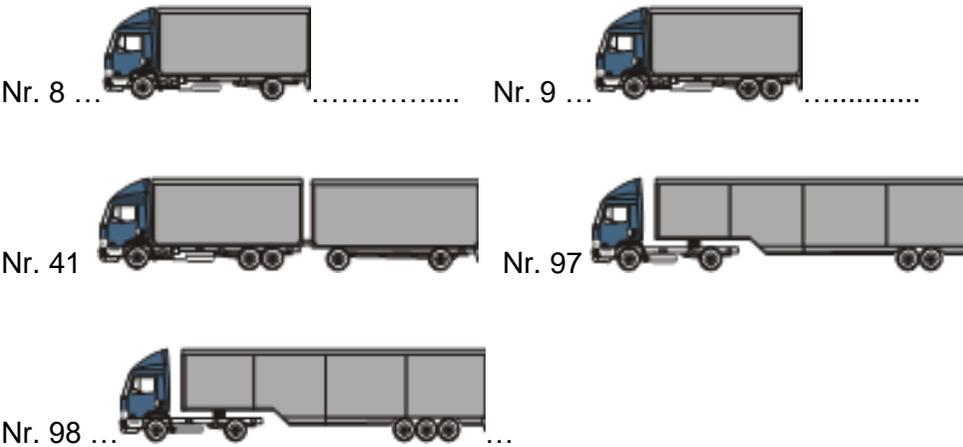
Dr = Dreifachachse

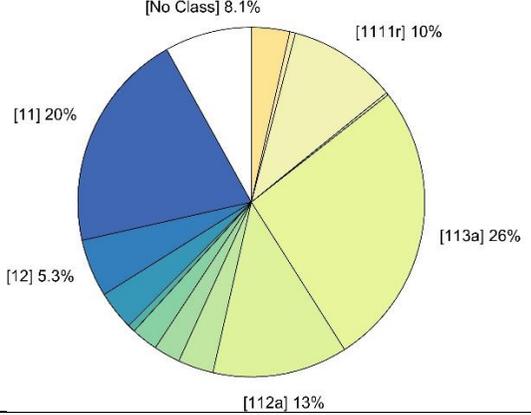
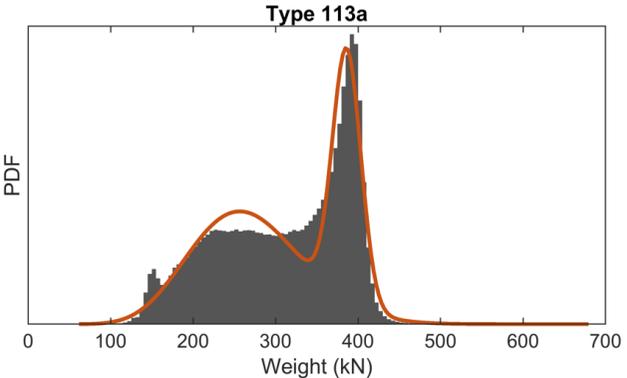
I = Kopplung für Anhänger, Auflieger etc.

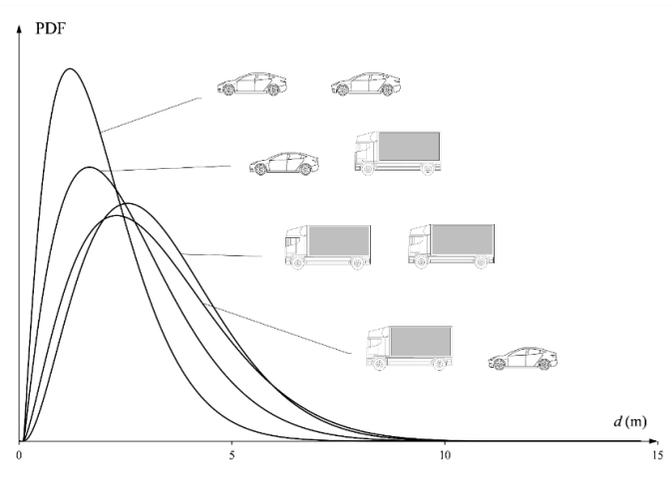
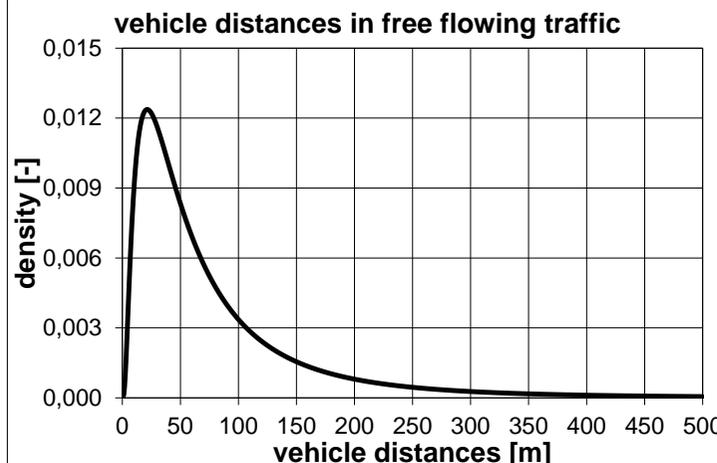
13.11. Vergleich der Annahmen für die Verkehrssimulation „Schweiz – EPFL“ und „Deutschland – IBF“

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF																				
<p><i>Stau vs. Fließverkehr</i></p>	<p>Es wird nur Stauverkehr simuliert. Dazu werden die WIM-Daten direkt verwendet.</p>	<p>Es werden grundsätzlich 2 Szenarien getrennt betrachtet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fließender Verkehr (alle Fahrstreifen) - fließender Verkehr mit Stauanteilen (in allen Richtungsfahrstreifen gleichzeitig) - Stau wird durch 2 Parameter $P_{\text{fließ}}$ und P_{stau} gesteuert: <table border="1" data-bbox="1167 630 1928 973"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Letztes Fahrzeug war im Stau</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">JA</td> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">NEIN</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">$ZZ < P_{\text{Stau}}$</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">$ZZ < P_{\text{Fließ}}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">JA</td> <td style="text-align: center;">NEIN</td> <td style="text-align: center;">JA</td> <td style="text-align: center;">NEIN</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">nächstes Fahrzeug ist im Stau</td> <td style="text-align: center;">nächstes Fahrzeug ist nicht im Stau</td> <td style="text-align: center;">nächstes Fahrzeug ist nicht im Stau</td> <td style="text-align: center;">nächstes Fahrzeug ist im Stau</td> </tr> </table> <p>Gewählt: $P_{\text{fließ}} = 0,999$ und $P_{\text{stau}}=0,99$ Beispiel: 25.000 Fahrzeuge/Tag → 2997 Fahrzeuge im Stau → 28 Stauabschnitte → Staulänge im Mittel 107 Fahrzeuge</p>	Letztes Fahrzeug war im Stau				JA			NEIN	$ZZ < P_{\text{Stau}}$		$ZZ < P_{\text{Fließ}}$		JA	NEIN	JA	NEIN	nächstes Fahrzeug ist im Stau	nächstes Fahrzeug ist nicht im Stau	nächstes Fahrzeug ist nicht im Stau	nächstes Fahrzeug ist im Stau
Letztes Fahrzeug war im Stau																						
JA			NEIN																			
$ZZ < P_{\text{Stau}}$		$ZZ < P_{\text{Fließ}}$																				
JA	NEIN	JA	NEIN																			
nächstes Fahrzeug ist im Stau	nächstes Fahrzeug ist nicht im Stau	nächstes Fahrzeug ist nicht im Stau	nächstes Fahrzeug ist im Stau																			

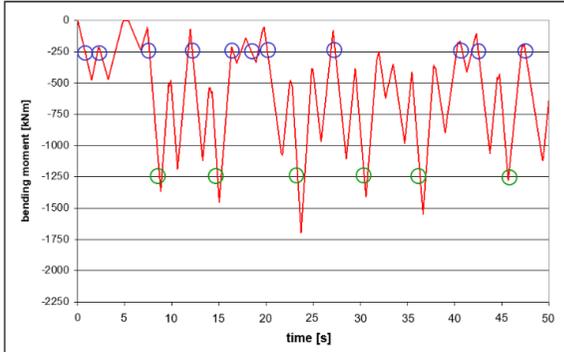
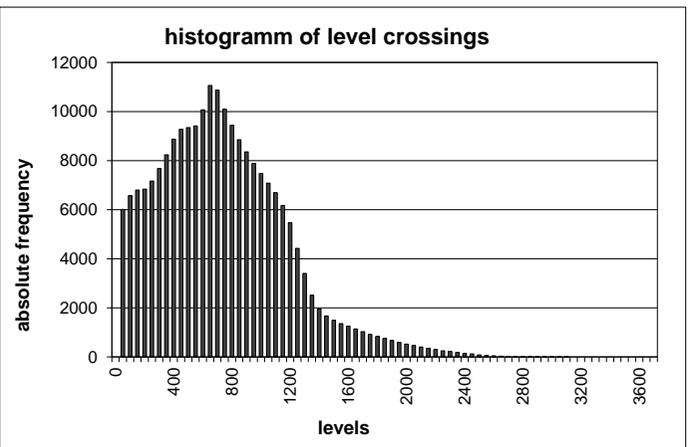
Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF
<i>Lkw-Rate</i>	Die verwendeten WIM-Stationen (CH) liefern Raten von $t = 7\%$ bis 29% , wobei nur LKW größer $6t$ gezählt werden.	LKW-Anteil entsprechend WIM-Stationen. In DE zählen LKW größer $3,5t$ zum Schwerverkehr.
<i>Verteilung der Fahrspuren für schwere Fahrzeuge</i>	Die LKW-Rate t wird für die gesamte Fahrbahn und nicht pro Fahrspur festgelegt. Um den LKW-Anteil pro Fahrspur zu ermitteln, werden die schweren Fahrzeuge zunächst nach einer Regel auf die einzelnen Fahrspuren verteilt: Annahmen: $80-20\%$, $85-15\%$ und $90-10\%$. Die leichten Fahrzeuge müssen dann den Raum zwischen den schweren Fahrzeugen füllen, um die LKW-Rate pro Spur zu ermitteln. Dies ist ein iterativer Prozess - wenn zwei Fahrspuren simuliert werden, müssen die Verkehrsströme gleich lang sein, so dass der Abstand zwischen den Fahrzeugen geschätzt werden muss (siehe weiter unten).	Konservative Annahme: $80-20\%$ Entsprechend Verkehrszählungen: $90-10\%$ Für Kompensationsmaßnahmen „Überholverbot“ $95-5\%$ oder $100-0\%$. Falls Nachweise nicht erbracht werden können, muss der Verkehr eingeschränkt werden! Erläuterung zu Kompensationsmaßnahmen siehe am Ende!
<i>Erzeugung des Fahrzeugstroms</i>	Zufällige Erzeugung von „0“ (für PKW) und „1“ (für LKW).	Zufällige Erzeugung der Fahrzeugfolge getrennt für alle Fahrstreifen. Bis zu 10 Fahrzeugarten können in einer Simulation verarbeitet werden.
<i>Berücksichtigung von Markov-Übergangswahrscheinlichkeiten</i>	Berücksichtigung eines "Bündelungsfaktor" wegen der größeren Wahrscheinlichkeit, dass einem LKW wieder ein LKW folgt als es die Lkw-Quote t vermuten lässt. Auf der Grundlage von Analysen wird ein Wert von $1,46$ verwendet. Er ist das Verhältnis der Übergangswahrscheinlichkeit von Lkw zu Lkw zur Lkw-Rate t .	Keine Berücksichtigung.
<i>Lkw-Typen</i>	Insgesamt werden 13 Lkw-Typen, die durch ihre Achskonfigurationen definiert sind, verwendet (vgl. 13.1. Abbildung 210). Zum Beispiel handelt es sich bei dem Typ 113a um einen Sattelzug.	Nach Analyse der WIM-Daten werden die häufigsten LKW-Typen mit ihren Eigenschaften erfasst. In einer Datenbank sind die Informationen zur Fahrzeuggeometrie und zur Gesamtgewichtsverteilung (zwei- und dreimodale NV) abgespeichert. Die Aufteilung des Gesamtgewichtes auf

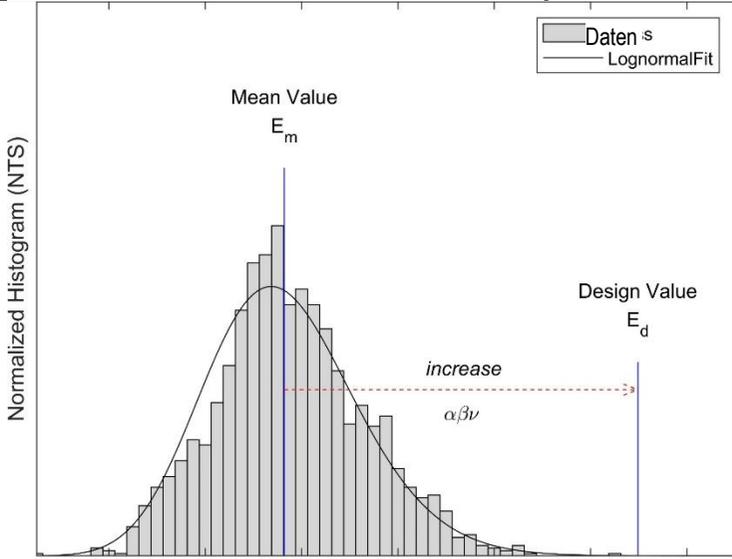
Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF
		<p>die Achsen ist fest definiert. Im Prinzip lassen sich beliebige Fahrzeuge definieren; in der Regel werden die 5 häufigsten LKW-Typen zzgl. Sonderfahrzeuge (Mobilkrane) verwendet. Verschlüsselung der Fahrzeuge siehe 13.9. Anlage. Die häufigsten Typen sind:</p> 
<p><i>Zuweisung von Schwerfahrzeugen</i></p>	<p>Schwere Fahrzeuge werden nach dem Zufallsprinzip im Verhältnis zu ihrer Häufigkeit verwendet. Die Korrelation zwischen den Fahrspuren wird nicht berücksichtigt. Nicht klassifizierte Fahrzeuge werden nicht simuliert.</p>	<p>Der verwendete Algorithmus ist vergleichbar. Bisher wurden in Spur 1 keine PKW simuliert, sondern nur im Überholfahrstreifen. In den früheren WIM-Daten fehlten diese Informationen. Die neueren WIM-Stationen enthalten alle erkannten Fahrzeuge einschließlich PKW. Auch wurde die Genauigkeit des Zeitstempels von 1s auf 0,01s erhöht.</p>

