

Bestimmung der Windkennkurven des TGV-PBKA / Thalys durch Simulationsrechnungen nach der RIL401 Stand 2001 mit MKS-Simulation



Dokument: 04-I-002092-T.TZF95-UN-0620

Datum: 29.10.2004

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

Inhaltsverzeichnis

1	Angaben zum Auftrag	3
2	Fahrzeugbeschreibung	4
3	Angaben zur Simulation.....	4
4	Aufbau der Simulation	4
4.1	Koordinatensystem	4
4.2	Fahrzeugmodell	5
4.2.1	Radprofile und Schienenneigung	6
4.3	Verifikation	6
4.3.1	Masse und Q0-Kräfte.....	6
4.3.2	Fahrt im Bogen R<600 m.....	7
4.3.3	Fahrt im Bogen R>600 m.....	8
4.3.4	Verifikation DeuFraKo-Projekt mit TGV-Duplex Modell	10
4.3.5	Fazit.....	10
4.4	Windmodell und Szenario	11
4.4.1	Aerodynamische Beiwerte	11
4.4.2	Windszenario und Trassierung	13
4.4.3	Gleislage.....	14
4.5	Beurteilungsgrößen.....	14
4.6	Durchführung der Simulation	15
4.6.1	Randbedingungen.....	15
4.6.2	Variationen.....	15
5	Ergebnisse	17
6	Fachliche Stellungnahme	19
7	Zusammenfassung.....	19
8	Unterschriften.....	20
9	Quellenverzeichnis.....	20
10	Anlagen	21

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: DB AG T.TZS 1

Verteiler: T.TZF95.1, T.TZS1, T.TZF13, Gutachter

Seiten: 43

2 Fahrzeugbeschreibung

Die Aufgabe ist für den Thalys (PBKA) einen Nachweis der Stabilität gegen Seitenwind gemäß der in Richtlinie 401 Stand 2001 beschriebenen Vorgehensweise zu erbringen.



Abbildung 2-1: Thalys-Triebkopf

3 Angaben zur Simulation

Die Bestimmung der Windkennkurven erfolgt rechnerisch mit Hilfe der MKS-Simulation. Bei T.TZF95.1 wurde hierfür das Programm SIMPACK in der Version 8.600 eingesetzt. Die Berechnung erfolgte nach der in der Richtlinie 401 Stand 2001 [7] vorgegebenen Vorgehensweise.

4 Aufbau der Simulation

4.1 Koordinatensystem

Die Koordinatensysteme der Fahrzeugelemente (körperfeste Koordinatensysteme) besitzen dieselbe Ausrichtung wie das Inertialsystem gemäß Abbildung 4-1.

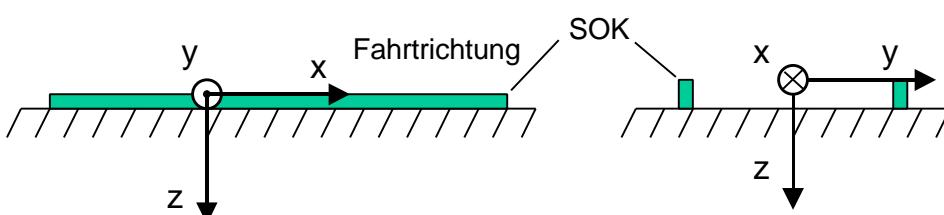


Abbildung 4-1: Inertiales Koordinatensystem

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

4.2 Fahrzeugmodell

Innerhalb des DeuFraKo Projekts Seitenwind wurde von T.TZF 95.1 ein Modell vom TGV Duplex aufgebaut und mit Modelldaten der SNCF abgeglichen. Das Fahrzeugmodell ist ausführlich in den Berichten [2] [3] zusammen mit einer Verifikation dokumentiert. Entsprechend der Konformitätserklärung [1] kann dieses Fahrzeugmodell bis auf geringe Anpassungen für die Berechnung der Windkennkurven des Thalys verwendet werden.

Von der SNCF wurden Daten vom Thalys bereitgestellt, mit denen eine statische Berechnung der Seitenwindempfindlichkeit möglich ist [4]. Daraus ergeben sich geringfügige Änderungen gegenüber dem Fahrzeugmodell aus dem DeuFraKo-Projekt [2]. Bei geringen Parameterdifferenzen wurde der für die Seitenwindberechnung ungünstigere Wert angenommen. Die Berechnung ist damit konservativ. In der folgenden Tabelle sind die Werte aufgeführt:

Bezeichnung	TGV-Duplex Modell aus DeuFraKo	Thalys Daten für quasi-statische Berechnung	verwendete Thalys Modelldaten für RIL401
Gesamtmasse	67218 kg	67599 kg	67218 kg
Schwerpunktlage Wagenkasten x	x=0,0mm	x=-37mm	x=-37mm
Schwerpunktlage Wagenkasten z	z=1,504	z=1,491	z=1,504
Masse DG	2382 kg	2355 kg	2355 kg
seitlicher Abstand Primärfedern	y=2032mm	y=2000mm	y=2000mm
Steifigkeit Primärfeder z	cz=1,09 kN/mm	cz=1,225 kN/m	cz=1,225 kN/m
Radmasse	2048 kg	2055 kg	2048 kg

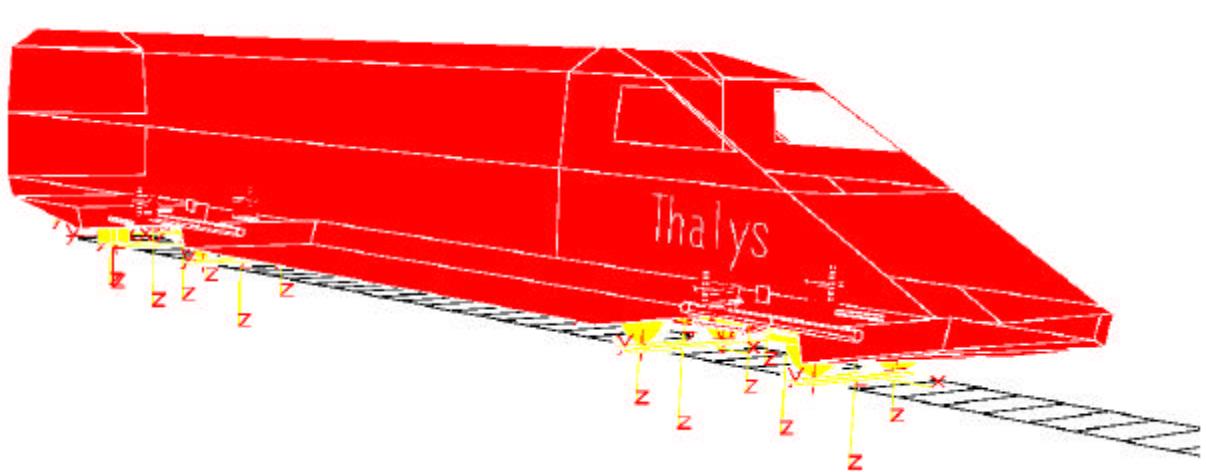


Abbildung 4-2: MKS-Modell vom Thalys-Triebkopf

4.2.1 Radprofile und Schienenneigung

Für den Hochgeschwindigkeitsverkehr in Frankreich wurden spezielle Profile (TGV-Profile) entwickelt, die bei einer Schienenneigung von 1/20 (französisches Netz) eine Konizität von 0,025 aufweisen. Für den Thalys werden die im Rahmen des DeuFraKo-Projekts eingesetzten TGV-Profile verwendet. Die für die **Verifikation** verwendeten Messergebnisse wurden bei einer Schienenneigung von **1/20** ermittelt. Für die **Berechnung der Windkennkurven** wurde die Schienenneigung von **1/40** verwendet, da die Windkennkurven nach der RIL401 [7] für das DB Netz berechnet werden sollen. Aufgrund der geänderten Kontaktgeometrie kommt es zu Verschiebungen der Radaufstandspunkte, die Einfluss auf die Windkennkurven besitzen. Im Anhang 3 ist die Kontaktgeometrie für folgende Varianten aufgeführt:

Radprofil	Schienenprofil	Schienenneigung	Anhang
TGV-Profil	UIC60	1/20	3.1
TGV-Profil	UIC60	1/40	3.2

4.3 Verifikation

Für die Verifikation des Fahrzeugmodells stehen Aufzeichnungen der Analogsignale aus den Messungen des TGV-R von 1996 zur Verfügung [5]. Entsprechend der Konformitätserklärung der SNCF können diese Messungen für die Verifikation des Fahrzeugmodells vom Thalys verwendet werden. Aufgrund der schlechten Qualität des Messdatenmaterials (Messdaten liegen nicht in digitaler Form vor) ist die qualitative graphische Auswertung mit Ungenauigkeiten behaftet. Dies trifft in besonderem Maße auf die Bestimmung von Mittelwerten zu.

Alle Simulationsrechnungen zur Verifikation wurden mit dem Fahrzeugmodell entsprechend den Thalys Daten durchgeführt. Da die Messungen auf Strecken der SNCF stattfanden, wird bei den Rechnungen zur Verifikation eine **Schienenneigung von 1/20** angenommen. Die sonstigen Randbedingungen für die Simulationsrechnungen sind in Kap. 4.6.1 dargestellt.

4.3.1 Masse und Q0-Kräfte

Die Gesamtmasse des Fahrzeugs beträgt 67226 kg.

