

Berechnung der Windkennkurven des IR-Steuerwagens nach dem Stufe-2-Verfahren



Dokument: 04-P-001277-T.TZF95-UN-1160
WODAN-TP2-V0-T02

Datum: 05.10.2004

Durchführung: Deutsche Bahn AG
DB Systemtechnik
Simulation Strukturmechanik
und Fahrtechnik (T.TZF95.1)
Pionierstraße 10
32423 Minden

Inhaltsverzeichnis

1	Angaben zum Auftrag	2
2	Einleitung und Verfahren.....	3
3	Koordinatensystem	3
4	Fahrzeugmodellierung	3
4.1	Fahrzeugparameter	3
4.2	Verifikation.....	4
4.3	Aerodynamik	5
5	Szenario	6
6	Berechnung	7
6.1	Beurteilungskriterien	7
6.2	Berechnungsparameter	7
6.3	Variationen.....	7
6.4	Ergebnisse.....	8
6.4.1	Simulationstechnisch ermittelte Werte	8
6.4.2	Windkennkurven (WKK)	8
7	Unterschriften.....	11
8	Literatur.....	11
9	Anhang	11

1 Angaben zum Auftrag

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

Auftraggeber: T.TZI

Verteiler: T.TZF95.1, T.TZF13

Seiten: 23

2 Einleitung und Verfahren

Für den Steuerwagen vom Interregio (IR) soll die Stabilität gegen Seitenwind nach dem Stufe-2-Verfahren (MKS-Simulation) berechnet werden.

3 Koordinatensystem

Die Koordinatensysteme der Fahrzeugelemente (körperfeste Koordinatensysteme) besitzen dieselbe Ausrichtung wie das Inertialsystem gemäß Abbildung 1.

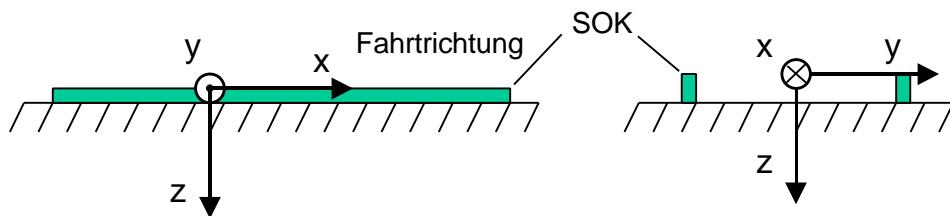


Abbildung 1: Inertiales Koordinatensystem

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

4 Fahrzeugmodellierung

Das Fahrzeugmodell wurde im Rahmen der Berechnung der Windkennkurven nach der RIL401 Stand März 2001 aufgebaut (siehe Bericht [2]) und wird für die Berechnung der WKK nach dem Stufe-2-Verfahren verwendet.

4.1 Fahrzeugparameter

Die Modellierung des Fahrzeugs ist in dem Bericht [2] detailliert beschrieben. In diesem Abschnitt sind die wesentlichen Modelldaten aufgeführt.

Massen:

Wagenkasten:

Bezeichnung	Masse [kg]	Schwerpunkt		
		x [m]	y [m]	z [m]
Wagenkasten	32863	-0,3	0,0	-1,754
Radsatz	1630	-	-	
DG-Rahmen inkl. Wiege und Wanne	2952	-	0,0	-0,7775

Die Gesamtmasse des Fahrzeugs beträgt 45.544 kg.

Vertikalsteifigkeiten:

Primärfeder	0.41325 kN/mm
Achslenker	0.1635 kN/mm
Sekundärfeder	0.295 kN/mm

Anschläge:

	Anschlagweg y [mm]
Anschlag Wiege-Rahmen y weich	35 mm
Anschlag Wiege-Rahmen y hart	60 mm

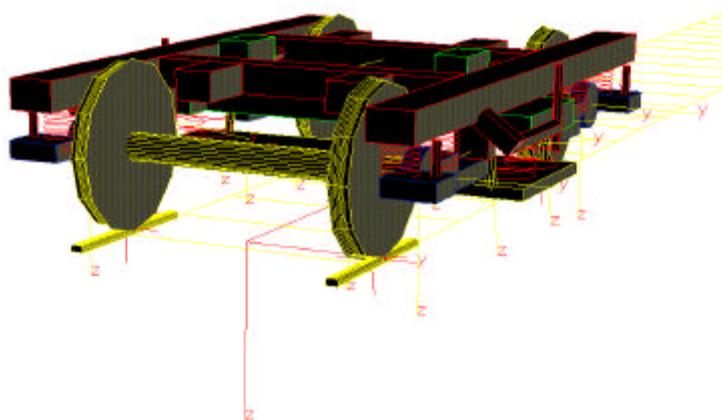


Abbildung 4.1: 3D-Modell Drehgestell GP200

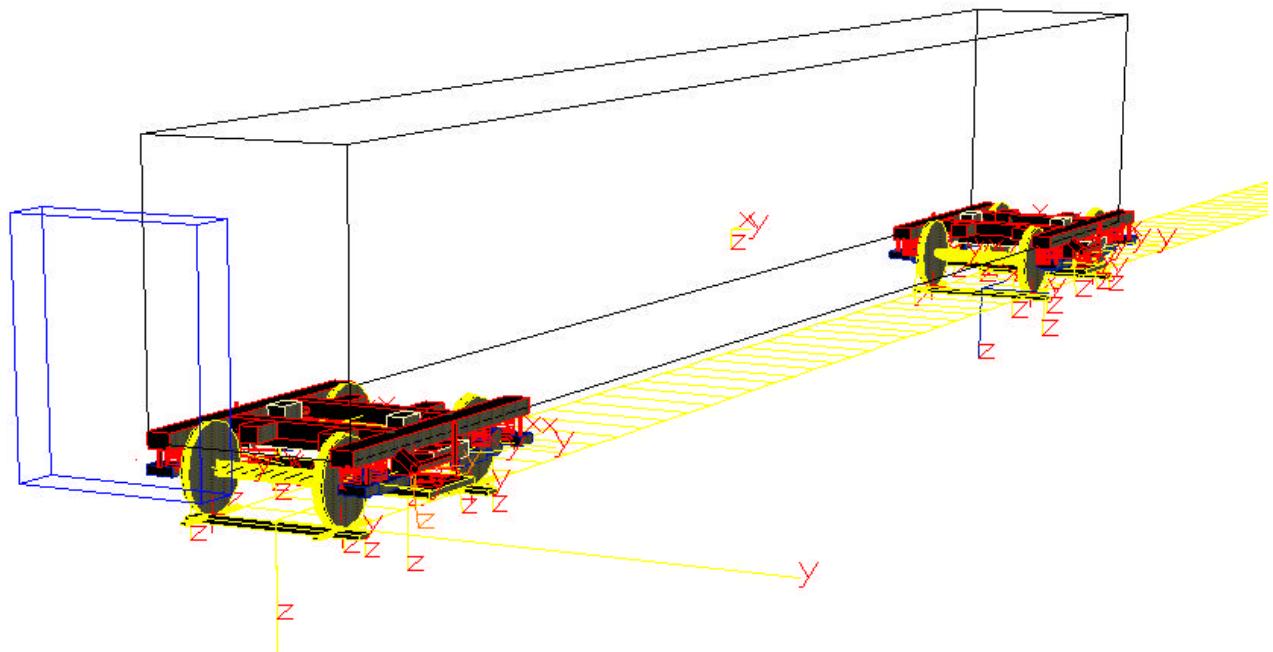


Abbildung 4.2: 3D-Modell IR-Steuerwagen

4.2 Verifikation

Die Verifikation des Modells wurde für die WKK-Berechnung nach RIL401 (Stand 2001) durchgeführt und ist in dem Bericht [2] ausführlich erläutert. Eine erneute Verifikation ist nicht notwendig.

4.3 Aerodynamik

Die aerodynamischen Beiwerte des Fahrzeugs wurden dem Bericht [3] entnommen und werden in folgendem Koordinatensystem angegeben:

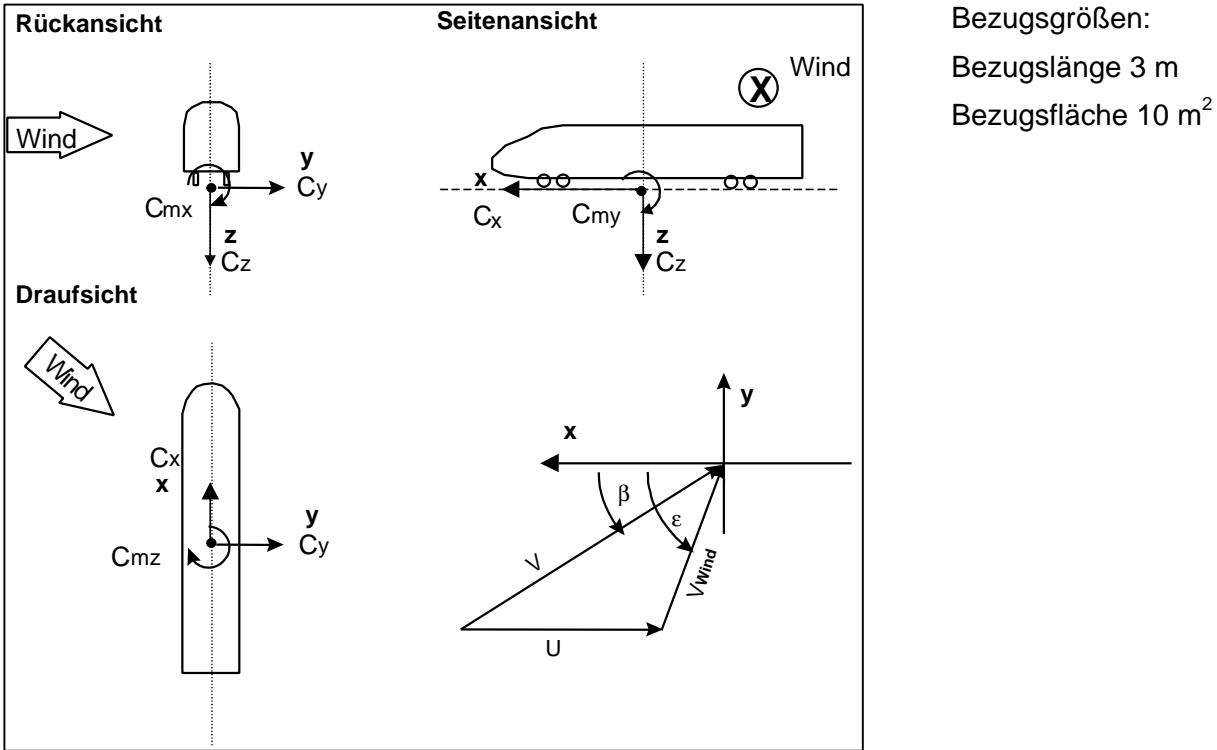


Abbildung 3 : Koordinatensystem bei Windkanalmessung

Dies entspricht üblicherweise dem Koordinatensystem mit dem auch die Windkanalmessungen durchgeführt werden, so dass keine Transformationen notwendig sind. Folgende Beiwerte werden verwendet:

Wagenkasten senkrecht:

beta	Cx	Cy	Cz	Cmx	Cmy	Cmz
0	-0.327	-0.01	0.071	-0.037	-0.256	-0.084
5	-0.395	0.434	-0.069	0.236	-0.398	0.865
10	-0.487	0.959	-0.401	0.535	-0.503	1.966
15	-0.547	1.601	-0.824	0.928	-0.509	2.865
20	-0.595	2.368	-1.315	1.396	-0.240	3.551
25	-0.635	3.269	-1.688	1.949	0.207	3.780
30	-0.622	4.199	-2.068	2.506	0.562	3.963
35	-0.524	5.104	-2.612	3.046	0.705	4.382
40	-0.437	5.824	-3.143	3.461	0.384	5.028
45	-0.311	6.467	-3.778	3.797	0.558	5.429
50	-0.129	6.999	-4.345	4.105	0.853	5.857
60	0.177	7.564	-5.137	4.359	1.386	5.418
75	0.456	7.421	-5.77	4.035	1.334	1.906
90	0.673	6.942	-5.771	3.69	0.910	-2.244

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 [4]. 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, und 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 und 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:

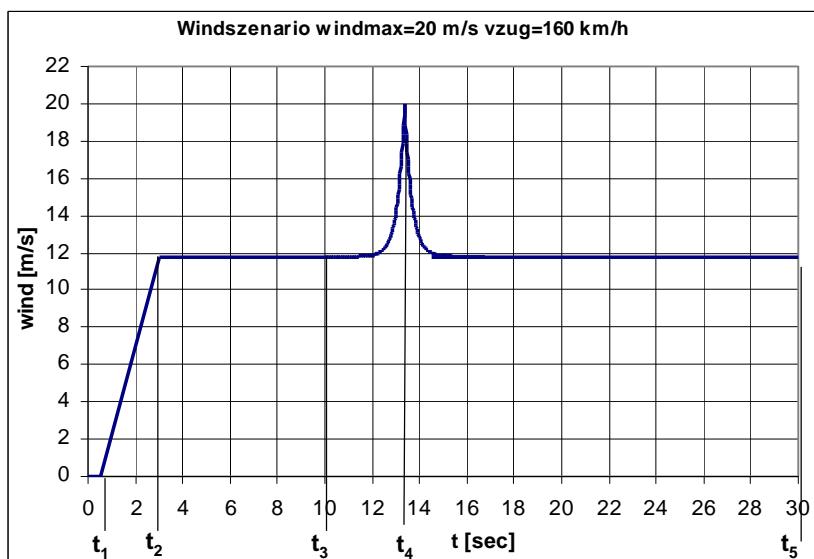


Abbildung 5-1: zeitlicher Verlauf des Windszenarios

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
[t0:t1]	$v(t) = 0$
[t1:t2]	$v(t) = \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t - \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t_1$
[t2:t3]	$v(t) = v_{mean}$
[t3:t4]	$v(t) = \text{reverse chinese hat}$ (Gleichungen siehe [4])
[t4:t5]	$v(t) = \text{chinese hat}$ (Gleichungen siehe [4])

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 des vordere 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 die alle übrigen Drehgestellseiten. Für die Bestimmung der minimalen Radlasten wird das Q-Signal folgendermassen bearbeitet:

- Tiefpassfilterung mit 2 Hz
- Minimum

Beim IR-Steuerwagen beträgt die Q0-Kraft für alle Räder:

$$Q_{0ij} = 55850 \text{ N}$$

6.2 Berechnungsparameter

Für die Bestimmung der Windkennkurven werden folgende Parameter eingesetzt:

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

6.3 Variationen

Die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit beträgt $v_{max}=200 \text{ km/h}$ und die maximale Querbeschleunigung des Fahrzeugs $a_{qmax} = 1,0 \text{ m/s}^2$. Somit werden folgende Punkte der Windkennkurve simulationstechnisch bestimmt:

- Anströmwinkel 90° , $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$ von $v=80 \text{ km/h}$ bis 200 km/h in 20 km/h Schritten
- Anströmwinkel 90° , $a_q=0,5 \text{ m/s}^2$ von $v=80 \text{ km/h}$ bis 200 km/h in 20 km/h Schritten
- Anströmwinkel 90° , $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ von $v=80 \text{ km/h}$ bis 200 km/h in 20 km/h Schritten
- $v_{max}=200 \text{ km/h}$; $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$ für Anströmwinkel 80° , 60° , 40° , 20° und 10°
- $v_{max}=200 \text{ km/h}$; $a_q=0,5 \text{ m/s}^2$ für Anströmwinkel 80° , 60° , 40° , 20° und 10°
- $v_{max}=200 \text{ km/h}$; $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ für Anströmwinkel 80° , 60° , 40° , 20° und 10°

6.4 Ergebnisse

6.4.1 Simulationstechnisch ermittelte Werte

Folgende Windkennwerte wurden simulationstechnisch ermittelt:

Tabelle 1: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den IR-Stw. bei Anströmwinkel 90°

WKK Werte aus MKS-Simulation für Anströmwinkel 90°			
wind [m/s]	aq [m/s²]		
v [km/h]	0,0	0,5	1,0
80	42,2	38,5	34,1
100	39,9	35,7	31,7
120	37,2	33,8	29,8
140	35,2	31,9	28,4
160	33,5	30,7	27,4
180	32,6	29,9	26,9
200	31,9	29,1	26,4

Tabelle 2: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den IR-Stw. für verschiedene Windwinkel bei vmax=200 km/h

WKK Werte aus MKS-Simulation vmax=200 km/h			
wind [m/s]	aq [m/s²]		
alpha [Grad]	0,0	0,5	1,0
80	31,5	29,0	26,2
60	34,0	31,1	28,0
40	42,5	39,1	35,2
20	71,3	65,3	58,6
10	119,7	109,7	98,6

Für alle Windwerte wurde das Kriterium am führenden Drehgestell erreicht. Im Anhang befinden sich die Zeitverläufe zu den simulierten Windgeschwindigkeiten für aq=0,0 m/s². Dabei wurde jeweils die Windgeschwindigkeit gewählt, die am nächsten zu der charakteristischen Windgeschwindigkeit liegt.

6.4.2 Windkennkurven (WKK)

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

Tabelle 3: IR-Stw. WKK nach Stufe-2 Verfahren

IR-Steuerwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
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	42,2	41,5	40,7	40,0	39,2	38,5	37,6	36,7	35,9	35,0	34,1
90	41,0	40,3	39,5	38,7	37,9	37,1	36,3	35,4	34,6	33,7	32,9
100	39,9	39,0	38,2	37,4	36,5	35,7	34,9	34,1	33,3	32,5	31,7
110	38,5	37,8	37,0	36,3	35,5	34,7	33,9	33,1	32,3	31,5	30,7
120	37,2	36,5	35,8	35,1	34,4	33,8	33,0	32,2	31,4	30,6	29,8
130	36,2	35,6	34,9	34,2	33,5	32,8	32,1	31,3	30,6	29,8	29,1
140	35,2	34,6	33,9	33,2	32,5	31,9	31,2	30,5	29,8	29,1	28,4
150	34,4	33,8	33,2	32,5	31,9	31,3	30,6	29,9	29,3	28,6	27,9
160	33,5	33,0	32,4	31,8	31,3	30,7	30,1	29,4	28,7	28,1	27,4
170	33,1	32,5	32,0	31,4	30,8	30,3	29,7	29,0	28,4	27,8	27,1
180	32,6	32,1	31,5	31,0	30,4	29,9	29,3	28,7	28,1	27,5	26,9
190	32,3	31,7	31,2	30,6	30,0	29,5	28,9	28,4	27,8	27,2	26,6
200	31,9	31,4	30,8	30,2	29,7	29,1	28,6	28,0	27,5	27,0	26,4