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF
		
<p>Zuweisung von Schwerlast gewichten</p>	<p>Die Zuweisung erfolgt zufällig entsprechend dem angepassten Gesamtgewichtshistogramm für jeden Lkw-Typ. Zur Anpassung wird eine bimodale Normalverteilung verwendet.</p> 	<p>Vergleichbares Verfahren, wobei teilweise dreimodale Normalverteilungen benutzt werden.</p>

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF
<i>Zuordnung der Achsgewichte schwerer Fahrzeuge</i>	Das Gesamtgewicht wird entsprechend den in der WIM beobachteten linearen Korrelationen auf die Achsgruppen verteilt. Innerhalb der Achsgruppen ist es deterministisch.	Die Zuordnung der Achsgewichte erfolgt deterministisch.
<i>Zuweisung von Achsabständen schwerer Fahrzeuge</i>	Gemäß der angepassten Verteilung, die für den Abstand zwischen den einzelnen Achsgruppen für jeden Lkw-Typ beobachtet wurde.	Die Achsabstände der Fahrzeuge werden durch Analyse der WIM-Daten ermittelt und in der Fahrzeugdatenbank abgespeichert. Für jeden Fahrzeugtyp wird mit festen Achsabständen gerechnet.
<i>Abstand zwischen den Fahrzeugen</i>	<p>Zufällig zugewiesen auf der Grundlage einer Beta-Verteilung nach Koshini [41]</p> 	<p>Die Fahrzeugabstände für den fließenden Verkehr wurden durch Analyse der WIM-Daten ausgewertet und durch Lognormalverteilungen in Abhängigkeit der Fahrzeuganzahl angepasst, wobei pro Tag Zeitfenster von jeweils 6 Stunden unterschieden werden können. Damit können unterschiedliche Verkehrsstärken in den Zeitfenstern abgebildet werden. Eine Unterscheidung zwischen den Abständen verschiedener Fahrzeugtypen wird nicht vorgenommen.</p> 

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF
		<p>Für fließenden Verkehr mit Stauabschnitten sind für die Stauabstände 3 Verfahren im Einsatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fester Abstand zwischen letzter Achse des vorausfahrenden Fahrzeugs und erster Achse des folgenden Fahrzeugs; z.B. 5m (sehr konservative Annahme) • Gleichverteilte Abstände, z.B. 5 bis 15m • Normalverteilte Abstände, z.B. $\mu=10m$, $\sigma=2m$
<i>Berechnung der Belastungswirkung</i>	Zunächst wird der Verkehrsstrom in Achsen mit Standorten aufgelöst und ein Array von Achsen mit Indizes erstellt (1 m bzw. 0,1 m bei kurzen Brücken). Die meisten Indizes haben keine Achse, also 0. Der Achsvektor wird über den Einflusslinienvektor gefaltet, der ebenfalls auf 1m-Schritte gerundet ist.	Die Fahrzeugfolge (Folge von Achslasten) wird in getrennten Fahrstreifen in einer vorgegebenen Schrittweite (wählbar von 0,1m bis 1,0m) über die Einflussfläche geführt und in jedem Schritt der entsprechende Kennwert (Moment, Querkraft, Stützkraft, Verschiebung, Verdrehung, ...) ermittelt.
<i>Struktur und Einflusslinien</i>	In einer Einflusslinienbibliothek sind eine Vielzahl von Bauwerken, Fahrbahnkonfigurationen und Einwirkungsarten hinterlegt.	Es werden grundsätzlich Einflussflächen der Kennwerte verwendet. In einer Bauwerksdatenbank sind typische Daten abgelegt.
<i>Dynamische Verstärkung</i>	Ein dynamischer Verstärkungsfaktor verändert sich linear fallend mit zunehmender Belastung der Brücke. Er beträgt 1,4 für 300 kN und sinkt dann auf 1,0 bei größer 1.500 kN. Für Stau wird kein dynamischer Faktor verwendet. Aus Vergleichsgründen werden oft beide Szenarien betrachtet.	Für fließenden Verkehr wird ein dynamischer Erhöhungsfaktor in der Regel gemäß DIN 1072 von $\Phi = 1,4 - 0,008 * L$ benutzt. Für Stauabschnitte wird der dynamische Erhöhungsfaktor 1 gesetzt. Durch den dynamischen Erhöhungsfaktor wird bis Stützweiten von ca. $L=30m$ fließender Verkehr maßgebend; bei größeren Stützweiten in der Regel Verkehr mit Stauabschnitten.
<i>Extremwertermittlung</i>	In der Vergangenheit wurden 1.000 Simulationen mit jeweils 15-20 Jahre stauendem Verkehr gerechnet. Aus jeder Simulation wurde der maximale Kennwert ermittelt. Das 99% Quantil der Maximalwertverteilung wurde mit Modellfaktor von 1,1 multipliziert. Durch anschließende Division durch den Normwert ergibt sich α (Abminderungsfaktor).	In Abhängigkeit der Verkehrsstärke werden unterschiedlich lange Fahrzeugfolgen simuliert. In der Regel für DTV-SV (durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr) 10.000 einen Zeitraum von 10 Tagen (= 100.000 LKW); für DTV-SV= 5.000 → 20 Tage (=100.000 LKW) usw. Für die statistische Auswertung kommt das Level Crossing Counting – Verfahren zur Anwendung. Die Grenzen werden in Abhängigkeit der

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF												
	<p>Für den fließenden Verkehr (der nicht simuliert wird, sondern direkt aus dem WIM-Verkehr über die Einflusslinienbibliothek geleitet wird) wird nicht mit der Anzahl der Fahrzeuge für einen Verkehr von 15-20 Jahre gerechnet. Es liegen Zeitblöcke aus WIM-Verkehren vor, so dass daraus wöchentliche oder jährliche Blockmaxima erhalten werden und diese an eine Verteilung angepasst werden können. Für die Ermittlung des Bemessungswertes wird die nachstehende Gleichung verwendet (links bei Verwendung einer Normalverteilung; rechts bei Ansatz einer Lognormalverteilung, α_{SF} ist der lastseitige Empfindlichkeitsfaktor von 0,70). Durch Division durch den Normwert wird α (Abminderungsfaktor) berechnet. Es wird kein Modellfaktor angesetzt, da die WIM-Daten direkt verwendet werden.</p> $E_{d,up} = E_{m,up} (1 + \alpha_{SF} \beta v) \qquad E_{d,up} = E_{m,up} \exp(\alpha_{SF} \beta \delta - 0.5 \delta^2)$ $\alpha_{Q_i,up} = \frac{E_{d,up}}{\gamma_Q Q_{ki}} \qquad \delta^2 = \ln(v^2 + 1)$	<p>maximalen oder minimale Werte definiert. In der Regel wird mit 100 bis 150 Klassen gerechnet. Das Ergebnis ist ein Histogramm der Klassenüberschreitungshäufigkeiten bzw. Unterschreitungen.</p>  <table border="1" data-bbox="1747 486 2049 694"> <thead> <tr> <th>class</th> <th>Number of level down-crossing</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-250</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>-1250</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Mit dem RICE-Verfahren wird eine optimale Anpassung an das obere Ende der Häufigkeitsverteilung vorgenommen. Die erzeugte RICE-Funktion ermöglicht die Berechnung eines charakteristischen Wertes, der</p>	class	Number of level down-crossing	-250	11	-1250	6
class	Number of level down-crossing													
-250	11													
...	...													
...	...													
...	...													
-1250	6													

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF
	 <p>Normalized Histogram (NTS)</p> <p>Mean Value E_m</p> <p>Design Value E_d</p> <p>increase $\alpha\beta\nu$</p> <p>Daten ^s</p> <p>LognormalFit</p>	<p>1 mal in einer beliebig vorgegebenen Wiederkehrperiode auftritt. Entsprechend EN 1991-2 gilt hierfür eine 1000jährige Wiederkehrperiode. Die Simulation und Auswertung wird mehrfach durchgeführt (10 mal), so dass 10 charakteristische Werte als Ergebnisse zur Verfügung stehen. Die Streichung des größten und kleinsten Wertes und Mittelwertbildung der verbleibenden 8 Werte ergibt den maßgebenden charakteristischen Wert. Der charakteristische Wert des betrachteten Kennwertes wird anschließend mit der Größe des Kennwertes infolge des gewählten Lastmodells verglichen. Für die Nachrechnung von Brücken gilt in DE die Nachrechnungsrichtlinie mit definierten Lastmodellen in Abhängigkeit verschiedener Verkehrsarten („Große Entfernung“; „Mittlere Entfernung“; „Ortsverkehr“) sowie Verkehrsstärken:</p> <ul style="list-style-type: none"> • LM1 (LMM) nach DIN EN 1991-2/NA • LM1 nach DIN-Fachbericht 101, 2009 • BK 60/30 nach DIN 1072/1985 • BK 30/30 nach DIN 1072/1985 • BK 60 nach DIN 1072/1967 • BK 45 nach DIN 1072/1967 • BK 30 nach DIN 1072/1967 <p>Für eine konkrete Nachrechnung einer Brücke ist auch immer eine Zunahme der Verkehrsstärke für die Zukunft zu berücksichtigen.</p> <p>Tab.: Nachzuweisende Ziellastniveaus</p>

Parameter	Schweiz - EPFL	Deutschland - IBF																															
		<table border="1" data-bbox="1167 347 2119 595"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="1167 347 1503 384"></th> <th data-bbox="1503 347 1709 384">1</th> <th data-bbox="1709 347 1912 384">2</th> <th data-bbox="1912 347 2119 384">3</th> </tr> <tr> <th colspan="2" data-bbox="1167 384 1503 421"></th> <th colspan="3" data-bbox="1503 384 2119 421">Verkehrsart</th> </tr> <tr> <th colspan="2" data-bbox="1167 421 1503 480">Große Entfernung</th> <th data-bbox="1503 421 1709 480">Mittlere Entfernung</th> <th colspan="2" data-bbox="1709 421 2119 480">Ortsverkehr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1167 480 1227 517">1</td> <td data-bbox="1227 480 1503 517">DTV-SV < 2.000</td> <td data-bbox="1503 480 1709 517" rowspan="3">LM1 ¹⁾</td> <td data-bbox="1709 480 1912 517">BK60/30</td> <td data-bbox="1912 480 2119 517">BK60 ^{2) 3)}</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1167 517 1227 553">2</td> <td data-bbox="1227 517 1503 553">2.000 ≤ DTV-SV < 20.000</td> <td data-bbox="1709 517 1912 553">LM1 ¹⁾</td> <td data-bbox="1912 517 2119 553">BK60/30</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1167 553 1227 590">3</td> <td data-bbox="1227 553 1503 590">DTV-SV ≥ 20.000</td> <td data-bbox="1709 553 1912 590"></td> <td data-bbox="1912 553 2119 590">LM1 ¹⁾</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1155 603 2119 906">Für den Fall, dass für eine Brücke das Ziellastniveau nicht nachgewiesen werden kann, muss die Einwirkung aus Verkehr verringert werden. Hierzu sind in der Nachrechnungsrichtlinie verschiedene Maßnahmen definiert = „Kompensationsmaßnahmen“. Die Maßnahme „LKW – Überholverbot“ bewirkt eine Reduzierung der Verkehrseinwirkung. Kann auch damit das Ziellastniveau nicht nachgewiesen werden, müssen zusätzlich weitere Kompensationsmaßnahmen vorgeschrieben werden: z.B. Regelung der Abstände zwischen LKW oder Verlagerung von Fahrstreifen.</p>						1	2	3			Verkehrsart			Große Entfernung		Mittlere Entfernung	Ortsverkehr		1	DTV-SV < 2.000	LM1 ¹⁾	BK60/30	BK60 ^{2) 3)}	2	2.000 ≤ DTV-SV < 20.000	LM1 ¹⁾	BK60/30	3	DTV-SV ≥ 20.000		LM1 ¹⁾
		1	2	3																													
		Verkehrsart																															
Große Entfernung		Mittlere Entfernung	Ortsverkehr																														
1	DTV-SV < 2.000	LM1 ¹⁾	BK60/30	BK60 ^{2) 3)}																													
2	2.000 ≤ DTV-SV < 20.000		LM1 ¹⁾	BK60/30																													
3	DTV-SV ≥ 20.000			LM1 ¹⁾																													

13.12. Analytische Berechnungen von Gesamtgewichten und Achslasten

Als Voraussetzung für die analytische Berechnung charakteristischer Größen der Verkehrsbelastung ist deren mathematische Modellierung erforderlich, die anliegend beschrieben wird [97].

