

Berechnung der Windkennkurven VT612-Endwagens nach dem Stufe-2-Verfahren



Dokument: 04-P-001277-T.TZF95-UN-1560
WODAN-TP2-V0-T05

Datum: 08.12.2004

Fachabteilung: Verifikation und Versuche Betriebsfestigkeit,
Simulation
Pionierstraße 10
32423 Minden



249967 QM (T.TZF95)

Anwendung eines durch die DQS GmbH
Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen
zertifizierten Qualitätsmanagementsystems

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Untersuchungsbericht beschriebenen Untersuchungsgegenstände. Dieser Untersuchungsbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung der Fachabteilung.

Inhaltsverzeichnis

1	Angaben zum Auftrag	2
2	Einleitung und Verfahren	3
3	Koordinatensystem	3
4	Fahrzeugmodellierung	3
4.1	Fahrzeugparameter	3
4.2	Verifikation	5
4.2.1	Q0-Kräfte	5
4.2.2	Radaufstandskräfte im Bogen	6
4.2.3	Anschläge	8
4.3	Aerodynamik	8
5	Szenario	10
6	Berechnung	12
6.1	Beurteilungskriterien	12
6.2	Berechnungsparameter	12
6.3	Variationen	12
6.4	Ergebnisse	13
6.4.1	Simulationstechnisch ermittelte Werte	13
6.4.2	Windkennkurven	15
7	Unterschriften	19
8	Literatur	19
9	Anlage A: Verifikation	21
10	Anlage B: Windkennkurve	28
11	Anlage C: Messungen Radaufstandskräfte	47

1 Angaben zum Auftrag

Bearbeiter: Dr.-Ing. Rolf Naumann
Deutsche Bahn AG, Technik / Beschaffung, DB Systemtechnik
Simulation Strukturfestigkeit und Fahrtechnik (T.TZF 95.1)
Pionierstrasse 10
32423 Minden

Auftraggeber: Dr. Heine, T.TZF13

Verteiler: T.TZF95.1, T.TZF13

Seiten: 20

Anlagen: 31

2 Einleitung und Verfahren

Für den VT612-Endwagen soll die Stabilität gegen Seitenwind nach dem Stufe-2-Verfahren [1] mittels MKS-Simulation berechnet werden.

3 Koordinatensystem

Die Koordinatensysteme der Fahrzeugelemente (körperfeste Koordinatensysteme) besitzen dieselbe Ausrichtung wie das Inertialsystem gemäß Abbildung 3.1.

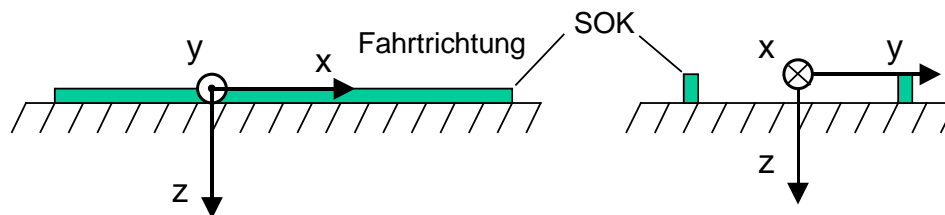


Abbildung 3.1: Inertiales Koordinatensystem

Die x-Achse zeigt in Fahrtrichtung, die z-Achse nach unten und die y-Achse nach rechts in Fahrtrichtung gesehen.

4 Fahrzeugmodellierung

Beim VT612 (Hersteller Adtranz jetzt Bombardier) handelt es sich um einen zweiteiligen Triebwagen mit Neigetechnik (GST - gleisbogenabhängige Wagenkastensteuerung). Die Neigetechnik „neicontrol-E(r)“ neigt beim Durchfahren von Gleisbögen den Wagenkasten nach bogeninnen, um die Seitenbeschleunigungen für die Reisenden zu mindern. Der maximale Neigungswinkel beträgt 8°. Die Radsätze innerhalb eines Drehgestells werden entsprechend dem Bogenradius durch ein passiv wirkendes Koppelgestänge radial eingestellt (bogenabhängige Radsatzlenkung).

Das Fahrzeugmodell wurde vom Hersteller Bombardier aufgebaut und der DB AG für die Berechnung von Windkennkurven nach dem Stufe-2 Verfahren [1] zur Verfügung gestellt [2]. Die Funktionsweise der Neigetechnik ist in [3] erläutert und wurde in dem Fahrzeugmodell entsprechend umgesetzt.

4.1 Fahrzeugparameter

Das vorlaufende Drehgestell ist ein Laufdrehgestell, das nachlaufende Drehgestell ein Triebdrehgestell. Folgende Komponenten sind im Modell abgebildet:

Körper:

Bezeichnung	Masse [kg]	I_{xx} [kg m ²]	I_{yy} [kg m ²]	I_{zz} [kg m ²]	Anzahl
Gesamtfahrzeug (ohne BS)	47687	-	-	-	-
Ballast Betriebsstoffe (BS)	620	-	-	-	1
Wagenkasten	34460	51690	1175000	1175000	1
DG-Rahmen vorne	2684	1787	1619	3126	1
DG-Rahmen hinten	1924	1787	1619	3126	1
Radsatz 1	1099	530	77	530	1
Radsatz 2	1099	530	77	530	1
Radsatz 3	1195	530	77	530	1

Radsatz 4	1082	530	77	530	1
Achslenker	118	1,7	6	5,3	8
RS-Steuerung (Lenker)	72,5	-	-	-	4
NT-Traversal	966,9	-	-	-	2
Zugstange	81	-	-	-	2
Getriebe 1	420	11,8	3,7	11,8	1
Getriebe 2	394	11,8	3,7	11,8	1

Primärfederung:

Pro Radsatzlager sind zwei Schraubenfedern zwischen Achslenker und DG-Rahmen mit folgenden translatorischen und rotatorischen Steifigkeiten vorhanden:

$c_x = 0,353 \text{ kN/mm}$	$c_y = 0,353 \text{ kN/mm}$	$c_z = 0,412 \text{ kN/mm}$
$c_{al} = 8,64 \text{ kNm/rad}$	$c_{be} = 8,64 \text{ kNm/rad}$	

Zusätzlich existieren pro Achsseite zwei Gummifederelemente an den Primärführungsfedern, die parallel zu den obigen Schraubenfedern arbeiten und überwiegend Querkkräfte zwischen Radsatzlager und Fahrwerksrahmen aufnehmen. Diese Elemente enthalten folgende Steifigkeiten:

$c_x = 0,125 \text{ kN/mm}$	$c_y = 2 \text{ kN/mm}$	$c_z = 0,03 \text{ kN/mm}$
-----------------------------	-------------------------	----------------------------

Pro Achslager ist jeweils ein Vertikaldämpfer mit folgender Dämpfung modelliert:

$d = 15 \text{ kNs/m}$		
------------------------	--	--

Sekundärfederung:

Der VT612 besitzt Luftfederelemente für die Sekundärfederung. Folgende Steifigkeiten werden angenommen:

Steifigkeiten der Luftfederung:

$c_x = 0,245 \text{ kN/mm}$	$c_y = 0,245 \text{ kN/mm}$	$c_z = 0,3 \text{ kN/mm}$
-----------------------------	-----------------------------	---------------------------

Steifigkeiten im Drehzapfen zwischen Wagenkasten und Traverse. Dieses Federelement ist parallel zu der Luftfeder angeordnet:

$c_x = 0,0149 \text{ kN/mm}$	$c_y = 0,0158 \text{ kN/mm}$	$c_z = 0,0996 \text{ kN/mm}$
------------------------------	------------------------------	------------------------------

Steifigkeiten Wankstütze:

$c_{al} = 1,042 \text{ kNm/mrad}$		
-----------------------------------	--	--

Sekundärdämpfer vertikal:

$d = 20 \text{ kNs/m}$		
------------------------	--	--

Sekundärdämpfer quer:

$d = 20 \text{ kNs/m}$		
------------------------	--	--

Sekundärdämpfer längs (Schlingerdämpfer):

$d = 200 \text{ kNs/m}$		
-------------------------	--	--

Anschläge:

In der Primärfederung gibt es pro Federelement einen Vertikal- und einen Queranschlag. Der Vertikalanschlag wirkt bei einer Bewegung in positiver z-Richtung (Aufsetzen des Fahrwerksrahmens). Gegen Abheben ist keine Sicherung in dem Modell modelliert. Folgende Anschlagswege sind definiert:

Primäranschlag vertikal	Primäranschlag quer
$z=35\text{ mm}$ (pos. z-Richtung)	$y=8\text{ mm}$

In der Sekundärfederung ist ein Queranschlag vorhanden.

Sekundäranschlag quer	
$y=60\text{ mm}$	

Aus numerischen Gründen sind die Anschläge über eine Kennlinie abgebildet.

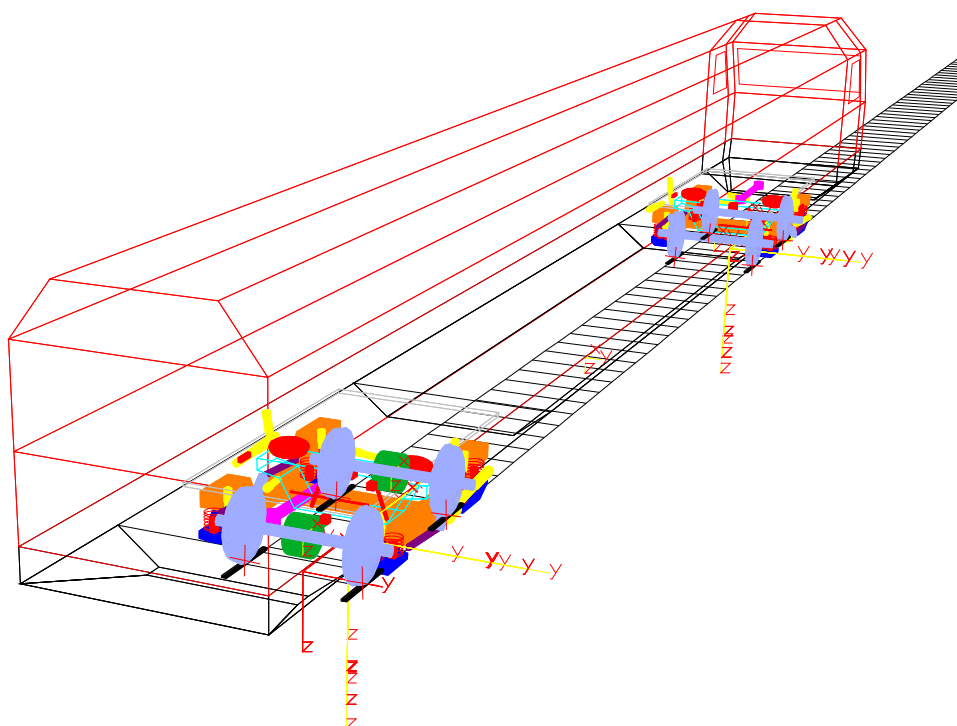


Abbildung 4.1: 3D-Modell VT612-Endwagen

4.2 Verifikation

Die Verifikation des Fahrzeugs erfolgt anhand von Messungen die im Rahmen der fahrtechnischen Zulassung durchgeführt wurden [4].

4.2.1 Q0-Kräfte

In dem Bericht für die fahrtechnische Prüfung [4] Anlage 5.3.1 – 5.3.2 sind bei der Verwindemessung die Q-Kräfte des leeren Fahrzeugs ermittelt. Für das Gesamtgewicht ergibt sich ein Maximalwert von 48,4t und ein Minimalwert von 48,0t. Nach Angaben des Herstellers liegt das Fahrzeugleergewicht (ohne Betriebsstoffe) bei 47,687t.

Messungen:**Tabelle 1: Ergebnisse der Verwindemessungen**

	Bestimmung der Q0-Kräfte vom VT612							
	Messungen aus Verwindemessungen aus Bericht 53517 [4] Anlage 5.3.1 – 5.3.3 (leeres Fahrzeug ohne Betriebsmittel)							
	Q11	Q12	Q21	Q22	Q31	Q32	Q41	Q42
1. Messung	59,0	59,4	55,6	61,4	58,6	59,3	58,1	60,7
2. Messung	59,1	60,6	56,4	61,6	58,1	60,0	59,0	60,3
3. Messung	59,0	59,0	55,5	61,1	58,8	59,2	58,1	60,6
4. Messung	59,5	60,1	56,6	61,4	58,2	60,1	59,2	60,2
Mittelwert	59,2	59,8	56,0	61,4	58,4	59,7	58,6	60,5
mittlere Gesamtmasse des Fahrzeugs [t]:					48,3			

Für die mittleren Radsatzlasten ergibt sich daraus:

Radsatz 1	Radsatz 2	Radsatz 3	Radsatz 4
59,5	58,7	59,0	59,5

Simulationsrechnungen:

Für die Bestimmung der Q0-Kräfte und dem Vergleich mit den Verwindemessungen wird das Gesamtgewicht des Fahrzeugmodells durch eine Ballastierung um 620 kg angepasst. Der Ballast wird als Masse an den Wagenkasten in Höhe von 1,0 m über SOK im x-, y-Schwerpunkt des Wagenkastens angebracht.

Daraus ergeben sich für das MKS-Modell mit 620 kg Ballastierung folgende Q0-Kräfte:

Fahrzeugsimulation Fzg. leer mit BS 620 kg (48,306 t)							
Q11	Q12	Q21	Q22	Q31	Q32	Q41	Q42
59,2	59,1	59,1	59,0	59,8	59,6	59,2	59,0

Für einen Vergleich der Kräfte mit den Verwindungsmessungen werden die Radsatzlasten verwendet. Für die Radsatzlasten des MKS-Modell ergibt sich:

Radsatz 1	Radsatz 2	Radsatz 3	Radsatz 4
59,1	59,0	59,7	59,1

Die maximale Abweichung zu den Radsatzlasten aus den Verwindemessungen liegt bei 0,7%.

Für die Verifikation der Q-Kräfte im Bogen (s. Kap. 4.2.2) wird ein Gewicht von 48,3 t angenommen. Für die Berechnung der Seitenwindeigenschaften des Fahrzeugs wird die minimale Masse nach Herstellerangaben von 47,687 t verwendet (konservativ hinsichtlich der WKK).

4.2.2 Radaufstandskräfte im Bogen

Für die Verifikation der Radaufstandskräfte (Q-Kräfte) im Bogen werden die Messungen aus folgender Versuchsfahrt verwendet (siehe Anlage 11):

Strecke: Nürnberg-Marktredwitz (Str.-Nr. 5903)

Abschnitt: Hersbruck-Pegnitz, Fahrt 201A-206A, Luftfeder, GST aktiv, leer (ohne Beladung). Messradsätze im nachlaufenden Drehgestell (RS3 und RS4).

Radienklasse: 400 m $\leq R \leq$ 600 m, $a_q = -0,5 - 2,0 \text{ m/s}^2$

Die Messungen in diesem Abschnitt entsprechen bis auf die Ballastierung von 620 kg der Fahrzeugkonfiguration, die auch für die Seitenwindberechnung verwendet werden (Luftfeder, Neigetechnik aktiv, Fahrzeug leer). Die Windkennkurven werden durch die drehgestellseitigen Radaufstandskräfte bestimmt. Somit ist eine Verifikation der Q-Kräfte ausreichend. Ergänzend zu den Anlagen im Bericht [1] wurden die Auswertungen der 50%-Werte der Q-Kräfte (Anlage 11) verwendet. Folgende Messwerte wurden für die Verifikation der Radaufstandskräfte im Bogen verwendet:

- Q31 – 50%-Wert Radienklasse 400m $\leq R \leq 600$ m
- Q32 – 50%-Wert Radienklasse 400m $\leq R \leq 600$ m
- Q41 – 50%-Wert Radienklasse 400m $\leq R \leq 600$ m
- Q42 – 50%-Wert Radienklasse 400m $\leq R \leq 600$ m

Die Simulationsrechnungen wurden mit einem Radius von $R=500$ m und einer Überhöhung von $\bar{u}=150$ mm durchgeführt. Für eine unausgeglichene Querschleunigung von $-0,5 \text{ m/s}^2$ - $2,0 \text{ m/s}^2$ ergibt sich daraus ein Geschwindigkeitsbereich von $55 \text{ km/h} < v_{\text{Fahrzeug}} < 140 \text{ km/h}$. In den Abbildung 4.2 bis Abbildung 4.5 sind die Ergebnisse der Simulationsrechnungen (rote Linie) den Messungen gegenübergestellt.

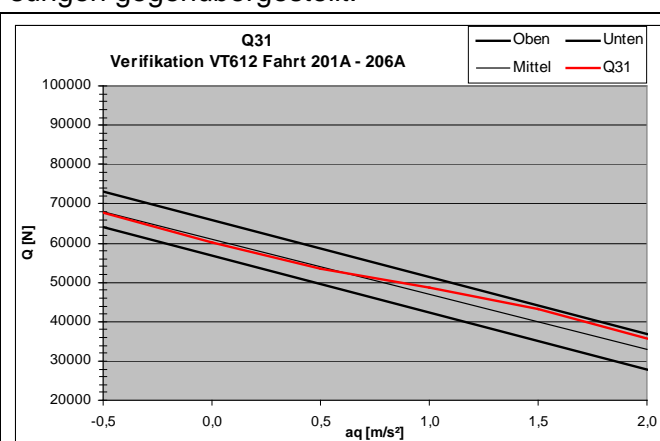


Abbildung 4.2: Radaufstandskraft Q31

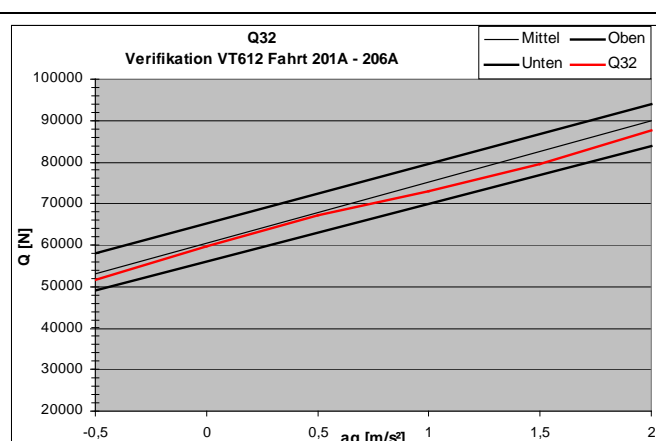


Abbildung 4.3: Radaufstandskraft Q32

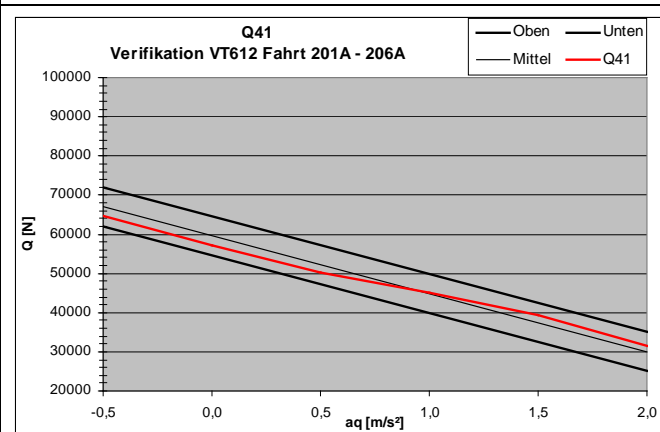


Abbildung 4.4: Radaufstandskraft Q41

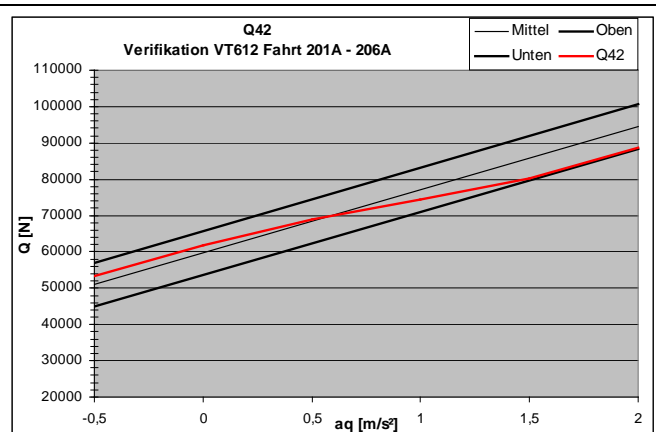


Abbildung 4.5: Radaufstandskraft Q42

Alle Q-Kräfte aus den Simulationsrechnungen liegen innerhalb der Vertrauensbereiche die aus den Messergebnissen ermittelt wurden.

4.2.3 Anschläge

Für die Verifikation der Anschläge wird eine Querkraft von $F_y=200$ kN an dem Wagenkastenschwerpunkt eingeprägt, um die Querverschiebungen in der Primär- und Sekundärfederung beim Kippen des Fahrzeugs zu ermitteln. Dieser Versuch entspricht dem Bewegungsverhalten bei Seitenwind. In den Anlagen A sind die Zeitverläufe der Simulationsrechnungen dargestellt.

In Anlage A.1 sind die Q-Kräfte und der Verlauf der Querkraft dargestellt. Bei einer maximalen Querkraft von 200 kN erfolgt eine vollständige Entlastung der Räder Q11 und Q41.

Anlage A.2 und A.3 zeigen die Vertikalwege und -kräfte in der Primärfederung. An den Wegen erkennt man das Anheben der rechtseitigen und Belasten der linksseitigen Räder. Der Weg beim Entlasten (nach oben) ist 33 mm, beim Belasten (nach unten) 29 mm. Der primäre Vertikalanschlag soll den Weg beim Belasten auf maximal 35 mm begrenzen, während die Entlastung nicht begrenzt wird. Somit werden nur Kräfte bei den linksseitigen Anschlägen (Belastung) von maximal 3 kN erzeugt.

Die Wege und Kräfte des Queranschlags primär sind in den Anlagen A.4 und A.5 aufgeführt. Der maximale Weg im Queranschlag Q11 vorne beträgt 8,16 mm. Hier werden auch die maximalen Anschlagkräfte von 16,5 kN gestellt. Der Anschlagsweg soll auf 8 mm begrenzt sein.

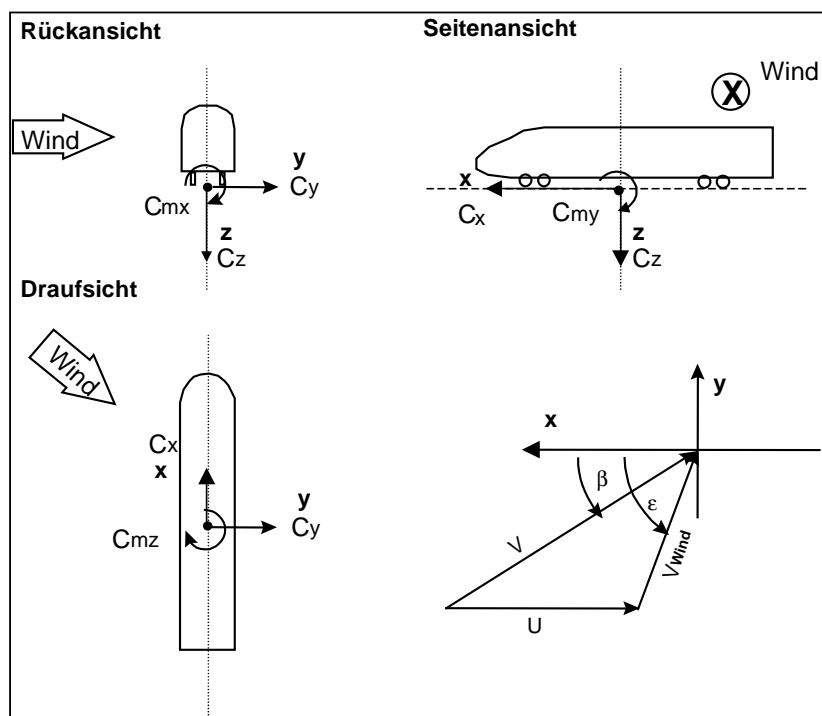
In Anlage A.6 sind die Wege und Kräfte in den sekundären Queransschlägen dargestellt. Der Weg im Queranschlag beträgt 60,64 mm bei einer Kraft von 72,6 kN. Der Weg soll auf maximal 60 mm begrenzt sein.

Die z-Wege und F_z -Kräfte in der Sekundärfederung sind in der Anlage A.7 dargestellt. Diese Bewegung ist im Modell nicht durch Anschläge begrenzt. Der maximale Weg beträgt 34,3 mm und die maximale Vertikalkraft $F_z=77,3$ kN.

Die Simulationsergebnisse zeigen bei den unterschiedlichen Anregungen ein plausibles Verhalten. Der Vergleich mit Messungen zeigt, dass die Werte innerhalb der tolerierbaren Grenzen liegen. Bei den Q0-Kräften ist dies eine maximale Abweichung von 1%, bei den Radaufstandskräften sollten die Werte innerhalb des Vertrauensbereichs liegen und die Abweichung bei den Anschlägen darf maximal 1 mm betragen. Somit kann das Fahrzeug als verifiziert betrachtet werden und für die Seitenwindberechnungen eingesetzt werden.

4.3 Aerodynamik

Da es sich bei dem Fahrzeug um ein Neigetechnikfahrzeug handelt, wird die Aerodynamik für den geraden Wagenkasten, den 8° gegen den Wind geneigten Wagenkasten und den 8° mit dem Wind geneigten Wagenkasten gemessen. Die aerodynamischen Koeffizienten wurden dem Bericht [5] entnommen. Folgendes Koordinatensystem ist für die Beiwerte gültig.