Tabelle 4: IR-Stw. WKK nach Stufe-2 Verfahren für verschiedene Windwinkel bei vmax=200 km/h

IR-Steuerwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
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	31,5	31,0	30,5	30,0	29,5	29,0	28,4	27,9	27,3	26,8	26,2
70	32,7	32,2	31,7	31,1	30,6	30,0	29,4	28,9	28,3	27,7	27,1
60	34,0	33,4	32,8	32,3	31,7	31,1	30,5	29,9	29,3	28,6	28,0
50	38,2	37,6	37,0	36,4	35,7	35,1	34,4	33,7	33,0	32,3	31,6
40	42,5	41,8	41,1	40,5	39,8	39,1	38,3	37,5	36,8	36,0	35,2
30	56,9	55,9	55,0	54,1	53,1	52,2	51,1	50,1	49,0	48,0	46,9
20	71,3	70,1	68,9	67,7	66,5	65,3	63,9	62,6	61,3	59,9	58,6
10	119,7	117,7	115,7	113,7	111,7	109,7	107,4	105,2	103,0	100,8	98,6

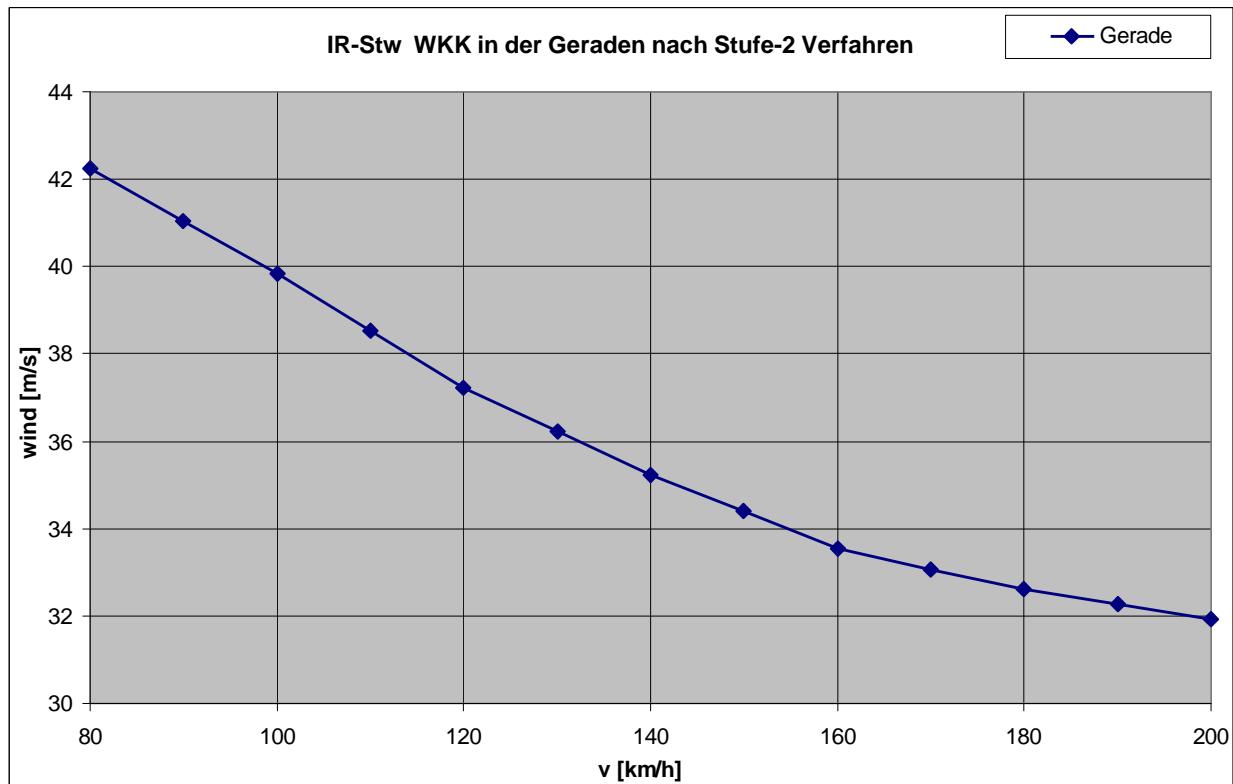


Abbildung 2: WKK IR-Stw. nach Stufe-2-Verfahren in der Geraden

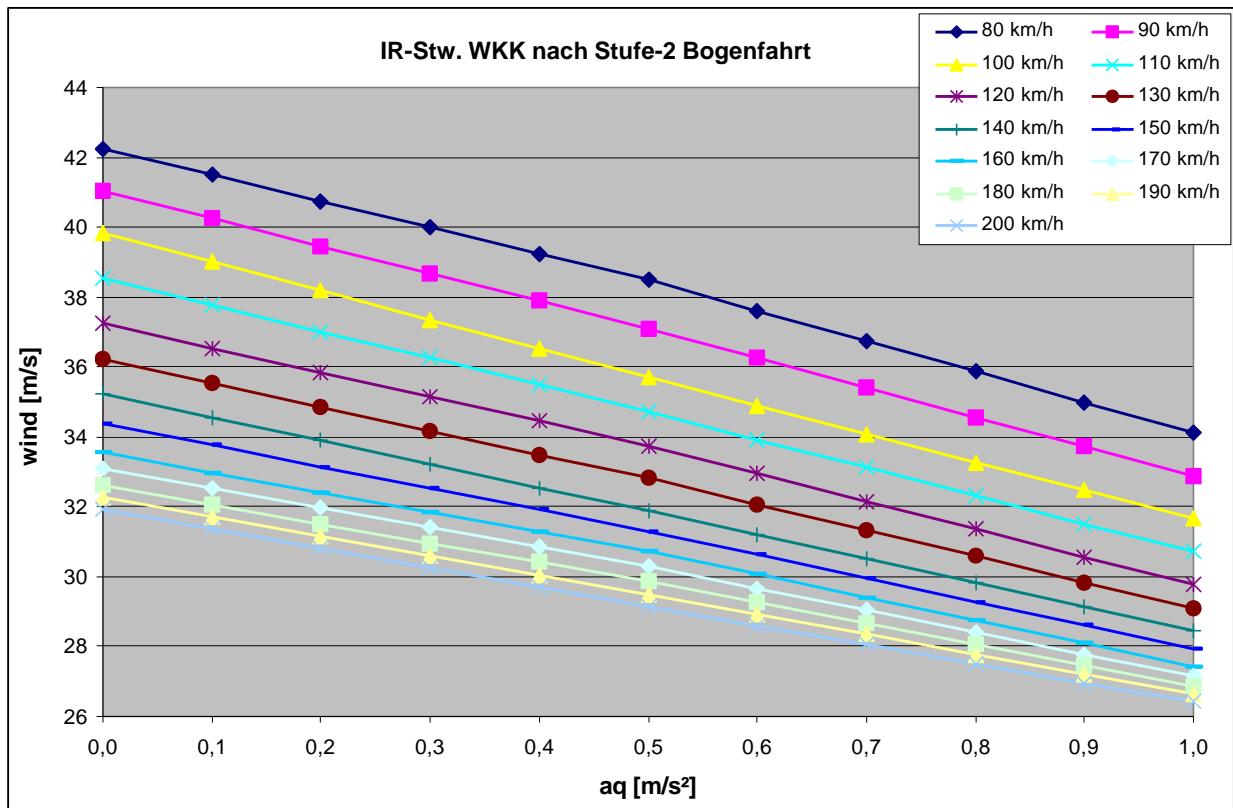
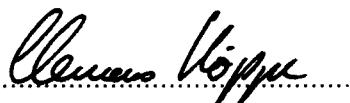


Abbildung 3: WKK IR-Stw. nach Stufe-2-Verfahren im Bogen

7 Unterschriften

Minden, den ...6.10.2004.....