Für die Radaufstands Kräfte des Fahrzeugs im Ruhezustand ergeben sich folgende Werte:

	Q11	Q12	Q21	Q22	Q31	Q32	Q41	Q42
Wert [N]	82126	82007	82047	82167	82720	82808	82849	82759

	RS1	RS2	RS3	RS4
Wert [N]	164133	164214	165528	165608

	DG1	DG2
Wert [N]	328347	331136

Vergleich mit Messungen:

Für die Überprüfung der Radlasten anhand der Messungen wurde die Datenaufzeichnung Anlage 2.1 verwendet (Annexe 6 f5/15). Zu Beginn der Aufzeichnung fährt das Fahrzeug in der Geraden, so dass an dieser Stelle die mittleren Radlasten (Q-Kräfte) äquivalent zu den Radlasten des ruhenden Fahr-

zeugs sind. Hier ergibt sich eine mittlere Radlast am vorderen Drehgestell von ungefähr 80kN –85kN je Rad, was den Werten aus der Simulation entspricht.

4.3.2 Fahrt im Bogen R<600 m

Für die Verifikation des Fahrzeugmodells für Bögen mit R<600m sind die Messungen entsprechend Anlage 1.1 (Q-, Y- und SY-Kräfte) geeignet. Dabei wird zunächst ein Linksbogen und dann ein Rechtsbogen (vgl. Anlage 1.2) entsprechend folgender Trassierung befahren:

Tabelle 1: Trassierung für R<600 m

Nr.	Abschnitt	Länge [m]	v [km/h]	R [m]	ü [mm]	aq [m/s ²]
1	Gerade	100	113	∞	0	0,0
2	Übergang	140	113	-	-	-
3 (46)	Rechtsbogen	140	113	465	155	1,105
4	Übergang	200	113	-	-	-
5 (43)	Linksbogen	135	113	465	150	1,14
6	Übergang	100	113	-	-	-
7	Gerade	100	113	∞	0	0,0

Aufgrund der geringen Auflösung und Darstellungsqualität der vorliegenden Daten, ist die Bestimmung der 50%-Werte mit einer großen Ungenauigkeit behaftet.

Simulationsrechnungen:

Für den Vergleich mit den gemessenen 50%-Werten der Q-, Y- und SY-Kräfte wurde die Simulation entsprechend der Trassierung ohne Gleislagestörung durchgeführt (vgl Anlage 1.3 und 1.4). Die dynamischen Werte können mittels der vorliegenden Daten nicht ausgewertet werden, da hierfür zu wenig Daten zur Verfügung gestellt standen. Stattdessen wurden hierzu auch Simulationen mit einer Gleislagestörung entsprechend einer Ausbaustrecke berechnet (vgl. Anlage 1.5 und 1.6).

Auswertung und Vergleich:

Die Auswertung der 50%-Werte ergibt folgendes Ergebnis:

Q-Kräfte:

	Q11 [kN]			Q12 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Rechtsbogen	58	52,7	-5,3kN / 9%	109	112,3	+3,3 kN / 3%
Linksbogen	124	115,1	-8,9kN / 7%	49	54	+5 kN/ 10%

	Q21 [kN]			Q22 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Rechtsbogen	68	61	-7 kN/ 10%	104	+106	+2kN / 2%
Linksbogen	95	106	+11kN / 11%	64	-60,1	-3,9kN / 7%

Y-Kräfte:

	Y11 [kN]			Y12 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Rechtsbogen	20	16,5	-3,5kN / 17%	-50	-42,8	-7,2kN / 14%
Linksbogen	50	43,2	-6,8kN / 14%	-20	-16,1	-3,9kN / 20%

	Y21 [kN]			Y22 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Rechtsbogen	-*)	-3,0	-	-*)	-7,5	-
Linksbogen	-*)	8,0	-	-*)	3,2	-

SY-Kräfte:

	SY1 [kN]			SY2 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Rechtsbogen	-29	-26,3	-2,7kN / 9%	-*)	-10,6	-
Linksbogen	38	27,1	-10,9kN / 27%	-*)	11,2	-

*) Die Messdaten konnten graphisch nicht ausgewertet werden.

Bewertung:

Die Abweichungen in den Q-Kräften liegen bei maximal 11% bzw. 11 kN. Bei der Berechnung der Windkennkurven ist bei allen Werten das Q-Kriterium des 2. Radsatzes bestimmd. Eine genauere Betrachtung des entlasteten Rades des 2. Radsatzes zeigt, dass beim Simulationsmodell die Kräfte kleiner gegenüber der Messung sind und damit eine konservative Abschätzung hinsichtlich der Seitenwindbetrachtungen erfolgt. Weiterhin ist eine entsprechende Ableseungenaugkeit der Werte zu berücksichtigen.

Die Y-Kräfte zeigen eine akzeptable Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung mit einer maximalen Abweichung von 7,2 kN bzw. 20%. Die SY-Kräfte des ersten Radsatzes stimmen weniger gut mit den Messungen überein (Abweichung 27%), es werden durch die Rechnung geringere SY-Kräfte ermittelt. Bei den durchgeföhrten Simulationen zeigte sich, dass die SY-Kräfte am zweiten Radsatz gegenüber dem ersten Radsatz höher sind, allerdings ist für diese Trassierung eine Auswertung der SY2-Kräfte der Messungen nicht möglich, da graphisch

4.3.3 Fahrt im Bogen R>600 m

Für Bögen mit R>600m kann die Messung entsprechend Anlage 2.1 verwendet werden. Daraus ergibt sich ein Überhöhungsfelrbetrag von 150 mm (entspricht $aq=1,0 \text{ m/s}^2$) bei einer Geschwindigkeit von $v=220 \text{ km/h}$. Aus den Unterlagen ist die Trassierung nicht eindeutig zu ermitteln (vgl. Anlage 2.2). Somit werden Simulationsrechnungen mit zwei unterschiedlichen Trassierungen für $aq=1,0 \text{ m/s}^2$ durchgeführt:

Tabelle 2: Variante 1 für Trassierung für R>600 m

Nr.	Abschnitt	Länge [m]	v [km/h]	R [m]	ü [mm]	aq [m/s ²]
1	Gerade	50	220	∞	0	0,0
2	Übergang	200	220	-	-	-
3	Rechtsbogen	600	220	1885	150	1,0

Tabelle 3: Variante 2 für Trassierung für R>600 m

Nr.	Abschnitt	Länge [m]	v [km/h]	R [m]	ü [mm]	aq [m/s ²]
1	Gerade	50	220	∞	0	0,0
2	Übergang	200	220	-	-	-
3	Rechtsbogen	600	220	2500	75	1,0

Simulationsrechnungen:

Für den Vergleich mit den 50%-Werten der Q-, Y- und SY-Kräfte wurde die Simulation entsprechend der Trassierung ohne Gleislagestörung durchgeführt (vgl. Anlage 1.3 und 1.4). Für Variante 1 wurden Rechnungen mit Gleislagestörungen entsprechend einer Schnellfahrstrecke (Fulda-Würzburg km 291,8 – 293,2, Messung BR 1994) vorgenommen (vgl. Anlage 2.7 und 2.8).

Auswertung und Vergleich:

Die Auswertung der 50%-Werte ergibt folgendes Ergebnis.

Q-Kräfte:

	Q11 [kN]			Q12 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Variante 1	103	108	5kN / 5%	61	58,7	-2,3kN / 4%
Variante 2	103	107	4kN / 4%	61	58,3	-2,7kN / 5%

	Q21 [kN]			Q22 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Variante 1	102	108	6kN / 6%	61	58,3	-2,7kN / 5%
Variante 2	102	108	6kN / 6%	61	57,1	-3,9kN / 7%

Y-Kräfte:

	Y11 [kN]			Y12 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Variante 1	5	4,7	-0,3kN / 6%	-20	-19,7	-0,3kN / 2%
Variante 2	5	3,2	-1,8kN / 56%	-20	-17,4	-2,6kN / 15%

	Y21 [kN]			Y22 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Variante 1	-8	-3,8	-4,2kN / 110%	-10	-14,5	4,5kN / 31%
Variante 2	-8	-2,9	-5,1kN / 175%	-10	-16,6	6,6kN / 60%

SY-Kräfte:

	SY1 [kN]			SY2 [kN]		
	Messung	Rechnung	Abweichung	Messung	Rechnung	Abweichung
Variante 1	18	15,0	-3kN / 20%	18	18,3	0,3kN / 2%
Variante 2	18	14,1	-3,9kN / 28%	18	19,5	1,5kN / 8%

Bewertung:

Die Abweichungen in den Q-Kräften liegen bei maximal 7 % bzw. 6 kN. Auch hier zeigt sich, dass die Q-Kräfte des entlasteten Rades (Q22) am zweiten Radsatz bei der Rechnung geringer sind als bei der Messung, somit also konservativ hinsichtlich der Windkennkurve wirken.

Die Y-Kräfte zeigen eine mangelhafte Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung mit einer maximalen Abweichung von 6,6 kN. Die SY-Kräfte des ersten Radsatzes stimmen auch hier weniger gut mit den Messungen überein, es werden durch die Rechnung geringere SY-Kräfte ermittelt. Beim zweiten Radsatz werden in der Rechnung etwas höhere SY2-Kräfte ermittelt, was wiederum konservativ hinsichtlich der Berechnung der Windkennkurven ist.