Bezugsgrößen:

Bezugslänge 3 m

Bezugsfläche 10 m²

Abbildung 4.6 : Koordinatensystem bei Windkanalmessung

Folgende Beiwerte werden verwendet:

VT612 Beiwerte, Wagenkasten senkrecht						
Winkel	Cx	Cy	Cz	Cmx	Cmy	Cmz
0	-0,336	-0,015	0,064	0,009	0,275	0,018
10	-0,415	0,985	-0,377	0,602	0,301	2,204
20	-0,441	2,486	-1,349	1,512	1,046	4,701
25	-0,403	3,447	-1,706	2,082	1,689	5,757
30	-0,336	4,568	-1,937	2,747	2,222	6,783
35	-0,246	5,767	-2,148	3,471	2,248	7,875
40	-0,118	6,728	-2,613	4,014	1,900	8,835
50	-0,184	7,522	-3,444	4,392	-0,739	8,552
60	0,029	8,357	-3,872	4,857	-0,556	6,819
75	0,344	8,967	-4,086	5,208	0,603	3,571
90	0,647	8,792	-3,924	5,106	0,182	1,458
VT612 Beiwerte, Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt						
Winkel	Cx	Cy	Cz	Cmx	Cmy	Cmz
0	-0,325	-0,007	0,07	0,018	0,31	0,036
10	-0,406	1,021	-0,387	0,634	0,306	2,231
20	-0,4	2,618	-1,106	1,654	1,037	4,656
25	-0,375	3,641	-1,311	2,289	1,668	5,911
30	-0,305	4,77	-1,512	2,985	2,36	7,013
35	-0,218	6,088	-1,488	3,795	2,503	8,166
40	-0,091	7,076	-1,672	4,377	1,792	9,403
50	-0,169	7,576	-2,122	4,639	-1,34	8,751

60	-0,029	7,962	-3,027	4,886	-0,932	6,998
75	0,331	8,045	-3,63	4,953	-1,17	4,398
90	0,467	7,359	-3,925	4,617	-1,462	2,293
VT612 Beiwerte, Wagenkasten 8° mit Wind geneigt						
Winkel	Cx	Cy	Cz	Cmx	Cmy	Cmz
0	-0,34	-0,023	0,056	0,007	0,264	-0,022
10	-0,402	0,996	-0,415	0,588	0,183	2,202
20	-0,427	2,478	-1,594	1,443	0,798	4,67
25	-0,393	3,391	-2,211	1,97	1,542	5,761
30	-0,344	4,447	-2,794	2,583	1,928	6,768
35	-0,265	5,511	-3,474	3,194	2,29	7,732
40	-0,148	6,443	-4,378	3,719	2,698	8,623
50	-0,053	8,039	-5,512	4,601	0,883	8,047
60	0,273	9,238	-5,993	5,257	1,983	6,56
75	0,751	9,769	-4,758	5,615	2,163	3,114
90	0,891	9,16	-4,599	5,189	2,131	0,77

Für die Ermittlung der Windkräfte wird eine Luftdichte von $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ angenommen.

5 Szenario

Für die Berechnung der Fahrzeugreaktionen auf ein Windereignis wird eine Böe gemäß dem Wind-szenario *chinese hat* verwendet [6]. Das meteorologische Windmodell liefert den **örtlichen** Verlauf einer Windböe. Zusammen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit kann daraus der zeitliche Verlauf bestimmt werden, der für die MKS-Simulation notwendig ist. Hierfür wird eine Länge von insgesamt 300 m angenommen; das Windmaximum liegt bei 150 m. Diese Strecke wird vom Fahrzeug abhängig von der Geschwindigkeit in einer bestimmten Zeit zurückgelegt. Bei der Berechnung des **zeitlichen** Verlaufs wird somit das Windmaximum nicht immer zum selben Zeitpunkt erreicht. Die Breite der Böe nimmt mit steigender Fahrzeuggeschwindigkeit ab.

Das Szenario geht von einem Grundwind aus, gefolgt von dem Böenanstieg und dem anschließenden Abfall. Um aussagekräftige und vergleichbare Ergebnisse für die Fahrzeugreaktionen auf die Böe zu erhalten, muß sich das Fahrzeug in dem Grundwind in einem stationären eingeschwungenen Zustand befinden. Aus diesen Anforderungen wird das in **Abbildung 5.1** dargestellte Szenario verwendet:

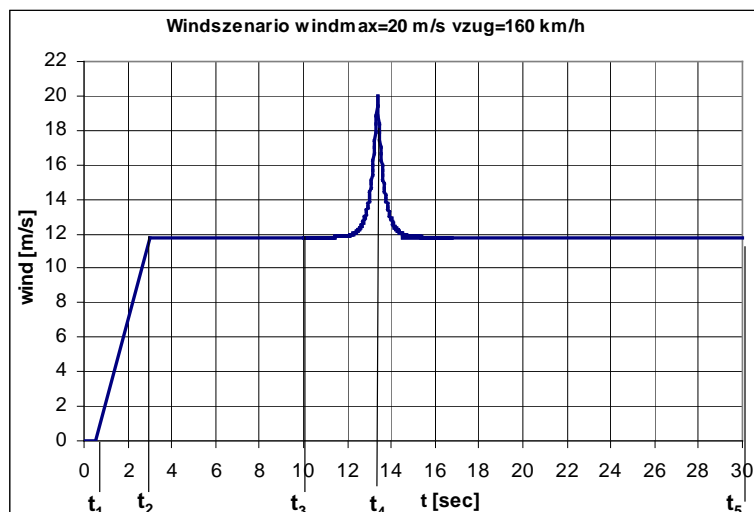


Abbildung 5.1: zeitlicher Verlauf des Windszenarios

Zunächst liegt bis zum Zeitpunkt $t_1=0,5$ sec kein Wind an. Bis zum Zeitpunkt $t_2=3$ sec erfolgt ein linearer Anstieg des Windes auf den Grundwind U_{mean} . Bis zum Zeitpunkt $t_3=10$ sec muss sich das Fahrzeug im eingeschwungenen Zustand befinden. Nach dem Zeitpunkt $t_3=10$ sec erfolgt der Windanstieg entsprechend dem *chinese hat* bis zum Windmaximum bei t_4 . In dem Zeitraum t_3 bis t_4 wird bei dieser Fahrzeuggeschwindigkeit eine Strecke von 150 m zurückgelegt. Nach dem Windmaximum fällt der Wind in Form des *chinese hat* bis zum Grundwind ab. Bei $t_5=30$ sec ist das Windszenario beendet.

Das Windszenario in den einzelnen Intervallen wird durch folgende Funktionen beschrieben:

Intervall	Funktion
$[t_0:t_1]$	$v(t) = 0$
$[t_1:t_2]$	$v(t) = \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t - \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t_1$
$[t_2:t_3]$	$v(t) = v_{mean}$
$[t_3:t_4]$	$v(t) = \text{reverse chinese hat (Gleichungen siehe [6])}$
$[t_4:t_5]$	$v(t) = \text{chinese hat (Gleichungen siehe [6])}$

6 Berechnung

6.1 Beurteilungskriterien

Als Kriterium für das Erreichen der Windkenngeschwindigkeit wird eine maximale drehgestellseitige Radentlastung von 90% angesetzt. Das Kriterium berechnet sich für die rechte Seite (Luvseite) des vorderen DG wie folgt:

$$\frac{dQ}{Q_{012}} = \frac{Q_{11\min} + Q_{21\min} - 2 \cdot Q_{012}}{2 \cdot Q_{012}} < -0,9$$

Q_{012} = mittlere Radlast der drehgestellseitigen Q-Kräfte (DG vorne rechts) im Ruhezustand

$Q_{11\min}$ = minimale Radlast des führenden Radsatzes im Drehgestell

$Q_{21\min}$ = minimale Radlast des nachfolgenden Radsatzes im Drehgestell

Analog erfolgt die Berechnung und Auswertung des Kriteriums für alle übrigen Drehgestellseiten. Für die Bestimmung der minimalen Radlasten wird das Q-Signal folgendermassen bearbeitet:

- Tiefpassfilterung mit 2 Hz
- Minimum

Für den VT612-Endwagen ergibt sich für die Q_0 -Kraft des führenden Drehgestells aus dem Leergewicht des Fahrzeugs von 47,687t.

$$Q_{0DG1} = 58312 \text{ N}$$

und für das nachlaufende Drehgestell

$$Q_{0DG2} = 58640 \text{ N}$$

6.2 Berechnungsparameter

Für die Bestimmung der Windkennkurven werden folgende Parameter eingesetzt:

- Schienenprofil UIC60
- Radprofil S1002
- Spurweite 1435 mm bei Schienenneigung 1/40
- Reibwert $\mu=0,4$
- vereinfachte Kalker-Theorie mit Faktor 0,67
- keine Gleislageanregung

6.3 Variationen

Die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit beträgt $v_{\max}=160 \text{ km/h}$ und die maximale Querbefleunigung des Fahrzeugs $a_{q\max}=2,0 \text{ m/s}^2$. Ab einer Querbefleunigung von $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ wird der Wagenkasten geneigt. Folgende Punkte werden durch MKS-Simulation mit entsprechender Aerodynamik berechnet:

3. ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen

- Anströmwinkel 90° , $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$, $v=80 \text{ km/h} - 160 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel 90° , $a_q=0,5 \text{ m/s}^2$, $v=80 \text{ km/h} - 160 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel 90° , $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$, $v=80 \text{ km/h} - 160 \text{ km/h}$

- $v=160$ km/h, $a_q=0,0$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=160$ km/h, $a_q=0,5$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=160$ km/h, $a_q=1,0$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°

2. mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen

- Anströmwinkel 90°, $a_q=1,0$ m/s², $v=80$ km/h – 160 km/h
- Anströmwinkel 90°, $a_q=1,5$ m/s², $v=80$ km/h – 160 km/h
- Anströmwinkel 90°, $a_q=2,0$ m/s², $v=80$ km/h – 160 km/h
- $v=160$ km/h, $a_q=1,0$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=160$ km/h, $a_q=1,5$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=160$ km/h, $a_q=2,0$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°

3. mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaußen

- Anströmwinkel 90°, $a_q=1,0$ m/s², $v=80$ km/h – 160 km/h
- Anströmwinkel 90°, $a_q=1,5$ m/s², $v=80$ km/h – 160 km/h
- Anströmwinkel 90°, $a_q=2,0$ m/s², $v=80$ km/h – 160 km/h
- $v=160$ km/h, $a_q=1,0$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=160$ km/h, $a_q=1,5$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=160$ km/h, $a_q=2,0$ m/s², Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°

6.4 Ergebnisse

6.4.1 Simulationstechnisch ermittelte Werte

Folgende Windkennwerte wurden simulationstechnisch ermittelt:

Tabelle 2: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den VT612, ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen

WKK VT612			
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel 90°			
wind [m/s]	a_q [m/s²]		
v [km/h]	0,0	0,5	1,0
80	42,8	39,6	36,3
100	40,3	37,0	33,4
120	37,3	33,2	29,2
140	33,1	30,3	27,8
160	31,8	29,4	27,0

Tabelle 3: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den VT612 für verschiedene Windwinkel bei $v_{max}=160$ km/h, ohne NT, Aero WK gerade, Wind von bogeninnen

WKK V612 ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, $v_{max}=160$ km/h			
wind [m/s]	a_q [m/s²]		
alpha [Grad]	0,0	0,5	1,0
80	31,4	29,1	26,7
60	33,6	31,1	28,6

40	41,3	38,2	34,9
20	66,2	61,6	56,7
10	104,1	96,4	88,0

Tabelle 4: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den VT612 mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen

WKK VT612 mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel 90°			
wind [m/s]	aq [m/s²]		
v [km/h]	1,0	1,5	2,0
80	36,5	32,1	27,0
100	32,9	27,5	22,6
120	28,2	24,8	21,6
140	26,8	23,9	20,7
160	26,0	23,1	20,1

Tabelle 5: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den VT612 für verschiedene Windwinkel bei vmax=160 km/h, mit NT, Aero Wk 8° gegen Wind, Wind von bogeninnen

WKK VT612 mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, vmax=160 km/h			
wind [m/s]	aq [m/s²]		
alpha [Grad]	1,0	1,5	2,0
80	25,7	22,9	19,8
60	27,7	24,6	21,0
40	34,0	30,0	25,9
20	55,1	49,6	42,5
10	85,1	75,7	65,1

Tabelle 6: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den VT612 mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen

WKK VT612 mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, Anströmwinkel 90°			
wind [m/s]	aq [m/s²]		
v [km/h]	1,0	1,5	2,0
80	44,7	46,7	49,8
100	42,0	44,0	46,6
120	39,8	41,6	44,4
140	37,5	39,6	42,2
160	35,8	37,4	39,7

Tabelle 7: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den VT612 für verschiedene Windwinkel bei vmax=160 km/h, mit NT, WK 8° mit Wind, Wind von bogenaussen

WKK VT612 mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, vmax=160 km/h			
wind [m/s]	aq [m/s²]		
alpha [Grad]	1,0	1,5	2,0
80	35,2	36,9	39,2
60	37,8	39,6	42,0

40	47,3	49,4	52,3
20	75,6	79,2	84,0
10	120,2	133,6	134,7

Für alle Windwerte wurde das Kriterium am führenden Drehgestell erreicht.

6.4.2 Windkennkurven

Die Berechnung der vollständigen Windkennkurve erfolgt durch lineare Interpolation aus den simulationstechnisch ermittelten Werten. Daraus ergibt sich folgende WKK:

Tabelle 8: WKK VT612 Wind von bogeninnen, $a_q=0,0 \text{ m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$, Wagenkasten gerade, ohne Neigetechnik

VT612 Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel 90°											
wind [m/s]	aq [m/s ²]										
v [km/h]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
80	42,8	42,2	41,5	40,9	40,2	39,6	38,9	38,3	37,6	37,0	36,3
90	41,6	40,9	40,3	39,6	39,0	38,3	37,6	36,9	36,2	35,5	34,9
100	40,3	39,6	39,0	38,3	37,7	37,0	36,3	35,5	34,8	34,1	33,4
110	38,8	38,1	37,3	36,6	35,8	35,1	34,3	33,6	32,8	32,1	31,3
120	37,3	36,5	35,7	34,8	34,0	33,2	32,4	31,6	30,8	30,0	29,2
130	35,2	34,5	33,8	33,1	32,4	31,8	31,1	30,5	29,8	29,2	28,5
140	33,1	32,5	32,0	31,4	30,9	30,3	29,8	29,3	28,8	28,3	27,8
150	32,5	31,9	31,4	30,9	30,4	29,9	29,4	28,9	28,4	27,9	27,4
160	31,8	31,3	30,8	30,4	29,9	29,4	28,9	28,4	28,0	27,5	27,0

Tabelle 9: VT612 Wind von bogeninnen, $a_q=0,0 \text{ m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$, Wagenkasten gerade, ohne Neigetechnik, $v_{\max}=160 \text{ km/h}$

VT612 Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, $v_{\max}=160 \text{ km/h}$											
wind [m/s]	aq [m/s ²]										
alpha [Grad]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
80	31,4	30,9	30,5	30,0	29,6	29,1	28,6	28,1	27,6	27,2	26,7
70	32,5	32,0	31,5	31,1	30,6	30,1	29,6	29,1	28,6	28,1	27,6
60	33,6	33,1	32,6	32,1	31,6	31,1	30,6	30,1	29,6	29,1	28,6
50	37,5	36,9	36,3	35,8	35,2	34,7	34,1	33,5	32,9	32,3	31,8
40	41,3	40,7	40,1	39,4	38,8	38,2	37,5	36,9	36,2	35,6	34,9
30	53,8	53,0	52,2	51,4	50,7	49,9	49,1	48,3	47,5	46,6	45,8
20	66,2	65,3	64,4	63,4	62,5	61,6	60,6	59,6	58,7	57,7	56,7
10	104,1	102,6	101,0	99,5	97,9	96,4	94,7	93,0	91,4	89,7	88,0

Tabelle 10: WKK VT612 Wind von bogeninnen, $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ - $2,0 \text{ m/s}^2$, Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, mit Neigetechnik

VT612 Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel 90°											
wind [m/s]	aq [m/s ²]										
v [km/h]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
80	36,5	35,6	34,7	33,9	33,0	32,1	31,1	30,1	29,0	28,0	27,0
90	34,7	33,7	32,7	31,8	30,8	29,8	28,8	27,8	26,8	25,8	24,8
100	32,9	31,8	30,7	29,7	28,6	27,5	26,5	25,5	24,6	23,6	22,6
110	30,6	29,7	28,8	27,9	27,0	26,2	25,3	24,5	23,7	22,9	22,1
120	28,2	27,5	26,8	26,2	25,5	24,8	24,2	23,5	22,9	22,2	21,6
130	27,5	26,9	26,2	25,6	25,0	24,4	23,7	23,1	22,4	21,8	21,2
140	26,8	26,2	25,6	25,1	24,5	23,9	23,3	22,6	22,0	21,3	20,7
150	26,4	25,8	25,2	24,7	24,1	23,5	22,9	22,3	21,6	21,0	20,4
160	26,0	25,4	24,8	24,3	23,7	23,1	22,5	21,9	21,3	20,7	20,1

Tabelle 11: WKK VT612 Wind von bogeninnen, $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ - $2,0 \text{ m/s}^2$, Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, mit Neigetechnik, verschiedene Anströmwinkel

VT612 Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, $v_{\max}=160 \text{ km/h}$											
wind [m/s]	aq [m/s ²]										
alpha [Grad]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
80	25,7	25,1	24,6	24,0	23,5	22,9	22,3	21,7	21,0	20,4	19,8
70	26,7	26,1	25,5	24,9	24,3	23,8	23,1	22,4	21,7	21,1	20,4
60	27,7	27,1	26,5	25,8	25,2	24,6	23,9	23,2	22,4	21,7	21,0
50	30,9	30,1	29,4	28,7	28,0	27,3	26,5	25,8	25,0	24,2	23,5
40	34,0	33,2	32,4	31,6	30,8	30,0	29,2	28,4	27,5	26,7	25,9
30	44,6	43,6	42,7	41,7	40,8	39,8	38,7	37,6	36,4	35,3	34,2
20	55,1	54,0	52,9	51,8	50,7	49,6	48,2	46,8	45,3	43,9	42,5
10	85,1	83,2	81,3	79,5	77,6	75,7	73,6	71,5	69,3	67,2	65,1

Tabelle 12: WKK VT612 Wind von bogenaussen, $aq=1,0 \text{ m/s}^2$ - $2,0 \text{ m/s}^2$, Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, mit Neigetechnik

VT612 Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, Anströmwinkel 90°											
wind [m/s]	aq [m/s ²]										
v [km/h]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
80	44,7	45,1	45,5	45,9	46,3	46,7	47,4	48,0	48,6	49,2	49,8
90	43,3	43,8	44,2	44,6	45,0	45,4	45,9	46,5	47,1	47,6	48,2
100	42,0	42,4	42,8	43,2	43,6	44,0	44,5	45,0	45,5	46,0	46,6
110	40,9	41,3	41,7	42,1	42,4	42,8	43,3	43,9	44,4	45,0	45,5
120	39,8	40,2	40,6	40,9	41,3	41,6	42,2	42,7	43,3	43,9	44,4
130	38,7	39,0	39,4	39,8	40,2	40,6	41,1	41,7	42,2	42,8	43,3
140	37,5	37,9	38,3	38,7	39,1	39,6	40,1	40,6	41,2	41,7	42,2
150	36,7	37,0	37,4	37,8	38,1	38,5	39,0	39,5	40,0	40,5	41,0
160	35,8	36,1	36,5	36,8	37,1	37,4	37,9	38,3	38,8	39,2	39,7

Tabelle 13: WKK VT612 Wind von bogenaussen, $aq=1,0 \text{ m/s}^2$ - $2,0 \text{ m/s}^2$, Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, mit Neigetechnik, verschiedene Anströmwinkel

V612 Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, $v_{\max}=160 \text{ km/h}$											
wind [m/s]	aq [m/s ²]										
alpha [Grad]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
80	35,2	35,6	35,9	36,2	36,6	36,9	37,4	37,8	38,3	38,7	39,2
70	36,5	36,9	37,2	37,6	37,9	38,2	38,7	39,2	39,6	40,1	40,6
60	37,8	38,2	38,5	38,9	39,2	39,6	40,0	40,5	41,0	41,5	42,0
50	42,6	42,9	43,3	43,7	44,1	44,5	45,0	45,5	46,1	46,6	47,2
40	47,3	47,7	48,1	48,5	49,0	49,4	50,0	50,6	51,2	51,7	52,3
30	61,4	62,0	62,6	63,1	63,7	64,3	65,1	65,9	66,6	67,4	68,2
20	75,6	76,3	77,0	77,8	78,5	79,2	80,2	81,1	82,1	83,1	84,0
10	120,2	122,9	125,6	128,3	130,9	133,6	133,8	134,0	134,3	134,5	134,7

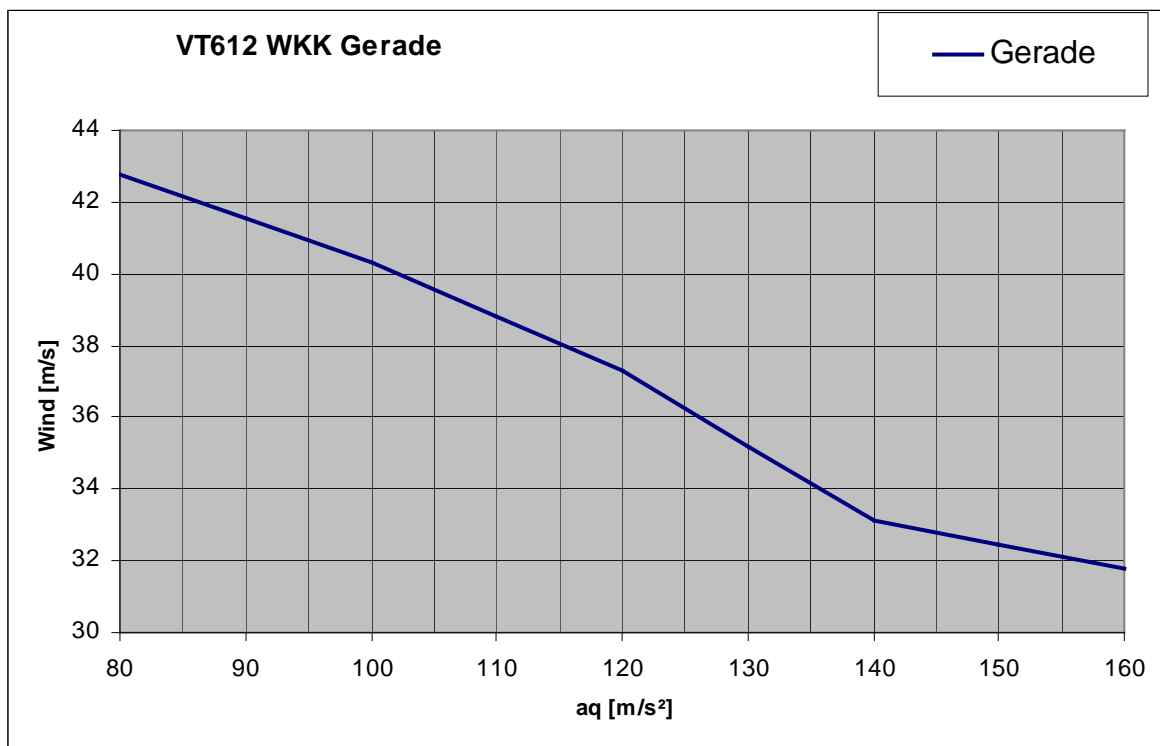
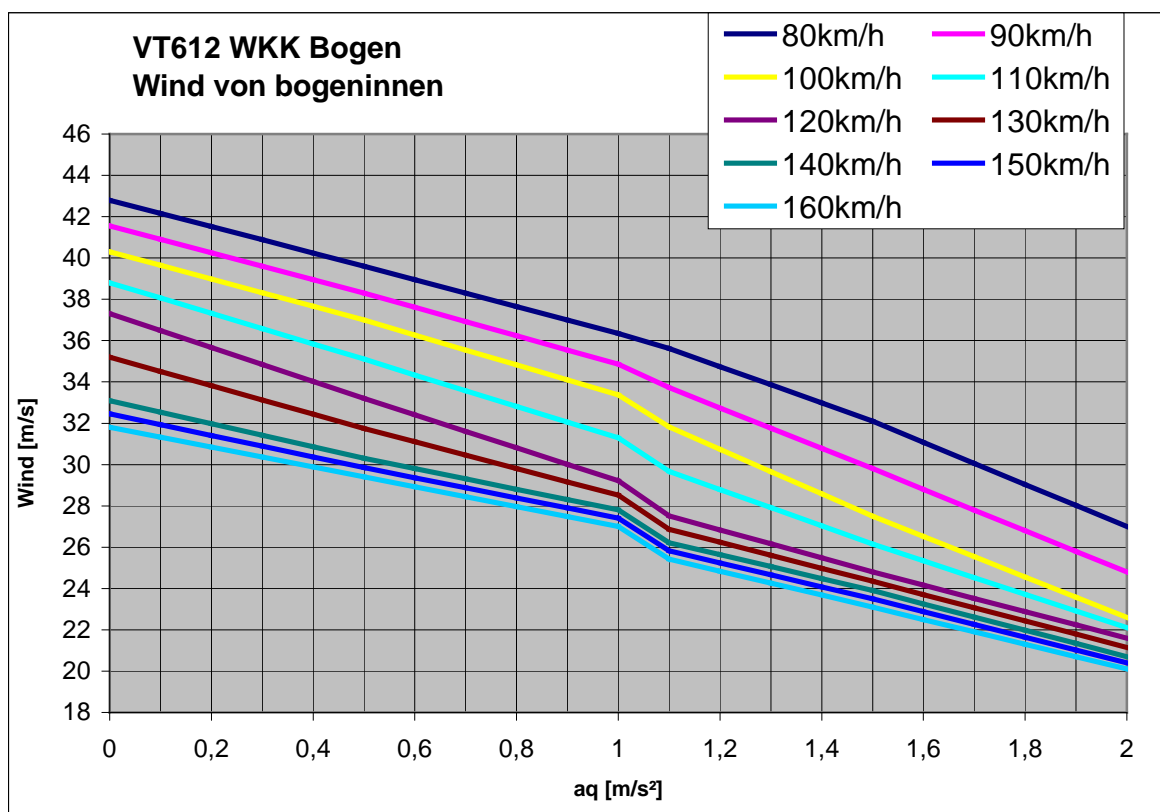