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



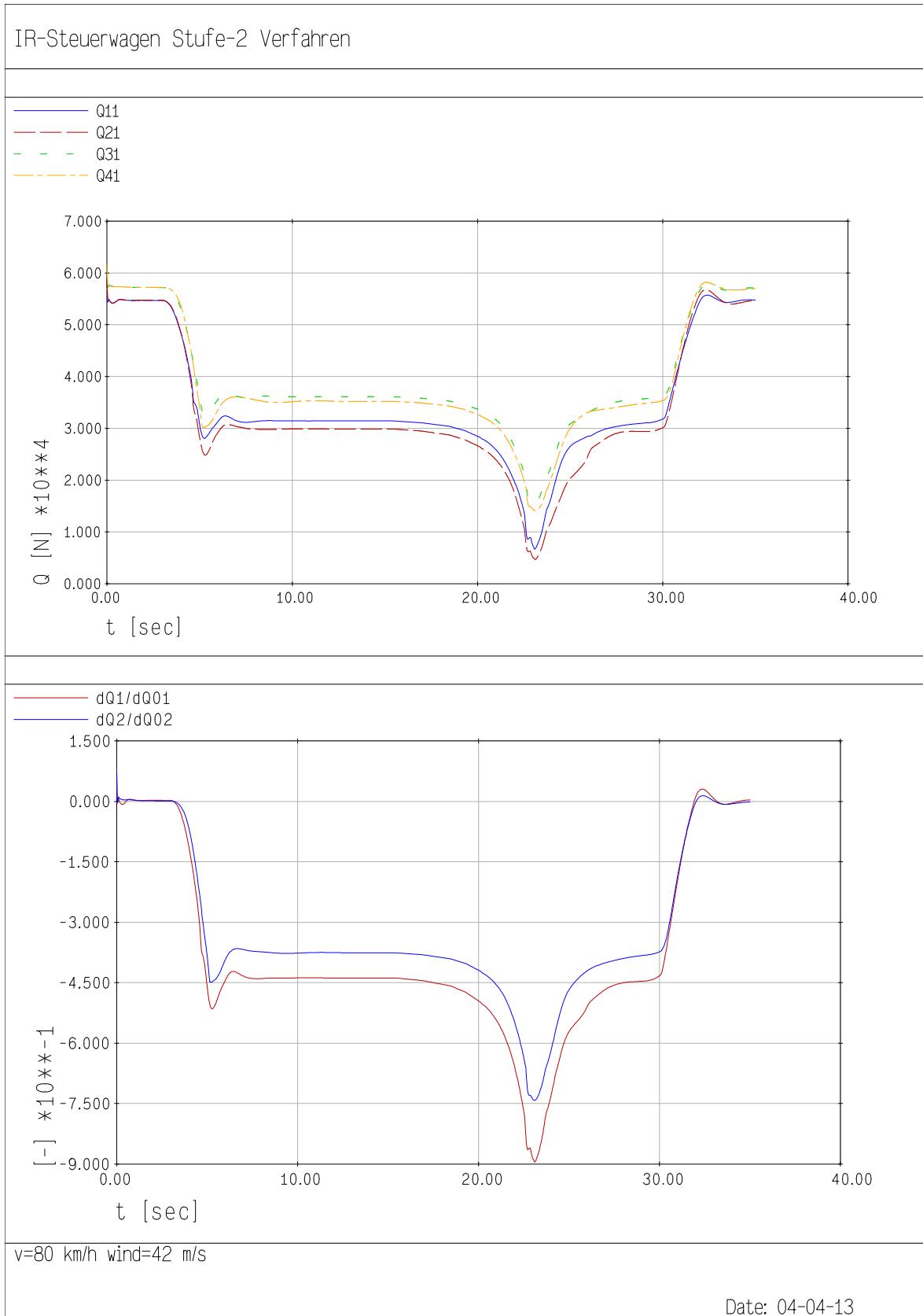
Dr.-Ing. Rolf Naumann
T.TZF 95.1

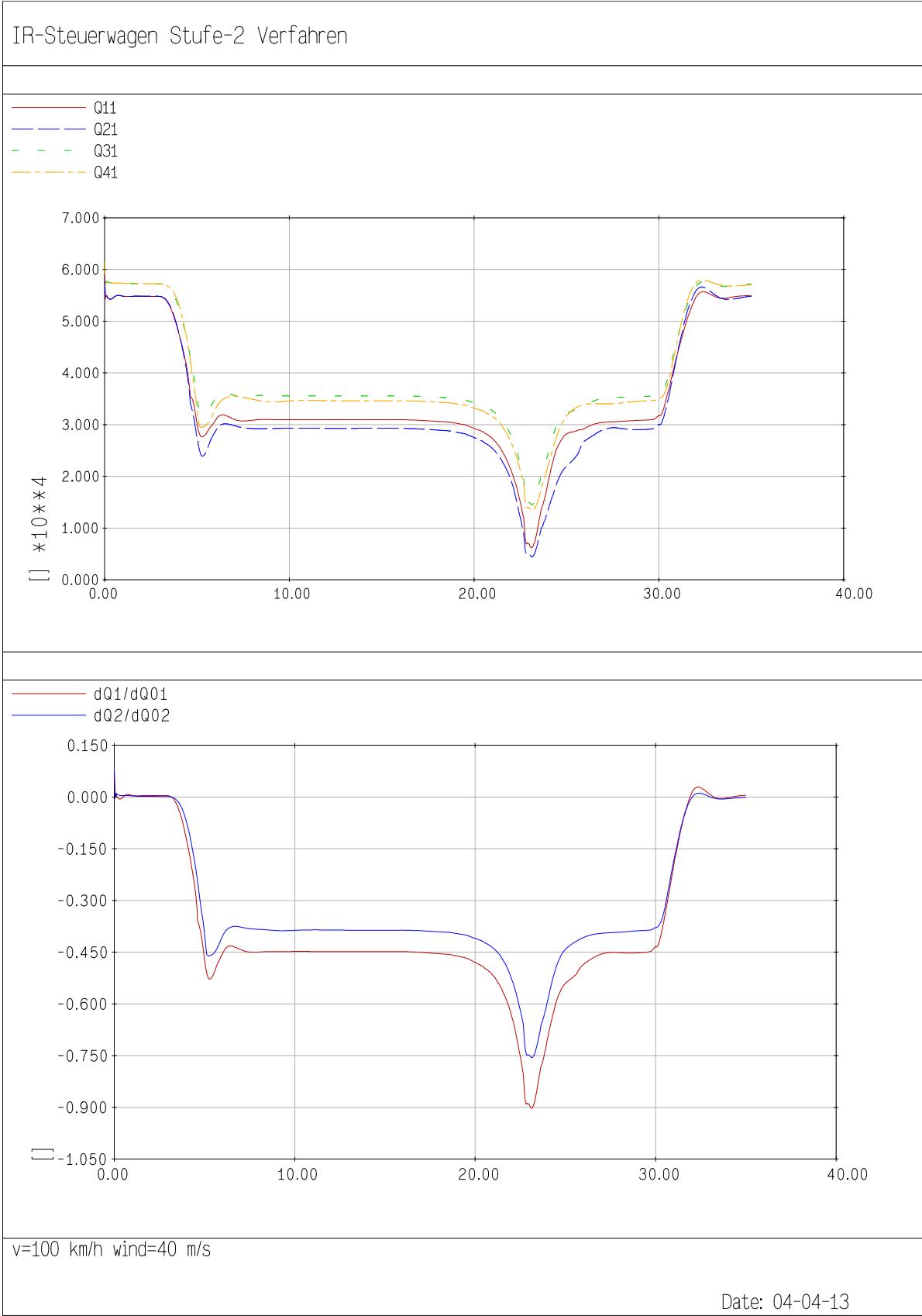
8 Literatur

- [2] „Simulationsrechnung zur Bestimmung der Windkennkurven des IR-Steuerwagens“ Bericht-Nr. MKS-PR-2000-06 von DB Systemtechnik TZF25 vom 22.12.2000.
- [3] „Kurzbericht: Aerodynamische Beiwerte des IR Stw bei Seitenwind“, Nr. 102-GA-031-00, DB Systemtechnik, TZF 102 vom 09.11.2000.
- [4] „Mathematische Beschreibung eines Windmodells für die Berechnung von Windkennkurven durch Mehrkörpersimulation“ Wodan Bericht Nr.: 250-FE-016-03 vom 01.04.2003