13.12.1. Gesamtgewichtsverteilungen - Einzelfahrzeuge

Das Modell ULS besteht aus fünf Fahrzeugtypen. Die Gesamtgewichte dieser Fahrzeuge werden durch mehrmodale Normalverteilungen beschrieben, die aus den Achslastdaten der WIM-Stationen gewonnen werden. Durch Addition dieser Verteilungen entsprechend der Auftretenswahrscheinlichkeiten der Fahrzeugtypen werden die Gesamtgewichte des gesamten Verkehrsaufkommens zu einer Gesamtverteilung (1) zusammengefasst.

$$GGD(x) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \sum_{j=1}^m \xi_{i,j} \cdot \frac{1}{\sigma_{i,j}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{i,j}}{\sigma_{i,j}}\right) \quad (1)$$

- mit:
- n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen
 - m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
 - a_i Anteil des Fahrzeugtyps i am gesamten Schwerverkehrsaufkommen
 - $\xi_{i,j}$ Anteil der Normalverteilung j an der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i
 - $\mu_{i,j}$ / Erwartungswert / Standardabweichung der Normalverteilung j
 - $\sigma_{i,j}$ innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i
 - $\varphi()$ Dichtefunktion der Standardnormalverteilung

Durch Umformen von (1) ergibt sich:

$$GGD_2(x) = \sum_{k=1}^{n \cdot m} \xi_k \cdot \frac{1}{\sigma_k} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_k}{\sigma_k}\right) \quad (2)$$

- mit: n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen

- m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
- ξ_k Anteil der Normalverteilung k an der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge
aus a_i und $\xi_{i,j}$
- μ_k / σ_k Erwartungswert / Standardabweichung der Normalverteilung k innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge aus $\mu_{i,j} / \sigma_{i,j}$
- $\varphi()$ Dichtefunktion der Standardnormalverteilung

13.12.2. Achsgewichtsverteilungen - Einzelachsen

Analog zum Vorgehen für die Gesamtgewichtsverteilung ergibt sich nach Gleichung (3) die Verteilungsfunktion der Achslast ($ALD(x)$). Die Gleichung (2) wird hierin um den Parameter für die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die einzelnen Achsen eines Fahrzeugtyps erweitert ($b_{i,k}$). Die Gleichung (4) ($ALD_2(x)$) stellt eine Zusammenfassung von Gleichung (3) dar. Voraussetzung für Formulierung dieser Funktionen ist die Annahme, dass die Verteilung des Gesamtgewichtes auf die Achsen über den kompletten Gesamtgewichtsbereich konstant ist. Diese Annahme wird auch in den Simulationsrechnungen vorausgesetzt. Abweichungen von dieser Annahme sind für die Untersuchungen der Tragwerkslängsrichtung mit zunehmender Einzelstützweitenlänge der Systeme von untergeordneter Bedeutung. Für die Betrachtung einzelner Achslasten, z.B. für Auswirkungen der Verkehrslasten für lokale Beanspruchungen, kann sich hier aber ein Einfluss ergeben. Eine weitere Voraussetzung zur funktionellen Definition einer Verteilung der Achslasten ist die statistische Unabhängigkeit untereinander.

$$ALD(x) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \sum_{k=1}^o \sum_{j=1}^m \xi_{i,j} \cdot b_{i,k} \cdot \frac{1}{\sigma_{i,j} \cdot b_{i,k}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{i,j} \cdot b_{i,k}}{\sigma_{i,j} \cdot b_{i,k}}\right) \quad (3)$$

- mit: n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen
- m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
- o Maximale Anzahl der Einzelachsen der Fahrzeuge
- a_i Anteil des Fahrzeugtyps i am gesamten Schwerverkehrsaufkommen
- $b_{i,k}$ Anteil der Achslast k des Fahrzeugtyps i am Gesamtgewicht
- $\xi_{i,j}$ Anteil der Normalverteilung j an der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i

- $\mu_{i,j}$ / Erwartungswert / Standardabweichung der Normalverteilung j
 $\sigma_{i,j}$ innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung des Fahrzeugtyps i
 $\varphi(\cdot)$ Dichtefunktion der Standardnormalverteilung

$$ALD_2(x) = \sum_{z=1}^{m-o} \xi_z \cdot \frac{1}{\sigma_z} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_z}{\sigma_z}\right) \quad (4)$$

- mit: n Anzahl der betrachteten Fahrzeugtypen
 m Maximale Anzahl der Einzelverteilungen zur Beschreibung der Gesamtgewichtsverteilung der Fahrzeuge
 o Maximale Anzahl der Einzelachsen der Fahrzeuge
 ξ_z Anteil der Normalverteilung z an der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge
 (aus $a_i, b_{i,k}$ und $\xi_{i,j}$ in (4))
 μ_z / σ_z Erwartungswert / Standardabweichung der Normalverteilung z innerhalb der Gesamtgewichtsverteilung aller Fahrzeuge
 (aus $\mu_{i,j} / \sigma_{i,j}$ und $b_{i,k}$ in (2))
 $\varphi(\cdot)$ Dichtefunktion der Standardnormalverteilung

Mit den Gleichungen (3) und (4) wird die Achslastverteilung rückwärts aus den Verteilungen der Gesamtgewichte errechnet. Die relativ aufwendige Berechnung lässt sich umgehen, wenn man die Informationen der WIM-Daten bzgl. der Achslasten direkt auswertet und die ermittelten Häufigkeiten durch entsprechende Verteilungen (z.B. Normalverteilungen) approximiert.

$$ALD_3(x) = \sum_{k=1}^p \xi_k \cdot \frac{1}{\sigma_k} \cdot j\left(\frac{x - \mu_k}{\sigma_k}\right); k = 1, \dots, l \quad (5)$$

Um die Häufigkeitsverteilung gut anzunähern sind i.a. 4 oder 5 modale Verteilungen erforderlich. Durch Reduzierung des Verkehrs auf die fünf häufigsten Fahrzeugtypen und die feste Aufteilung der Gesamtgewichtsgewichte auf die jeweiligen Fahrzeugachsen erfolgt eine gewisse Idealisierung im Verkehrslastmodell, so dass sich Unterschiede zwischen den Dichteverteilungen der Achslasten aus „WIM-direkt“ und den aus den Gesamtgewichten zurück gerechneten Verteilungen ergeben. In der Abbildung 223 ist ein Beispiel dargestellt. Auf die charakteristischen Achslasten wirken sich die Abweichungen jedoch nicht aus. In Abbildung 224 sind die Verteilungsfunktion F sowie die Extremwertverteilungen F^N für beide

Vorgehensweisen aufgezeigt. Im gezeigten Beispiel liefern die beiden Methoden nahezu die gleichen charakteristischen Achslasten.

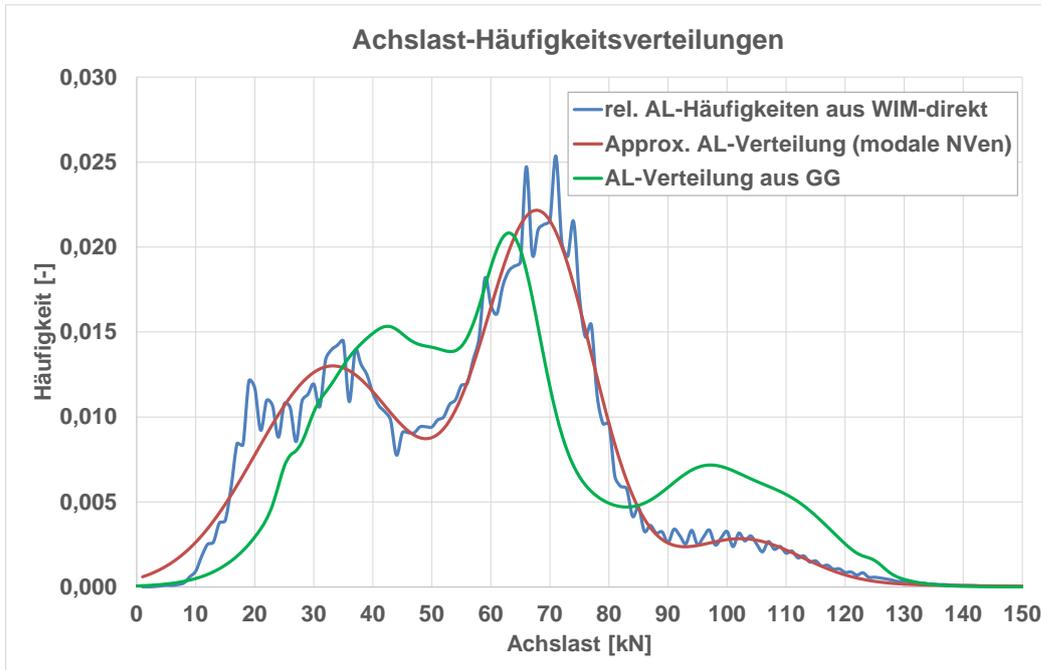


Abbildung 223: Dichteverteilung von Achslasten aus WIM-direkt und aus GG-Verteilungen an der WIM-Station Straelen (DE).

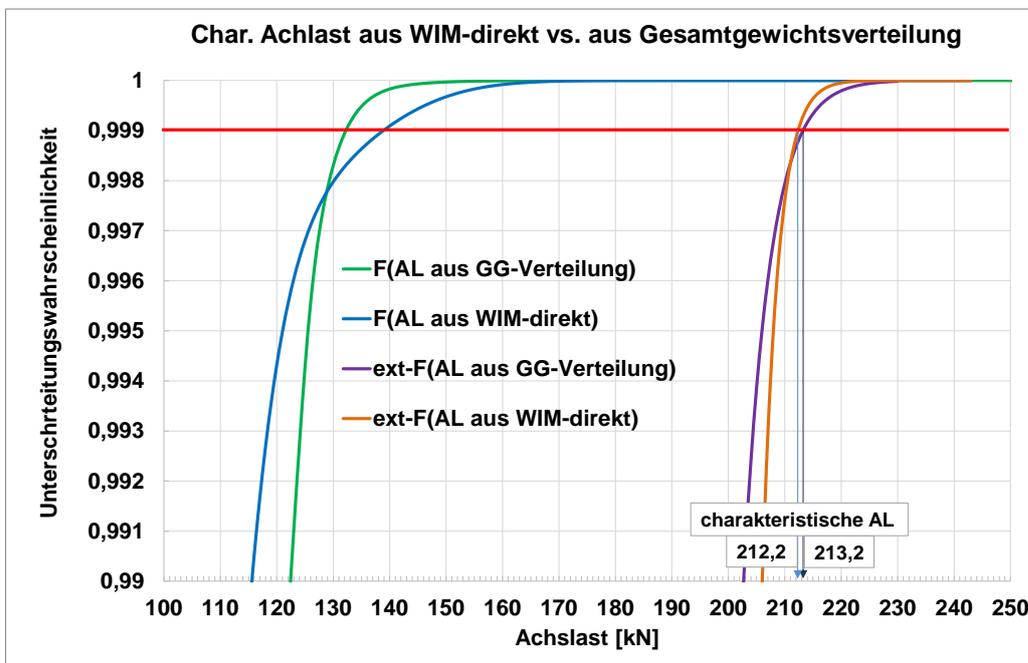


Abbildung 224: Verteilungsfunktionen und Extremwertverteilungen für Achslasten sowie charakteristisch Achslasten an der WIM-Station Straelen.

13.12.3. Gesamtgewichtsverteilungen der Gesamtgewichtssumme von zwei Fahrzeugen

Für die Abbildung der Gesamtgewichtsverteilungen wurden mehrmodale Normalverteilungen verwendet. Normalverteilungen sind invariant gegenüber der Faltung. Die Summe unabhängiger normalverteilter Zufallsgrößen ist wieder normalverteilt. In Gleichung (2) wird die Gesamtgewichtsverteilung eines einzelnen Fahrzeuges durch die Parameter μ_k , σ_k und ξ_k beschrieben. Die Parameter der Verteilung der Summe der Gesamtgewichte zweier Fahrzeuge können daraus mit den Gleichungen (6) bis (8) ermittelt werden. Die Gleichungen sind dabei für jeden der k_1 Parameter der Funktion für das erste Fahrzeug mit jedem der k_2 Parameter der Funktion für das zweite Fahrzeug anzuwenden. Es ergeben sich somit also $k_1 \cdot k_2$ Parametersätze (μ, σ, ξ) für die Funktion des gemeinsamen Gesamtgewichtes.

$$\mu_{ges} = \mu_{k_1} + \mu_{k_2} \quad (6)$$

$$\sigma_{ges} = \sqrt{\sigma_{k_1}^2 + \sigma_{k_2}^2} \quad (7)$$

$$\xi_{ges} = \xi_{k_1} \cdot \xi_{k_2} \quad (8)$$

Gleichung (9) liefert die allgemeine Formulierung der funktionellen Beschreibung der Dichtefunktion für das Gesamtgewicht zweier Fahrzeuge. Es ergeben sich zum Beispiel ausgehend von 5 betrachteten Fahrzeugtypen und 3 Einzelverteilungen zur Beschreibung des Gesamtgewichtes pro Fahrzeug $(5 \times 3) \times (5 \times 3) = 225$ Parametersätze.

$$GGD_{Begeg}(x) = \sum_{f=1}^{n_1 \cdot m_1 \cdot n_2 \cdot m_2} \xi_{ges,f} \cdot \frac{1}{\sigma_{ges,f}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{ges,f}}{\sigma_{ges,f}}\right) \quad (9)$$

Die Summe von Gesamtgewichten zweier Fahrzeuge (hier ist nebeneinanderstehend gemeint) wird für ein analytisches Verfahren zur Berechnung charakteristischer Kennwerte bei Einfeldsystemen mit kleinen Stützweiten verwendet.