Abbildung 6.1: WKK VT612 Gerade, Wagenkasten gerade

Abbildung 6.2: WKK VT612 Bogen, Wind von bogeninnen, $a_q=0,0\text{ m/s}^2 - 1,0\text{ m/s}^2$ Wagenkasten gerade; $a_q=1,1\text{ m/s}^2 - 2,0\text{ m/s}^2$ Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt

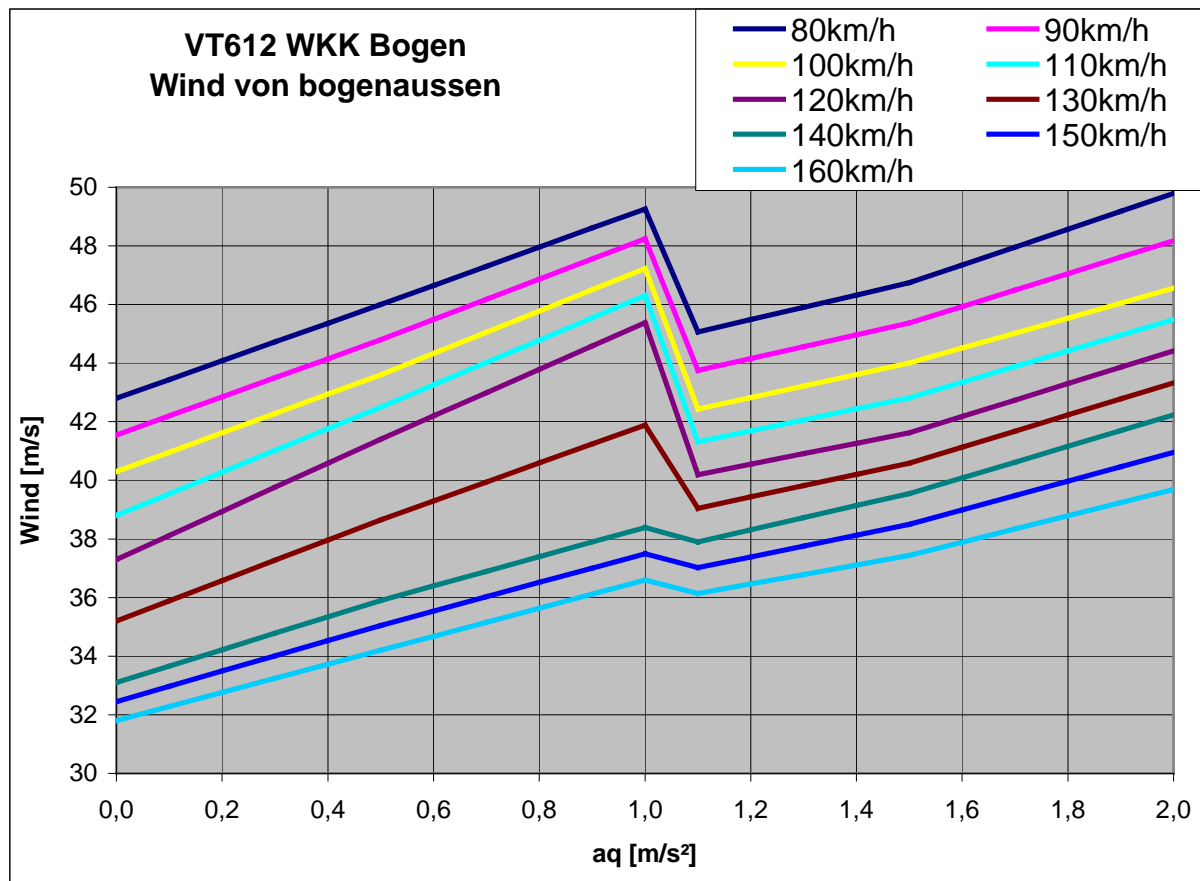


Abbildung 6.3: WKK VT612 Bogen, Wind von bogenaussen (günstig),

aq=0,0m/s² - 1,0 m/s² Wagenkasten gerade; aq=1,1m/s² - 2,0 m/s² Wagenkasten 8° mit Wind geneigt

7 Unterschriften

Minden, den 8. 12. 2004

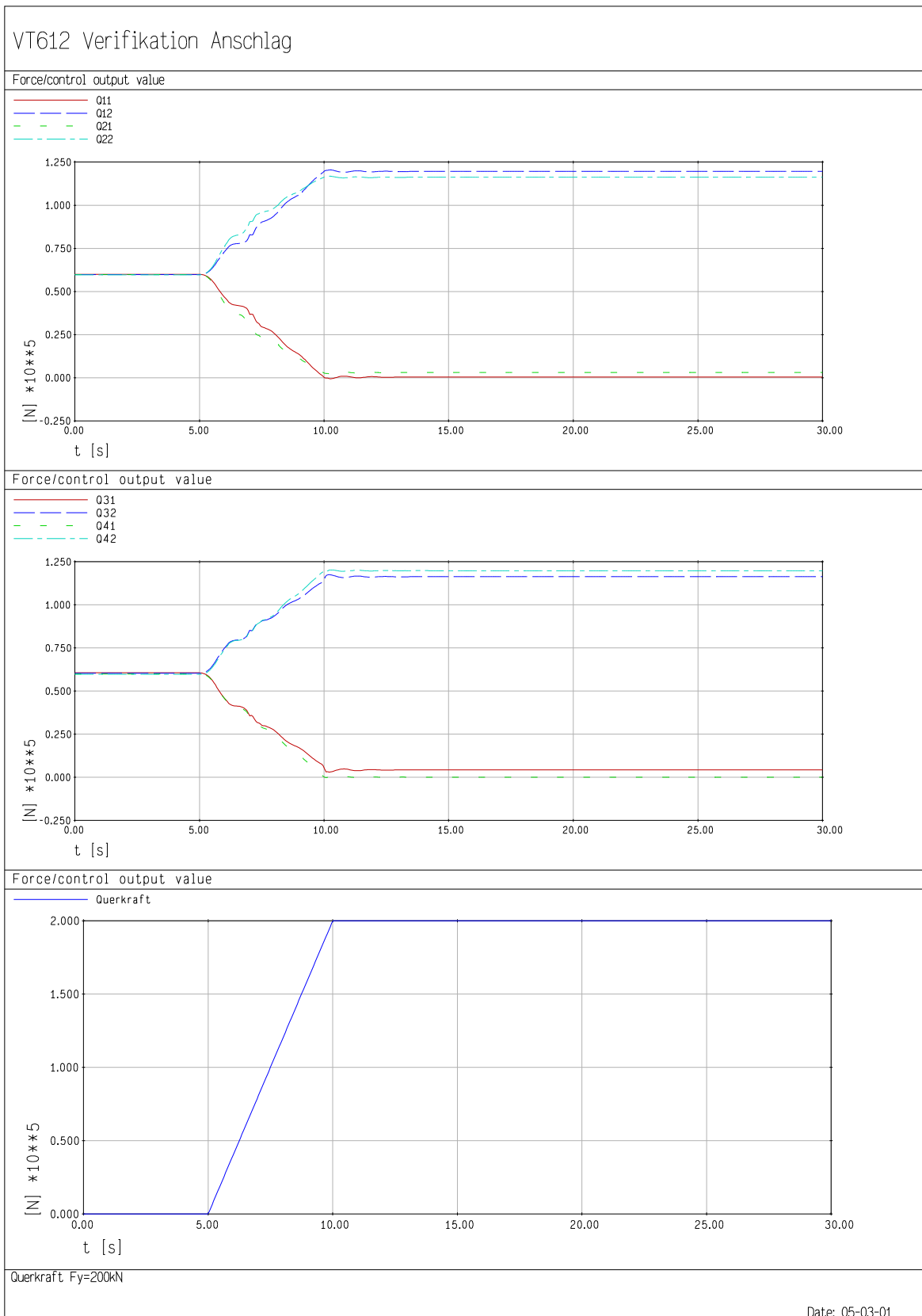
Dipl.-Ing. Clemens Höppe
Leiter T.TZF 95.1

Dr.-Ing. Rolf Naumann
T.TZF 95.1

8 Literatur

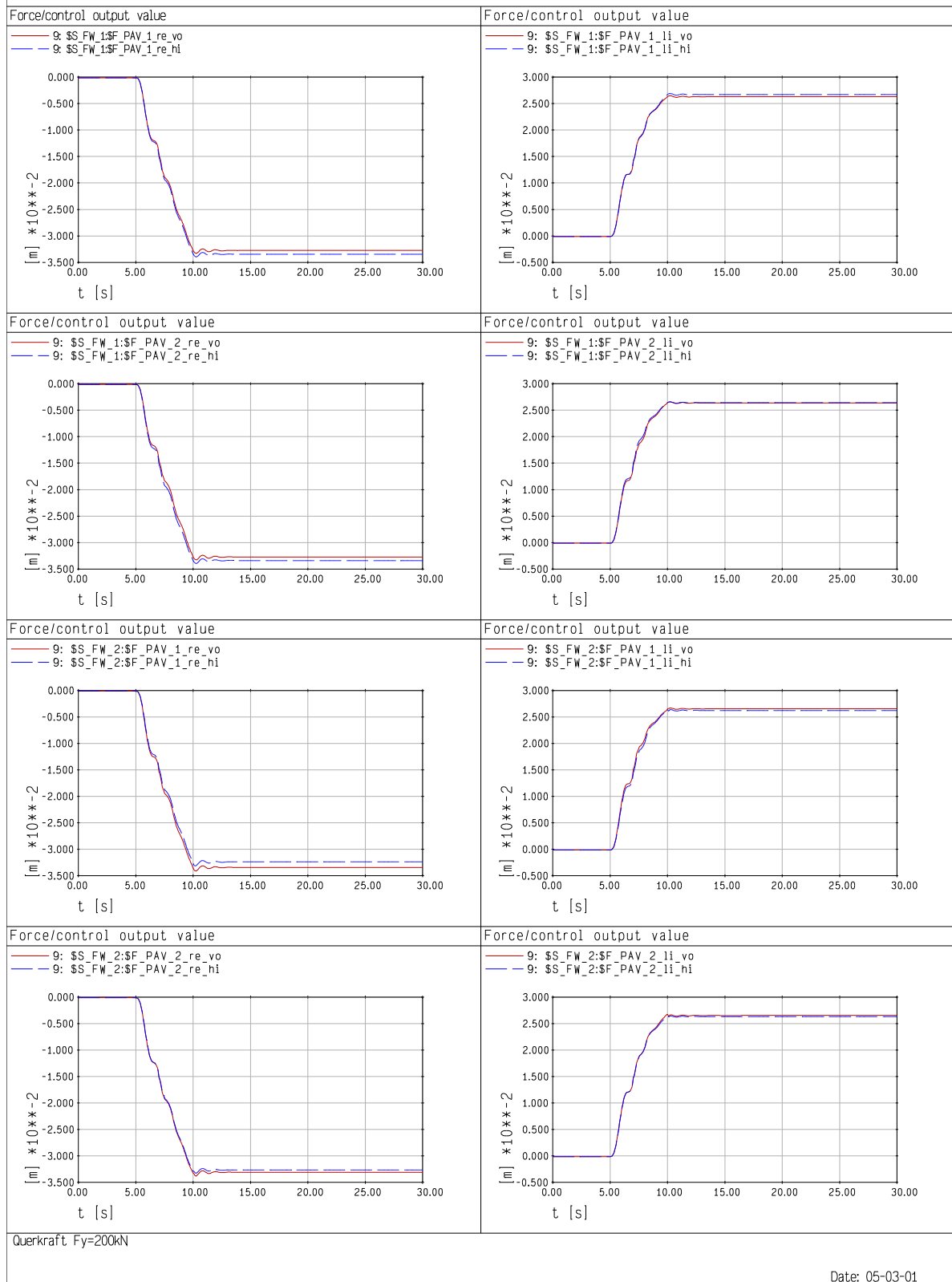
- [1] „Beschreibung des Stufe-2 Verfahrens für die Berechnung von Windkennkurven mit der Mehrkörpersimulation“ Bericht-Nr. 04-P-001277-T.TZF95-UN-1190 / WODAN-TP5-V0-T02 von DB Systemtechnik T.TZF 95.1 vom 12.10.2004.
- [2] Mail Thema: „Zeitschrieb VT612 in Bogen“ von Hartmut Mohr, Bombardier Transportation Henningsdorf an Clemens Höppe, T.TZF95.1, 24.03.2004.
- [3] „Neigungssteuerung für Schienenfahrzeuge“, Patentschrift von Thomas Benker, Bernd Metzner, PT-N/AB/rß ASF-96/02-N Aktz.:197 03 322.9.
- [4] „Fahrtechnische Prüfung des VT612“ Bericht 53517, Deutsche Bahn AG , FTZ364, 18.08.1999.
- [5] „Aerodynamische Beiwerte des Regionaltriebzugs VT612 Windkanalmessungen Maßstab 1:15 im Audi Windkanal am 26.06.2002“, Bericht 102-UN-0070-02-V4, T.TZF13.
- [6] „Mathematische Beschreibung eines Windmodells für die Berechnung von Windkennkurven durch Mehrkörpersimulation“ Wodan Bericht Nr.: 250-FE-016-03 vom 01.04.2003

9 Anlage A: Verifikation



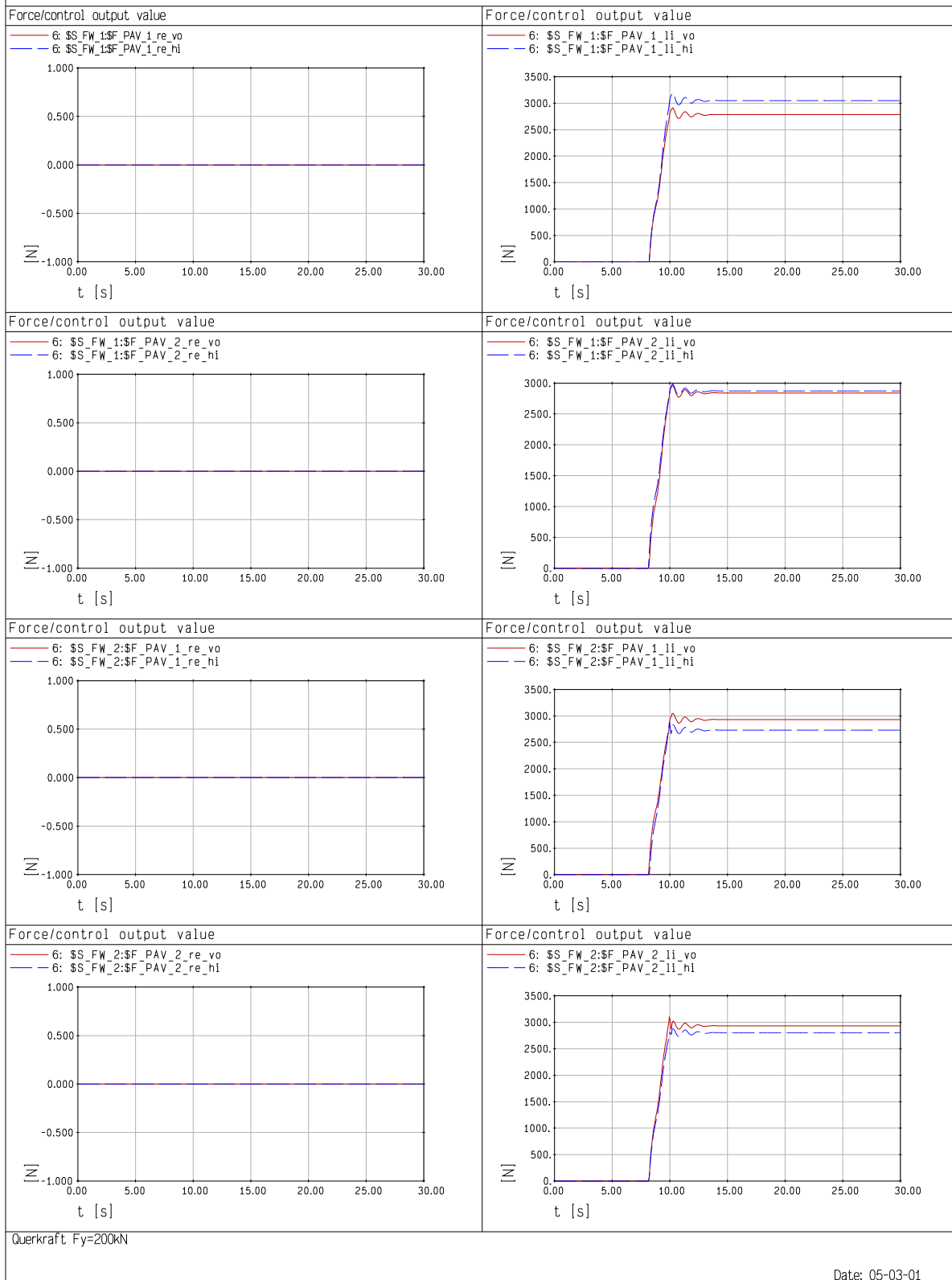
Anlage A.1: Verlauf Q-Kräfte und Querkraft

VT612 Verifikation Anschlag



Anlage A.2: Verlauf z-Wege Vertikalanschlag primär

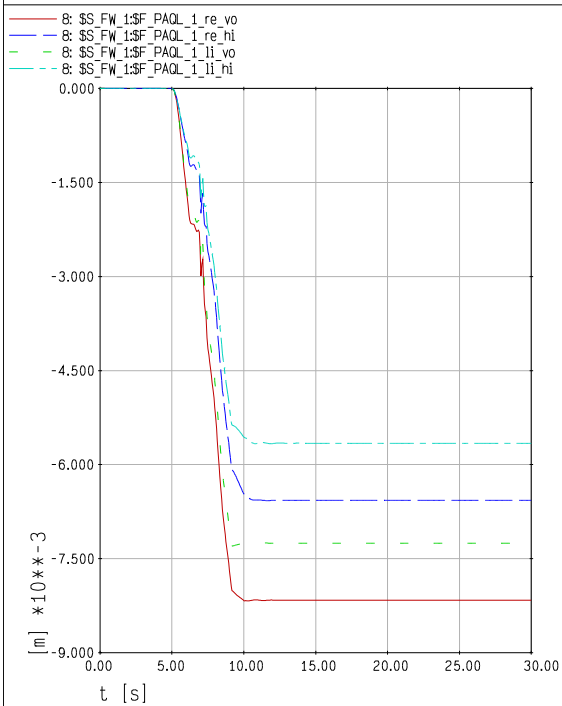
VT612 Verifikation Anschlag



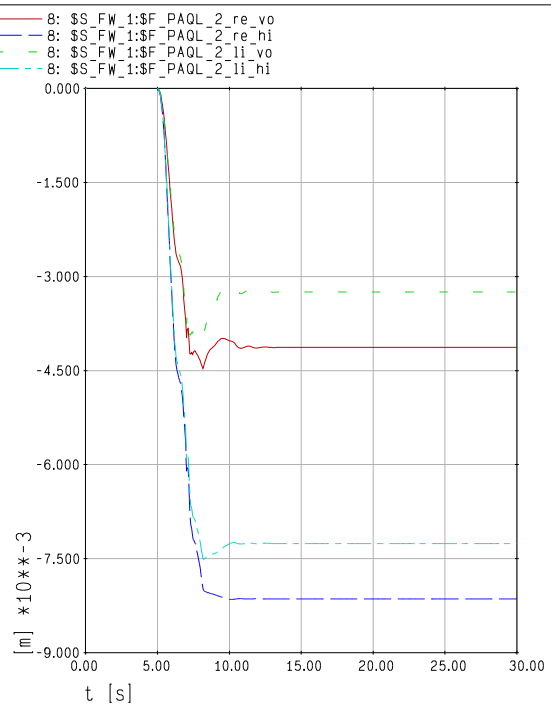
Anlage A.3: Verlauf Fz-Kräfte Vertikalanschlag primär

VT612 Verifikation Anschlag

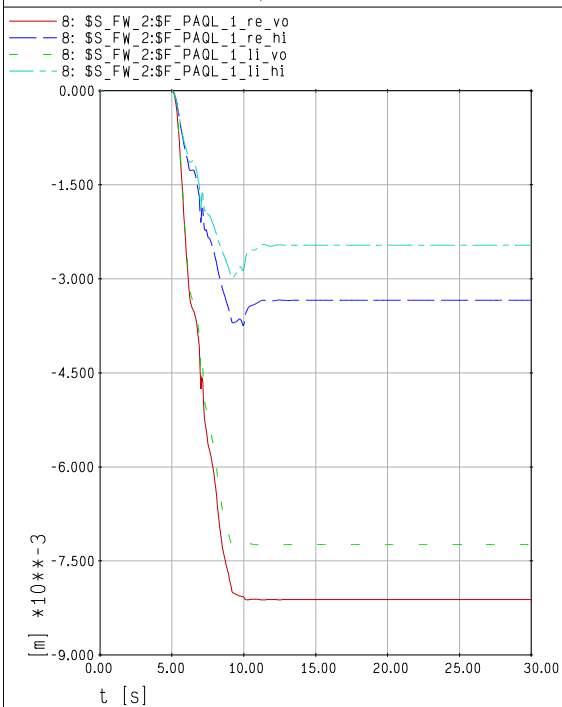
Force/control output value



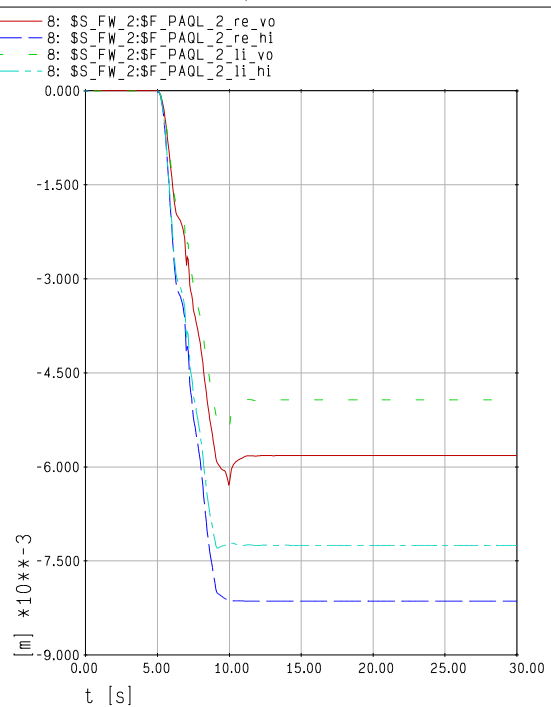
Force/control output value



Force/control output value



Force/control output value

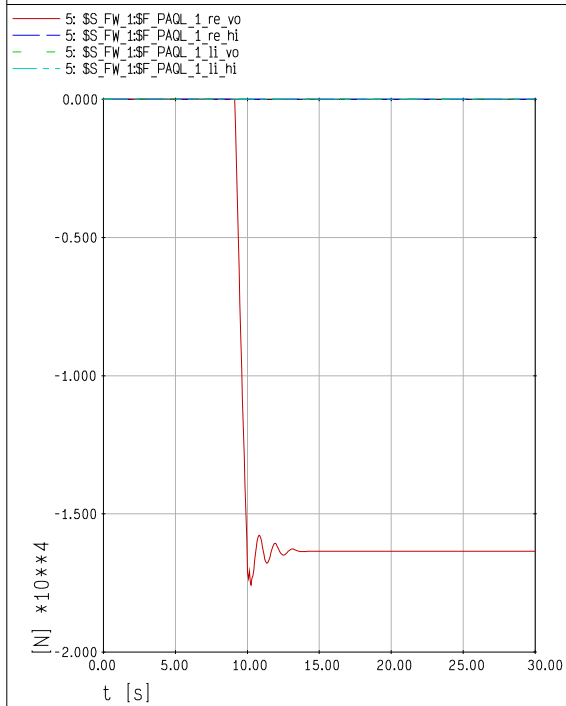
Querkraft $F_y=200\text{kN}$

Date: 05-03-01

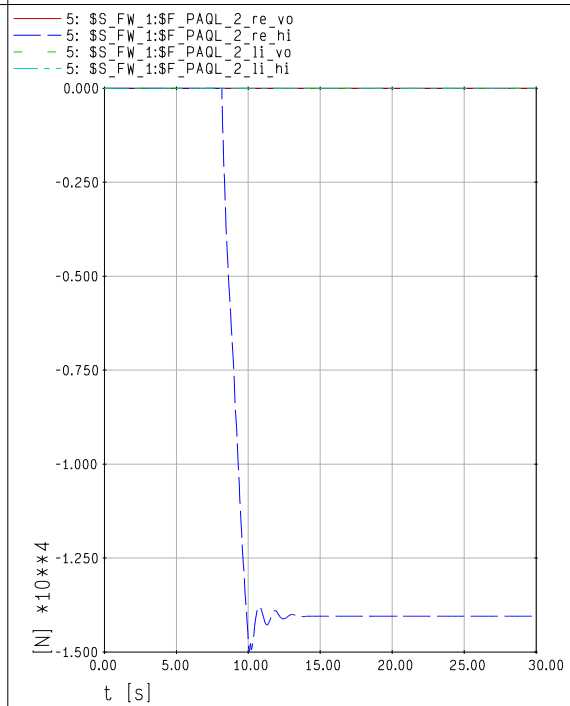
Anlage A.4: Verlauf y-Wege Queranschlag primär