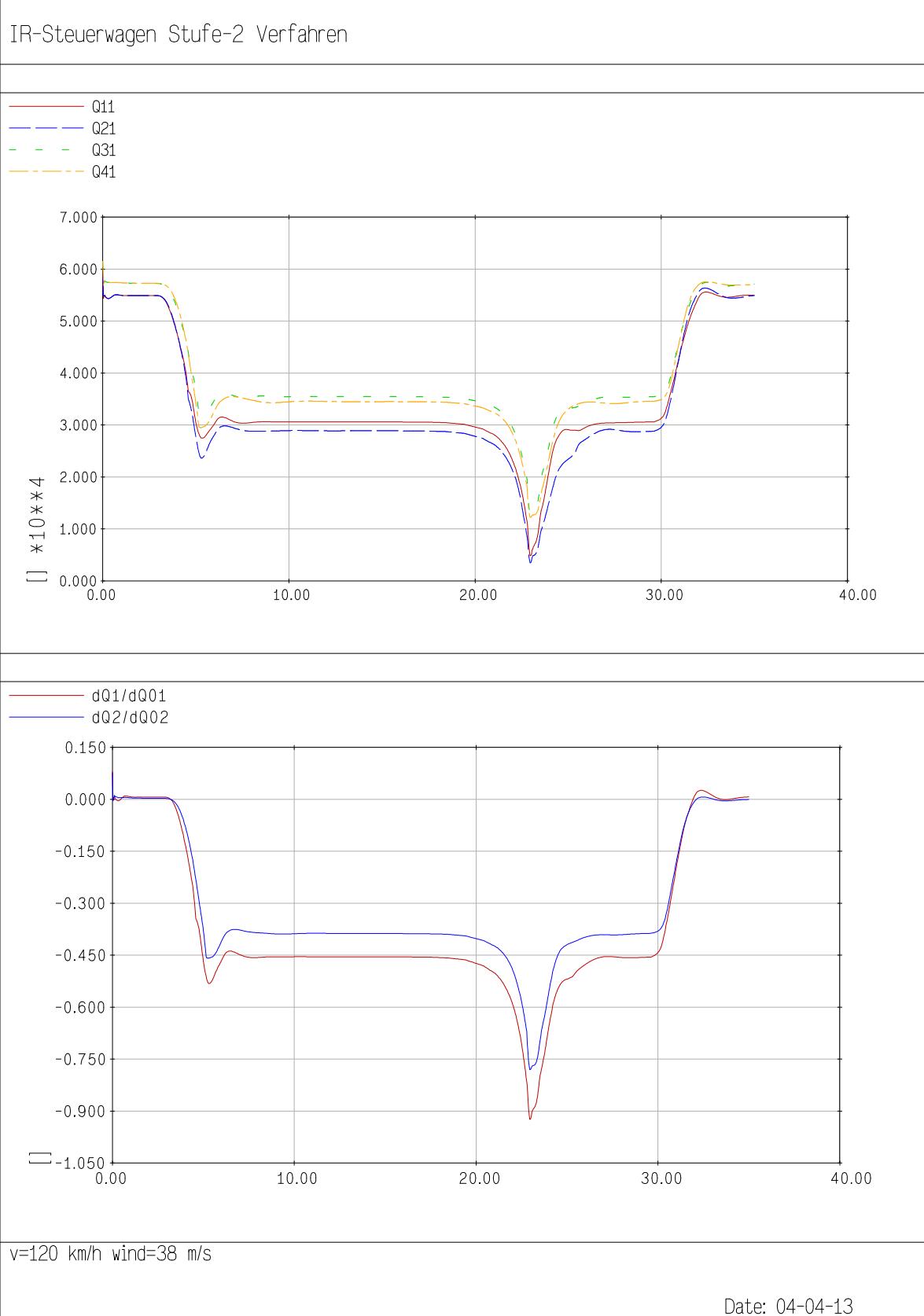
9 Anhang

- Plot I: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=80 km/h, wind=42 m/s, alpha=90°
- Plot II: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=100 km/h, wind=40 m/s, alpha=90°
- Plot III: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=120 km/h, wind=38 m/s, alpha=90°
- Plot IV: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=140 km/h, wind=36 m/s, alpha=90°
- Plot V: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=160 km/h, wind=34 m/s, alpha=90°
- Plot VI: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=180 km/h, wind=32 m/s, alpha=90°
- Plot VII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=32 m/s, alpha=90°
- Plot VIII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=32 m/s, alpha=80°
- Plot IX: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=34 m/s, alpha=60°
- Plot X: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=42 m/s, alpha=40°
- Plot XI: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=72 m/s, alpha=20°
- Plot XII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=118 m/s, alpha=10°

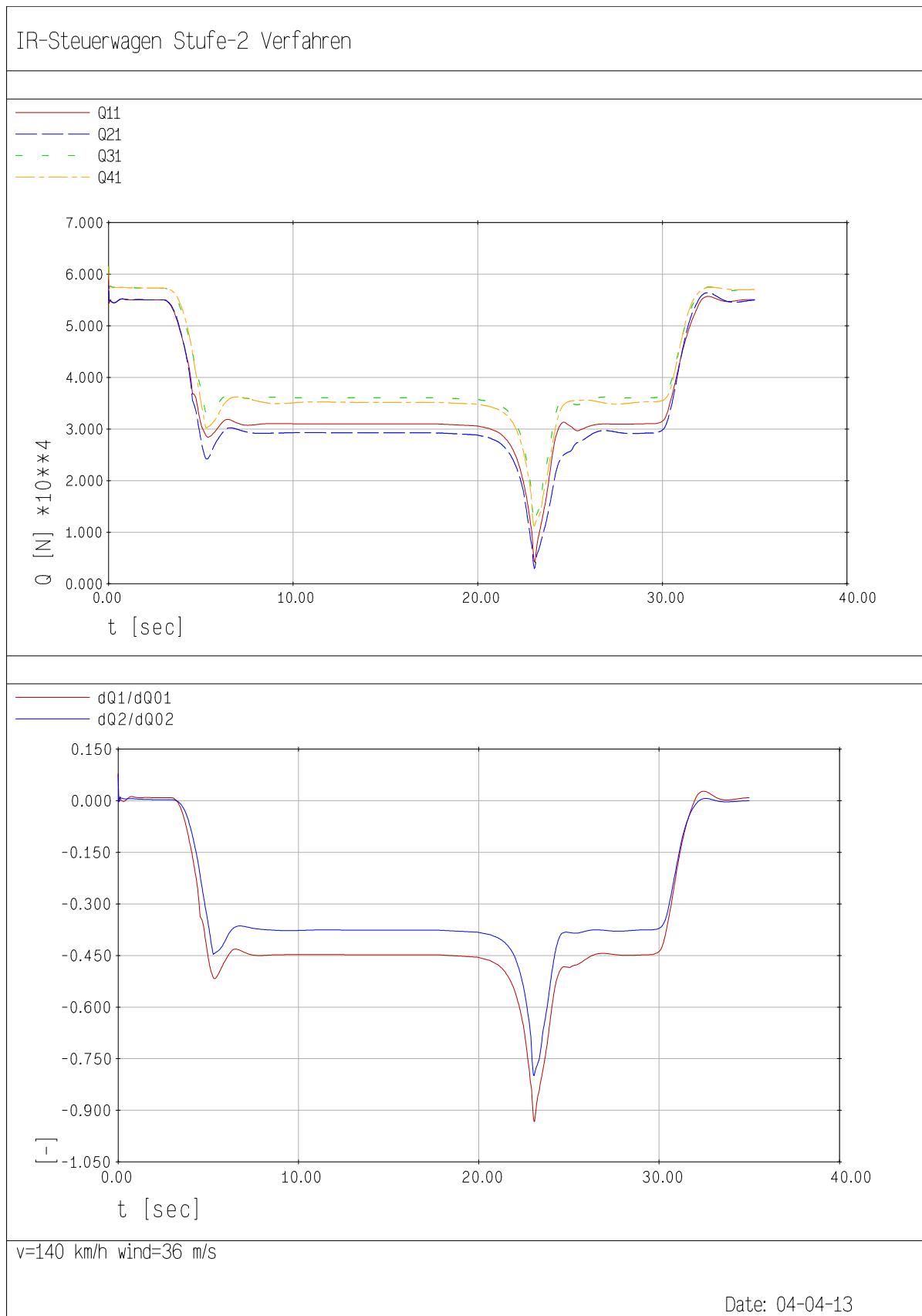
Plot XIII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=80$ km/h, wind=42 m/s, alpha=90°

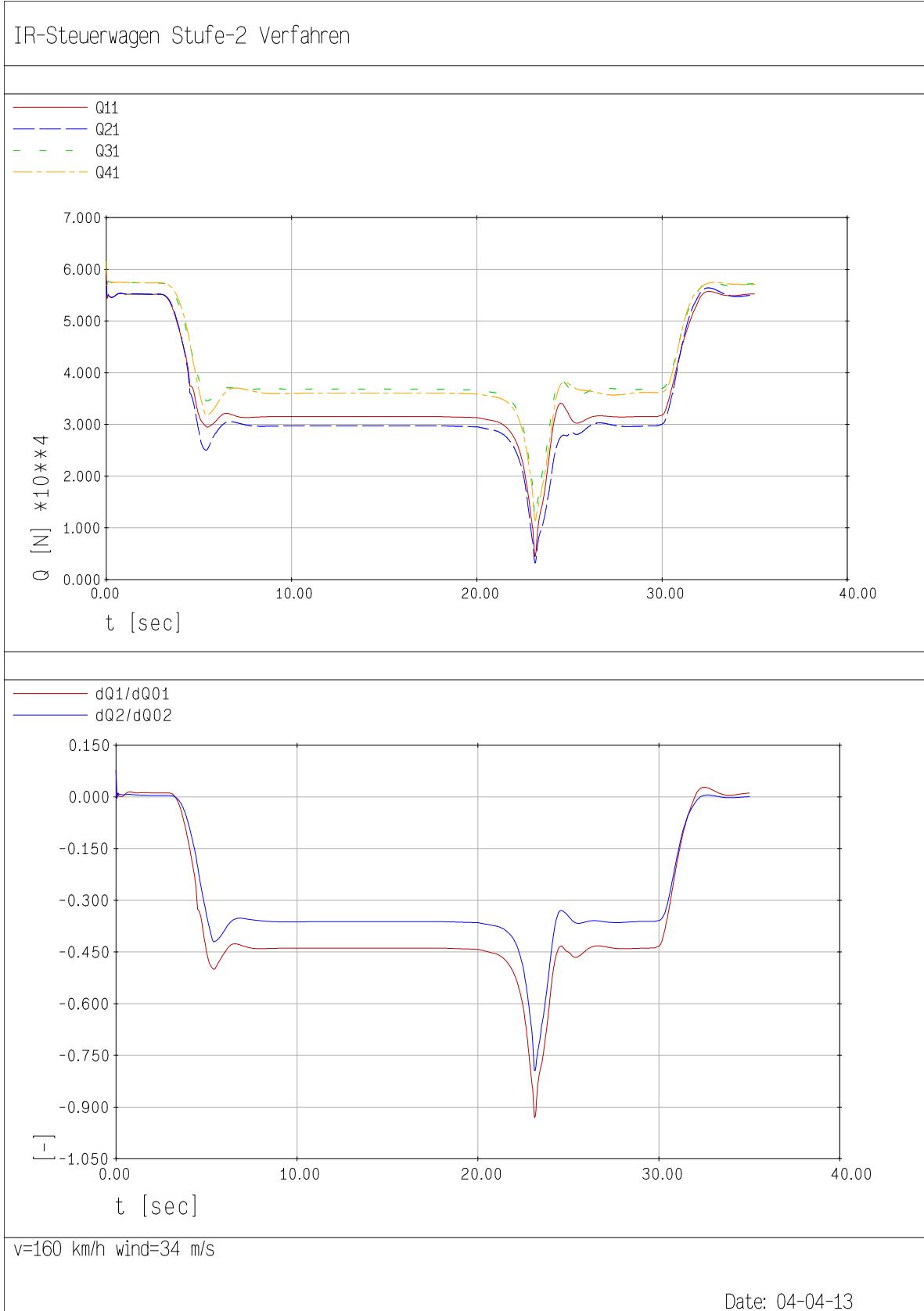


Plot XIV: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=100 km/h, wind=40 m/s, alpha=90°