Mit dem RICE-Verfahren lassen sich nur bei sehr langen Simulationszeiten (≥ 10 Jahre) stabile charakteristische Kennwerte ermitteln. Für Einfeldsysteme mit Stützweiten ≤ 20 m befinden sich in den Fahrstreifen nur jeweils ein maßgebendes LKW-Fahrzeug. Mit der Beziehung (9) wird der charakteristische Wert der Gesamtgewichtssumme von zwei nebeneinanderstehenden LKW bei einem angenommenen maximalen Versatz von 1m ermittelt. Dazu wird aus den vorliegenden Achslastfolgen mit der Simulationsdauer von 1

Jahr die Begegnungshäufigkeit n ausgezählt. Der charakteristische Wert der Gesamtgewichtssummen der beiden LKW ergibt sich aus der Gleichung 10:

$$F^n(q = 0,998) = \left(\int_{-\infty}^x GGD_{Begeg}(t) dt \right)^n \quad (10)$$

Mit den Achslastfolgen für use case BAB A7 auf der Grundlage der Verkehrsdaten nach Fall 4 (siehe Abschnitt 9.2.2) ergeben sich für die beiden Realisierungen 402 bzw. 407 LKW-Begegnungen/ Jahr.

Nach Gleichung (10) errechnet sich die charakteristische Gesamtgewichtssumme zu **GG_{k,2 LKW} = 1106 kN**, wobei hier eine Wiederkehrperiode von 500 Jahren wegen der korrespondierenden Bezugszeit von 50 Jahren angenommen wurde.

Für den Fall von Verkehr mit genehmigungspflichtigen Fahrzeugen (hier 60t-Mobilkran) erfolgt die Aufteilung der Gesamtgewichtssumme wie folgt:

$$GG_{\text{Mobilkran}} = 660 \text{ kN (max. Gesamtgewicht, siehe 6.2.5)}$$

$$GG_{\text{Sattelzug 113}} = 1106 - 660 = 446 \text{ kN}$$

Die anschließende Auswertung der Einflussfläche für das Feldmoment M_x für das Bauwerk A7_01 ergibt eine charakteristische Schnittgröße $M_{x_k} = 158 \text{ kNm/m}$ einschließlich eines DAF=1,21 (siehe 8.2.5. Abbildung 123).

Für den Fall „Verkehr ohne genehmigungspflichtige Fahrzeuge“ wird eine Aufteilung der Gesamtgewichtssumme im Verhältnis 60% Spur1 zu 40% Spur 2 für jeweils die Sattelzüge 113 vorgeschlagen, was dem Verhältnis der Normwerte der Tandemsysteme entspricht. Alternativ kann ein charakteristischer Wert der Gesamtgewichtssumme aus den Gesamtgewichtsverteilungen des Mobilkrans und des Sattelzuges 113 etwas einfacher nach Gleichung (11) ermittelt werden:

$$F^n(q=0,998) = \left(\int_{-\infty}^x f_{\text{Kran}}(t) * f_{113}(t) dt \right)^n \quad (11)$$

Der Wert n ist hier die Häufigkeit des gleichzeitigen Auftretens von Mobilkran und Sattelzug in 1 Jahr. Bei diesem Ansatz erfolgt allerdings keine Berücksichtigung des Fahrzeugversatzes, so dass die Werte etwas größer ausfallen als nach (10). Im vorliegenden Beispiel ergibt sich mit $n=87$ **GG_{k,2 LKW} = 1158 kN**.

Mit der entsprechenden Verteilung auf die Fahrzeuge Mobilkran und Sattelzug errechnet sich das charakteristische Feldmoment $M_{x_k} = 163 \text{ kNm/m}$ (siehe 8.2.5. Abbildung 123).

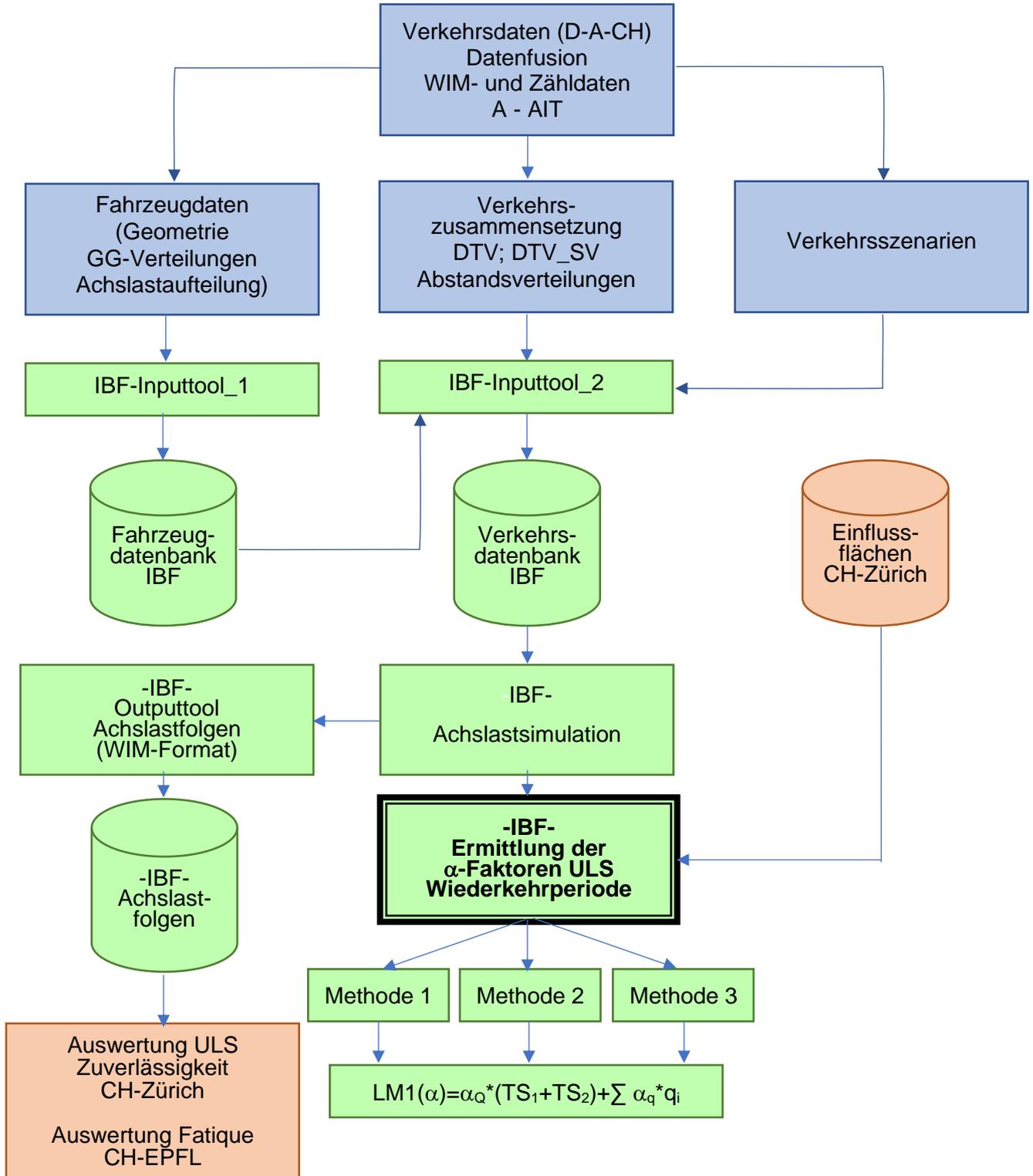
13.12.4. Achslastverteilungen der Achslastsumme von zwei Achsen

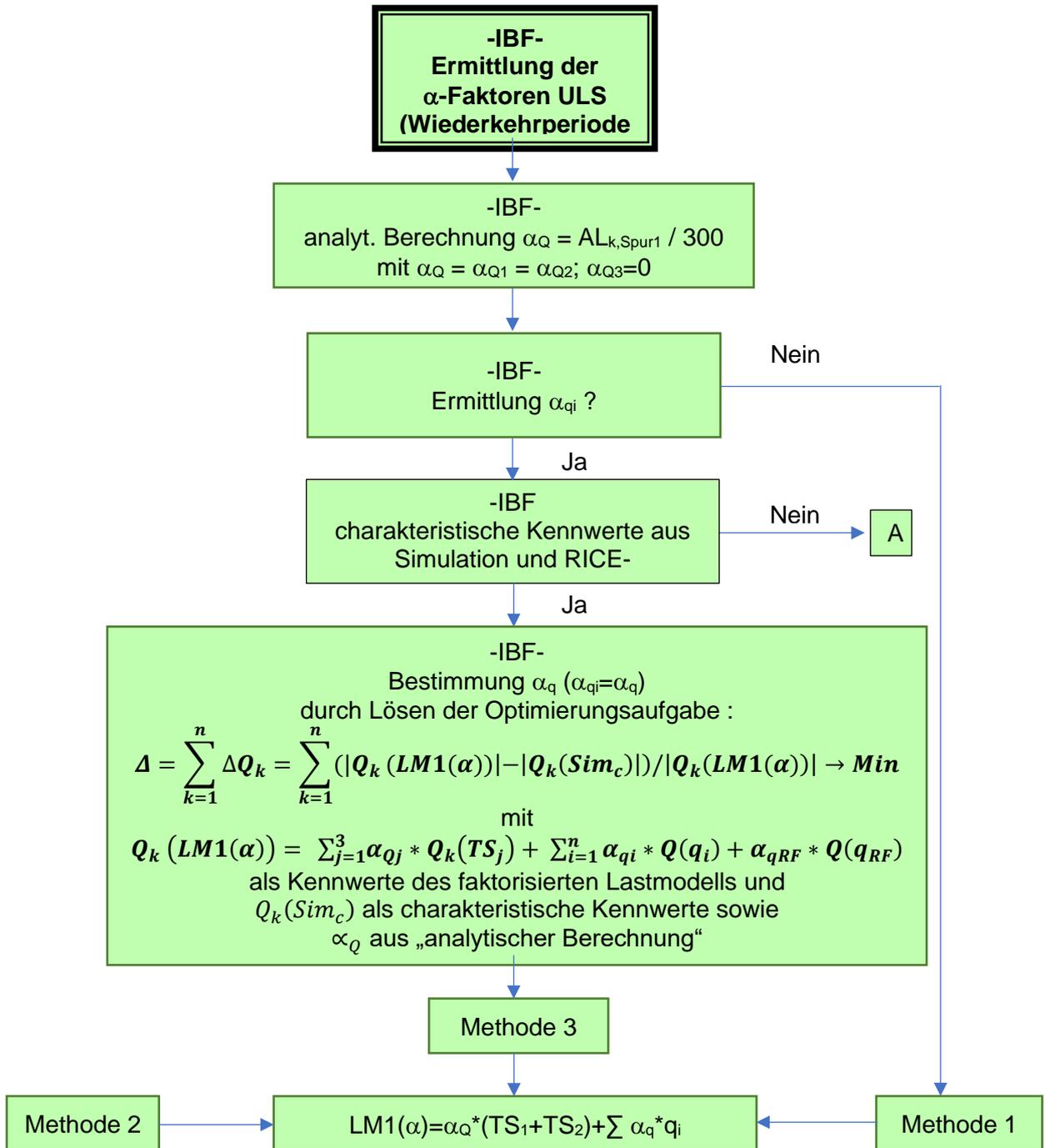
Analog zur Bestimmung der funktionellen Beschreibung der Verteilung der Summe der Gesamtgewichte zweier Fahrzeuge erfolgt die Bestimmung der Verteilung der Summe aus zwei Achslasten (hier ist nebeneinanderstehender Achslasten gemeint) mit Gleichung (12). Wie für das Gesamtgewicht ist hierfür die Kombination aus zwei Verteilungen für die Einzelachslast erforderlich. Die Gleichungen (6) bis (8) werden hierzu verwendet, um die in Gleichung (9) aufgeführten Parametersätze ($\mu_{ges,g}$, $\sigma_{ges,g}$ und $\xi_{ges,g}$) zusammen-zustellen. Bei der Verwendung der zurückgerechneter Achslastverteilungen wird die Anzahl dieser Parametersätze dabei sehr groß. Ausgehend von dem Beispiel (5 Fahrzeugtypen, 3 Verteilungen zur Beschreibung des Gesamtgewichtes), erweitert um die Annahme, dass jedes Fahrzeug im Mittel 4 Achsen hat, ergeben sich $(5 \times 3 \times 4) \times (5 \times 3 \times 4) = 3600$ Parametersätze.