VT612 Verifikation Anschlag

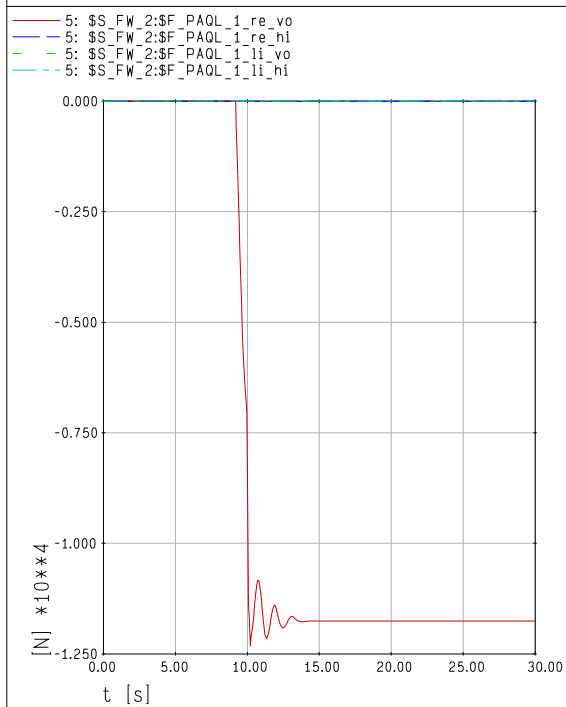
Force/control output value



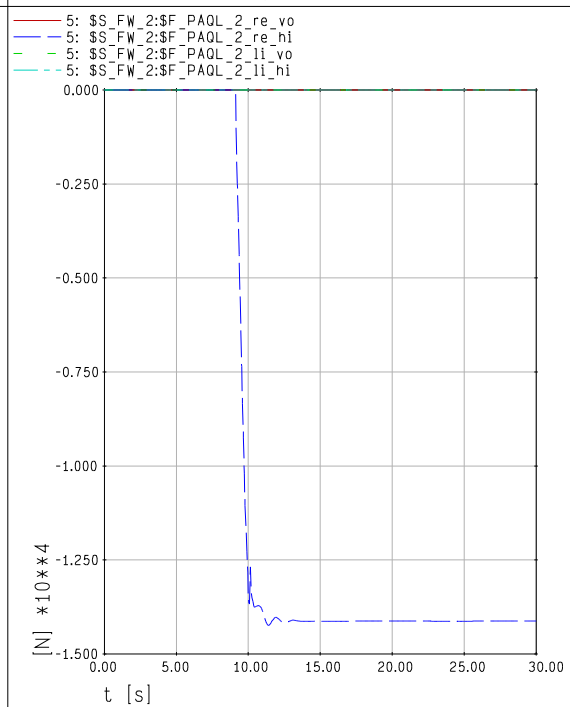
Force/control output value



Force/control output value



Force/control output value

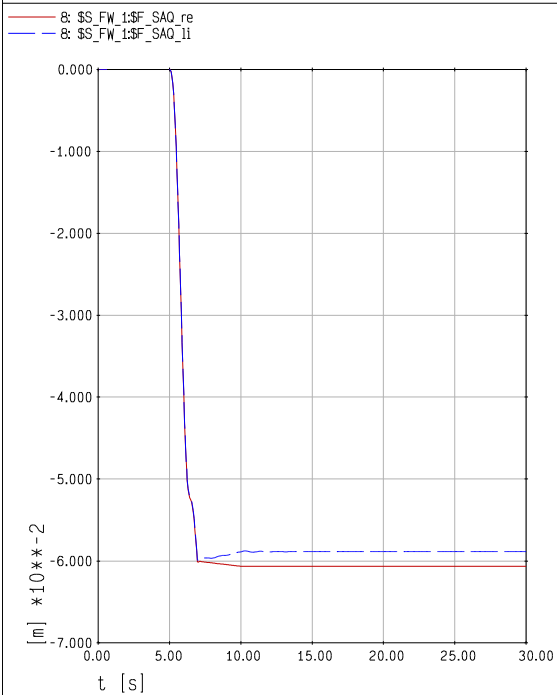
Querkraft $F_y=200\text{kN}$

Date: 05-03-01

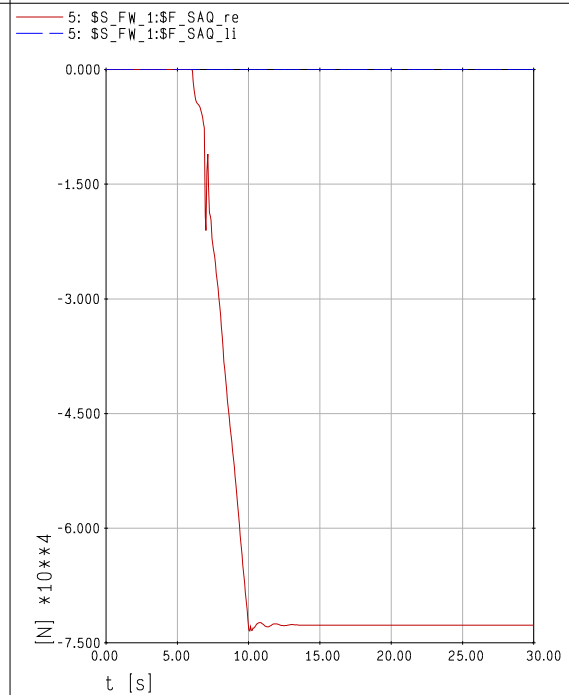
Anlage A.5: Verlauf F_y -Kräfte Queranschlag primär

VT612 Verifikation Anschlag

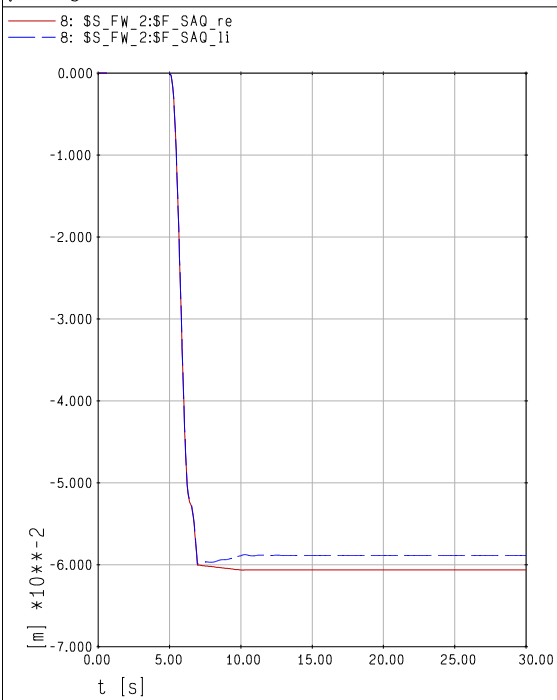
y-Weg SAQ vorne



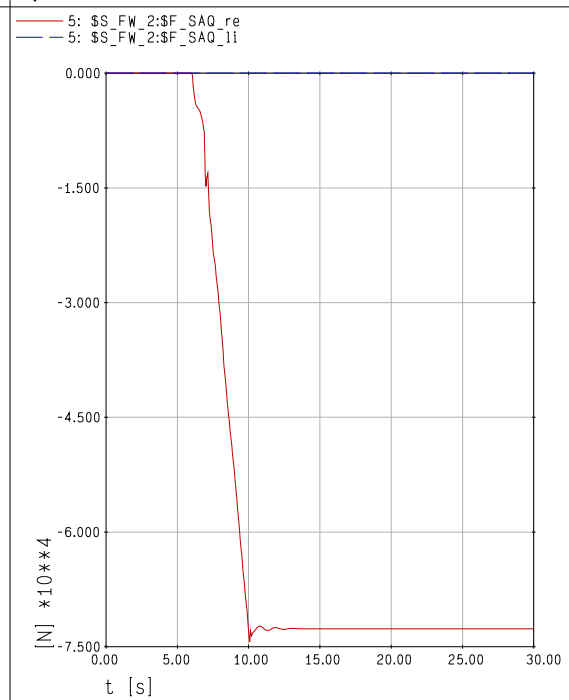
Fy-Kraft SAQ vorne



y-Weg SAQ hinten



Fy-Kraft SAQ hinten



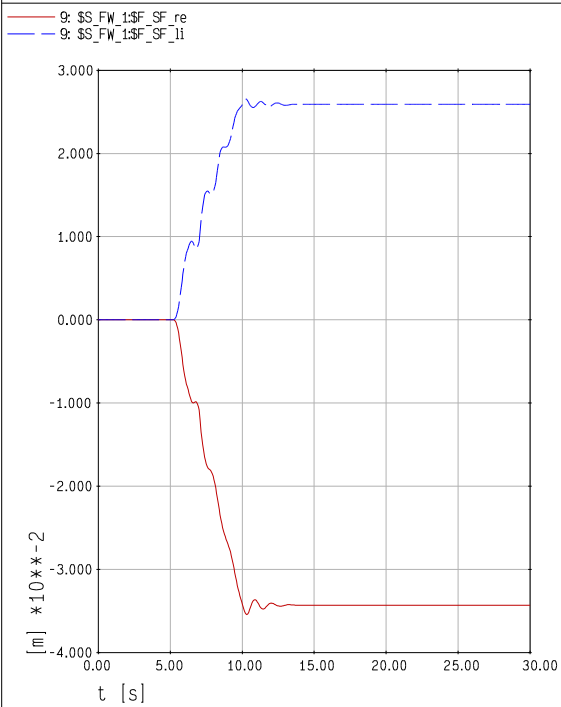
Querkraft Fy=200kN

Date: 05-03-01

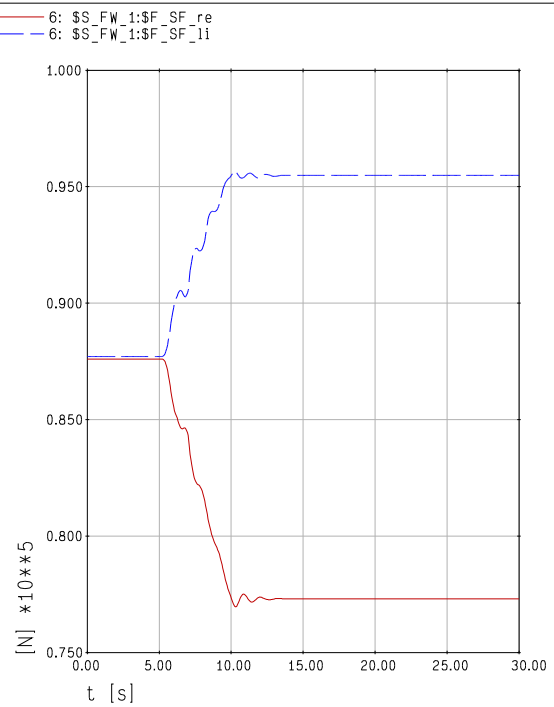
Anlage A.6: Verlauf y-Wege und FY-Kräfte Queranschlag sekundär

VT612 Verifikation Anschlag

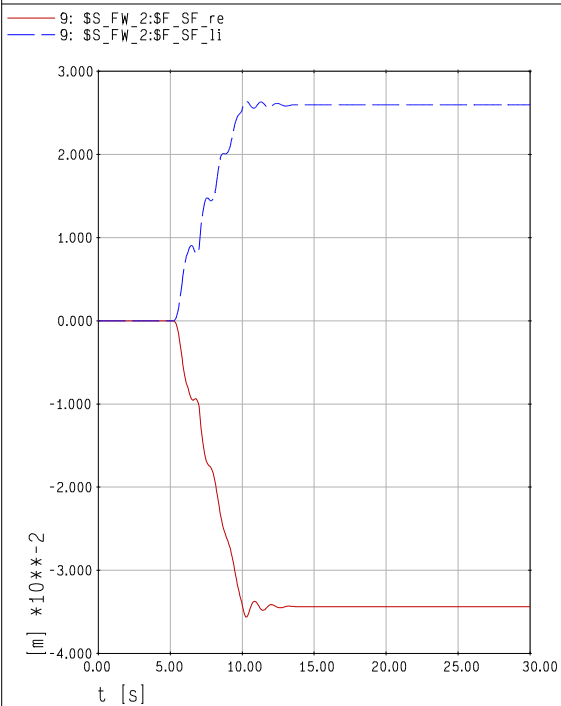
z-Weg SF vorne



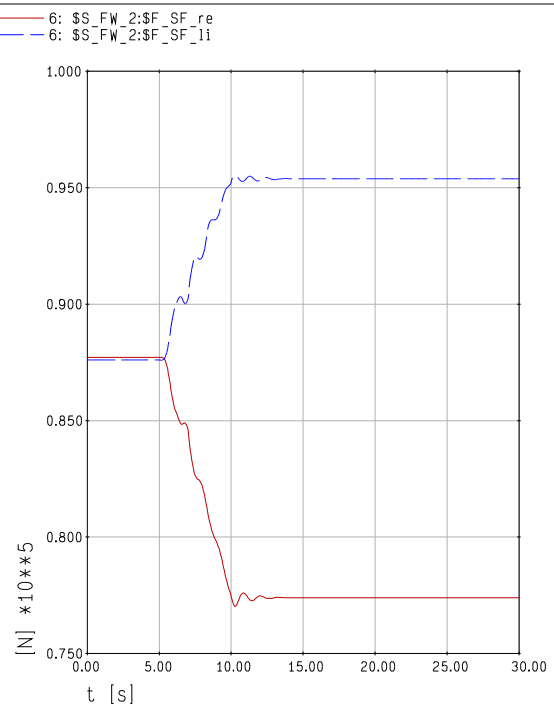
Fz-Kraft SF vorne



z-Weg SF hinten



Fz-Kraft SF hinten

Querkraft $F_y=200\text{kN}$

Date: 05-03-01

Anlage A.7: Verlauf z-Wege und Fz-Kräfte Sekundärfeder

10 Anlage B: Windkennkurve

Für folgende Simulationsrechnungen für einen Winkel von 90° zwischen Wind- und Gleisrichtung ist jeweils der Zeitverlauf der Q-Kräfte und dQ_1/dQ_0 dargestellt:

Aerodynamik Wagenkasten gerade:

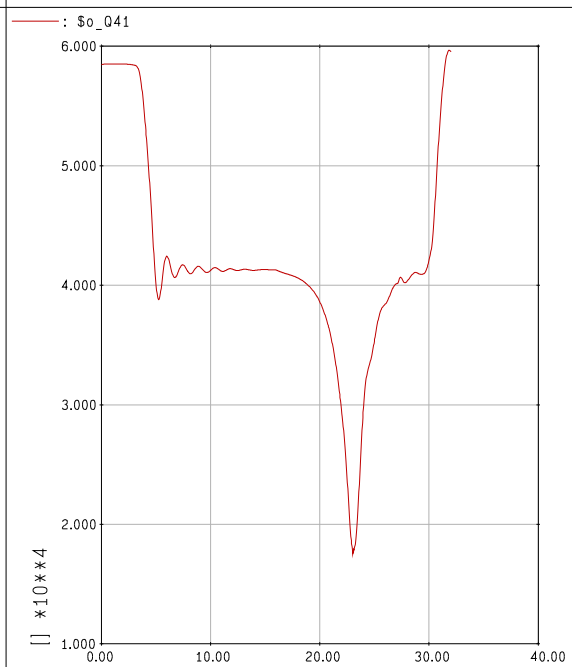
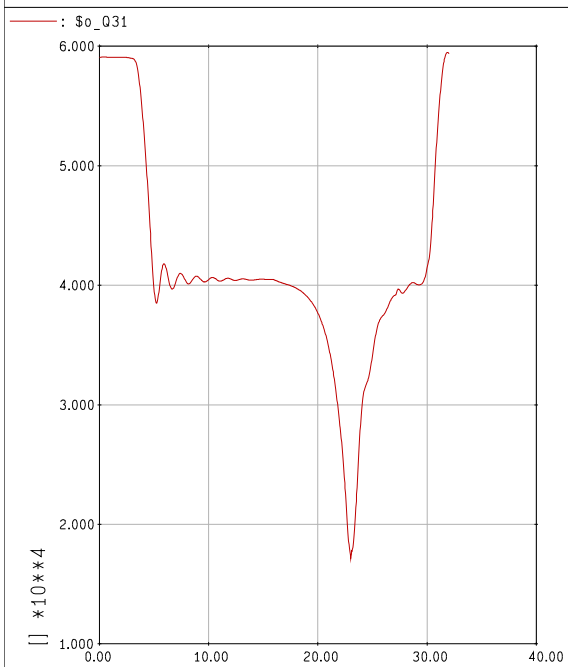
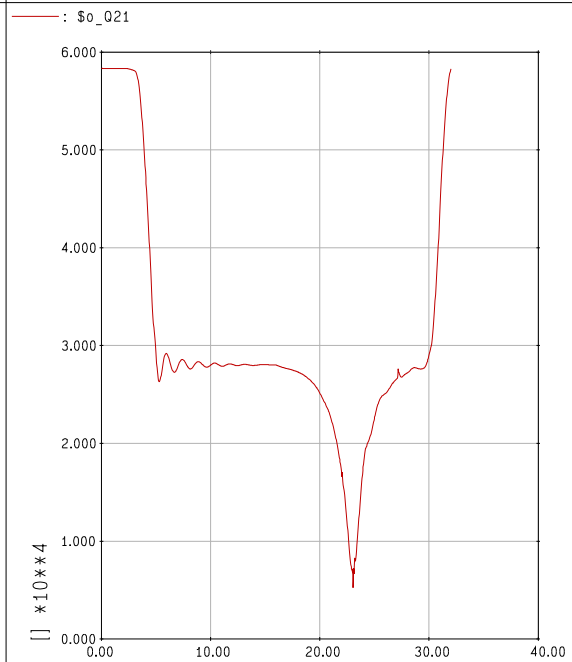
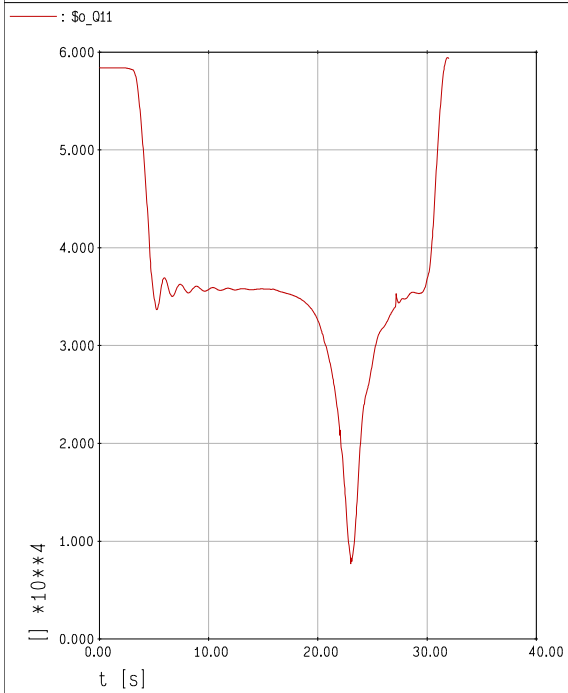
aq	0,0 m/s²		0,5 m/s²		1,0 m/s²	
80 km/h	Anlage B.1	42	Anlage B.4	38	Anlage B.7	36
120 km/h	Anlage B.2	37	Anlage B.5	32	Anlage B.8	28
160 km/h	Anlage B.3	30	Anlage B.6	28	Anlage B.9	26

Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt:

aq	1,0 m/s²		1,5 m/s²		2,0 m/s²	
80 km/h	Anlage B.10	36	Anlage B.13	31	Anlage B.16	26
120 km/h	Anlage B.11	28	Anlage B.14	24	Anlage B.17	20
160 km/h	Anlage B.12	26	Anlage B.15	22	Anlage B.18	20

VT612 WKK

Force/control output value

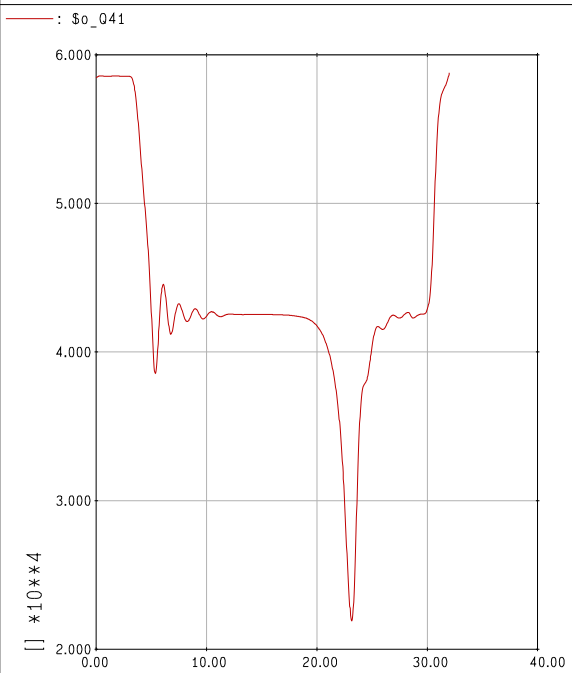
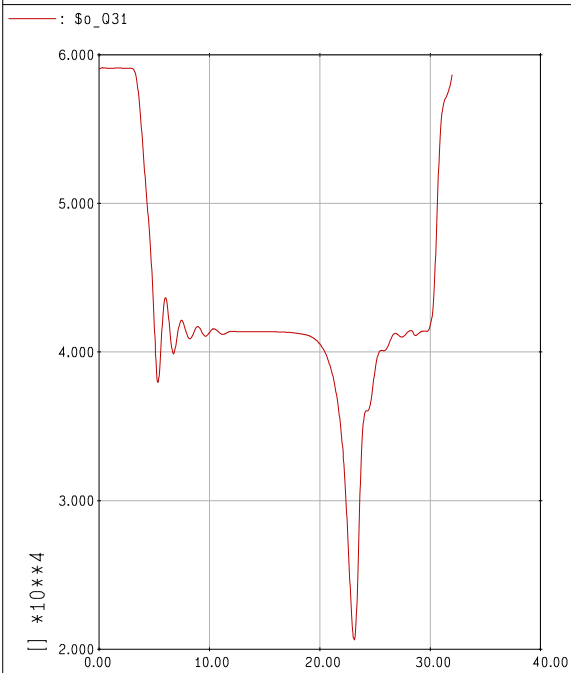
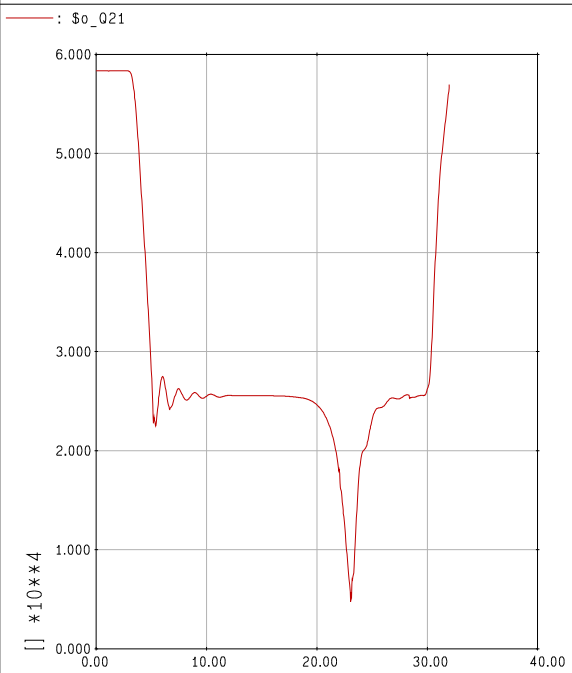
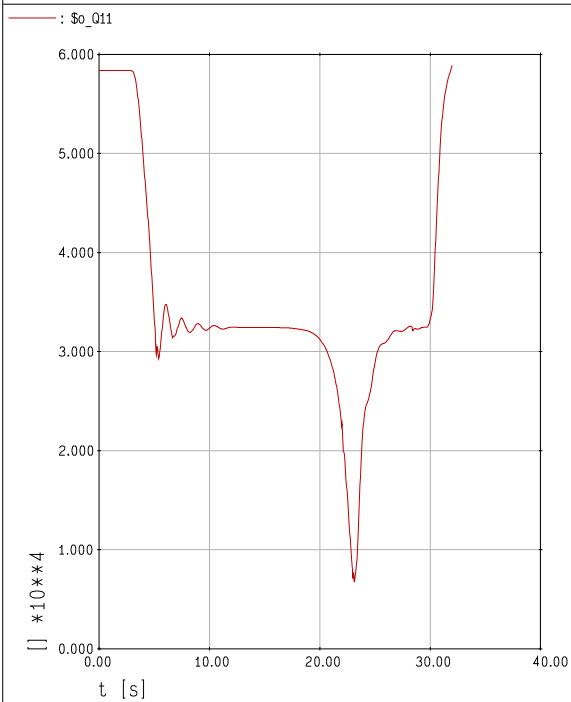
 $v=80\text{km/h}$, $\text{wind}=42\text{m/s}$, $a_q=0,0\text{m/s}^2$