4.3.4 Verifikation DeuFraKo-Projekt mit TGV-Duplex Modell

Das im Rahmen des DeuFraKo-Projekts Seitenwind erstellte Modell vom TGV Duplex ist nach Aussage der SNCF [1] mit dem Thalys konform und kann für Seitenwindberechnungen verwendet werden. Im Rahmen des Projekts wurde gemeinsam von der DB und der SNCF eine Verifikation des Modells durchgeführt. Ein wesentlicher Aspekt war die Bestimmung des Neigekoeffizienten, der wesentlichen Einfluss auf die Empfindlichkeit des Fahrzeugs bei Seitenwind besitzt. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der SNCF und der DB gegenübergestellt:

Tabelle 4: Berechnungen des Neigekoeffizienten aus DeuFraKo-Projekt Seitenwind

	DB	SNCF
Neigekoeffizient s	0,192	0,191

Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen.

4.3.5 Fazit

Eine Verifikation des Fahrzeuges ist aufgrund der wenigen und in schlechter Darstellungsqualität zur Verfügung stehenden Daten nur bedingt möglich. Aus den Messungen vom TGV-R konnten lediglich zwei geeignete Trassierungausschnitte ausgewählt, mit dem erstellten Thalys-Modell berechnet und die Ergebnisse den Messungen gegenübergestellt. Für kleine Bögen ($R > 600m$) ist die Übereinstimmung weniger gut, während für die größeren Bögen ($R < 600m$) die Messergebnisse besser mit den

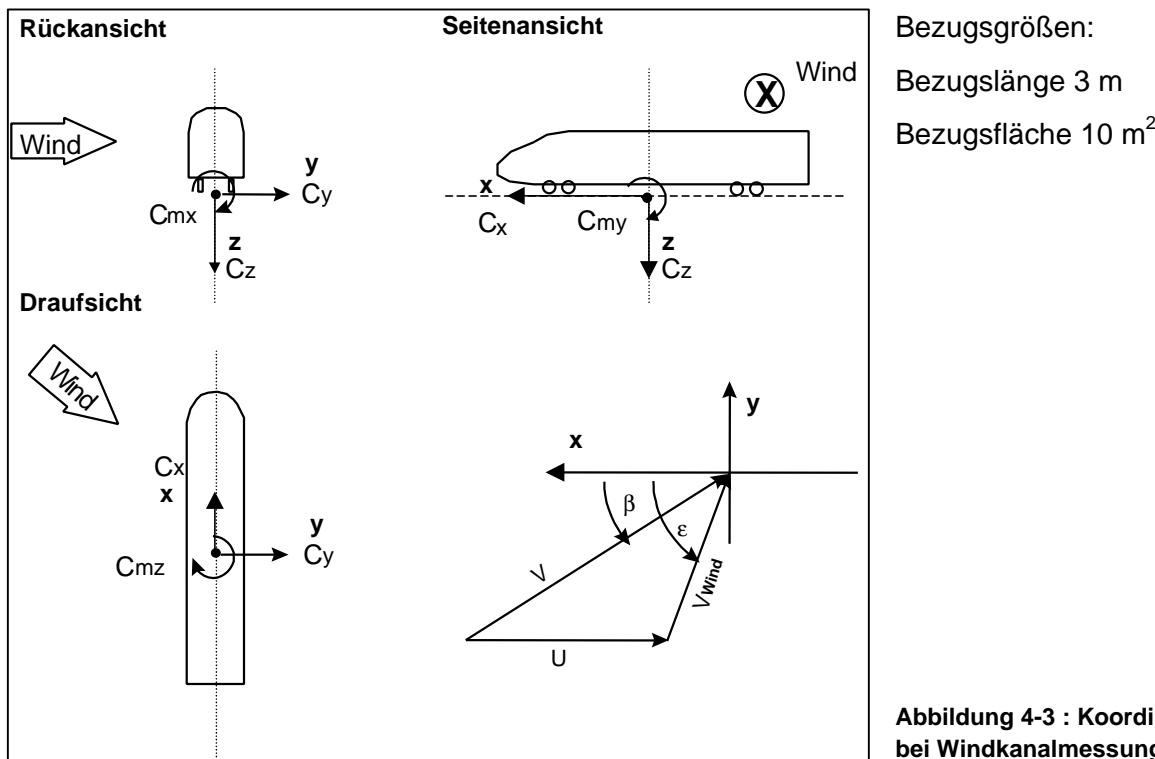
Rechenergebnissen korrelieren. Insbesondere die Q-Kräfte werden eher konservativ hinsichtlich einer Seitenwindberechnung abgebildet. Die SY-Kräfte am entscheidenden zweiten Radsatz stimmen gut mit den Messungen überein. Das dynamische Verhalten des Fahrzeuges kann nicht verifiziert werden, da eine graphische Auswertung der vorliegenden Messdaten (zu wenig Zeitschreibe, schlechte Qualität) nicht möglich ist.

Das TGV-Modell wurde im Rahmen des DeuFraKo-Projekts aufgebaut und dort anhand der Rechenergebnisse der SNCF verifiziert. Dort zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Zudem liegt von der SNCF eine Konformitätsbescheinigung vor, die bestätigt, dass das im Rahmen von DeuFraKo erstellte Fahrzeugmodell eine konservative Berechnung der Windkennkurven für den Thalys erlaubt. Aus diesen Gründen wird das Fahrzeug als verifiziert betrachtet und ist für die Berechnung von Windkennkurven nach RIL401 Stand 3/2001 geeignet.

4.4 Windmodell und Szenario

4.4.1 Aerodynamische Beiwerte

Die aerodynamischen Beiwerte des Thalys sind mit denen des TGV Duplex identisch und wurden durch Windkanalversuche von T.TZF13 am 08.08.2001 im DNW Windkanal bestimmt [6]. In Abbildung 4-3 ist das verwendete Koordinatensystem dargestellt:



Für den Thalys wurden folgende Beiwerte im Windkanal gemessen:

BETA	c_x	c_y	c_z	cM_x	cM_y	cM_z
0	-0,1177	0,002	0,043	0,011	0,057	0,011
5	-0,1362	0,52	-0,048	0,338	-0,095	0,802
10	-0,1426	1,186	-0,424	0,772	-0,321	1,604
15	-0,1237	1,966	-1,007	1,268	-0,439	2,411
20	-0,0347	2,799	-1,641	1,77	-0,539	3,224
25	-0,0763	3,626	-2,277	2,207	-0,31	4,153
30	-0,0766	4,618	-2,735	2,764	0,258	4,674
35	-0,0228	5,85	-3,026	3,462	1,186	4,681
40	0,0965	7,232	-3,393	4,288	2,16	4,379
45	0,2785	8,535	-3,662	5,063	2,855	4,408
50	0,5266	9,585	-3,9	5,682	3,78	4,745
60	0,9474	10,15	-4,816	5,936	4,335	5,806
75	0,8374	7,537	-4,687	4,089	3,576	0,334
90	0,2559	7,588	-3,297	4,258	1,96	-1,346