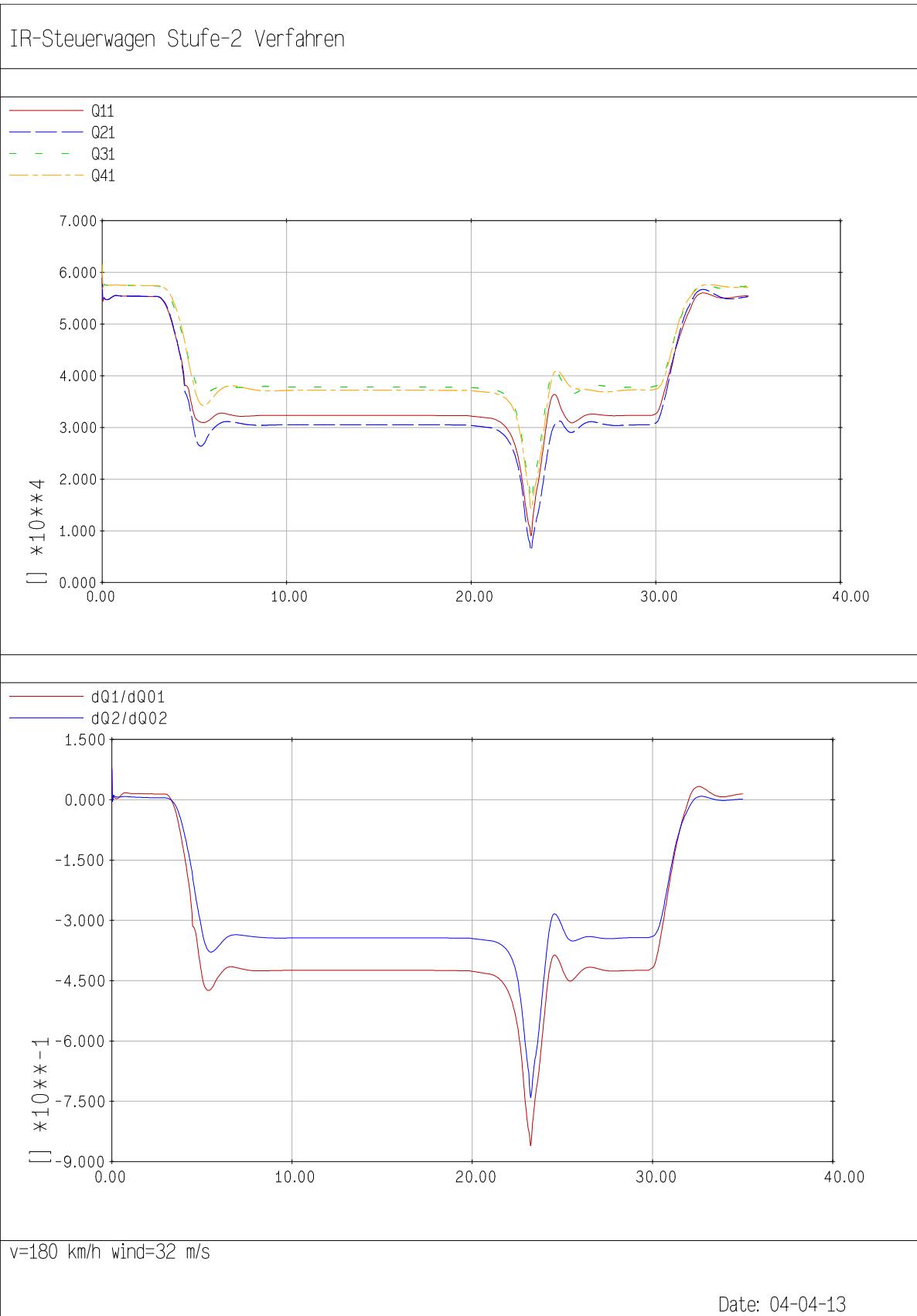


Plot XV: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=120 km/h, wind=38 m/s, alpha=90°

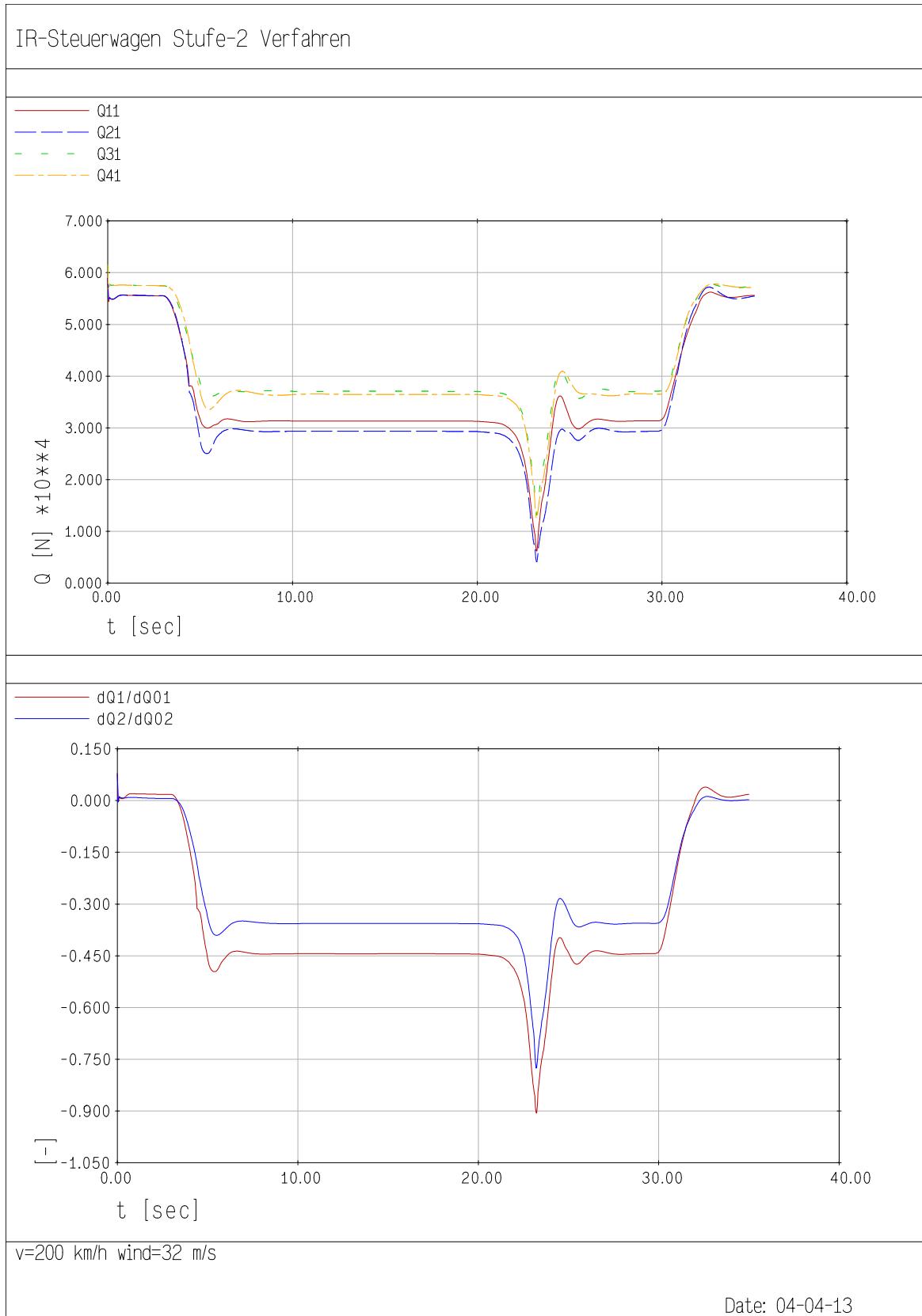
Plot XVI: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=140 \text{ km/h}$, $\text{wind}=36 \text{ m/s}$, $\alpha=90^\circ$