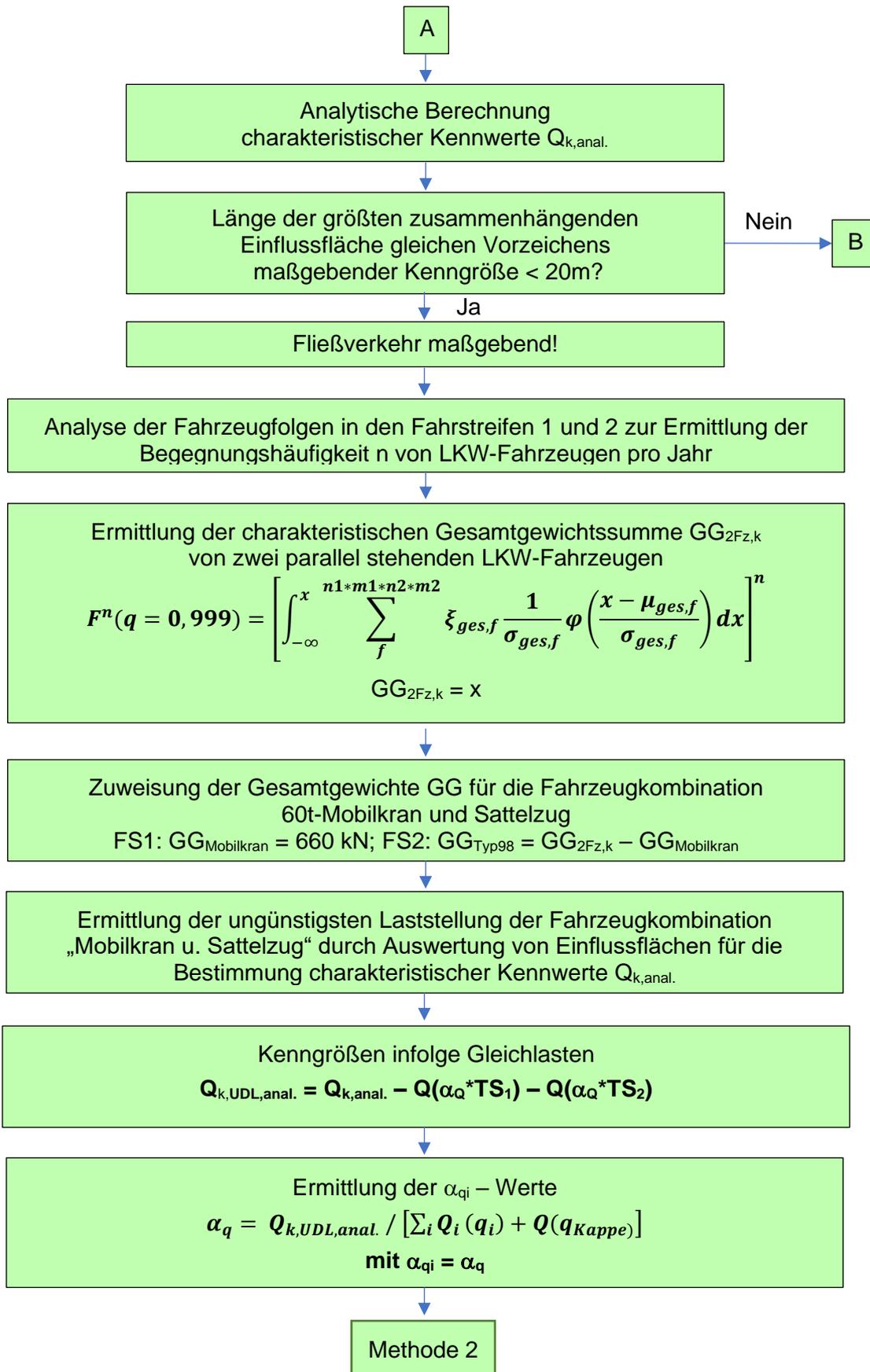
$$ALD_{Begeg}(x) = \sum_{g=1}^{n_1 \cdot m_1 \cdot o_1 \cdot n_2 \cdot m_2 \cdot o_2} \xi_{ges,g} \cdot \frac{1}{\sigma_{ges,g}} \cdot \varphi\left(\frac{x - \mu_{ges,g}}{\sigma_{ges,g}}\right) \quad (12)$$

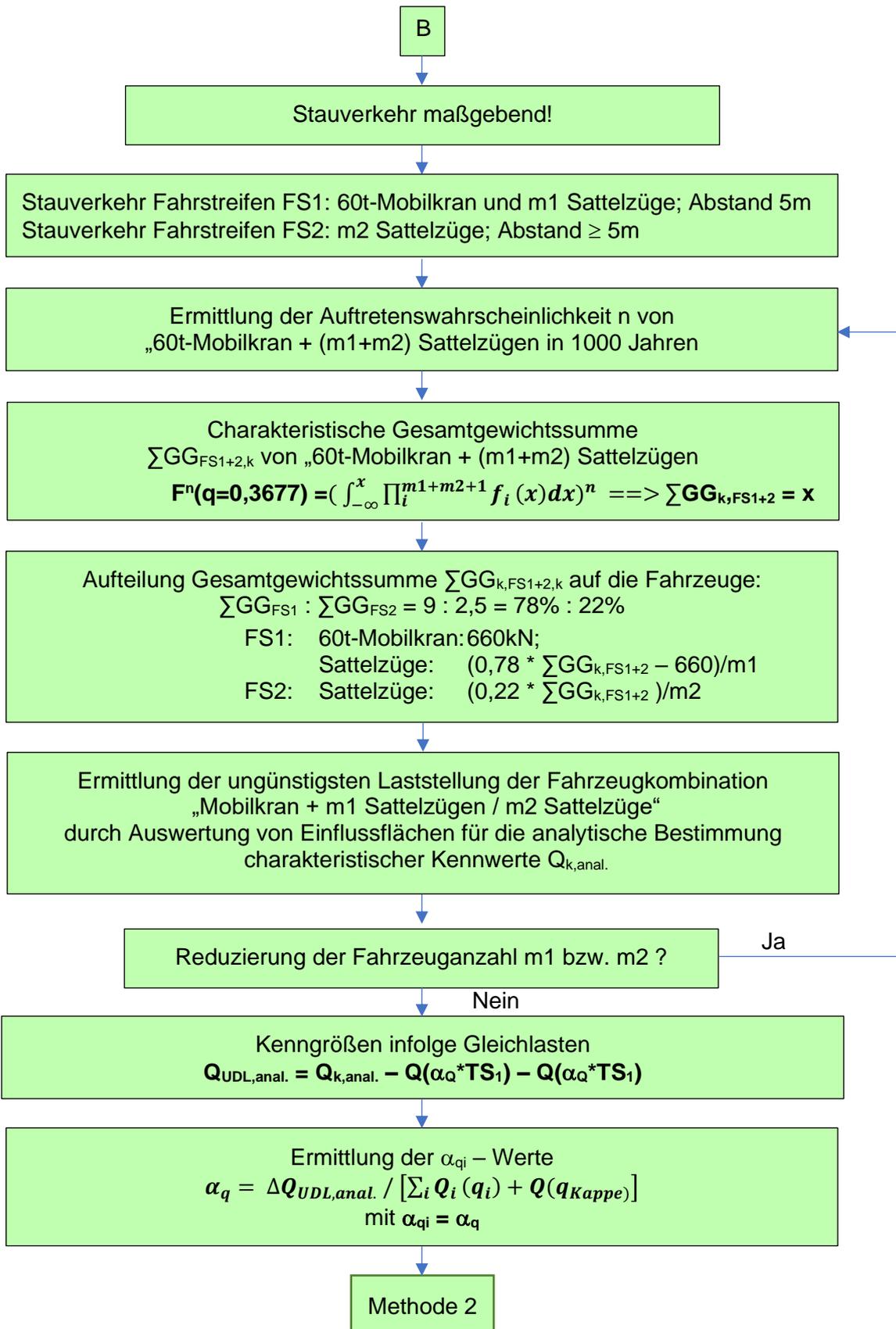
Wird alternativ die Methoden der direkt aus den WIM-Daten ermittelten Achslastverteilungen verwendet, z.B. durch 5 modale Normalverteilungen, so verringert sich die Anzahl der zu bestimmenden Parametersätze deutlich auf 25.

13.13. Geschlossener Algorithmus von der Datenfusion bis zur Ermittlung der Faktoren α_Q und α_q









13.14. Bemessungswert nach Zuverlässigkeitstheorie und nach Wiederkehrperiode für Einwirkungen aus Straßenverkehrslasten

Im Folgenden wird der theoretische Zusammenhang zwischen Bemessungswert nach Zuverlässigkeitstheorie (EN 1990) und Bemessungswert auf der Grundlage charakteristischer Werte mit einer definierten mittleren Wiederkehrperiode (EN 1991-2) für Einwirkungen aus Straßenverkehrslasten gezeigt.

Voraussetzung für die nachfolgenden Ableitungen ist hier, dass die Einwirkungen aus Straßenverkehrslasten durch eine Extremwertverteilung Typ I (Gumbel-Verteilung) beschrieben werden können.

Verteilungsfunktion: $F(x) = \exp(-\exp(-a(x-u)))$

Quantilwert Q: $F^{-1}(q) = Q = u - (\ln(-\ln(q))) / a$

Erwartungswert: $m_Q = u + \eta / a$

$\eta = 0,577\ 216$ (Euler – Mascheroni -Konstante)

Streuung: $\sigma_Q = \pi / (a \cdot \sqrt{6}) = \kappa / a$

$\kappa = \pi / \sqrt{6}$

Variationskoeffizient: $V_Q = \sigma_Q / m_Q$

Der Modalwert u kann durch m_Q und σ_Q ausgedrückt werden:

$\Rightarrow u = m_Q (1 - V_Q \cdot \eta / \kappa)$, damit ergibt sich der Bemessungswert zu

$\Rightarrow Q = m_Q \{1 - (V_Q / \kappa) \cdot (\eta + (\ln(-\ln(q))))\}$

\Rightarrow **Bemessungswert nach Zuverlässigkeitstheorie:**

$\Rightarrow Q_{d,t}(\beta) = m_{Q,t} \{1 - (V_{Q,t} / \kappa) \cdot (\eta + (\ln(-\ln(\Phi(\alpha \cdot \beta_t))))\}$

mit β_t – Zuverlässigkeitsindex

t - Bezugszeitraum

$\alpha = 0,7$ - Wichtungsfaktor für Einwirkungen

Die Bemessungswerte $Q_{d,t}(\beta)$ sind vom Bezugszeitraum t abhängig!

Der Charakteristische Wert Q_k basiert auf einer definierten mittleren Wiederkehrperiode.
Nach DIN EN1991-2 ist für den charakteristischen Wert infolge einer Einwirkung aus
Straßenverkehr als Wiederkehrperiode 1000 Jahren zu verwenden.

Die Unterschreitungswahrscheinlichkeit errechnet sich aus

$$\Rightarrow P = q_t = (1 - 1 / m_{TR})^t$$

mit m_{TR} = Wiederkehrperiode [Jahren], hier = 1000 Jahre;
 t = Bezugszeitraum [Jahren]

Für verschiedene Bezugszeiträume t ergeben sich folgende Werte:

\Rightarrow 1 Jahr:	$t = 1$ Jahr	$\rightarrow q_t = 0,999 = q_{1J}$
\Rightarrow 50 Jahre:	$t = 50$ Jahre	$\rightarrow q_t = 0,951\ 206 = q_{50J}$
\Rightarrow 100 Jahre:	$t = 100$ Jahre	$\rightarrow q_t = 0,9904\ 792 = q_{100J}$

$$\Rightarrow Q_{k,t} = m_{Q,t} \{1 - (V_{Q,t} / \kappa) * (\eta + (\ln(-\ln(q_t))))\}$$

Der zugehörige Bemessungswert ergibt sich durch Multiplikation mit dem
Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,35$ nach DIN EN 1991-2 zu

$$\Rightarrow Q_{d,t}(WKP) = \gamma_Q * Q_{k,t} = \gamma_Q * m_{Q,t} \{1 - (V_{Q,t} / \kappa) * (\eta + (\ln(-\ln(q_t))))\}$$

Relative Differenz ΔQ der beiden Bemessungswerte $Q_{d,t}(\beta)$ und $Q_{d,t}(WKP)$:

$$\Rightarrow \Delta Q = 1 - \frac{Q_{d,t}(\beta)}{Q_{d,t}(WKP)} = 1 - \frac{m_{Q,t} \{1 - (V_{Q,t} / \kappa) * (\eta + (\ln(-\ln(\Phi(\alpha * \beta_t))))\}}{\gamma_Q * m_{Q,t} \{1 - (V_{Q,t} / \kappa) * (\eta + (\ln(-\ln(q_t))))\}}$$

$$\Rightarrow \Delta Q = 1 - \frac{1}{\gamma_Q} * \frac{\{\kappa - V_{Q,t} * (\eta + (\ln(-\ln(\Phi(\alpha * \beta_t))))\}}{\{\kappa - V_{Q,t} * (\eta + (\ln(-\ln(q_t))))\}}$$

Die relative Differenz ΔQ der beiden Bemessungswerte hängt bzgl. der ursprünglichen Verteilungsfunktion nur noch von dem Variationskoeffizienten $V_{Q,t}$ ab.