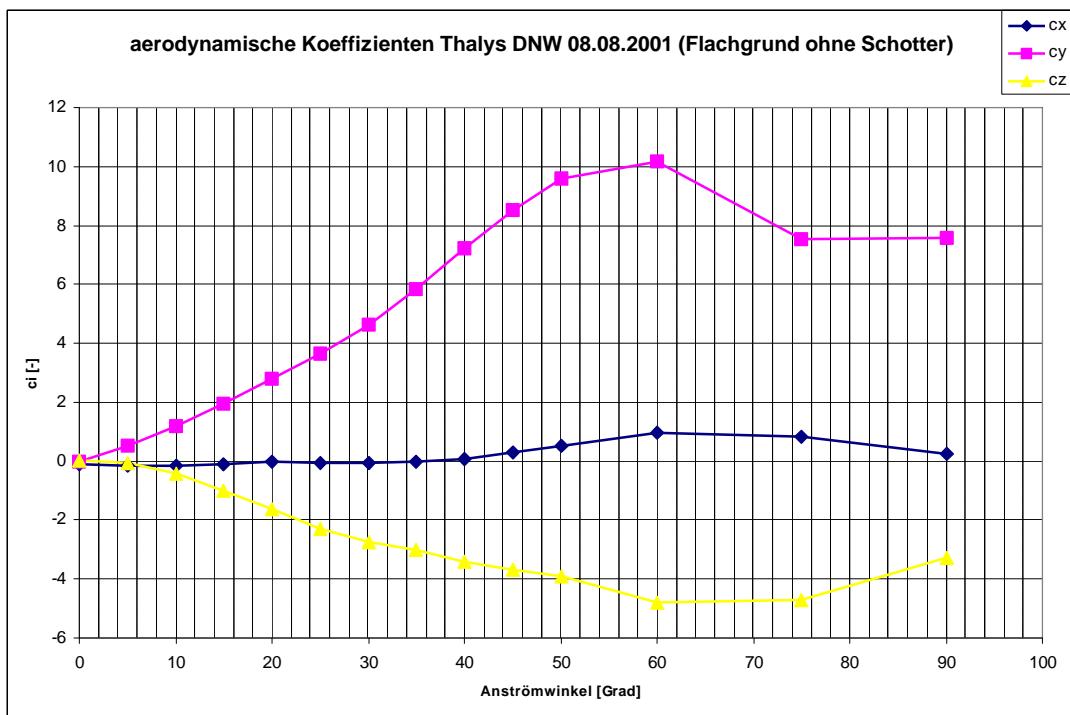
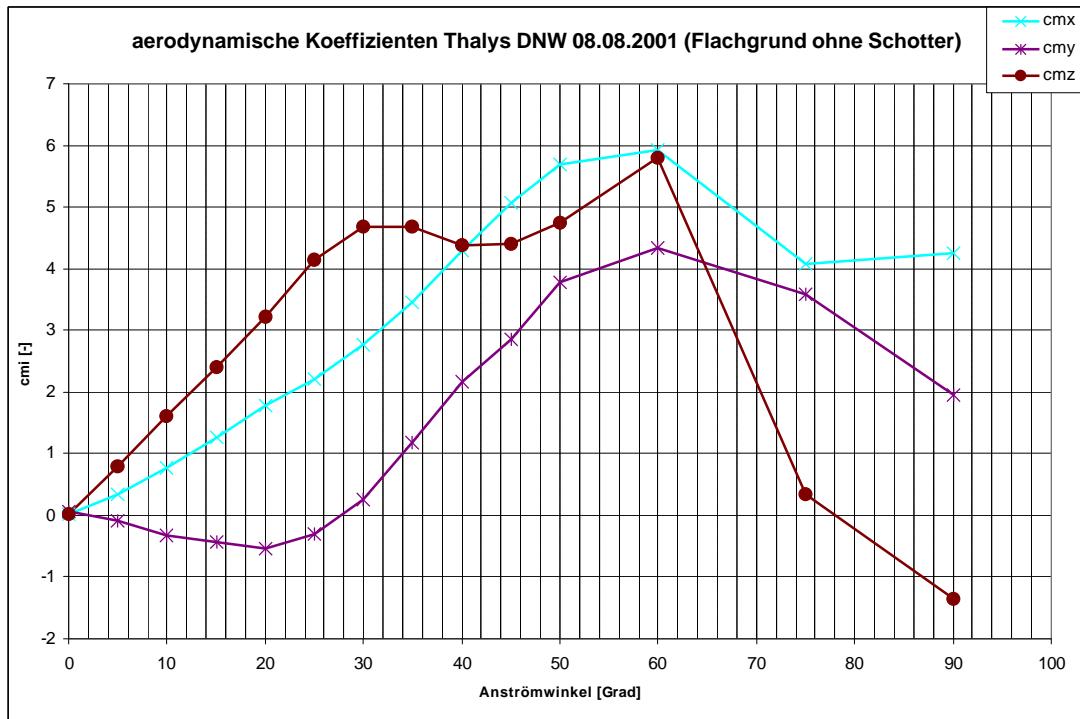


Abbildung 4-4: Thalys aerodynamische Beiwerte c_x , c_y , c_z

Abbildung 4-5: Thalys aerodynamische Beiwerte cm_x , cm_y , cm_z

4.4.2 Windszenario und Trassierung

Zur Bestimmung der Windkennkurven wurde das Szenario gemäß Richtlinie 401 gewählt, das in Abbildung 4-6 dargestellt ist.

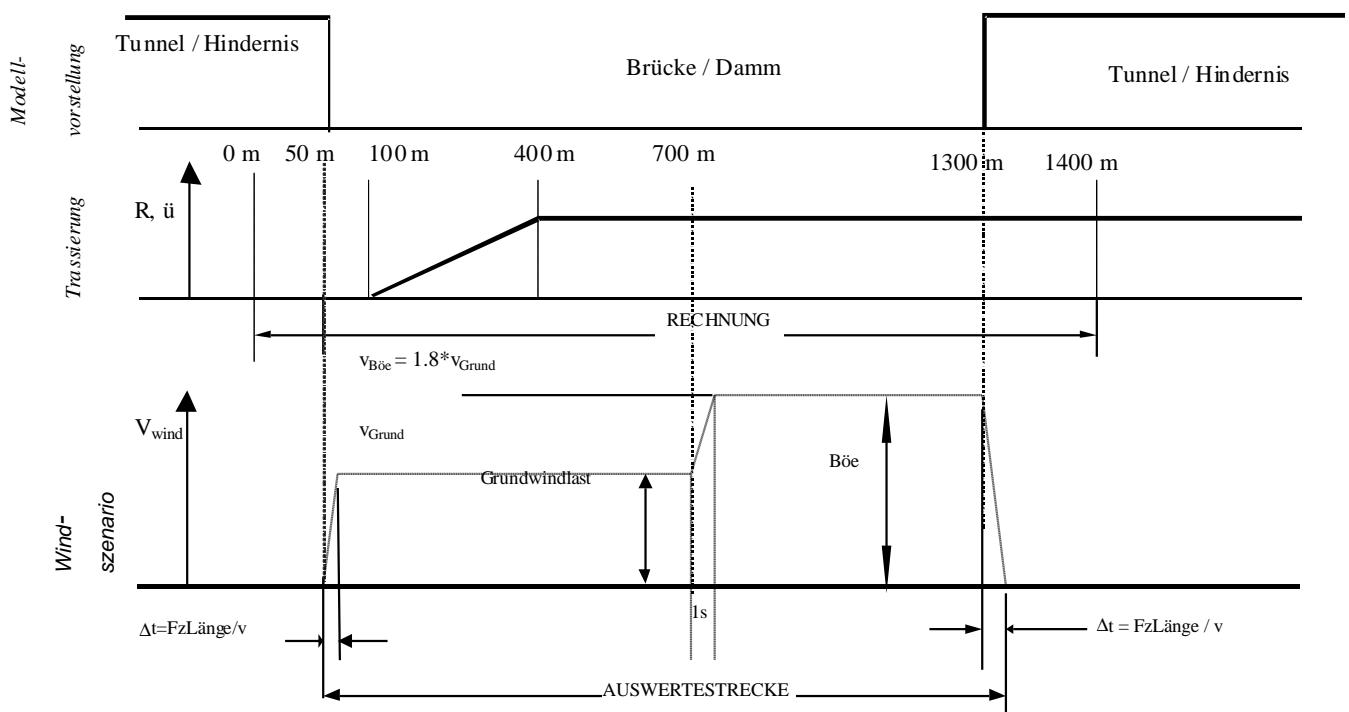


Abbildung 4-6: Windszenario gemäß Ril 401

Die wichtigsten Vorgaben des Szenarios sind:

- Ausfahrt aus einem Tunnel und Einfahrt des Zuges in eine Grundwindlast
- Einfahrt in einen Bogen mit 300m Übergangslänge
- Anstieg des Seitenwindes auf das 1.8-fache der Grundwindlast innerhalb von einer Sekunde auf die maximale Seitenwindgeschwindigkeit
- Einfahrt in einen Tunnel und damit Abfall des Seitenwindes auf Null
- Der Wind weht stets senkrecht zur Trasse

4.4.3 Gleislage

Die simulierte Gleislage richtet sich je nach befahrenem Streckentyp. Für den Thalys werden die Windkennkurven für die Schnellfahrstrecke ermittelt. Hierfür wird gemäß Richtlinie 401 folgende Gleislage verwendet:

Fulda-Würzburg km 291.8 – 293.2

(Messung BR 1994)

Die Gleislage entspricht dem durchschnittlichen Niveau einer Schnellfahrstrecke.

Da der Thalys auch auf Nebenstrecken fährt, wird für diesen Fall ein punktueller Nachweis zum Seitenwind geführt. Hierfür wird gemäß Richtlinie 401 folgende Gleislage verwendet:

Neubeckum-Hamm km 164.8 – 166.2

GMTZ Messung Nov. 1994

Die Gleislage entspricht dem durchschnittlichen Niveau einer Ausbaustrecke

4.5 Beurteilungsgrößen

Für die Berechnung der Windkennkurven werden folgende Beurteilungskriterien herangezogen

1. Q-Kriterium

Die minimale Q-Kraft eines Rades muss größer als 10% der nominellen Radaufstandskraft Q_0 sein.

$$Q_{lim} = 0.1 Q_0$$

Das Q-Signal wird mit einem geschwindigkeitsabhängigem Tiefpassfilter sowie dem gleitenden Mittelwert vorgefiltert, anschließend Bildung des 99,85% Wertes (Filterung gemäß UIC518).

Aus den ermittelten Q_0 -Kräften ergeben sich somit folgende Grenzwerte:

	Q lim für DG1	Q lim für DG2
Grenzwert	8209 N	8278 N

2. SY-Kriterium

Der Grenzwert für ΣY wird durch das Prud'Homme'sche Kriterium mit einem Vorfaktor bestimmt.

$$SY_{lim} = k * (10 + 2/3 Q_0)$$

mit $k=1.4$ auf der Schnellfahrstrecke

mit $k=1.2$ auf der Ausbaustrecke

Das ΣY -Signal wird mit einem 30 Hz Tiefpassfilter sowie dem gleitenden Mittelwert vorgefiltert,

anschließend Bildung des 99,85% Wertes (Filterung gemäß UIC518).

Für die Grenzwerte des Thalys ergeben sich somit:

	SY lim für DG1 [kN]	SY lim für DG2 [kN]
Grenzwert für k=1,4	90,6	91,3
Grenzwert für k=1,2	77,7	78,2

3. Y/Q-Kriterium

Für das Entgleiskriterium Y/Q gilt:

$$Y/Q_{lim}=0.8$$

Das Y/Q-Signal wird mit einem 30 Hz Tiefpassfilter sowie dem gleitenden Mittelwert vorgefiltert (Filterung gemäß UIC518).