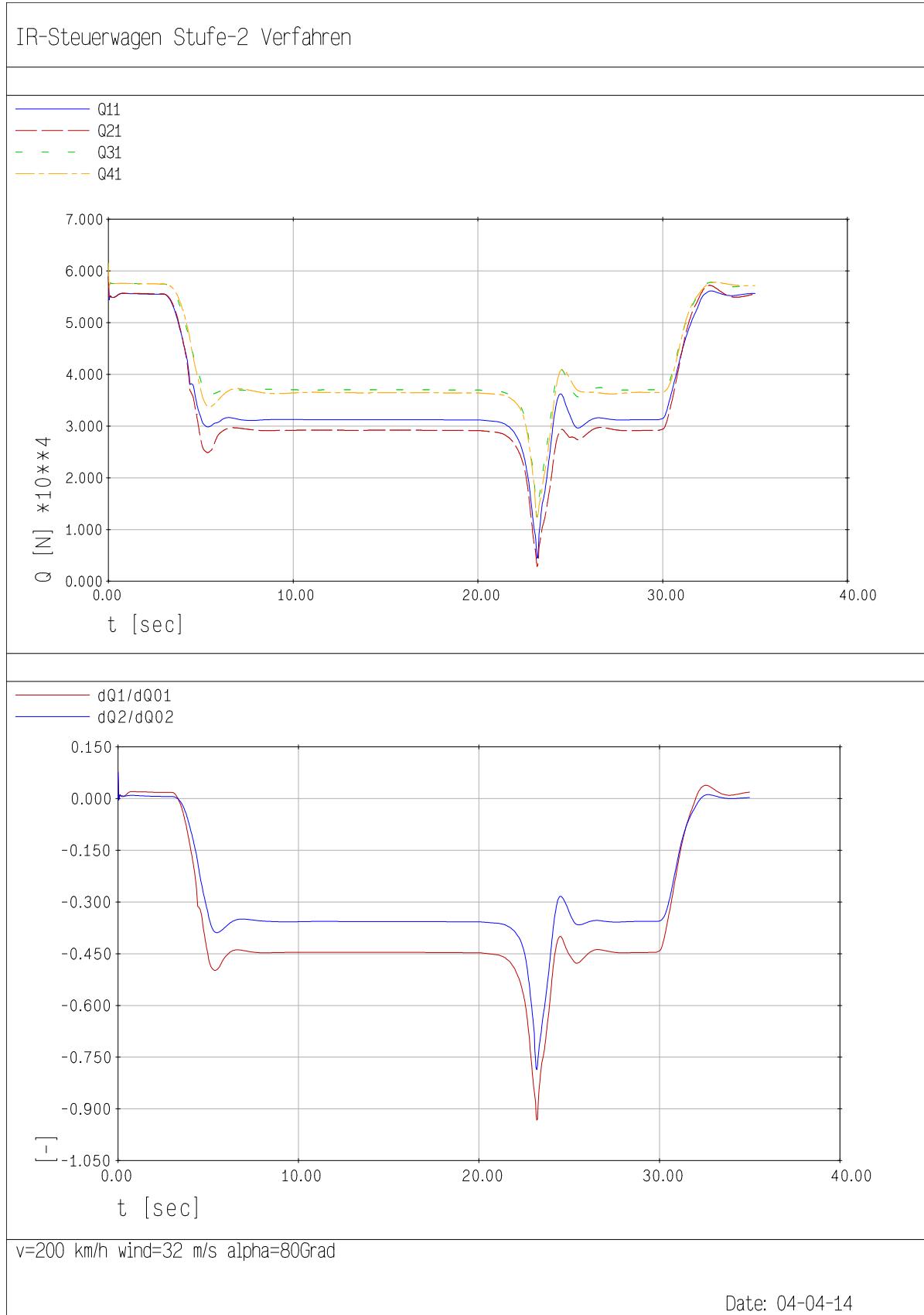


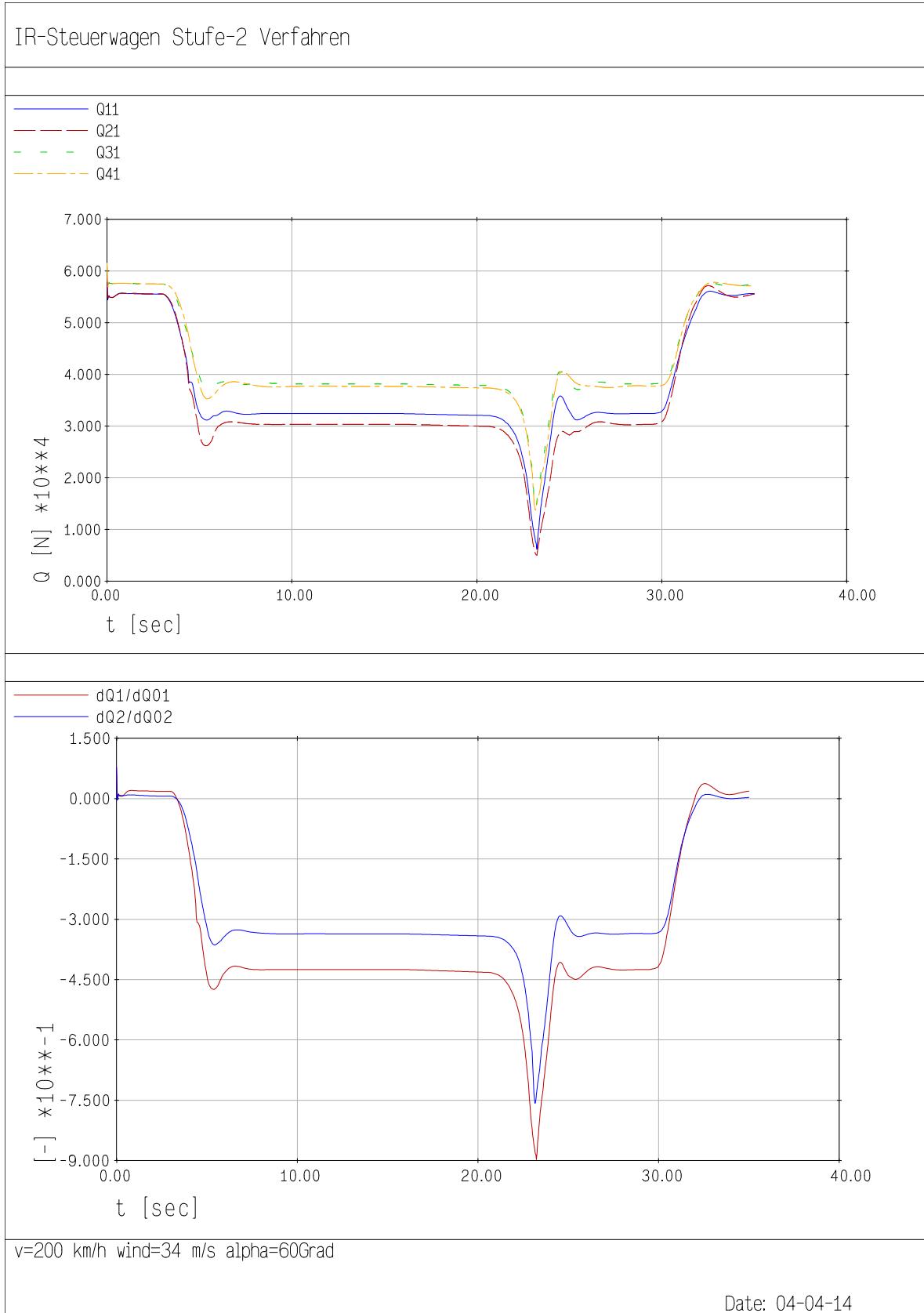
Plot XVII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=160 km/h, wind=34 m/s, alpha=90°



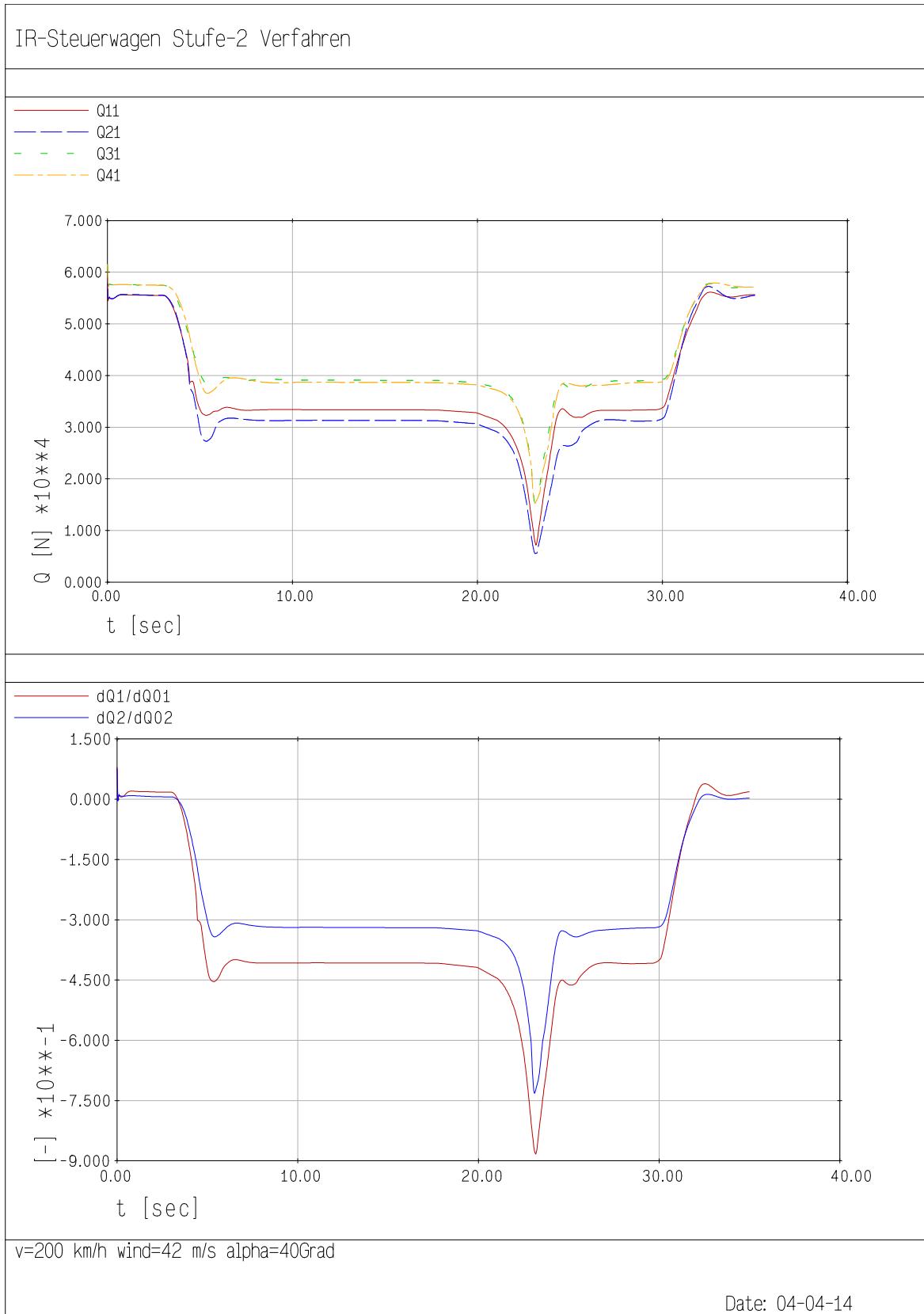
Plot XVIII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=180 km/h, wind=32 m/s, alpha=90°