Date: 05-03-04

Anlage B.1: $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$, $v=80 \text{ km/h}$, $\text{wind}=42 \text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

VT612 WKK

Force/control output value

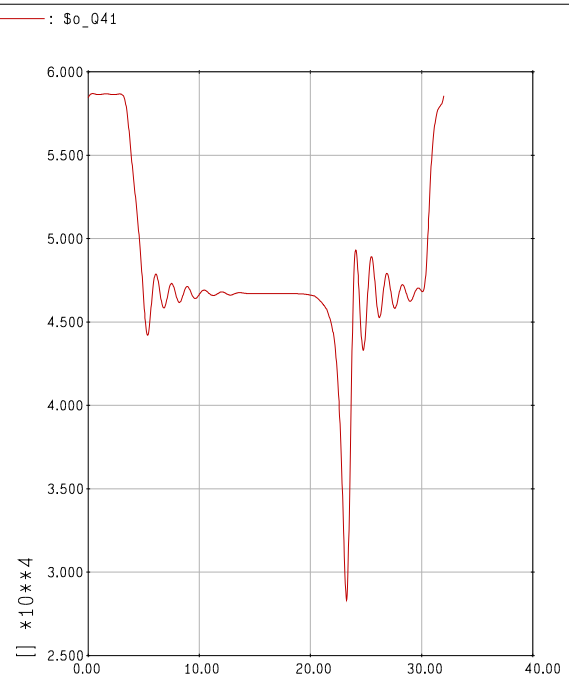
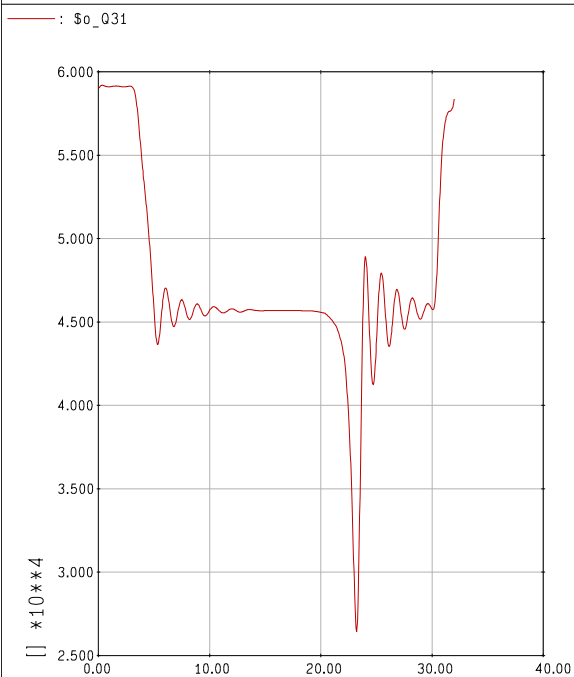
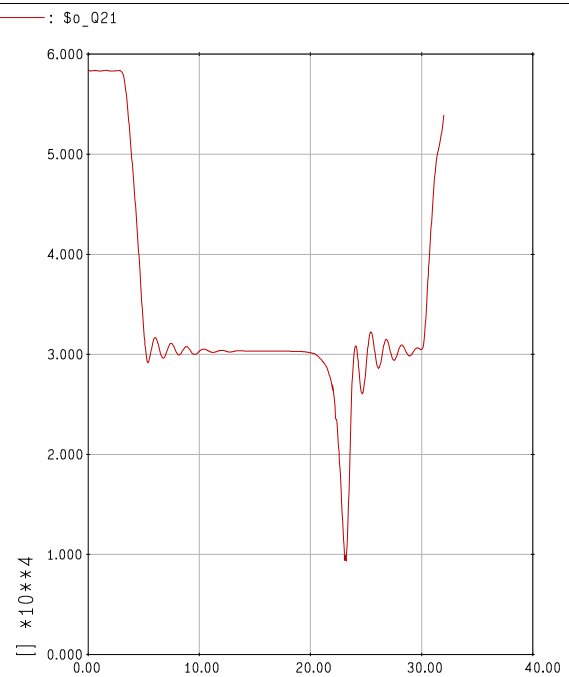
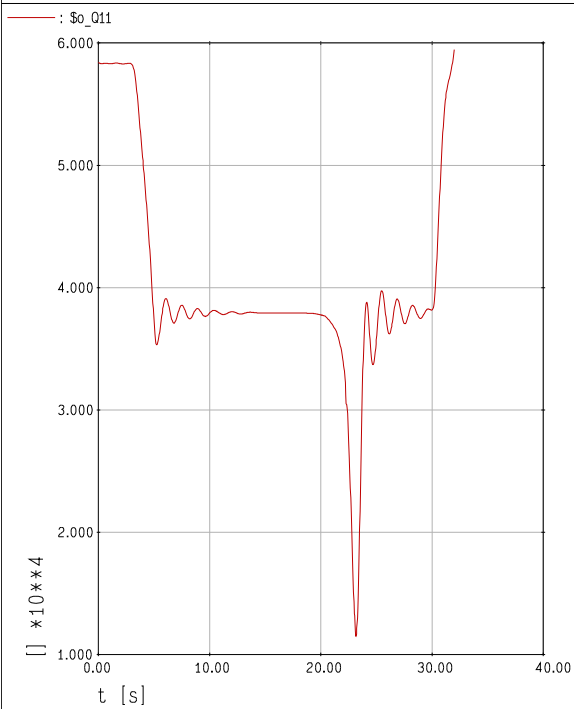
 $v=120\text{km/h}$, $\text{wind}=37\text{m/s}$, $a_q=0,0\text{m/s}^{**2}$

Date: 05-03-04

Anlage B.2: $a_q=0,0\text{ m/s}^2$, $v=120\text{ km/h}$, $\text{wind}=37\text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

VT612 WKK

Force/control output value

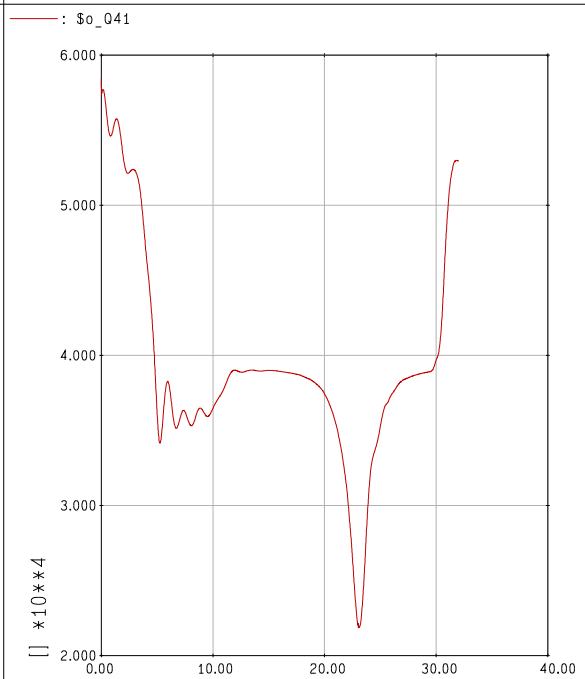
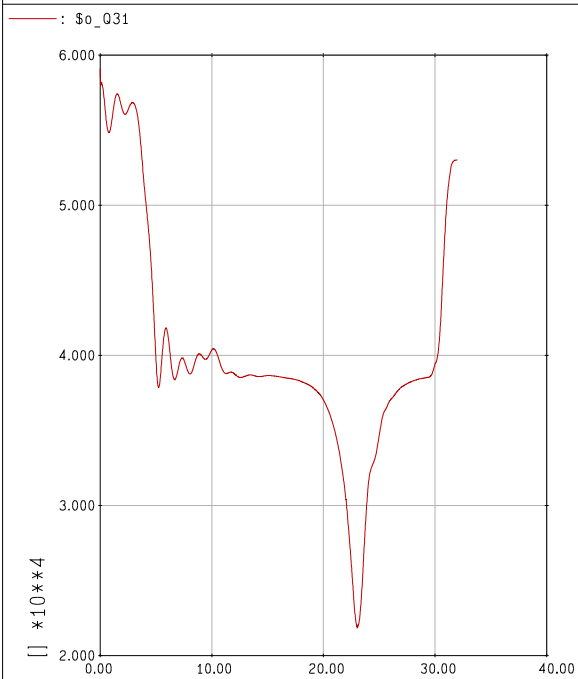
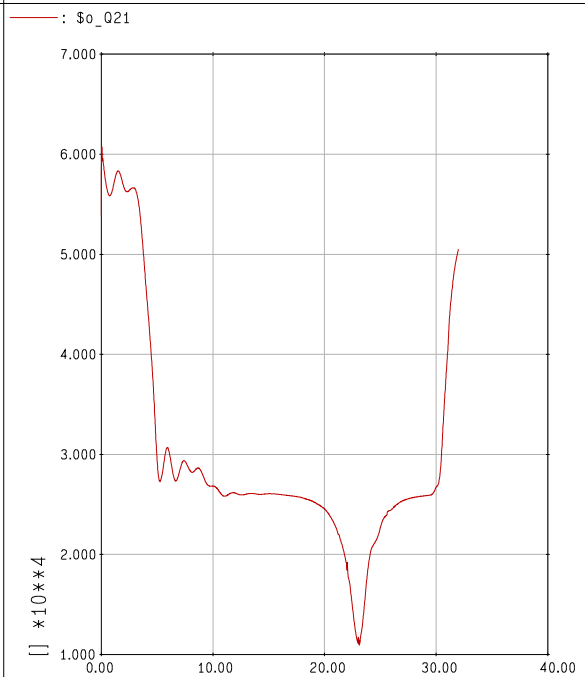
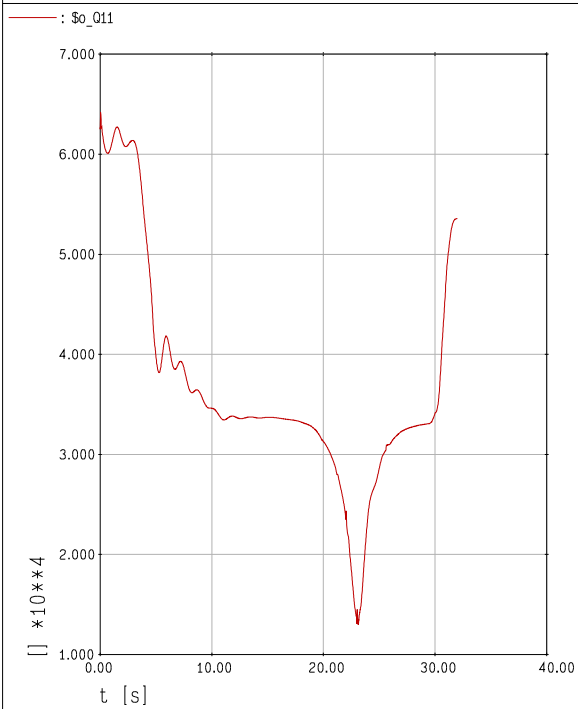
 $v=160\text{km/h}$, $\text{wind}=30\text{m/s}$, $a_q=0,0\text{m/s}^{**2}$

Date: 05-03-04

Anlage B.3: $a_q=0,0\text{ m/s}^2$, $v=160\text{ km/h}$, $\text{wind}=30\text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

VT612 WKK

Force/control output value

 $v=80\text{km/h}$, $\text{wind}=38\text{m/s}$, $a_q=0,5\text{m/s}^2$

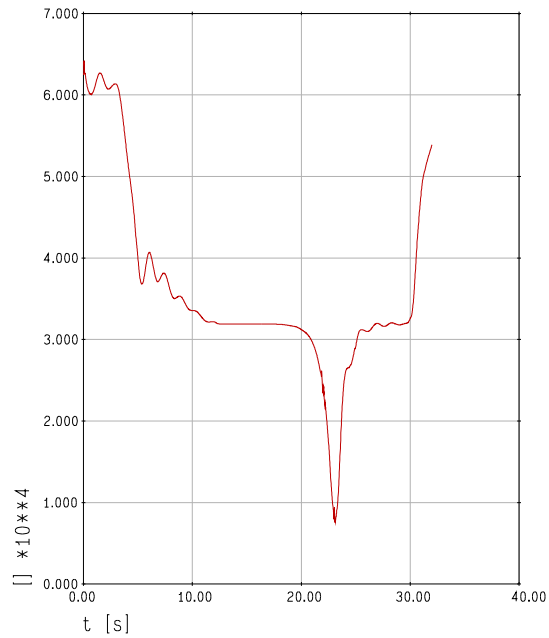
Date: 05-03-04

Anlage B.4: $a_q=0,5\text{ m/s}^2$, $v=80\text{ km/h}$, $\text{wind}=38\text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

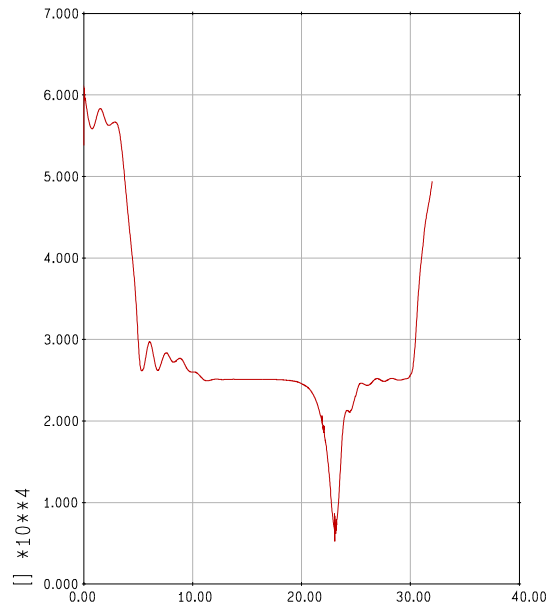
VT612 WKK

Force/control output value

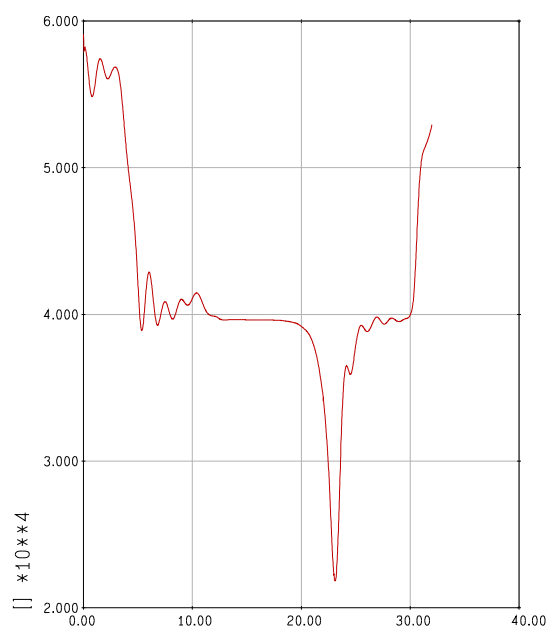
— : \$o_011



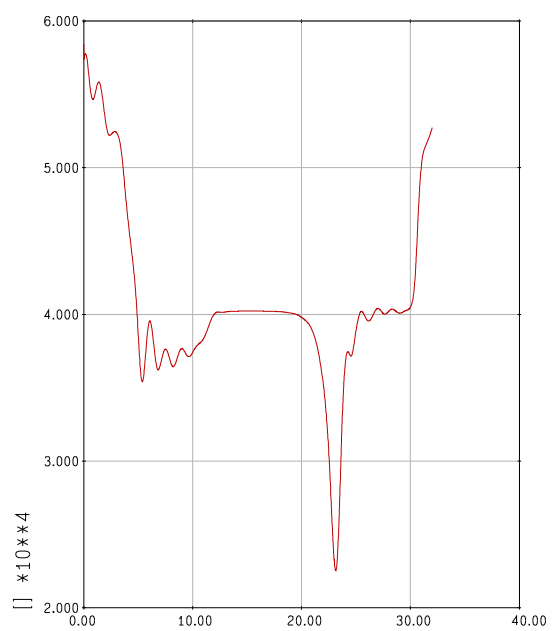
— : \$o_021



— : \$o_031



— : \$o_041

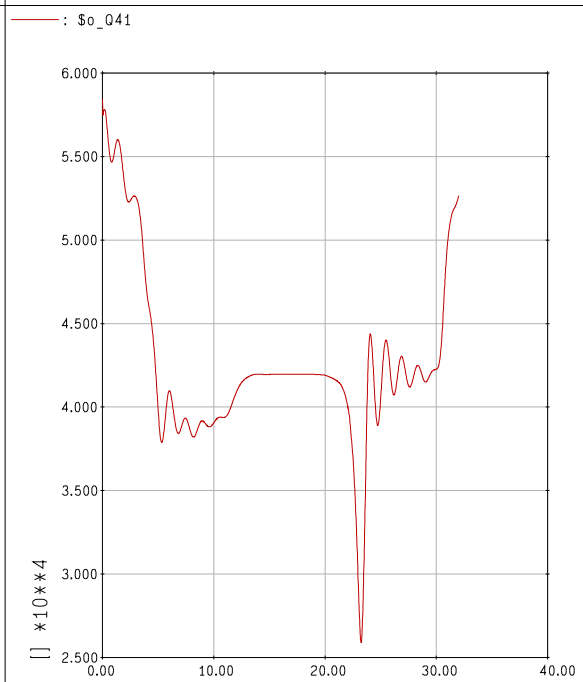
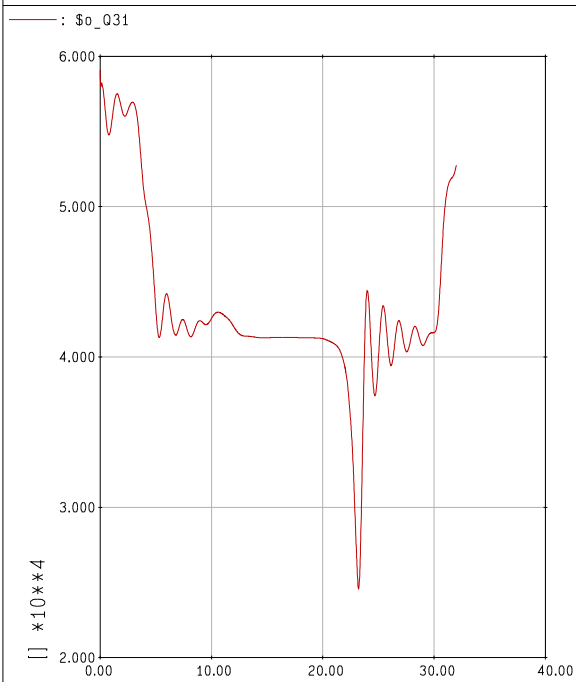
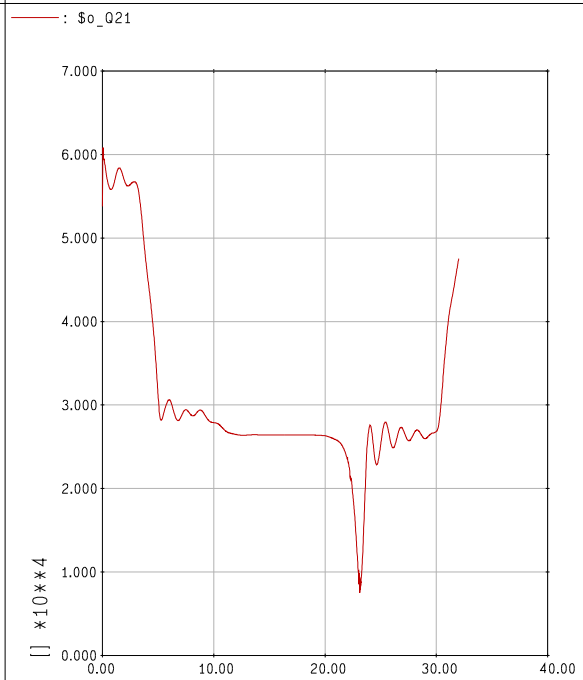
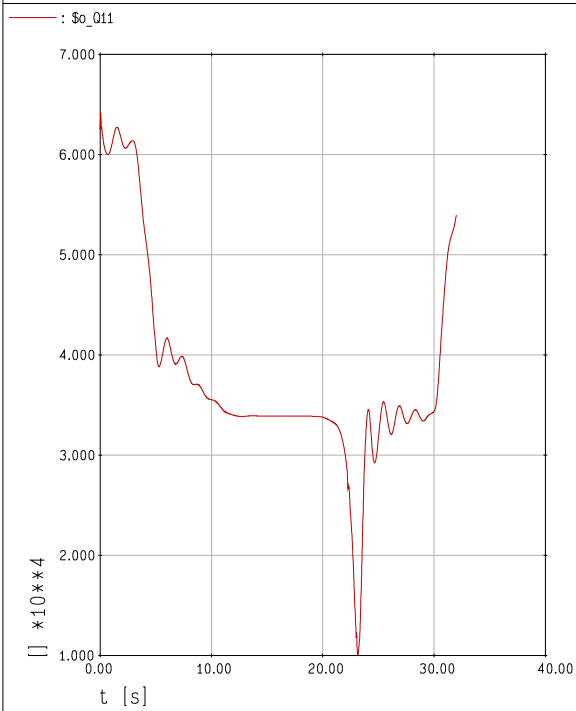
 $v=120\text{km/h}$, $\text{wind}=32\text{m/s}$, $a_q=0,5\text{m/s}^2$

Date: 05-03-04

Anlage B.5: $a_q=0,5\text{ m/s}^2$, $v=120\text{ km/h}$, $\text{wind}=32\text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

VT612 WKK

Force/control output value

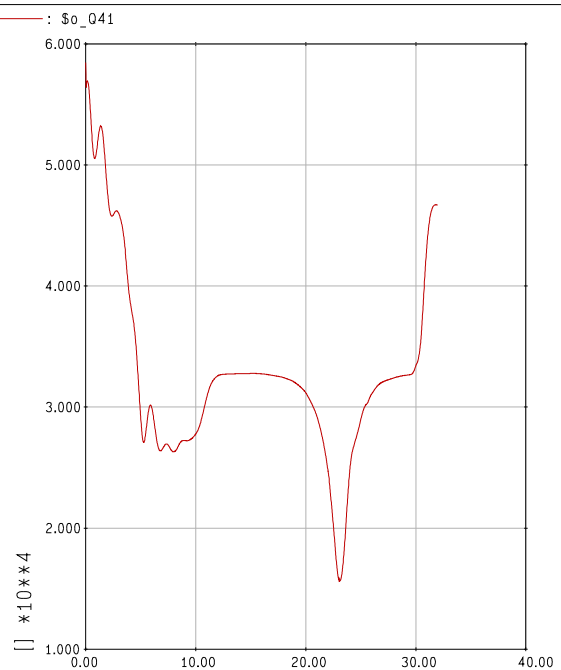
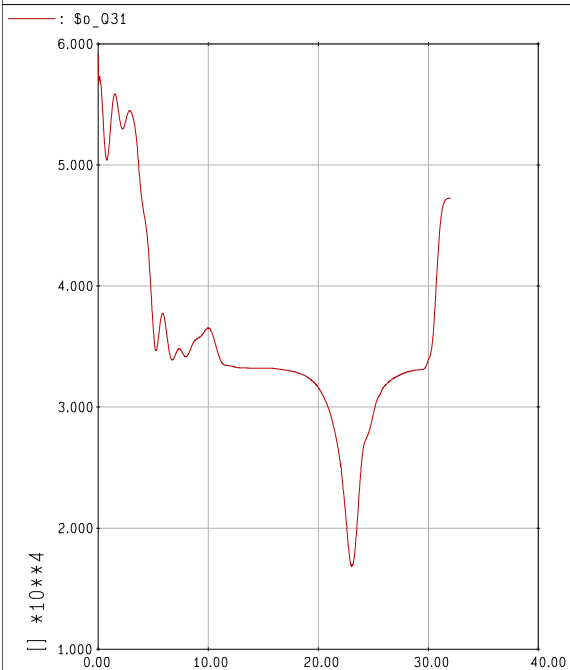
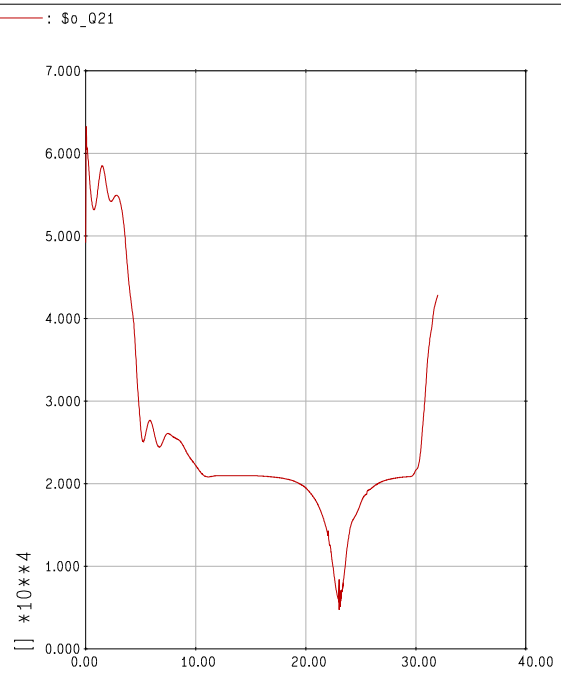
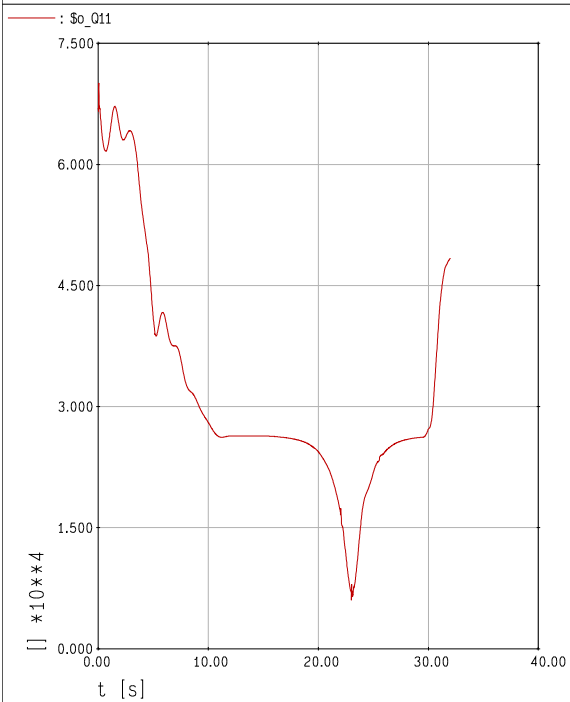
 $v=160\text{km/h}$, $\text{wind}=28\text{m/s}$, $a_q=0,5\text{m/s}^2$