4.6 Durchführung der Simulation

4.6.1 Randbedingungen

Folgende zusätzliche Randbedingungen werden angenommen:

Radprofil	: TGV-Profil
Schienenprofil	: UIC60
Schienenneigung	: 1:40 (Schienenneigung Deutsche Bahn)
nom. Spurweite	: 1435 m
Reibungskoeffizient Rad/Schiene	: 0.4
Schlupfkraftberechnung	: vereinfachte Kalkersche Theorie
Kalkerscher Reduktionsfaktor	: 0.67

4.6.2 Variationen

Die Windkennkurven werden auf der Schnellfahrstrecke für drei Radienklassen erstellt.

- Radienklasse 1: Bogenradius > 9000 m, Fahrt in der Geraden
- Radienklasse 2: Bogenradius 6000 m bis 9000 m
- Radienklasse 3: Bogenradius 3000 m bis 6000 m

Für jede Radienklasse wird ein repräsentativer Bogen ausgewählt.

- Radienklasse 1: Fahrt in der Geraden
- Radienklasse 2: Bogenradius 7500 m, Überhöhung 60 mm
- Radienklasse 3: Bogenradius 5447 m, Überhöhung 80 mm

Bei jeder Radienklasse wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs variiert und die Windkenngeschwindigkeiten über der Fahrzeuggeschwindigkeit bzw. der unausgeglichenen Querbeschleunigung dargestellt. Die folgende Tabelle zeigt die unausgeglichene Querbeschleunigung der verschiedenen Geschwindigkeitsstufen.

v [km/h]	Radienklasse		
	1	2	3
	aq [m/s ²]	aq [m/s ²]	aq [m/s ²]
175	0.000	-0,08	-0,09
200	0.000	0,02	0,04
225	0.000	0.128	0,194
250	0.000	0.251	0,362
275	0.000	0.386	0,548
300	0.000	0.534	0,752
325	0.000	0.694	0,973

Mit dem gewählten Geschwindigkeitsraster wird der für die Seitenwindberechnungen interessante Bereich abgedeckt, Zwischenwerte können interpoliert werden, eine Extrapolation auf $v_{max}=330$ km/h ist auf Grund des glatten Verlaufs der Windkennkurven zulässig.

Für die Ausbaustrecke wird ein punktueller Nachweis gefordert:

- Bogenfahrt mit $R=1500$ m und $\ddot{u}=165$ mm
Fahrzeuggeschwindigkeit $v=200$ km/h
- Bogenfahrt mit $R=1800$ m und $\ddot{u}=165$ mm
Fahrzeuggeschwindigkeit $v=220$ km/h

Das Windszenario ist bei der Ausbaustrecke identisch mit dem der Schnellfahrstrecke.

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen ergeben folgende Windkennkurven:

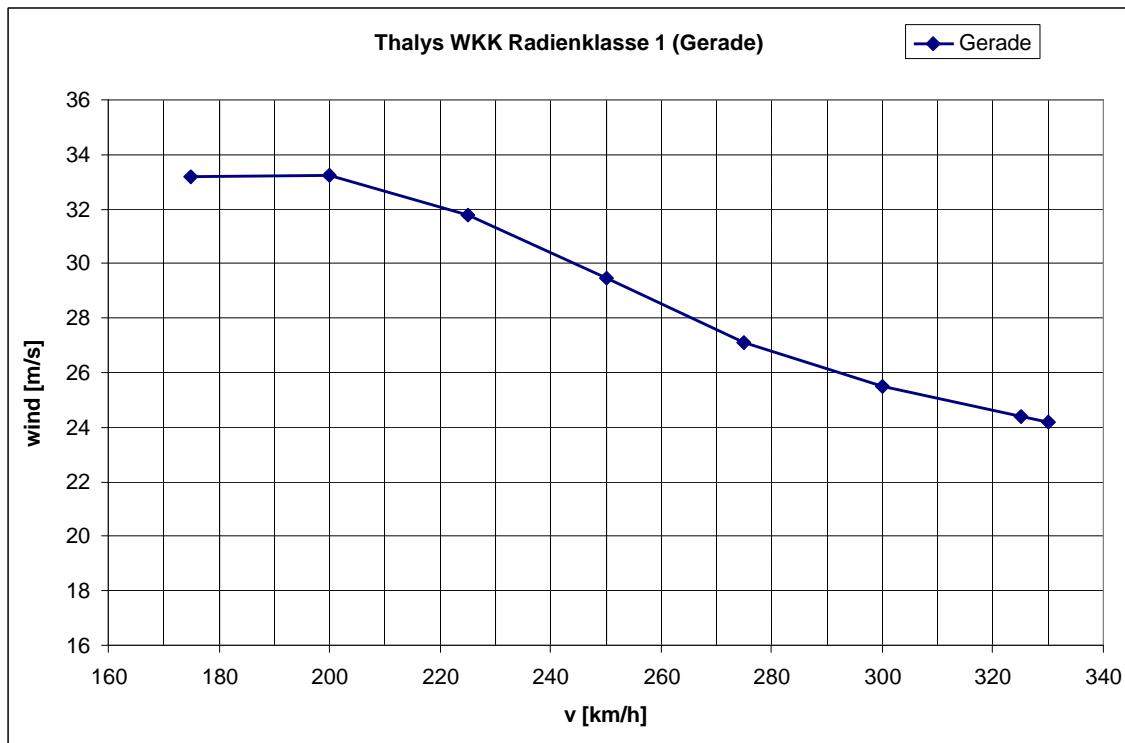


Abbildung 7: Windkennkurve Thalys Radienklasse 1 (Gerade)

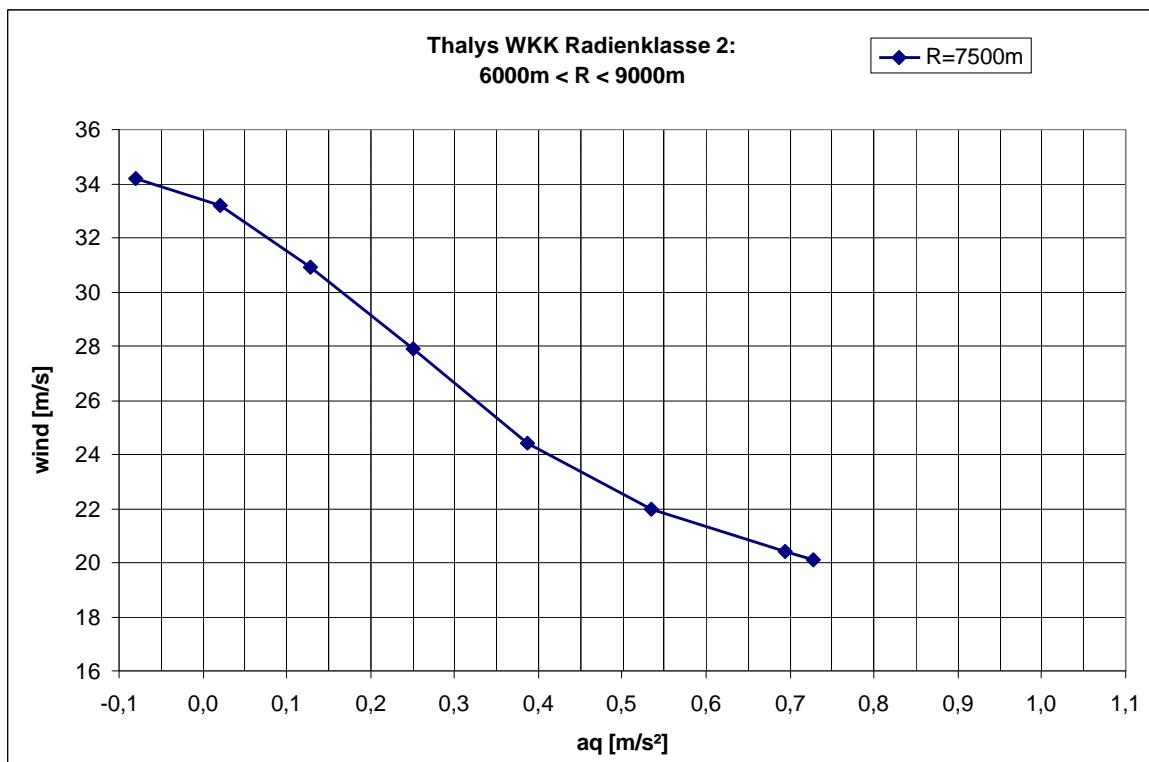


Abbildung 8: Windkennkurve Thalys Radienklasse 2 (6000m < R < 9000m)