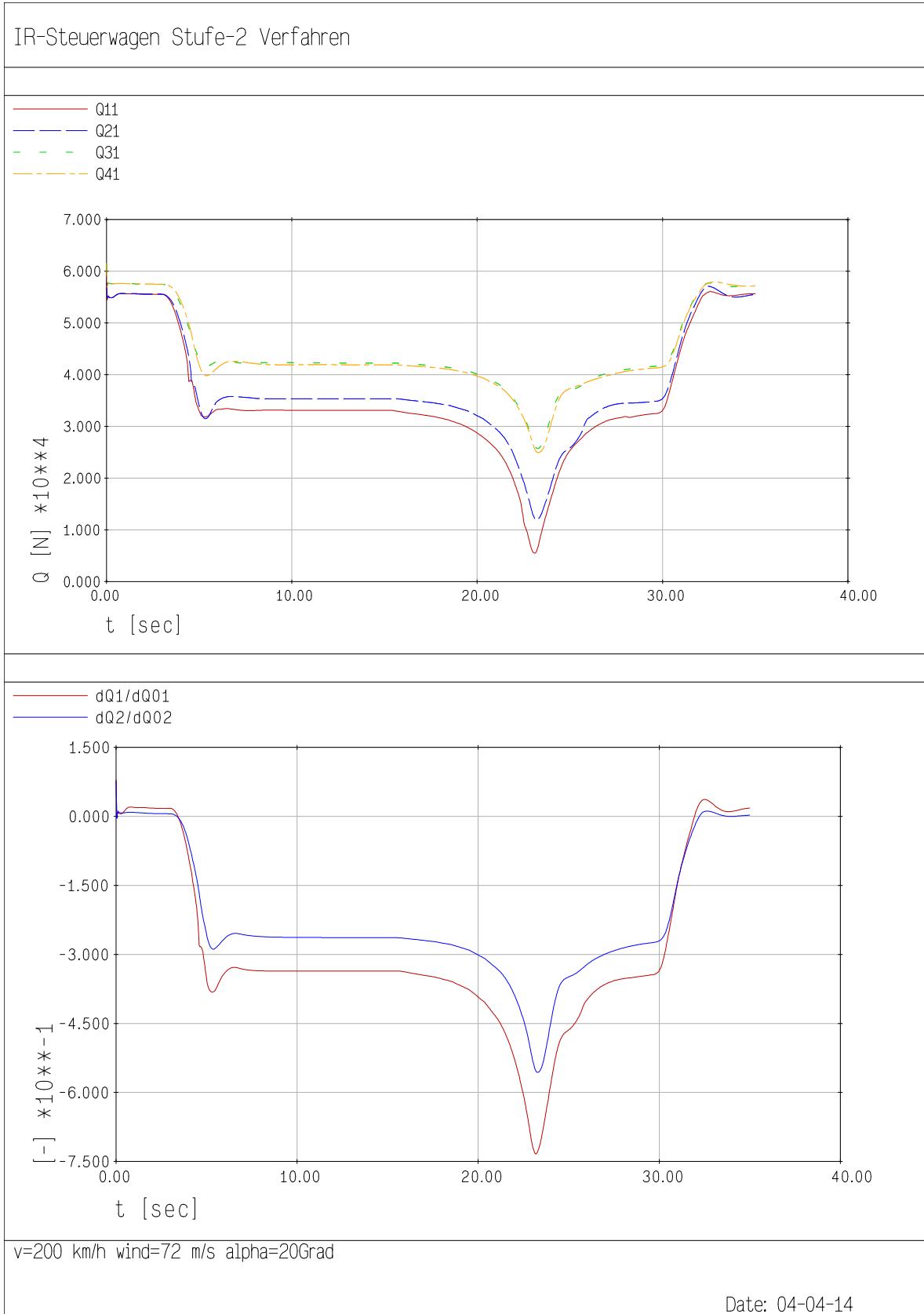
Plot XIX: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=200 \text{ km/h}$, $\text{wind}=32 \text{ m/s}$, $\alpha=90^\circ$

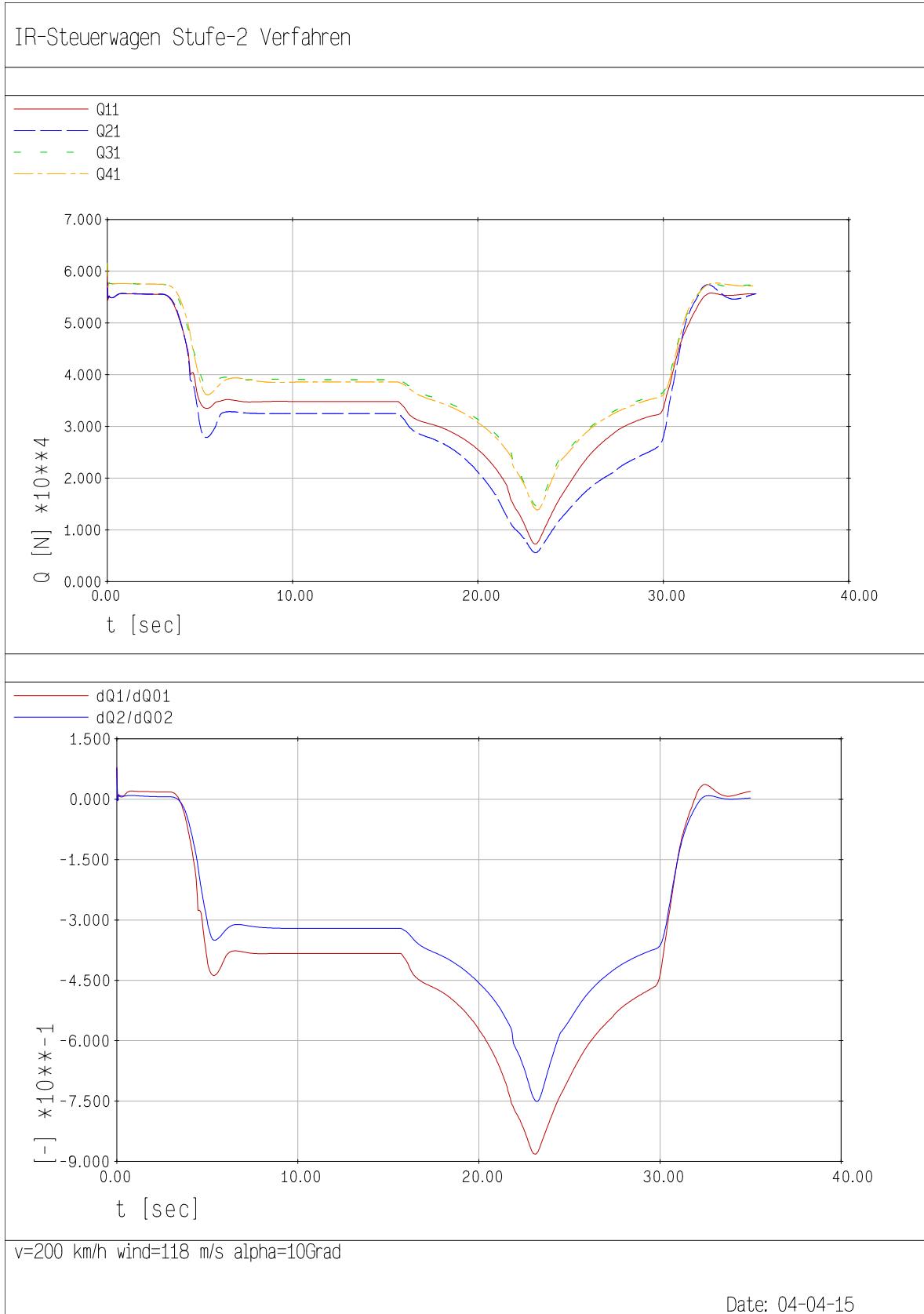
Plot XX: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=200 \text{ km/h}$, $\text{wind}=32 \text{ m/s}$, $\alpha=80^\circ$



Plot XXI: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für v=200 km/h, wind=34 m/s, alpha=60°

Plot XXII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=200$ km/h, $wind=42$ m/s, $\alpha=40^\circ$

Plot XXIII: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=200 \text{ km/h}$, $\text{wind}=72 \text{ m/s}$, $\alpha=20^\circ$

Plot XXIV: Q-Verlauf und dQ/Q für 1. und 2. DG für $v=200$ km/h, wind=118 m/s, alpha=10°