Date: 05-03-04

Anlage B.6: $a_q=0,5 \text{ m/s}^2$, $v=160 \text{ km/h}$, $\text{wind}=28 \text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

VT612 WKK

Force/control output value



v=80km/h, wind=36m/s, aq=1,0m/s**2

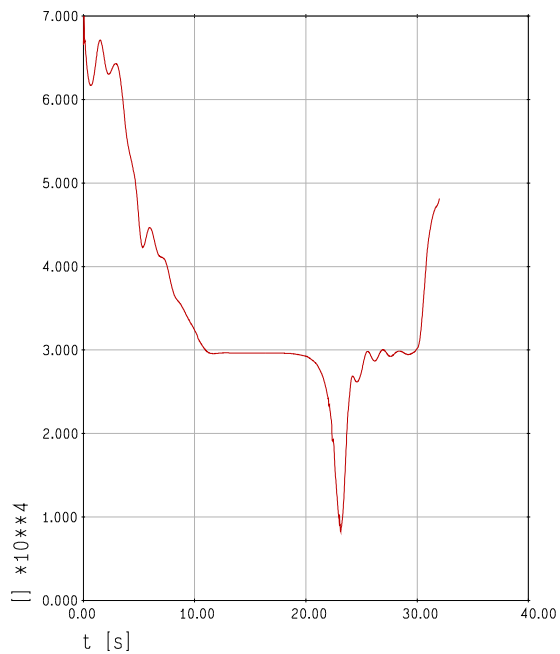
Date: 05-03-04

Anlage B.7: aq=1,0 m/s², v=80 km/h, wind=36 m/s, Wagenkasten gerade

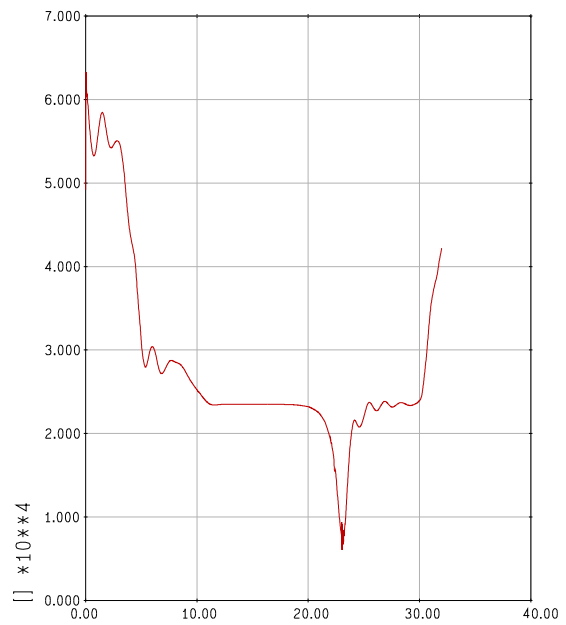
VT612 WKK

Force/control output value

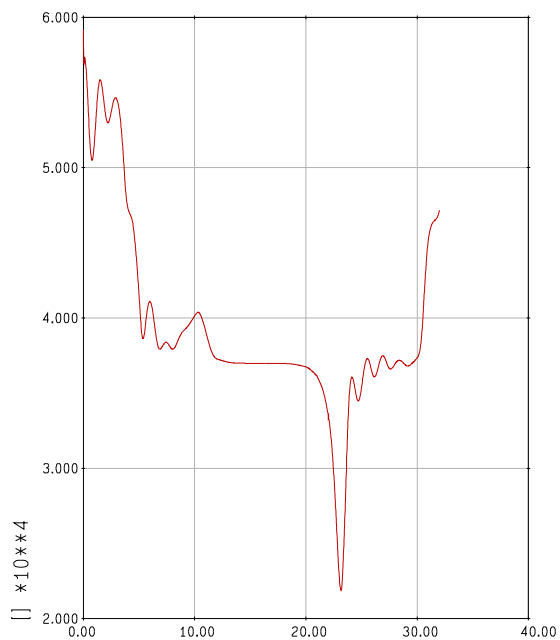
— : \$o_Q11



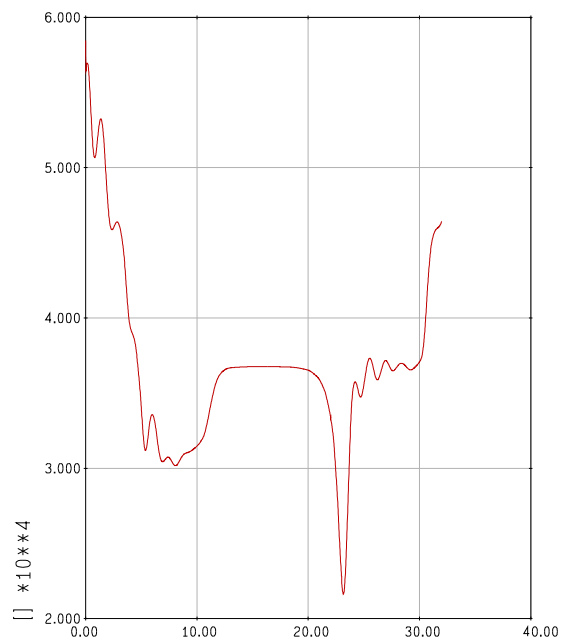
— : \$o_Q21



— : \$o_Q31



— : \$o_Q41

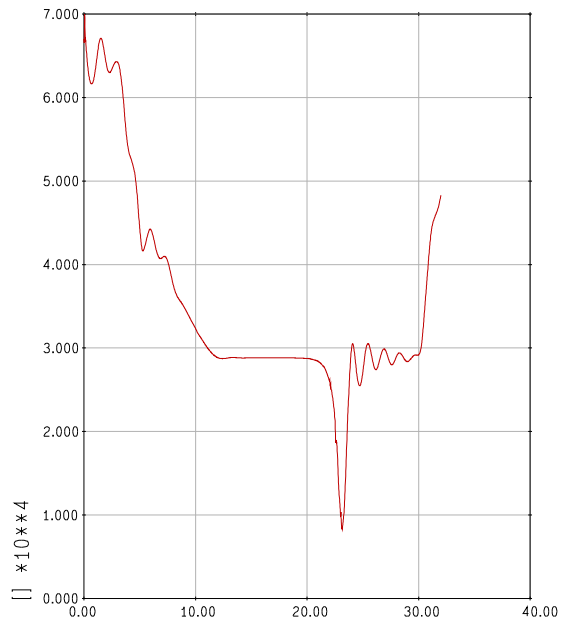
 $v=120\text{km/h}$, $\text{wind}=28\text{m/s}$, $a_q=1,0\text{m/s}^2$

Date: 05-03-04

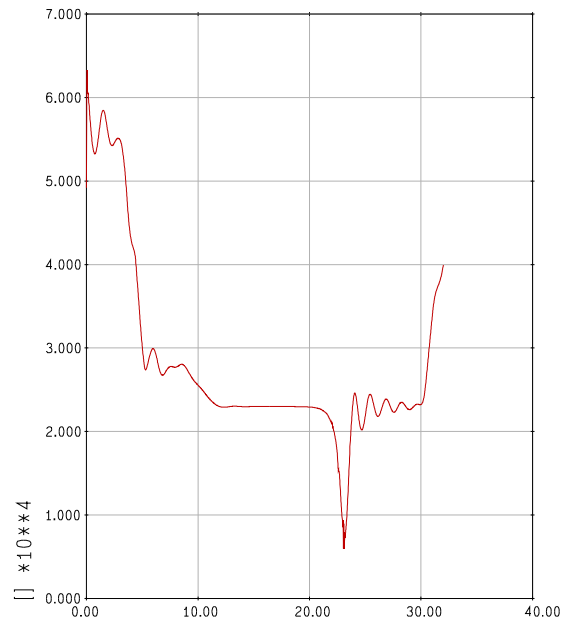
Anlage B.8: $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$, $v=120 \text{ km/h}$, $\text{wind}=28 \text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

VT612 WKK

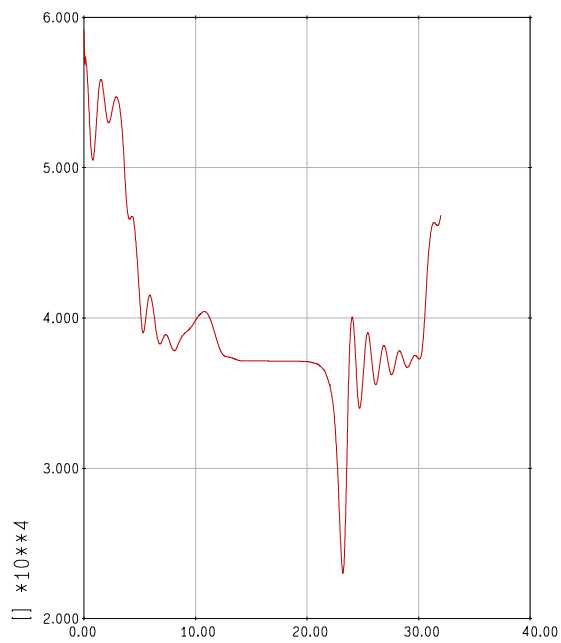
: \$o_Q11



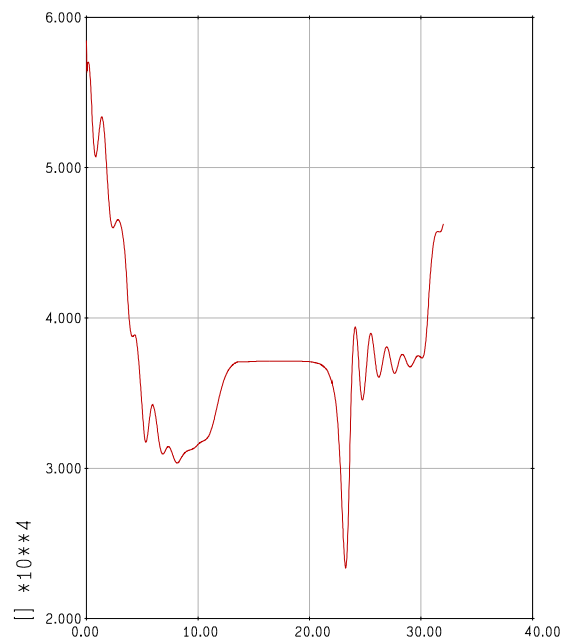
: \$o_Q21



: \$o_Q31



: \$o_Q41

 $v=160\text{km/h}$, $\text{wind}=26\text{m/s}$, $a_q=1,0\text{m/s}^2$

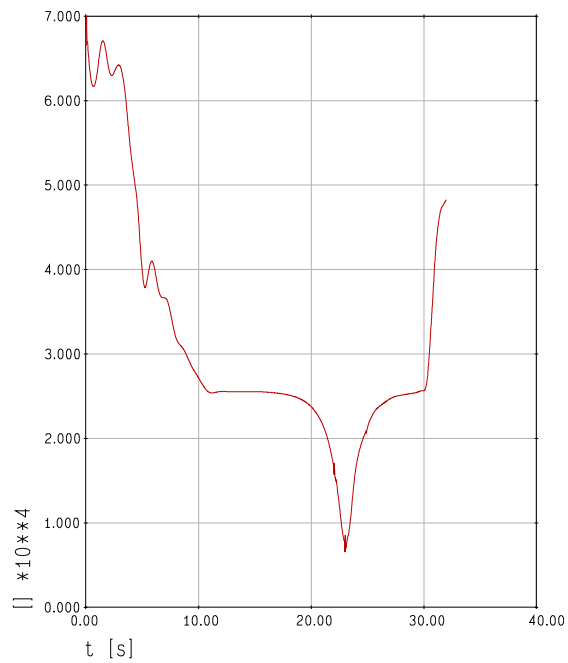
Date: 05-03-04

Anlage B.9: $a_q=1,0\text{ m/s}^2$, $v=160\text{ km/h}$, $\text{wind}=26\text{ m/s}$, Wagenkasten gerade

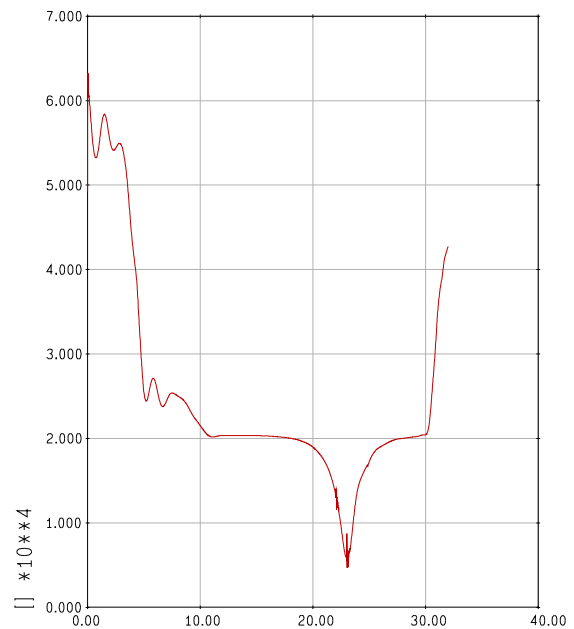
VT612 WKK

Force/control output value

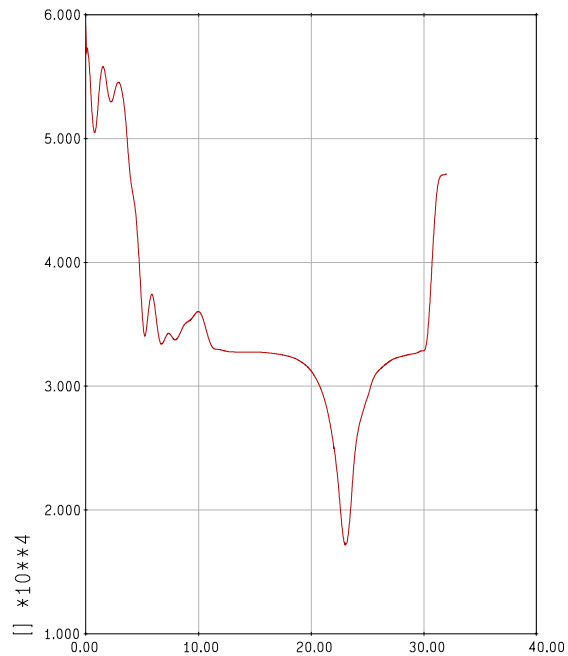
: \$o_Q11



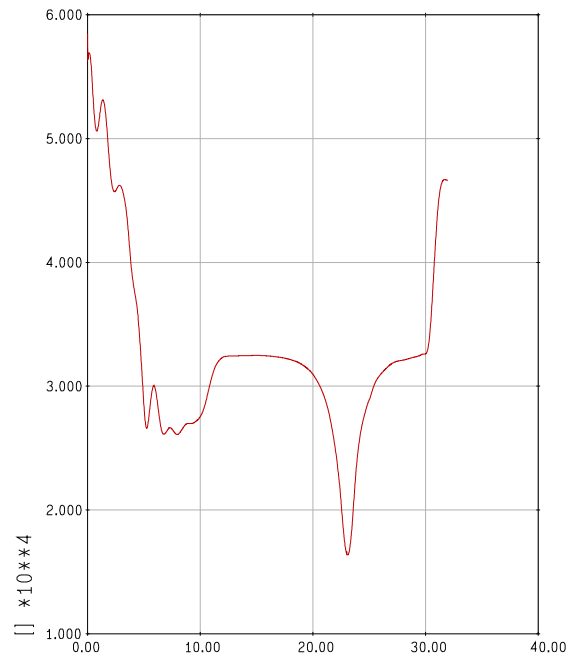
: \$o_Q21



: \$o_Q31



: \$o_Q41



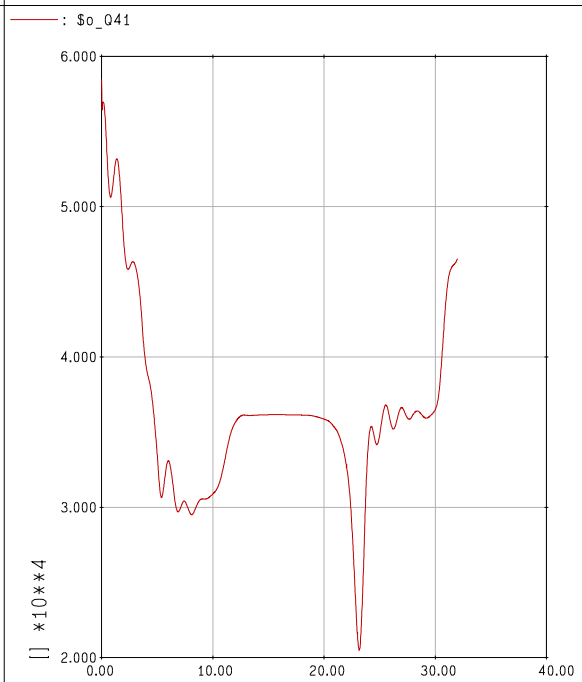
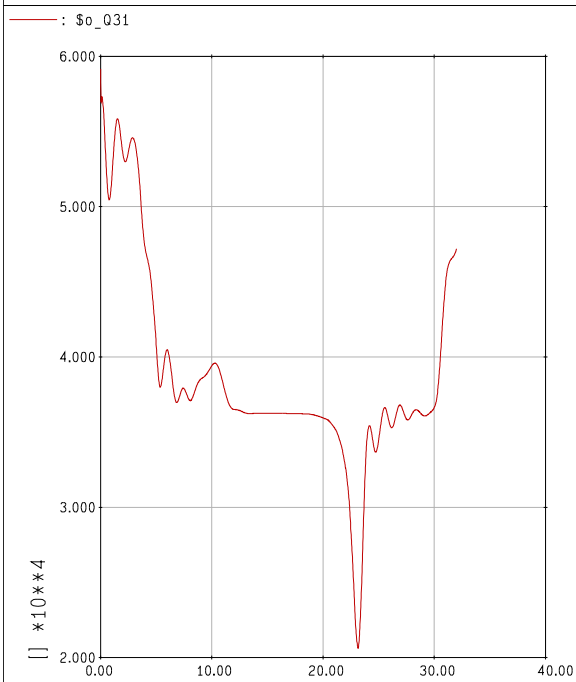
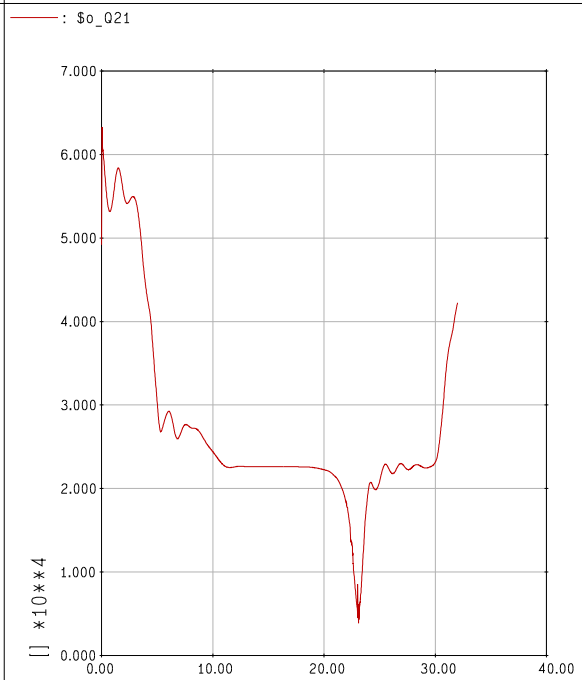
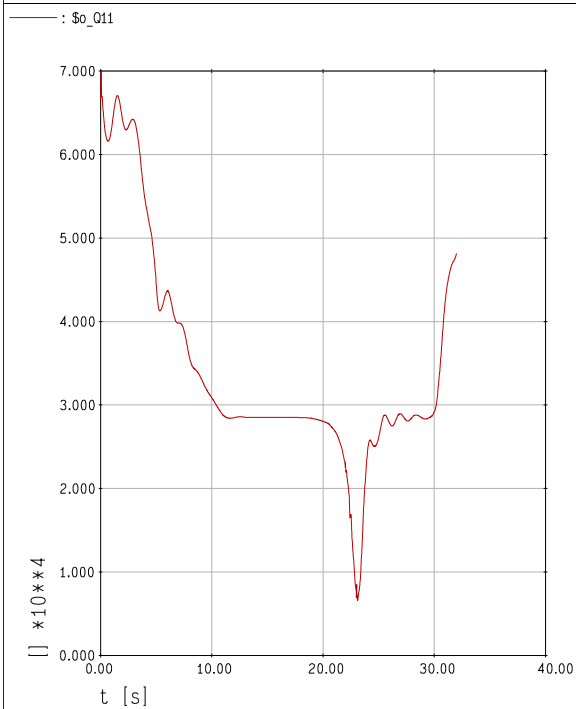
$v=80\text{km/h}$, $\text{wind}=36\text{m/s}$, $a_q=1.0\text{m/s}^{**2}$
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.10: $a_q=1,0\text{ m/s}^2$, $v=80\text{ km/h}$, $\text{wind}=36\text{ m/s}$, Wagenkasten 8° geneigt gegen Wind

VT612 WKK

Force/control output value



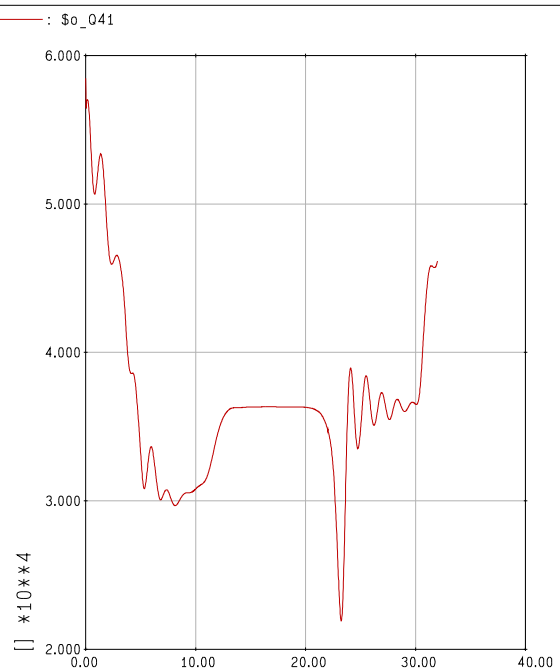
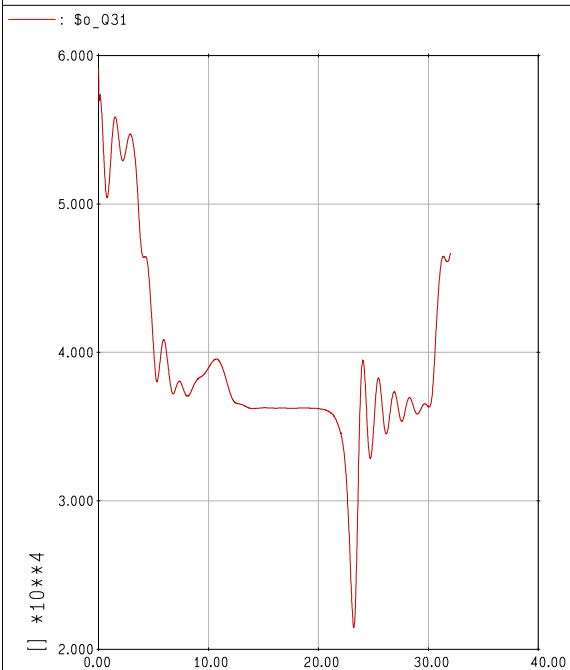
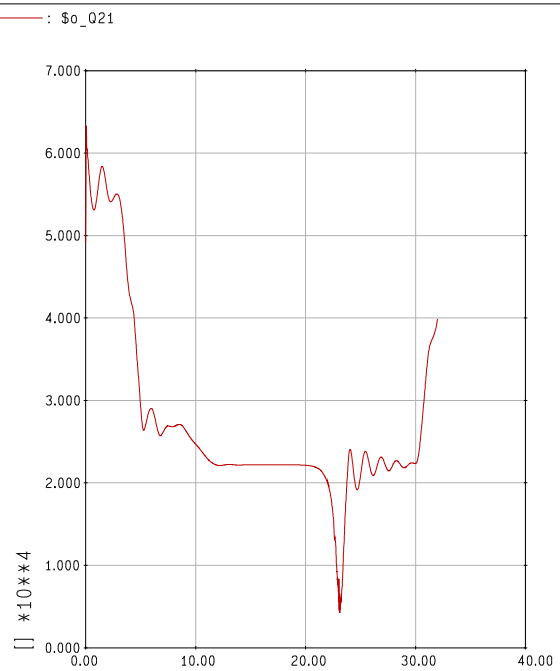
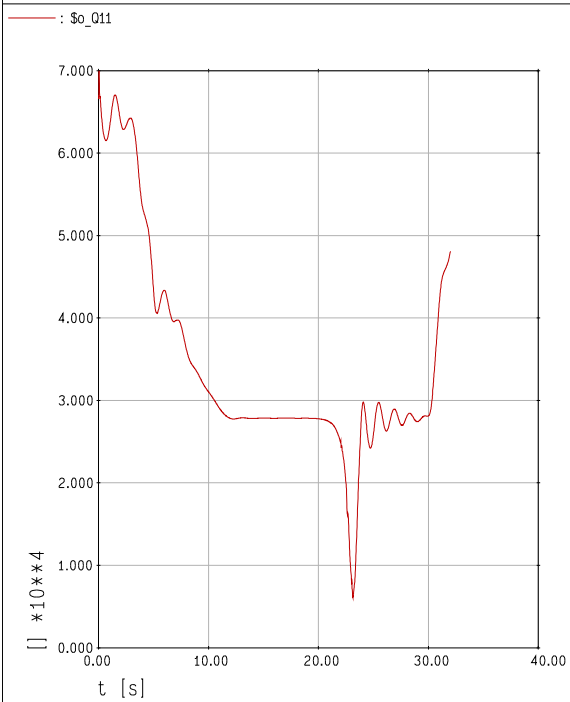
$v=120\text{km/h}$, $\text{wind}=28\text{m/s}$, $a_q=1,0\text{m/s}^2$
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.11: $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$, $v=120 \text{ km/h}$, $\text{wind}=28 \text{ m/s}$, Wagenkasten 8° geneigt gegen Wind