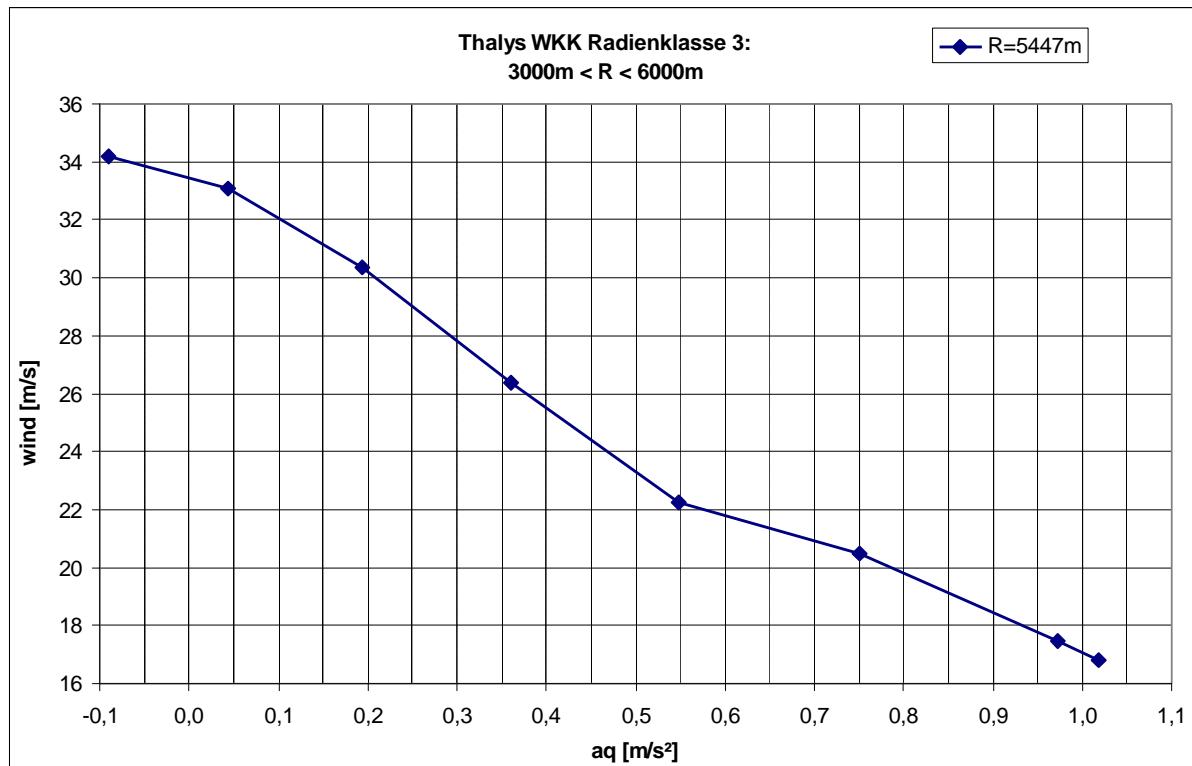


Abbildung 9: Windkennkurve Thalys Radienklasse 3 (3000m < R < 6000m)

In der folgenden Tabellen sind die Werte der Windkennkurven eingetragen:

Tabelle 5: Windkennkurven für den Thalys

v Fahrzeug [km/h]	WKK für Radienklasse 1 (Gerade) [m/s]	WKK für Radienklasse 2 (6000m < R < 9000m) [m/s]	WKK für Radienklasse 3 (3000m < R < 6000m) [m/s]
175	33,2	34,2	34,2
200	33,2	33,2	33,1
225	31,8	30,9	30,4
250	29,5	27,9	26,4
275	27,1	24,4	22,2
300	25,5	22,0	20,5
325	24,4	20,4	17,4
330	24,2	20,1	16,8

Die Werte für $v=330$ km/h wurden durch Extrapolation ermittelt.

Für die Punkte auf der Ausbaustrecke wurden folgende Windkennwerte berechnet:

Radius	v Fahrzeug [km/h]	Wind [m/s]
R=1500m	200	25,7
R=1800m	220	20,3

Bei allen Windkennwerten ist das Q-Kriterium am zweiten Radsatz (Q22) entscheidend.

Im Anhang sind die Zeitverläufe der Q- und SY-Kräfte für folgende Simulationen dargestellt:

Fahrzeuggeschw. [km/h]	Wind [m/s]	Radienklasse	Anlage
200	32	Klasse 1 / Gerade	Anlage 4.1
200	32	Klasse 2 / R=7500m	Anlage 4.2
200	32	Klasse 3 / R=5447m	Anlage 4.3
325	24	Klasse 1 / Gerade	Anlage 4.4
325	20	Klasse 2 / R=7500m	Anlage 4.5
325	17	Klasse 2 / R=5447m	Anlage 4.6

Bei den Kräften wurde jeweils die Tiefpassfilterung entsprechend der RIL401 angewendet. Für die Bestimmung der Windkennwerte wird das Signal dann weiterverarbeitet (gleitender Mittelwert, 0,15% / 99,85%-Werte).

6 Fachliche Stellungnahme

Siehe Gutachten von ??? zu diesem Bericht.

7 Zusammenfassung

Für den Thalys PBKA wurden die Windkennkurven nach der RIL401 Stand 3/2001 bestimmt. Die Berechnung wurde unter Verwendung der Mehrkörpersimulation mit dem Programm SIMPACK durchgeführt. Der Aufbau des Fahrzeugmodells erfolgte auf Basis eines Modells des TGV Duplex Dies Modell wurde im Rahmen des DeuFraKo-Projekts Seitenwind aufgebaut und anhand von Daten von der SNCF verifiziert. Nach Aussage der SNCF ist der TGV Duplex mit dem Thalys hinsichtlich der Seitenwindbetrachtungen konform. Bis auf wenige Änderungen wurde das TGV Duplex Modell für die Seitenwinduntersuchungen verwendet.

Aufgrund der wenigen und in schlechter Qualität von der SNCF zur Verfügung gestellten Daten konnte die Verifikation nur anhand von zwei kurzen Messabschnitten der Zulassungsversuche vorgenommen werden. Die Schienenneigung wurde mit 1/20 für das französische Netz angenommen. Hier zeigte sich, dass für enge Bögen Abweichungen zwischen Messung Rechnung vorhanden sind, während bei grossen Bögen eine gute Übereinstimmung festzustellen ist. Bei den relevanten Q-Kräften des entlasteten Rades stimmen die Werte in beiden Fällen gut überein bzw. werden in Hinblick auf die Messungen durch das Modell konservativ abgebildet. Somit kann insgesamt davon ausgegangen werden, dass das Fahrzeugmodell die fahrtechnischen Eigenschaften des Thalys hinreichend genau abbildet und für Seitenwinduntersuchungen geeignet ist.

Die Berechnung der Windkennkurven erfolgte mit dem Windszenario nach RIL401 unter Verwendung der Gleislage entsprechend einer Schnellfahrstrecke. Die Schienenneigung wurde entsprechend dem DB Netz mit 1/40 bei einer Spurweite von 1435 mm angenommen. Für die Werte der Windkennkurve war in allen Fällen das Q-Kriterium des zweiten Radsatzes vom vorderen Drehgestell maßgebend. Die Grenzwerte für die Kriterien SY und Y/Q wurden dagegen nicht erreicht.