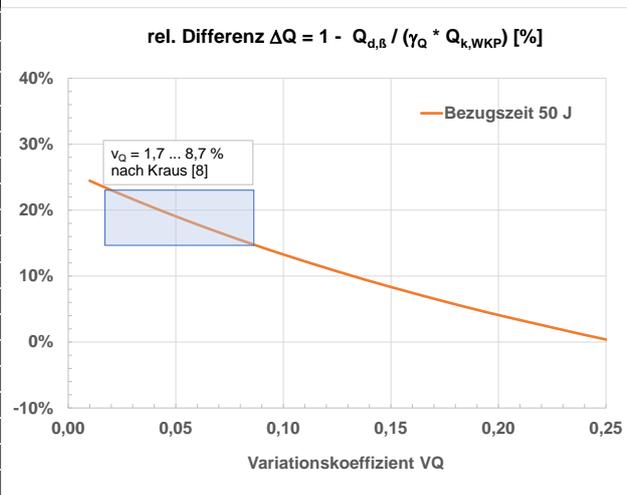
Nachfolgend werden die ΔQ - Werte für verschiedene Variationskoeffizienten und Bezugszeiträume ermittelt:

Bezugszeitraum:

- ⇒ t = 1 Jahr: $\beta_{1J} = 4,7$
- ⇒ t = 50 Jahre: $\beta_{50J} = 3,83$
- ⇒ t = 100 Jahre: $\beta_{100J} = 3,65$

Tabelle 97: Relative Differenzen ΔQ der beiden Bemessungswerte $Q_{d,t}(\beta)$ und $Q_{d,t}(WKP)$

Bezugszeit	1 J	50 J	100 J
$\beta_{\tau} =$	4,70	3,83	3,65
$q_t =$	0,999000	0,951205628	0,904792
$V_Q =$	rel. Differenz $\Delta Q = 1 - Q_{d(\beta)} / (\gamma_Q * Q_{k(WKP)})$ [%]		
0,01	26%	24%	24%
0,02	25%	23%	23%
0,03	25%	22%	21%
0,04	25%	20%	19%
0,05	24%	19%	18%
0,06	24%	18%	17%
0,07	24%	17%	15%
0,08	24%	15%	14%
0,09	23%	14%	12%
0,10	23%	13%	11%
0,125	23%	11%	8%
0,15	22%	8%	5%
0,175	22%	6%	2%
0,19	22%	5%	0%
0,20	22%	4%	-1%



Zusammenfassung:

- ⇒ Die relative Differenz zwischen den Bemessungswerten $Q_{d,t}(\beta)$ und $Q_{d,t}(WKP)$ wird für vergleichbare Bezugszeiträume ausschließlich durch den Variationskoeffizienten V_Q beeinflusst. Dabei ist für kleine Variationskoeffizienten die Abweichung am größten.
- ⇒ Für $V_Q = 25\%$ und Bezugszeitraum 50 Jahre sind die Bemessungswerte $Q_{d,t}(\beta)$ und $Q_{d,t}(WKP)$ für ein Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,35$ identisch.
- ⇒ In der Dissertation Kraus [7] sind umfangreiche Ergebnisse von Langzeitsimulationsberechnungen für charakteristischen Feld- und Stützenmomente verschiedener statischer Systeme enthalten. Die Variationskoeffizienten liegen dort zwischen 1,7% und 8,7% für eine Jahresextremwertverteilung für die Verkehrsart „Große Entfernung mit Mobilkran 60t“.
- ⇒ **Damit ist zu rechnen, dass für die Bemessungswerte von Verkehrslasten zwischen der Methode nach Zuverlässigkeitstheorie und dem Verfahren auf der Grundlage einer 1000jährigen Wiederkehrperiode Unterschiede im Mittel von ca. 20% bei gleichen statistischen Annahmen auftreten!**

13.15. Ergebnisvergleich Block-Maxima und Level-Crossing-Counting mit der RICE Funktion

Für Untersuchungen der Tragfähigkeit von Bauwerksstrukturen werden die maximalen Einwirkungs- bzw. Beanspruchungssituationen benötigt, die während der Nutzdauer mit einer definierten Wahrscheinlichkeit auftreten können. Im vorliegenden Fall sind die maximalen Einwirkungen aus Straßenverkehr gefragt. Es handelt sich also um die Bestimmung von extremen Verkehrslasten bzw. deren Beanspruchungen. Das Problem hierbei ist die begrenzt zur Verfügung stehende Beobachtungszeit, aus der Extremwerte abgeleitet und auf den Horizont der Nutzungszeit extrapolierte werden. Aus der Literatur sind verschiedene Methoden der Extremwertanalyse bekannt, die verschiedene Zählverfahren mit unterschiedlichen Auswertemethoden beinhalten. Im Folgenden kommen das „Block-Maxima-Verfahren in Verbindung mit generalisierten Extremwertverteilungen und die „Level-Crossing-Counting“-Methode mit der RICE-Funktion zur Anwendung.

13.15.1. Block-Maxima-Verfahren

Bei diesem Verfahren (siehe [98]) wird zunächst der zur Verfügung stehende Beobachtungszeitraum (hier Simulationsdauer) in gleiche Zeitblöcke eingeteilt (z.B. Stunde, Tag, Woche, Jahr,...). In jedem Zeitblock wird dann der maximale (minimale) Kennwert aus dem Kennwert-Zeit-Verlauf bestimmt, der durch das Überführen einer zuvor nach vorgegebenen Parametern (Fließverkehr, Stausituation,...) festgelegten Verkehrscharakteristik von Fahrzeug- bzw. Achslastfolge über das Bauwerksmodell entsteht. Bei der Wahl der Zeitblöcke ist einerseits darauf zu achten, dass die Menge der Extremwerte groß genug ist und andererseits das Verhältnis Zeitblock zu Bezugszeitraum nicht zu ungünstig wird. Die Menge der gefundenen Extremwerte (z.B. Tagesmaxima) bildet die Grundlage für die Ermittlung der Parameter einer geeigneten Extremwertverteilungsfunktion (z.B. Normal-, LogNormal-, Gumbel-, Fréchet-, Weibull-Verteilung). Mit der gefundenen Extremwertverteilungen H ist dann eine Extrapolation auf den gewünschten Bezugszeitraum möglich. Die extrapolierte Extremwertverteilung F ergibt sich aus H^N , wobei N das Verhältnis von Bezugszeitraum zu Zeitblock ist. Mit der Verteilungsfunktion $F = H^N$ können sowohl Bemessungswerte nach Zuverlässigkeitstheorie als auch charakteristische Werte mit einer Wiederkehrperiode bestimmt werden:

- Bemessungswert $X_d = F^{-1}([\Phi(\alpha^*\beta)])$
mit dem Wichtungsfaktor α und der Zielzuverlässigkeit β für den Bezugszeitraum
- charakteristischer Wert $X_k = F^{-1}(q)$
mit dem Quantil $q = (1 - 1 / m_{TR})^{TR}$ und m_{TR} Wiederkehrperiode und TR Beobachtungszeitraum.

13.15.2. RICE-Verfahren

Das RICE-Verfahren (siehe [99]) wird hier in Verbindung mit der Klassengrenzendurchgangszählung (Level Crossing Counting) angewendet.

Nachdem der Kennwert-Zeit-Verlauf vorliegt werden Klassengrenzen definiert und danach die Häufigkeiten ermittelt, wie oft der untersuchte Kennwert die Klassengrenze überschreitet bzw. bei negativen Werten unterschreitet. Das Ergebnis dieses Zählverfahren ist ein Häufigkeitsdiagramm, dass durch die RICE-Funktion angenähert wird:

$$v(x) = v_0 \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Mit
$$v_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{\sigma}{\sigma}$$

Die Annäherung erfolgt schrittweise ab einem unteren (bei negativen Werten bei einem oberen) Schwellwert x_0 der definierten Klassengrenzen, der schrittweise erhöht bzw. gesenkt wird bis die optimale Anpassung an die Werte des Histogramms gegeben ist. Mit den ermittelten Parametern der RICE-Verteilung lässt sich der charakteristische Wert X_k mit einer definierten Wiederkehrperiode T_R [Jahren] nachfolgend bestimmen:

$$X_k(R_t) = m + \sigma \sqrt{2 \ln v_0 R_t}$$

mit $R_t = n * T_R$ und Anzahl n des Beobachtungszeitraum pro Jahr.

Die Güte der Extrapolation hängt bei beiden Verfahren u.a. von der Länge der Beobachtungszeit ab. Bei instabilen Ergebnissen kann diese entweder insgesamt erhöht werden oder die Beobachtung wird mehrfach wiederholt und aus den Wiederholungsergebnissen werden Mittelwerte, Streuungen und Fraktilwerte gebildet. Die

Verlängerung der Beobachtungszeit kommt bei dem Block Maxima Verfahren in Betracht, während für das RICE-Verfahren beide Möglichkeiten Anwendung finden können.

Im Folgenden sind zwei einfache Testanwendungsbeispiele aufgeführt, die die Kompatibilität beider Verfahren zeigen sollen. Hinsichtlich der charakteristischen Werte weisen die Ergebnisse des RICE-Verfahren eine gute Übereinstimmung zu denen der Block Maxima Methode auf, wenn eine zutreffende Extremwertverteilung gewählt wird. Die Wahl der Extremwertverteilung und deren Parameter kann mit entsprechenden statistischen Testverfahren abgesichert werden.

13.15.3. Beispiel 1 Charakteristisches Feldmoment an einem 2Feld-Plattenbalken

Tragsystem: Plattenbalken, 2 Felder, Stützweite $L_1 = L_2 = 40\text{m}$, Breite 12m

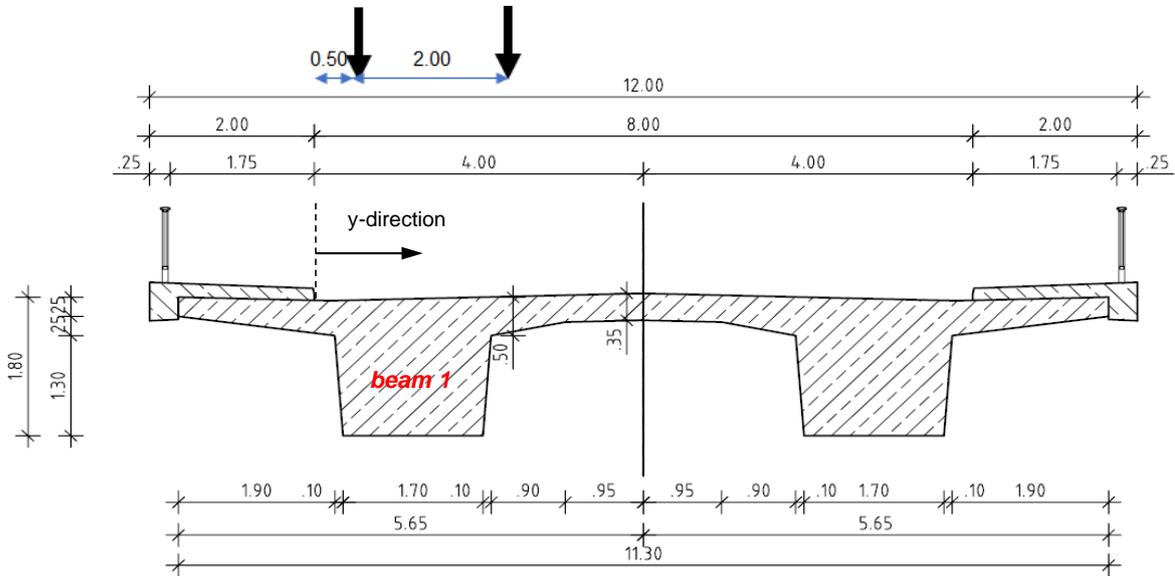


Abbildung 225: Querschnitt

Kennwert: Feldmoment M_x

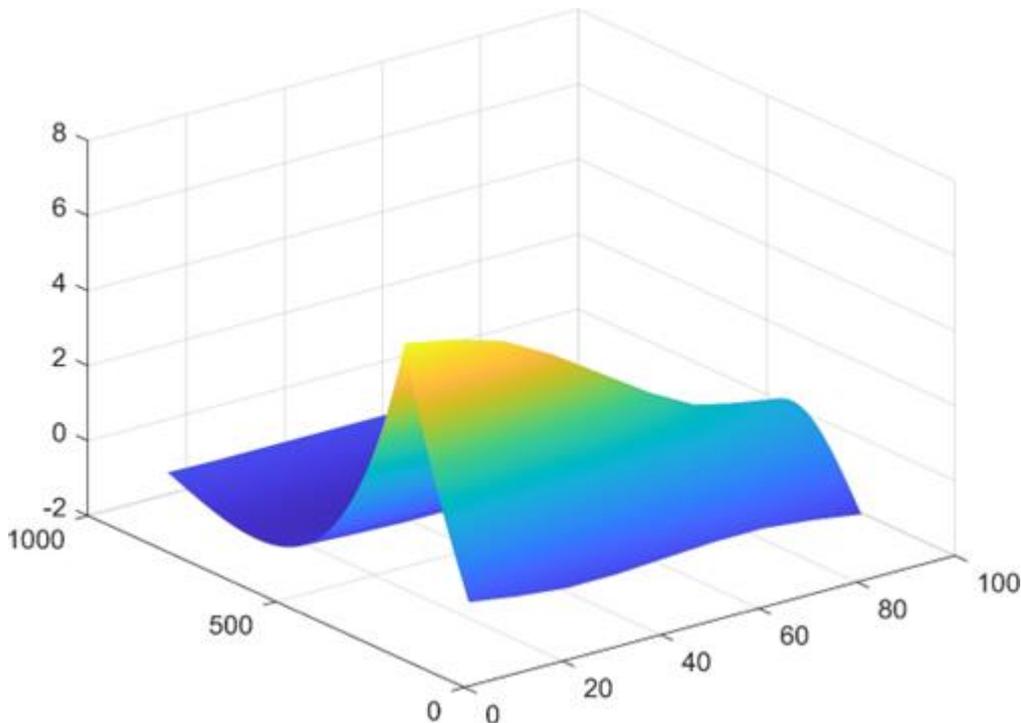


Abbildung 226: Einflussfläche Feldmoment M_x

Verkehrsdaten:

	Typ 11	Typ 12	Type 1211	Type 112	Type 113	PKW
Fahrzeuhäufigkeiten [%]						
FS 0	20%	5,0%	10,0%	15%	50,0%	0,0%
FS 1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gesamtwichtverteilungen (mehrmodale NV) [kN]						
μ_1	59,6	150,1	276,8	156,7	259,6	10
σ_1	14,6	30,1	59,5	18,8	92,0	0
ξ_1	0,49	0,468	0,69	0,34	0,62	1
μ_2	91,7	193,6	414,5	211,4	405,3	0
σ_2	44,0	22,3	32,5	52,8	24,8	0
ξ_2	0,51	0,182	0,31	0,66	0,38	0
μ_3		246,1				
σ_3		31,8				
ξ_3		0,35				
Aufteilung der Gesamtgewichte auf die Achsen [%]						
1	44,9%	34,2%	20,9%	30,6%	20,8%	50,0%
2	55,1%	38,1%	25,8%	30,9%	28,1%	50,0%
3		27,7%	16,1%	19,1%	17,0%	
4			19,5%	19,4%	17,0%	
5			17,7%		17,1%	
Achsabstände auf 10cm gerundet [m]						
1-2	4,5	4,3	4,6	3,7	3,7	2,5
2-3		1,3	1,3	6,6	5,6	
3-4			5,2	1,3	1,3	
4-5			4,6		1,3	

- Fahrzeug-Typen:

Typ 11 

Typ 12 

Typ 1211 

Typ 112 

Typ 113 

- Gesamtgewichtsverteilung:

$$NV_{GG}(x) = \sum_{i=1}^n \xi_i * NV_i(x, \mu_i, \sigma_i)$$

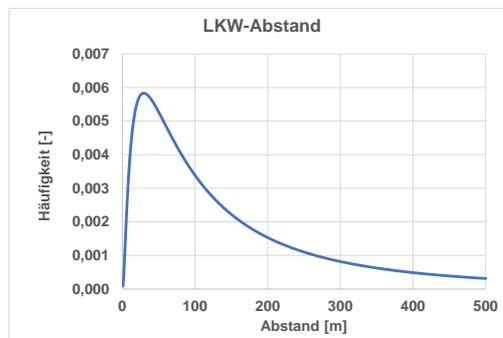
$$\text{mit } \sum_{i=1}^n \xi_i = 1 \quad \text{und } n=2(3)$$

- Abstandsverteilung der LKW: E = 229,6m; StAbw = 392,5m

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\sigma = \sqrt{\ln\left(1 + \left(\frac{StAbw}{E}\right)^2\right)}$$

$$\mu = \ln(E) - \frac{\sigma^2}{2}$$



- Verkehrsstärke: DTV-SV = 8.000 LKW/Tag (Mo-Fr), keine PKW
- Verkehrszustand: Fließverkehr
- Dynamischer Faktor: $\varphi = 1,0$
- Simulationsdauer: 100 Werktagen (Mo-Fr)

Ergebnisse:

Im vorliegenden Fall passt von den Extremwertverteilungen die generalisierte Gumbel-Verteilung und die RICE-Funktion (Konfidenzniveau 99.9%) am besten zu einander.

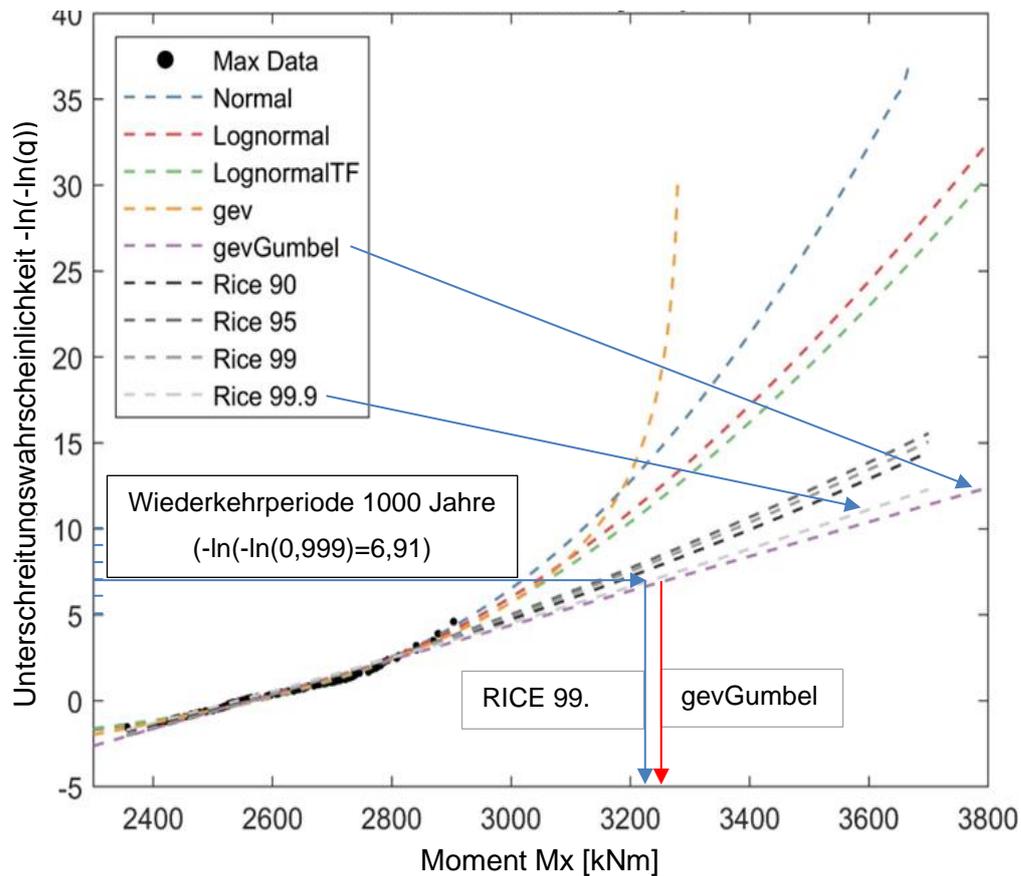


Abbildung 227: Extrapolation der Block Maxima Werte (40m Einfeldsystem; 9,1% Stau-Rate)

13.15.4. Beispiel 2 Charakteristisches Feldmoment an einem 40m Einfeldträger

Statisches System: 40 m Einfeldträger; Breite 6m; Feldmoment Mx

[x, y] [0,0], [20,10], [40,0] (ebenso in Querrichtung)

80 m Einfeldträger; Breite 6m; Feldmoment Mx

[x, y] [0,0], [40,20], [80,0] (ebenso in Querrichtung)

Fahrstreifen: 2-Fahrstreifen mit Richtungsverkehr

Verkehr (Bliesheim Spur 1+2, 06/2018): DTV= ca. 35.000/Arbeitstage (Mo-Fr)

Spur 1: 8.000 LKW und 7.500 PKW

Spur 2: 2.000 LKW und 17.500 PKW

Tab. 1: Fahrzeughäufigkeit, Gesamtgewichtsverteilung, Achslastaufteilung and Achsabstände

	Type 11	Type 12	Type 1211	Type 112	Type 113	PKW
Fahrzeughäufigkeit/Tag						
Spur1	1.600	400	800	1.200	4.000	7.500
Spur2	400	100	200	300	1.000	17.500
Gesamtgewichtsverteilung [kN]						
μ_1	59,6	150,1	276,8	156,7	259,6	10
σ_1	14,6	30,1	59,5	18,8	92,0	0
ξ_1	0,49	0,468	0,69	0,34	0,62	1
μ_2	91,7	193,6	414,5	211,4	405,3	0
σ_2	44,0	22,3	32,5	52,8	24,8	0
ξ_2	0,51	0,182	0,31	0,66	0,38	0
μ_3		246,1				
σ_3		31,8				
ξ_3		0,35				
Verteilung des Gesamtgewichtes [%] auf die Achsen						
1	44,9%	34,2%	20,9%	30,6%	20,8%	50,0%
2	55,1%	38,1%	25,8%	30,9%	28,1%	50,0%
3		27,7%	16,1%	19,1%	17,0%	
4			19,5%	19,4%	17,0%	
5			17,7%		17,1%	
Achsabstände [m] gerundet auf 10 cm						
1-2	4,5	4,3	4,6	3,7	3,7	2,5
2-3		1,3	1,3	6,6	5,6	
3-4			5,2	1,3	1,3	
4-5			4,6		1,3	

- Gesamtgewichtsverteilung

$$NV_{GG}(x) = \sum_{i=1}^n \xi_i * NV_i(x, \mu_i, \sigma_i)$$

$$\text{mit } \sum_{i=1}^n \xi_i = 1 \quad \text{und } n=2(3)$$

- Fahrzeugtypen siehe Beispiel 1
- Fahrzeugabstände siehe Beispiel 1
- Stauverkehr:
 - Staurate CH: $100.000 * 100 / (35.000 * 250) = 1,14\%$
 - Staurate DE: 9,1%
 - Stau gleichzeitig in Spur1 und Spur2
 - Fahrzeugabstand im Stau:
 - CH: gemäß Koshini [Lit]
 - DE: gleichverteilt zwischen 5 und 15m (5m konstant)
- Dynamische Faktor $\varphi=1,0$
- Simulationsdauer 250 Tage (= 1 Jahr)

Ergebnisse:

Beispiel	Stau-Rate 1,14%		
40m Einfeldsystem	Fz-Abstand im Stau	Sim CH	Sim DE (RICE)
	Koshini	9.323	
	NV Approx. Koshini		10.448
	5m const.		10.589
	5 - 15m		9.418
	Stau-Rate 9,1%		
	Fz-Abstand im Stau	Sim CH	Sim DE (RICE)
	Koshini	10.057 (gev) 9.926 (logNV_T) 9.765 (logNV)	
	NV Approx. Koshini		10.690
	5m const.		11.787
5 - 15m		10.088	
80m Einfeldsystem	Stau-Rate 1,14%		
	Fz-Abstand im Stau	Sim CH	Sim DE (RICE)
	Koshini		
	5 - 15m		29.462
	Stau-Rate 9,1%		
	Fz-Abstand im Stau	Sim CH	Sim DE (RICE)
	Koshini	33214 (gev) 32.515 (logNV_T) 32.052 (logNV)	
	5 - 15m		33.608

Zusammenfassung:

- Die charakteristischen Werte nach dem Block Maxima Verfahren (CH) passen gut zu den Werten nach der RICE-Methode (DE), die durchgängig etwas größer ausfallen.
- Die Erhöhung der Stau-Rate von 1,14% auf 9,1% führt bei dem 40m-Einfeldsystem zur Vergrößerung der charakteristischen Werte um ca. 6-7% bei gleicher Annahme zum Stauabstand.
- Die Annahme „5m konstanter Stauabstand“ ergibt gegenüber den Annahmen „5-15m gleichverteilt“ bzw. der „Koshini-Regelung“ eine Vergrößerung der charakteristischen Momente um ca. 11%, so dass die Vermutung eines größeren Einflusses des Stauabstandes gegenüber der Stauhäufigkeit nahe liegt.

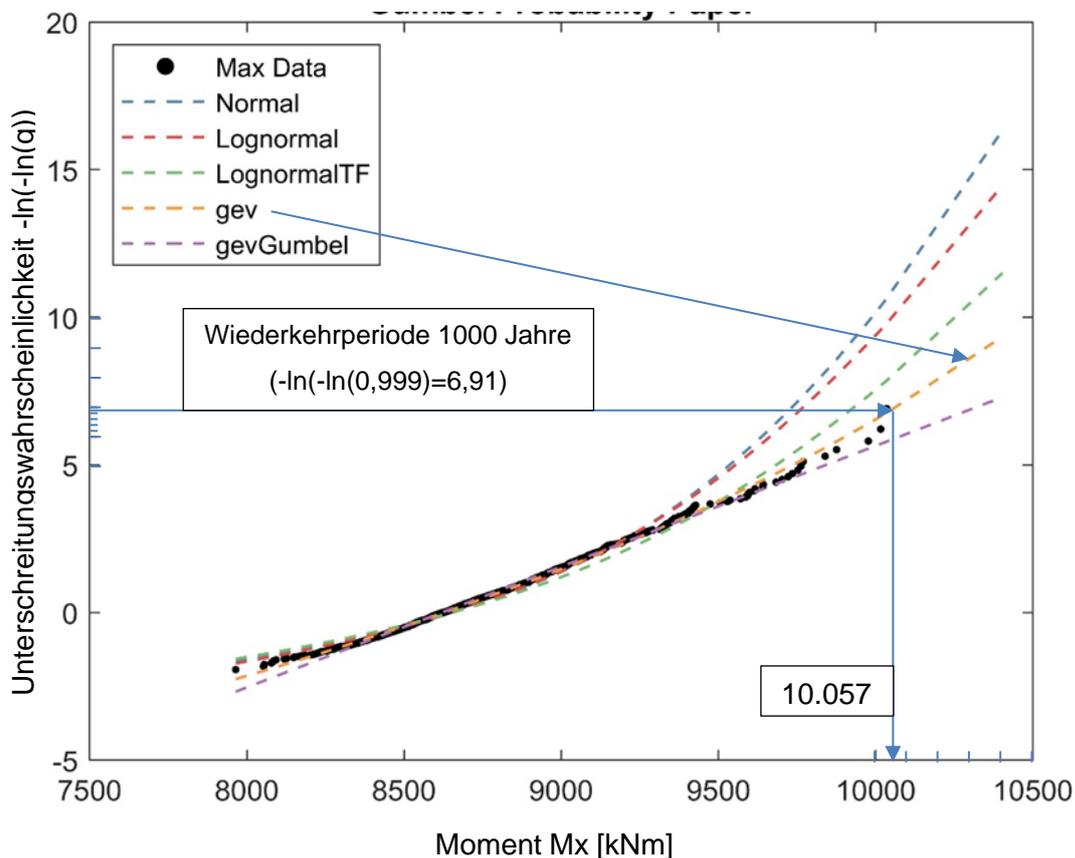


Abbildung 228: Extrapolation der Block Maxima Werte (40m Einfeldsystem; 9,1% Stau-Rate)