VT612 WKK

Force/control output value



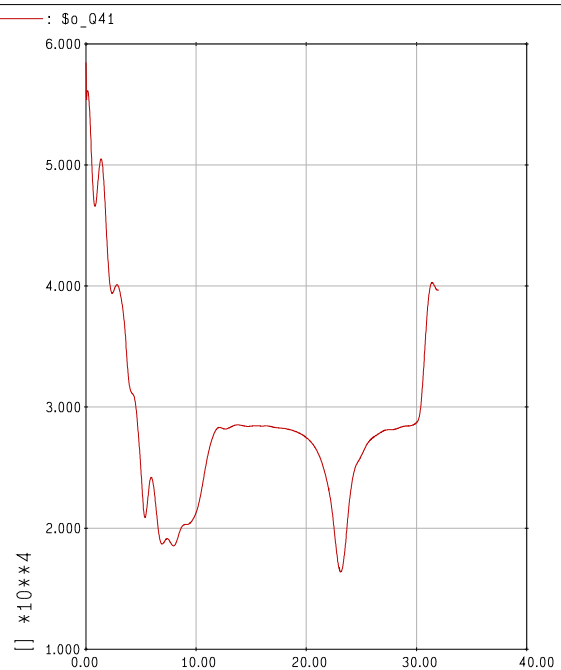
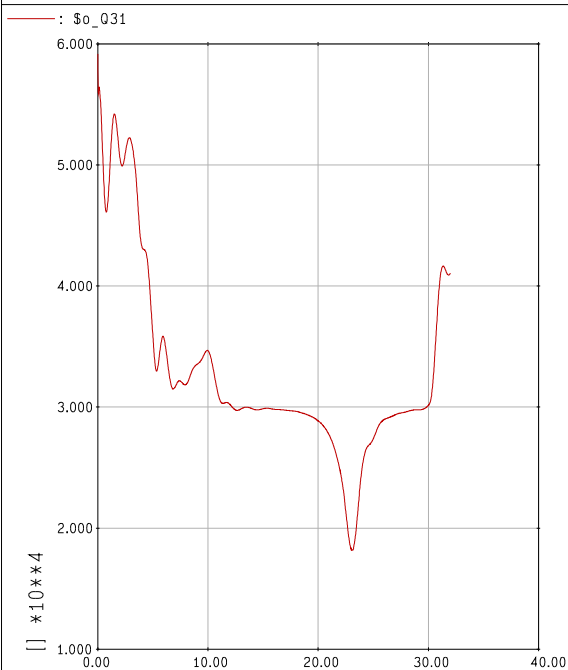
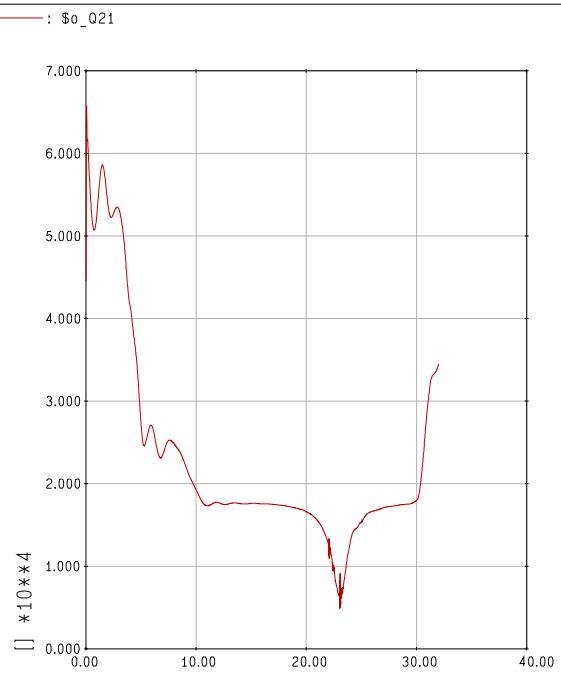
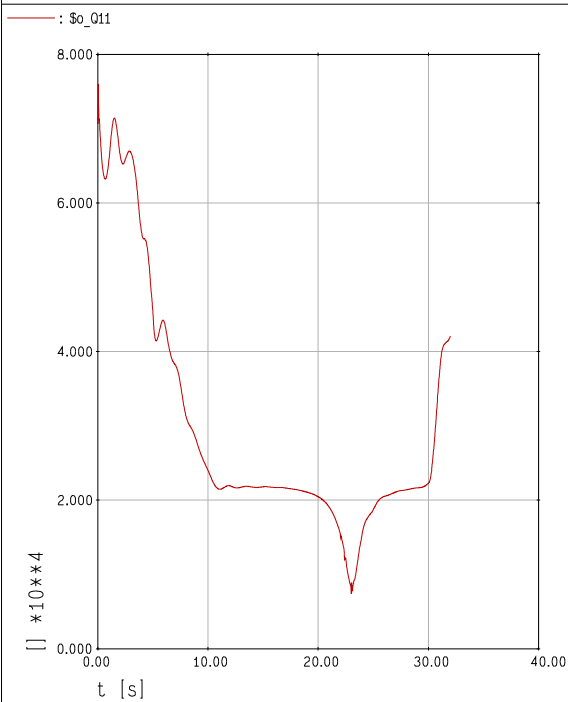
$v=160\text{km/h}$, $\text{wind}=26\text{m/s}$, $a_q=1,0\text{m/s}^2$
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.12: $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$, $v=160 \text{ km/h}$, $\text{wind}=26 \text{ m/s}$, Wagenkasten 8°geneigt gegen Wind

VT612 WKK

Force/control output value



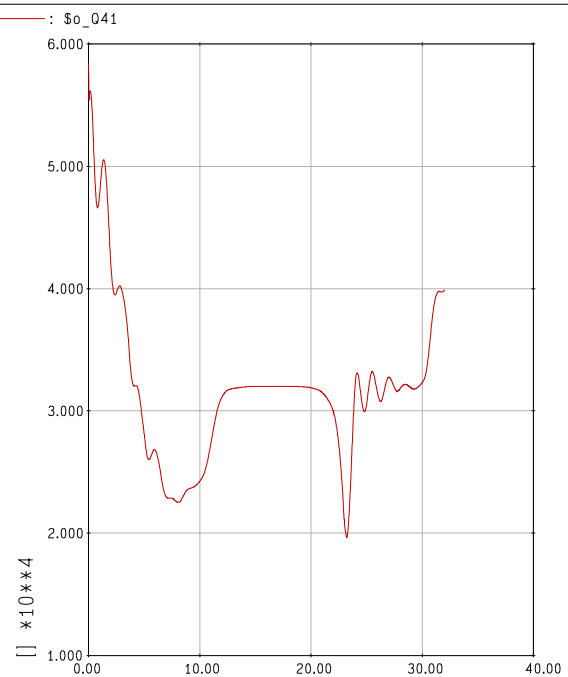
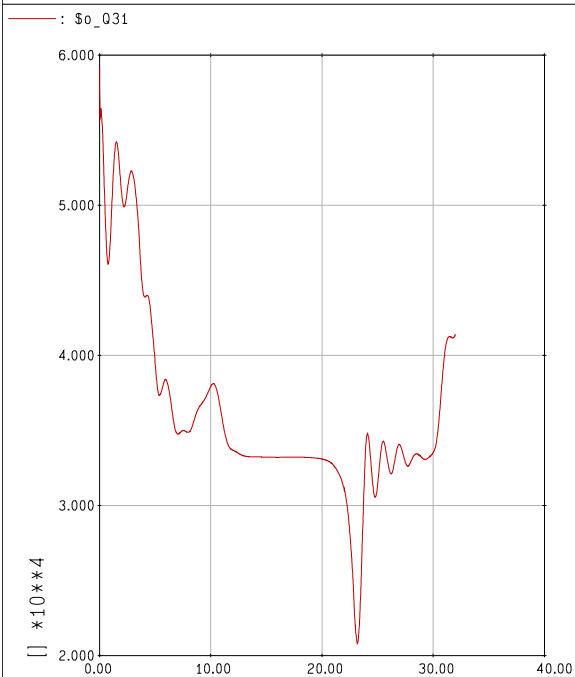
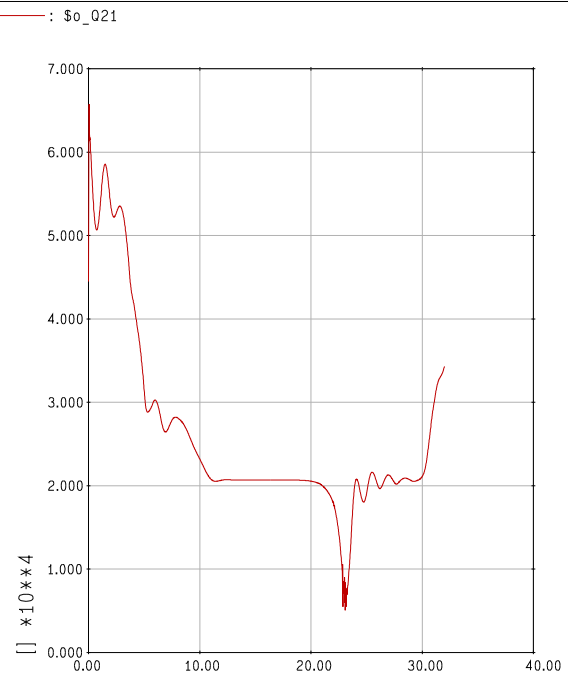
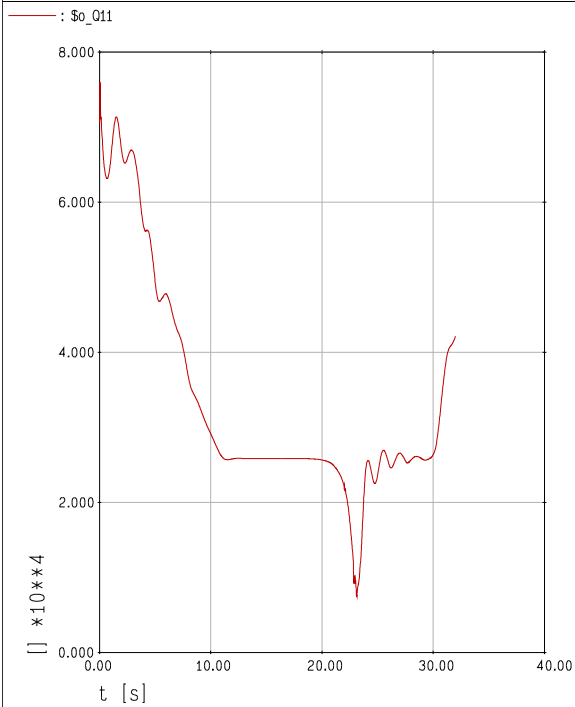
v=80km/h, wind=31m/s, aq=1,5m/s**2
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.13: aq=1,5 m/s², v=80 km/h, wind=31 m/s, Wagenkasten 8°geneigt gegen Wind

VT612 WKK

Force/control output value

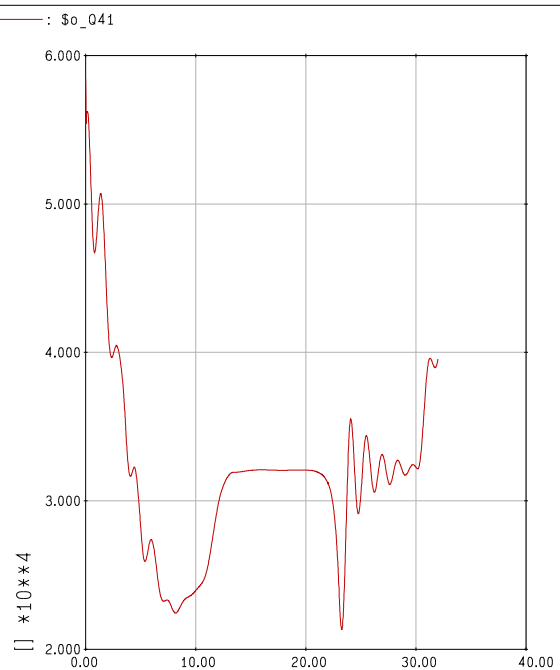
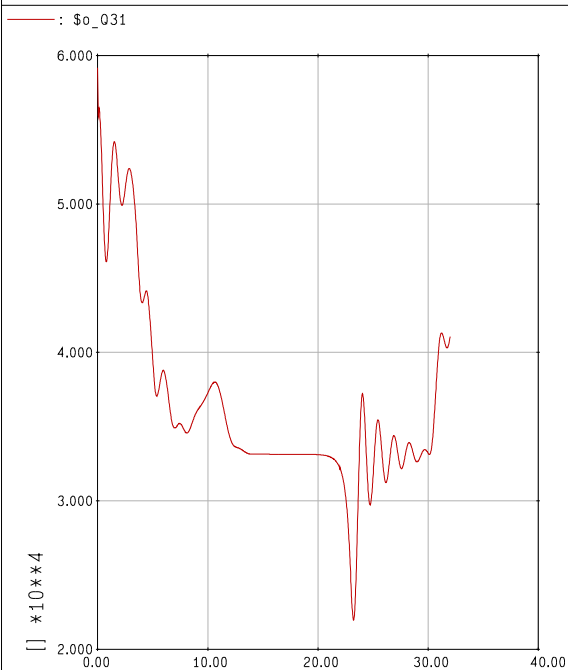
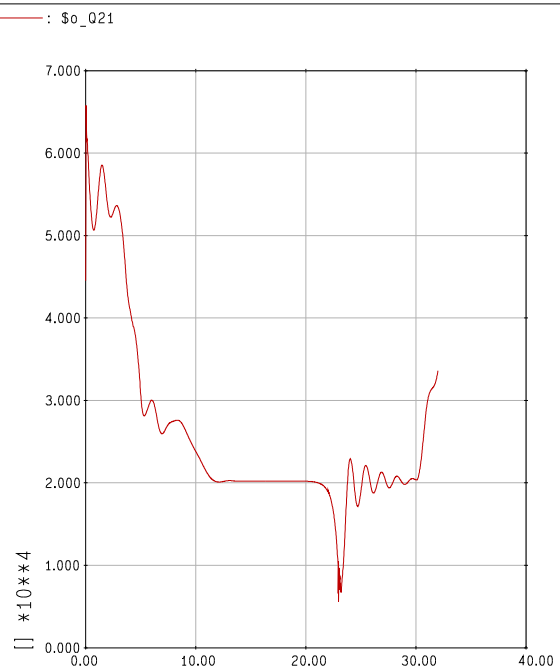
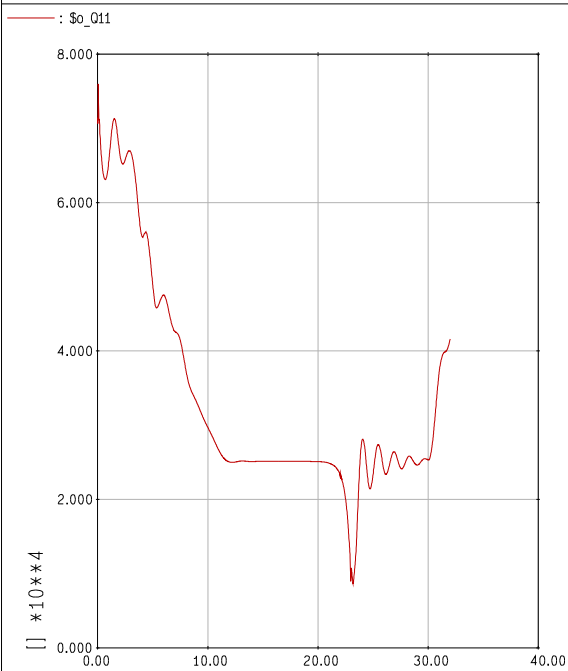


$v=120\text{km/h}$, $\text{wind}=24\text{m/s}$, $a_q=1,5\text{m/s}^{**2}$
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.14: $a_q=1,5\text{ m/s}^2$, $v=120\text{ km/h}$, $\text{wind}=24\text{ m/s}$, Wagenkasten 8° geneigt gegen Wind

VT612 WKK



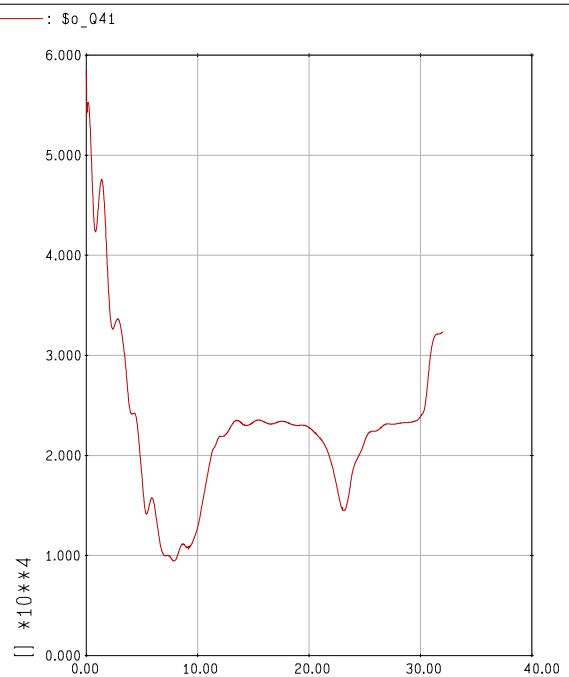
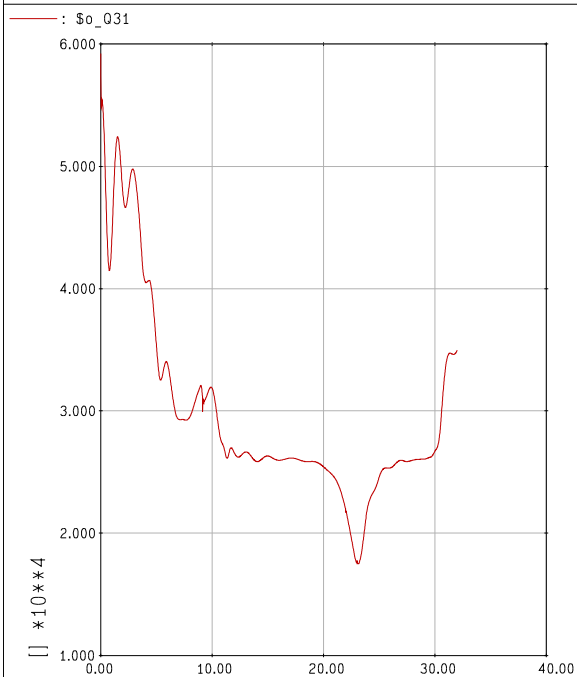
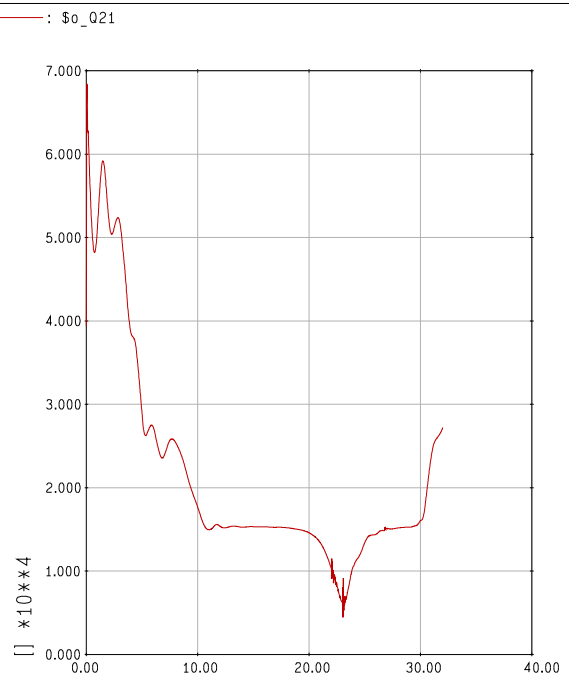
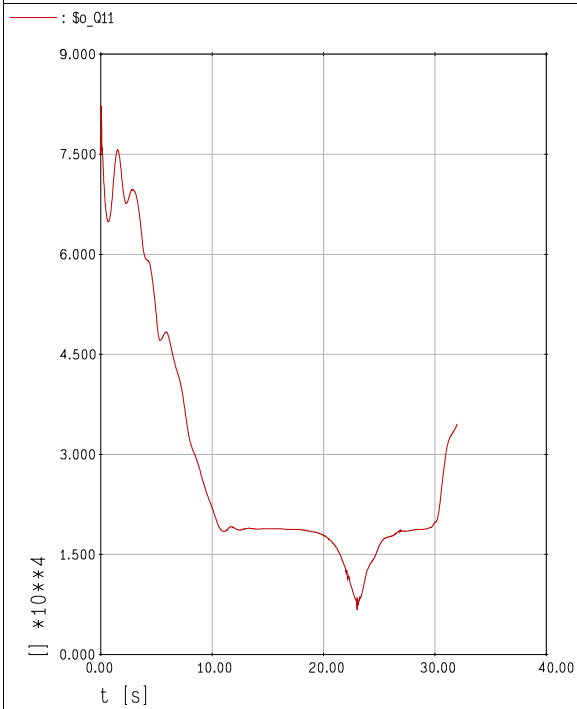
$v=160\text{km/h}$, $\text{wind}=22\text{m/s}$, $a_q=1,5\text{m/s}^{**2}$
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.15: $a_q=1,5\text{ m/s}^2$, $v=160\text{ km/h}$, $\text{wind}=22\text{ m/s}$, Wagenkasten 8°geneigt gegen Wind