8 Unterschriften

Minden, den 29.10.04



Dipl.-Ing. Clemens Höppe
L.T.TZF95.1



Dr.-Ing. Rolf Naumann
T.TZF95.1

9 Quellenverzeichnis

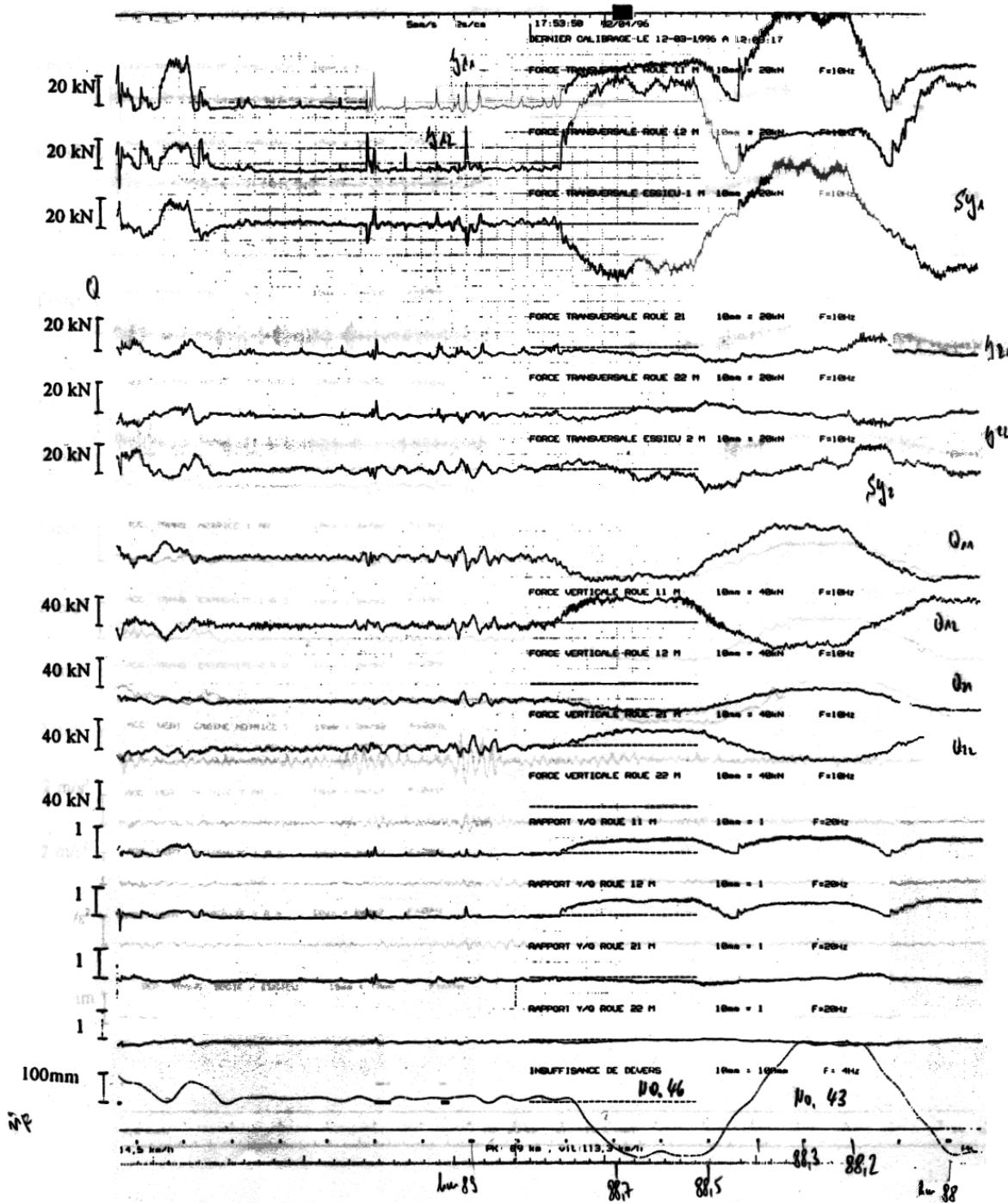
- [1] Schreiben von Jean-Marie Delbecq, SNCF, Direction du materiel et de la traction, an Hr. Paniere, DB Systemtechnik, München vom 4. August 2003.
- [2] Julien Vincent, Benoit Pirat: „Data collection for vehicle models / cross wind DeFrKo project“, vertraulicher Bericht der SNCF, Direction de la recherche et de la technologie, Nr.: RT SFC DYN FER DEUFRAKO VT R01-2001, rapport technique, 04/2001.
- [3] R. Gansekow (Siemens), R. Naumann (DB), B. Pirat (SNCF/Mathworks), J. Vincent (SNCF): Abschlussbericht DeuFraKo Report: WP2.3 (Vehicle Dynamics, CWC) vom November 2002.
- [4] Unterlagen von Philippe Robert (SNCF, Direction du materiel et de la traction) an Werner Ritter, DB R&T, Köln, Thema: „Vent traversieres- caractéristique des rames TGV PBKA“ vom 3. Februar 2003.
- [5] Zulassungsbericht vom TGV-R: „TGV-R Homologation du point de vue du comportement dynamique a 320 km/h / Fascicule 1: Texte et synthese des resultats“; Nr.: MTED1 R 96041/96 D1-4; November 1996.
- [6] Heine: „Aerodynamische Beiwerte des Thalys PBKA Triebkopf“, Bericht-Nr.: 13-UN-0118-03 von DB Systemtechnik T.TZF13 vom 01.10.2004.
- [7] RIL401 Stand 3/2001: „Handbuch für den Sicherheitsnachweis bei Seitenwind“, Deutsche Bahn AG, DB Systemtechnik, T.TZF13 Aerodynamik und Klimatechnik, März 2001.

10 Anlagen

S.N.C.F. 96 D1-4 MTED1 R 96041	TGV R HOMOLOGATION DU POINT DE VUE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE à 320 Km/h	ANNEXE 6 f 2/15
--------------------------------------	--	--------------------

RELEVES D'ENREGISTREMENT GRAPHIQUE
Courbes de rayon < 600 m entre Ambérieu et Bellegarde- Voie 2

Configuration CN - Suspensions gonflées - Essieu 1 en tête
Forces Y et Q - Bogie moteur



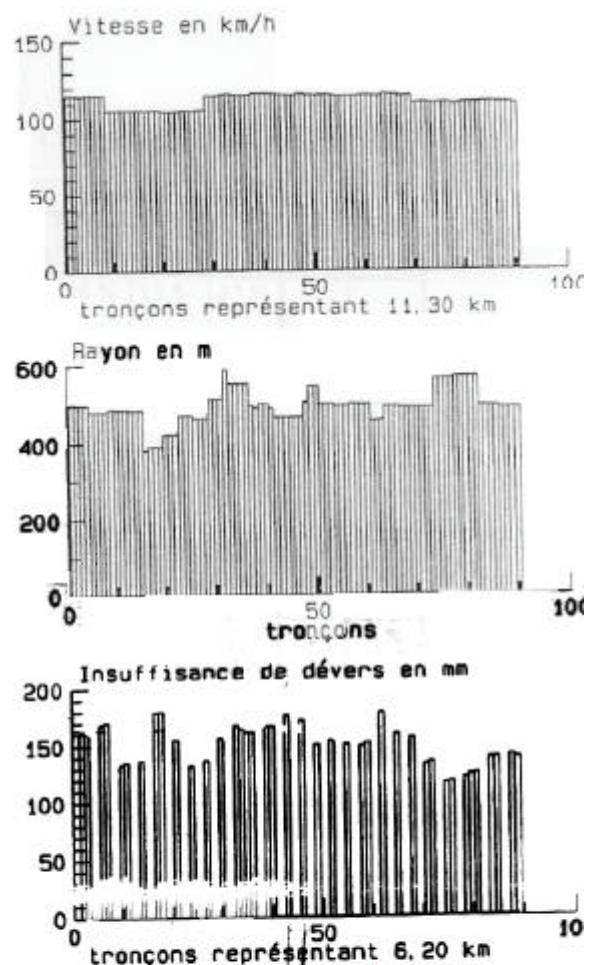
S.N.C.F. Département MTE Communication et reproduction interdites sans l'autorisation du service émetteur

S.N.C.F. 96 D1-4 MTED1 R 96041	TGV R HOMOLOGATION DU POINT DE VUE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE à 320 Km/h	ANNEXE 4 f 10/10
--------------------------------------	---	---------------------

ZONES DE TRAITEMENT STATISTIQUES

Ligne classique: AMBERIEU-BELLEGARDE voie 1/voie 2
Zones de courbes de rayons < 600 m

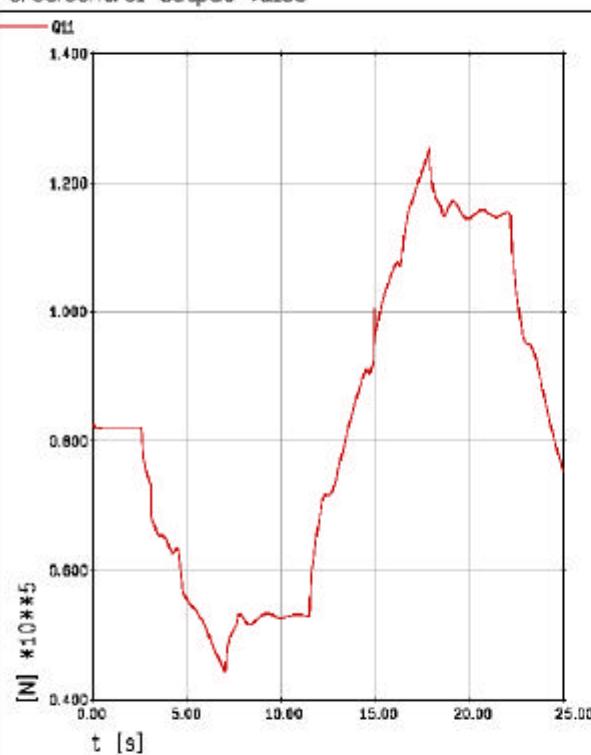
COURBES DE FAIBLE RAYON					
Tronçon	PK début	PK fin	Tronçon	PK début	PK fin
1	59, 85	60, 00	49	111, 75	111, 90
2	60, 00	60, 15	50	111, 90	112, 00
3	60, 15	60, 30	51	112, 13	112, 23
4	60, 35	60, 50	52	112, 23	112, 33
5	60, 70	60, 85	53	112, 33	112, 40
6	60, 85	61, 00	54	113, 17	113, 30
7	61, 00	61, 15	55	113, 30	113, 50
8	61, 15	61, 25	56	113, 55	113, 65
9	64, 80	64, 90	57	113, 67	113, 77
10	64, 90	65, 10	58	113, 80	113, 95
11	65, 10	65, 30	59	113, 95	114, 10
12	65, 30	65, 40	60	114, 10	114, 20
13	65, 45	65, 55	61	115, 35	115, 95
14	65, 55	65, 70	62	115, 35	116, 05
15	65, 70	65, 80	63	116, 05	116, 15
16	65, 85	65, 95	64	117, 25	117, 35
17	65, 95	66, 10	65	117, 35	117, 55
18	66, 10	66, 25	66	117, 55	117, 65
19	66, 25	66, 35	67	119, 73	119, 80
20	67, 20	67, 30	68	119, 80	119, 95
21	67, 30	67, 40	69	119, 95	120, 05
22	67, 40	67, 50	70	123, 75	123, 85
23	67, 65	67, 75	71	123, 85	124, 20
24	67, 75	67, 85	72	124, 20	124, 55
25	67, 85	67, 95	73	124, 55	124, 65
26	70, 45	70, 55	74	124, 55	124, 72
27	70, 55	70, 65	75	124, 72	124, 82
28	70, 65	70, 75	76	124, 82	124, 92
29	85, 73	85, 80	77	124, 97	125, 07
30	85, 80	86, 00	78	126, 30	126, 40
31	86, 00	86, 10	79	126, 40	126, 55
32	86, 25	86, 35	80	126, 72	126, 82
33	86, 35	86, 50	81	126, 82	126, 92
34	86, 50	86, 65	82	126, 92	126, 99
35	86, 65	86, 80	83	130, 20	130, 30
36	86, 80	86, 95	84	130, 30	130, 45
37	86, 95	87, 05	85	130, 45	130, 60
38	87, 55	87, 65	86	130, 60	130, 70
39	87, 65	87, 80	87	130, 70	130, 80
40	87, 80	87, 95	88	130, 80	130, 95
41	87, 95	88, 05	89	130, 95	131, 10
42	88, 05	88, 15	90	131, 10	131, 17
43	88, 15	88, 30			
44	88, 30	88, 40			
45	88, 40	88, 50			
46	88, 50	88, 65			
47	88, 65	88, 80			
48	111, 60	111, 75			