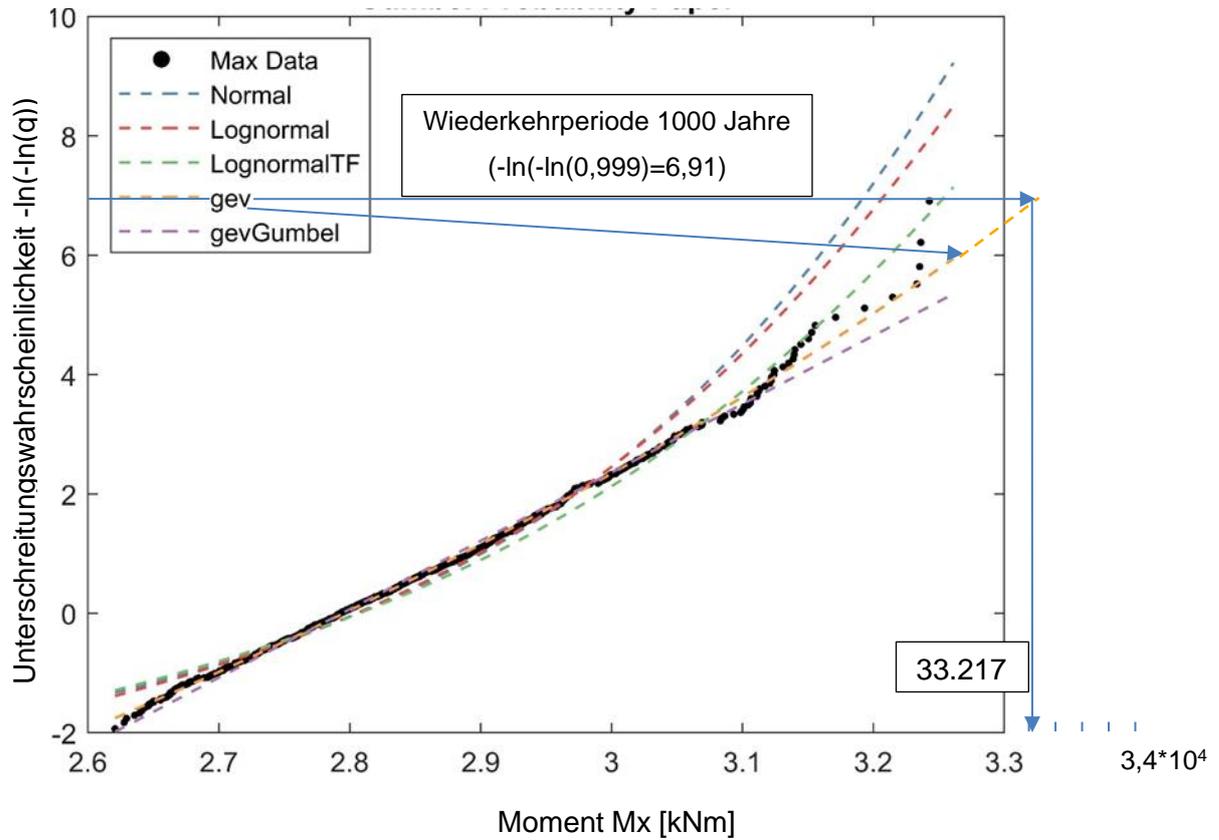


Abbildung 229: Extrapolation der Block Maxima Werte (80m Einfeldsystem; 9,1%Stau-Rate)

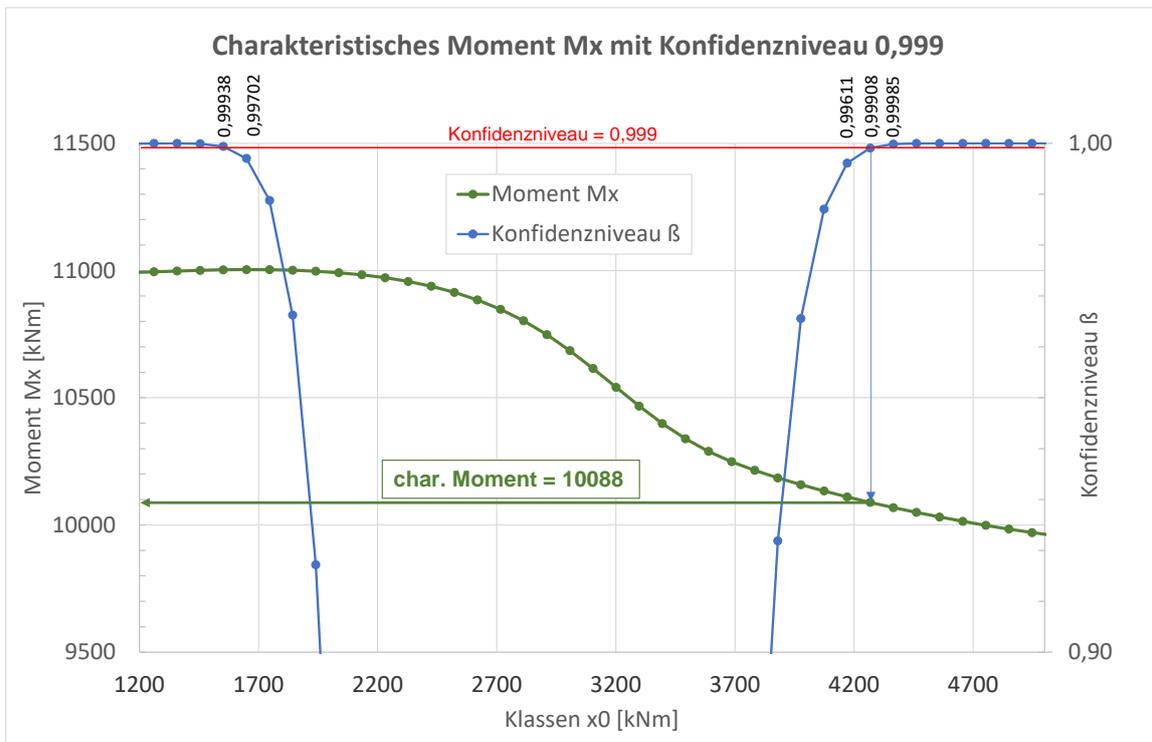
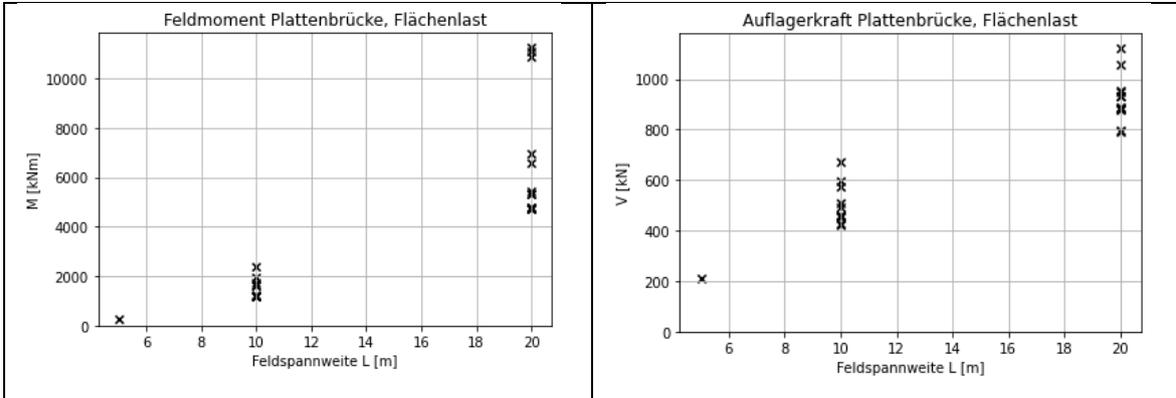


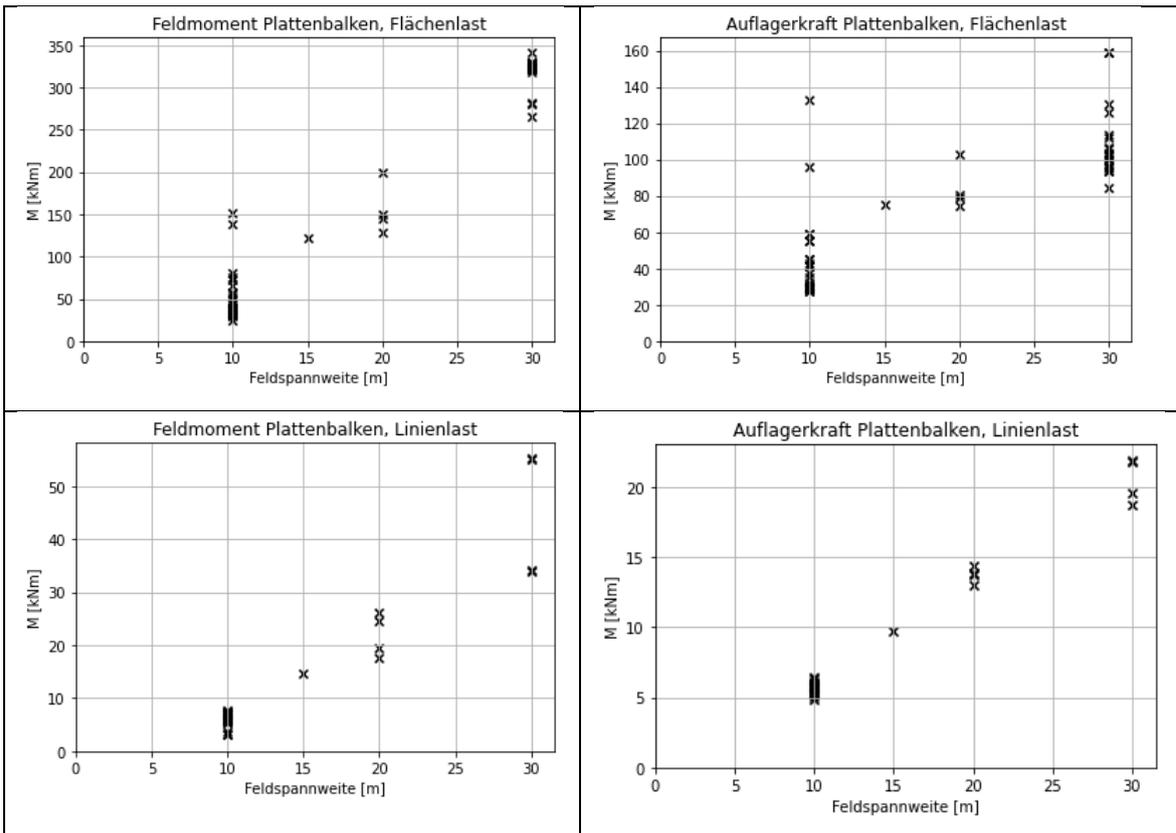
Abbildung 230: RICE-Diagramm mit char. Moment (40m Einfeldsystem; 9,1% Stau-Rate)

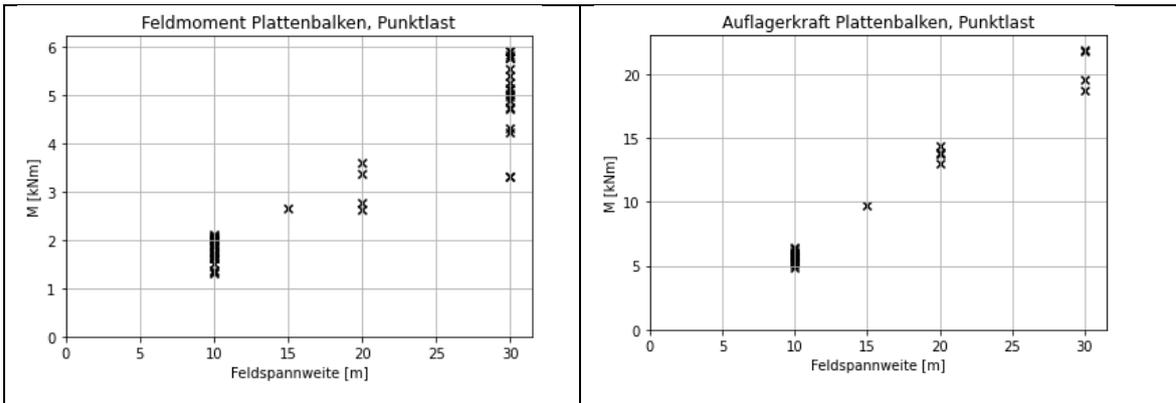
13.16. Einflussparameter für Brückenbauwerke

13.16.1. Plattenbrücken



13.16.2. Plattenbalkenbrücken





13.16.3. Verbundbrücken