VT612 WKK

Force/control output value



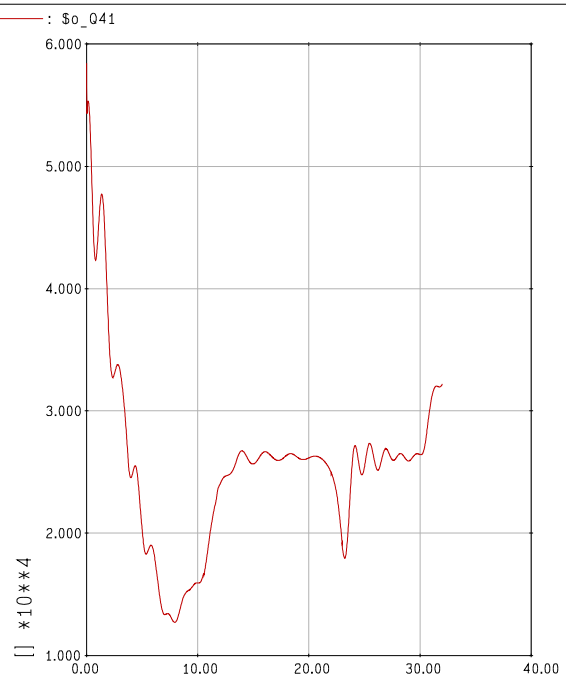
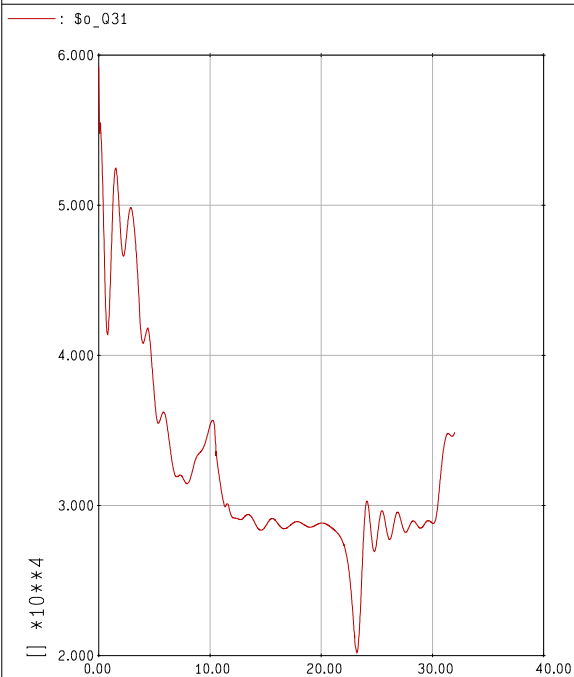
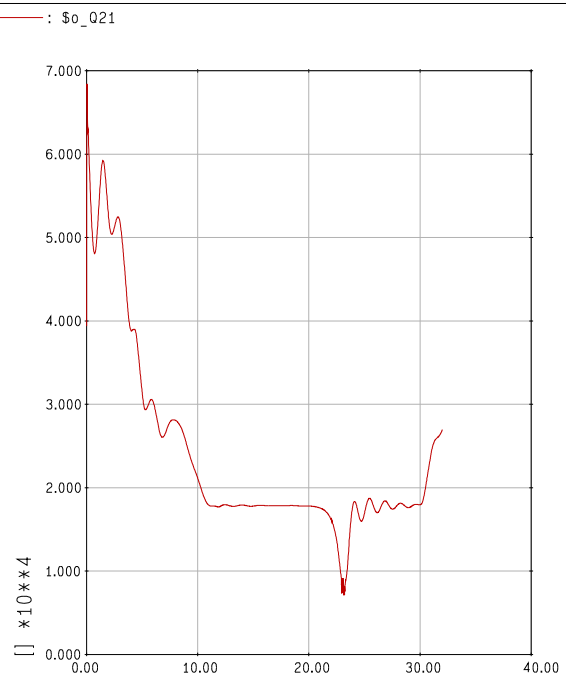
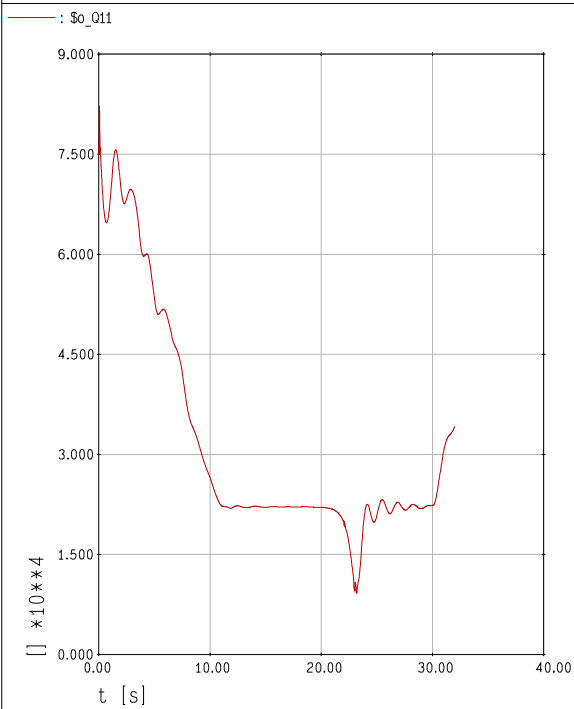
v=80km/h, wind=26m/s, aq=2,0m/s**2
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.16: aq=2,0 m/s², v=80 km/h, wind=26 m/s, Wagenkasten 8°geneigt gegen Wind

VT612 WKK

Force/control output value

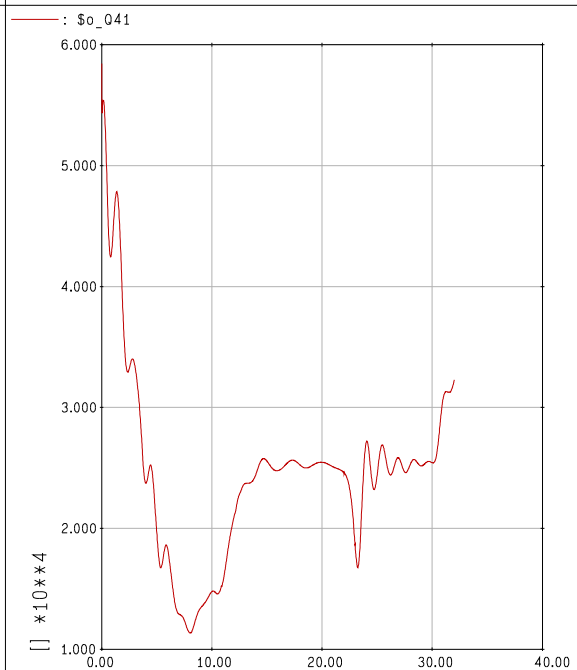
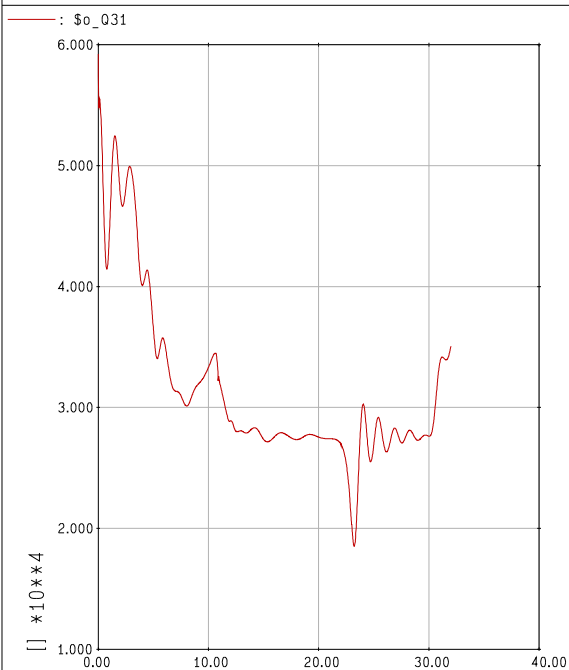
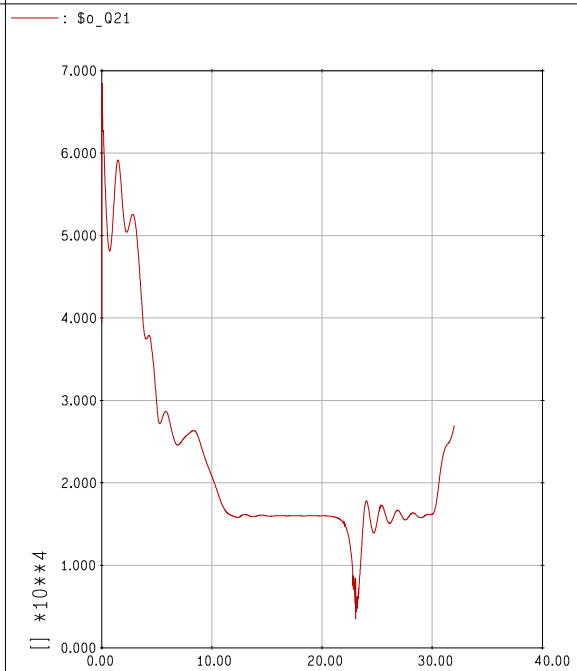
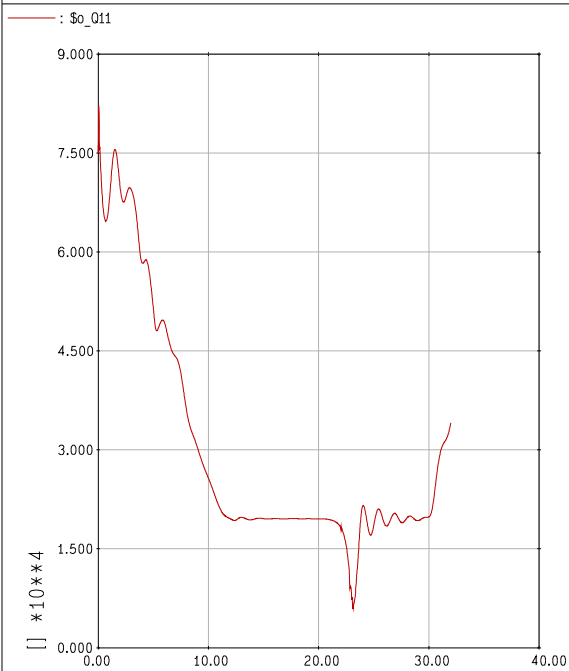


v=120km/h, wind=20m/s, aq=2,0m/s**2
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

Date: 05-03-04

Anlage B.17: aq=2,0 m/s², v=120 km/h, wind=20 m/s, Wagenkasten 8°geneigt gegen Wind

VT612 WKK



$v=160\text{km/h}$, $\text{wind}=20\text{m/s}$, $a_q=2,0\text{m/s}^{**2}$
Aerodynamik: Wagenkasten 8Grad gegen Wind geneigt

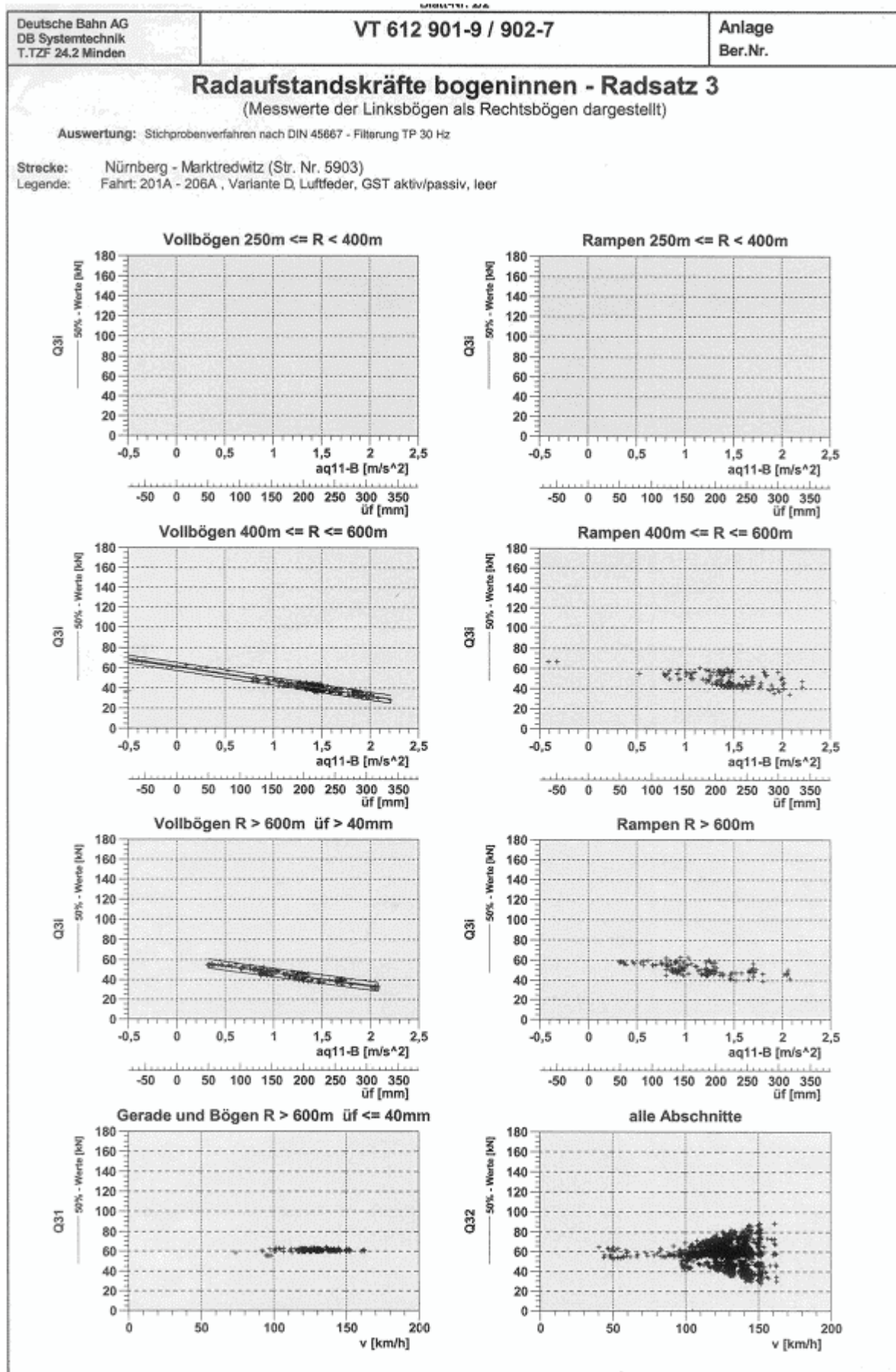
Date: 05-03-04

Anlage B.18: $a_q=2,0\text{ m/s}^2$, $v=160\text{ km/h}$, $\text{wind}=20\text{ m/s}$, Wagenkasten 8°geneigt gegen Wind

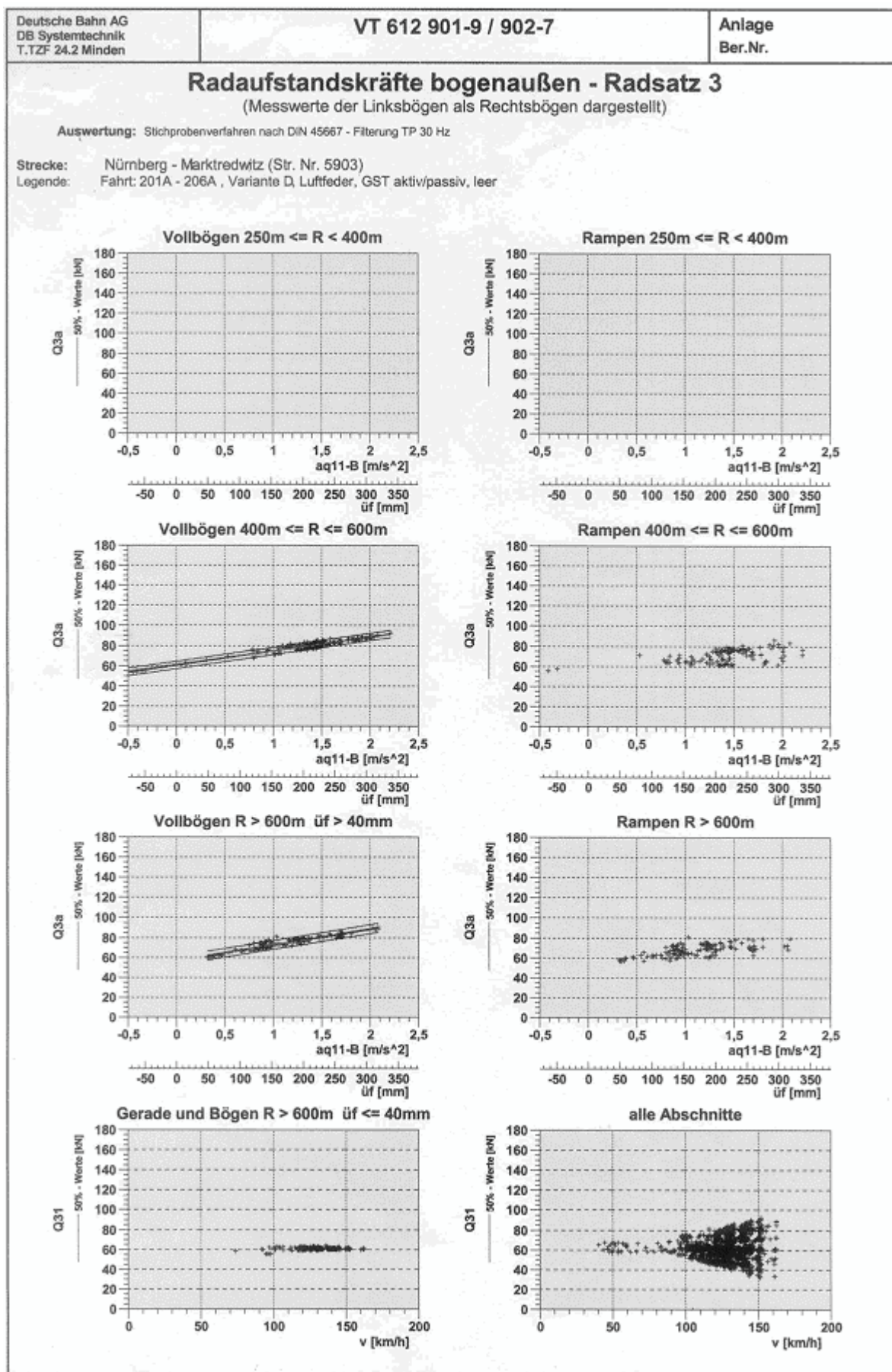
11 Anlage C: Messungen Radaufstandskräfte

Für die Verifikation der Radaufstandskräfte wurden ergänzend zu den Anlagen der fahrtechnischen Untersuchung eine Auswertung der 50%-Werte der Q-Kräfte verwendet. Folgende Auswertungen der Messungen stehen zur Verfügung:

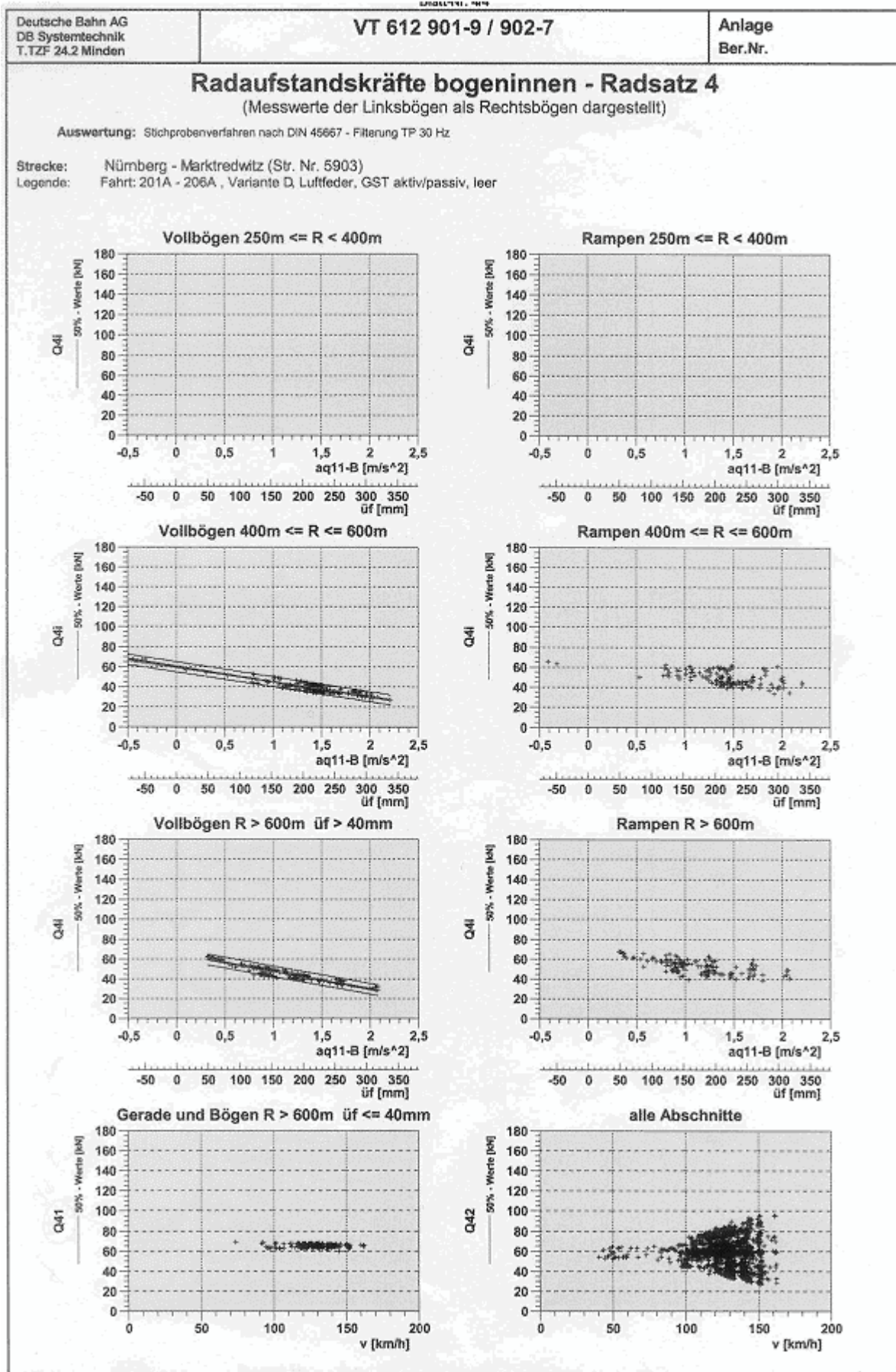
50%-Werte der Radaufstandskräfte bogeninnen – Radsatz 3	Anlage C.1
50%-Werte der Radaufstandskräfte bogen aussen – Radsatz 3	Anlage C.2
50%-Werte der Radaufstandskräfte bogeninnen – Radsatz 4	Anlage C.3
50%-Werte der Radaufstandskräfte bogen aussen – Radsatz 4	Anlage C.4



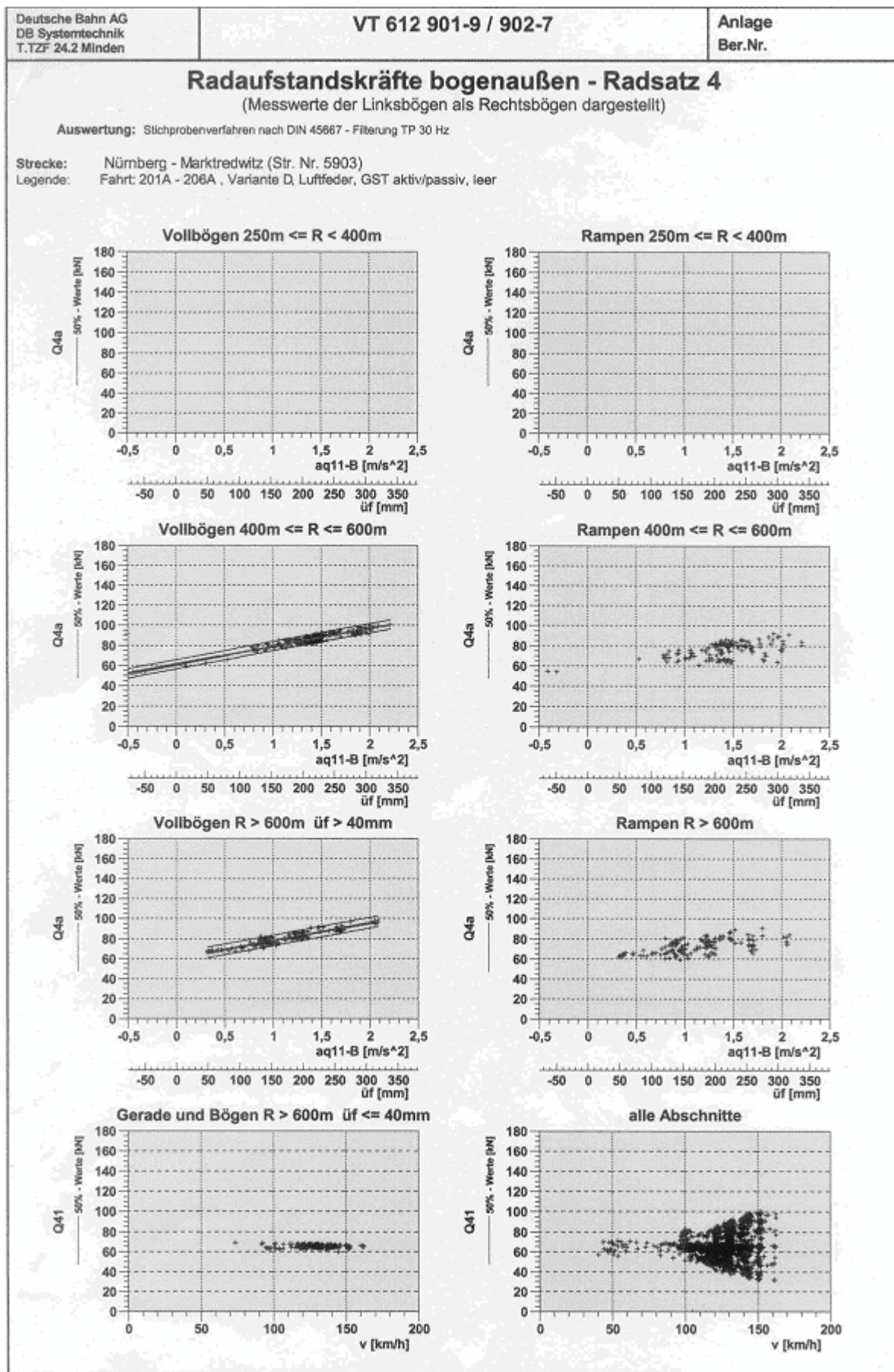
Anlage C.1: 50%-Werte Radaufstandskräfte bogeninnen Radsatz 3



Anlage C.2: 50%-Werte Radaufstandskräfte bogenaussen Radsatz 3



Anlage C.3: 50%-Werte Radaufstandskräfte bogeninnen Radsatz 4



Anlage C.4: 50%-Werte Radaufstandskräfte bogenaussen Radsatz 4