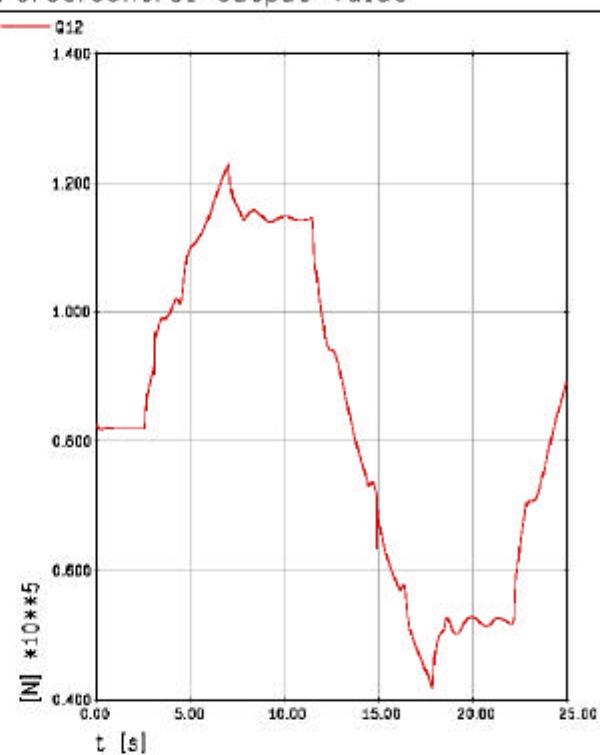
teilweise 10.43 u. 17

Thalys Triebkopf

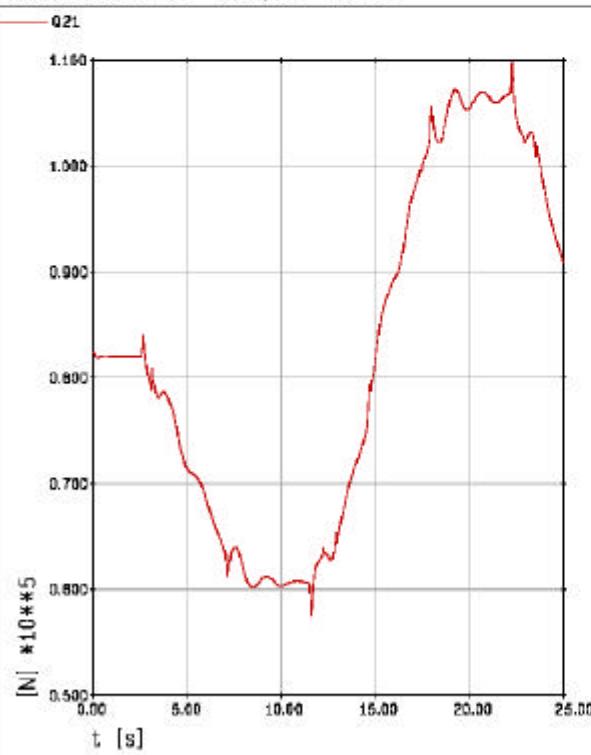
Force/control output value



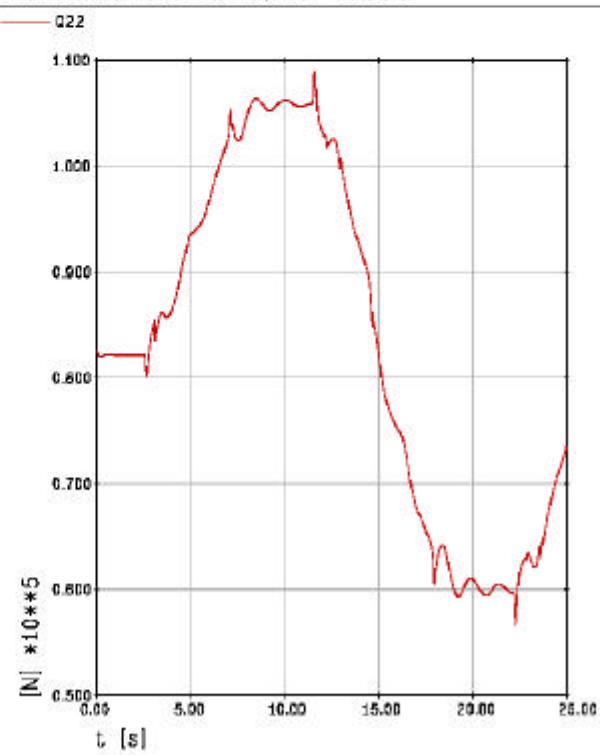
Force/control output value



Force/control output value



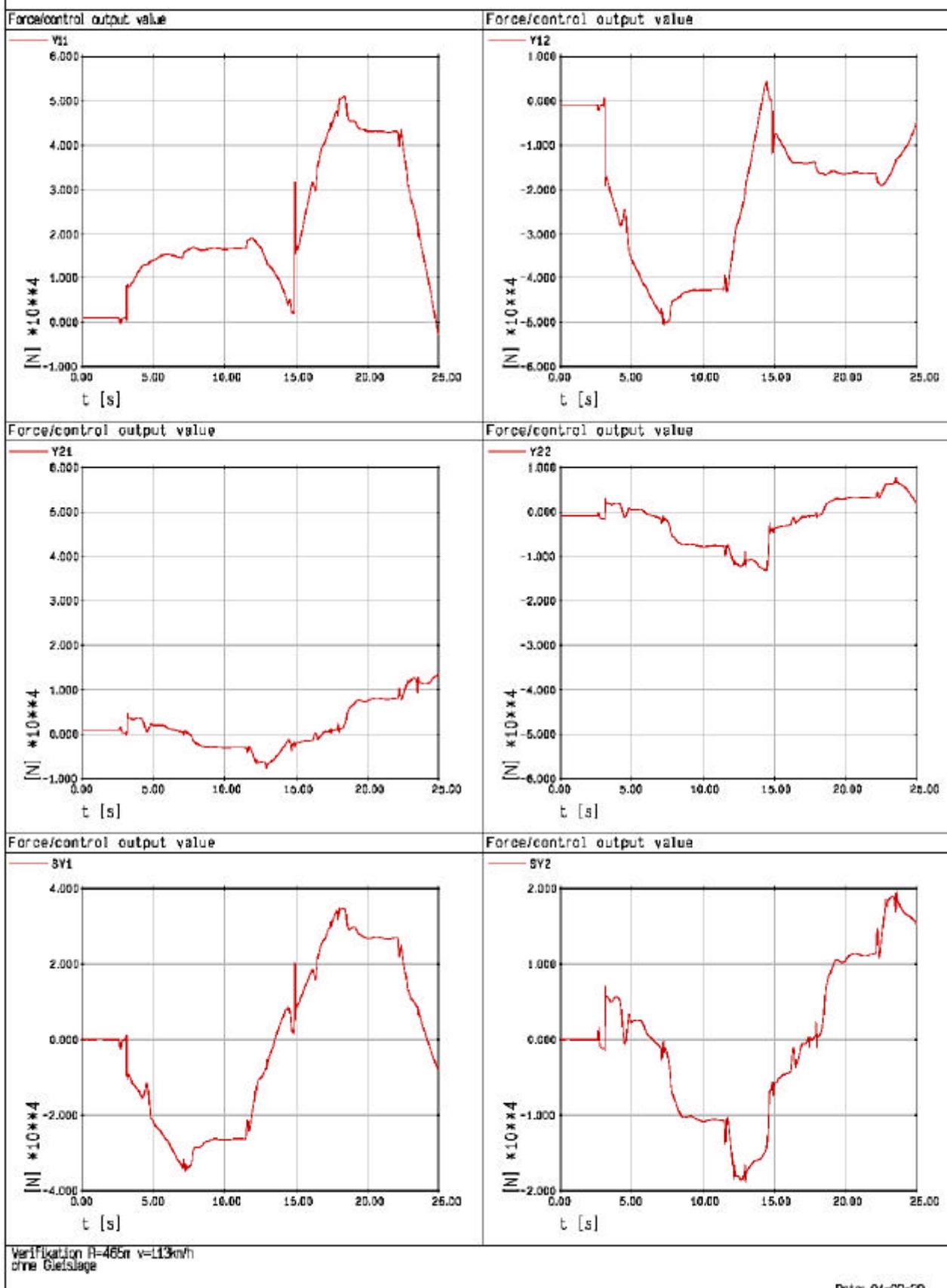
Force/control output value



Verifikation R=465m v=113km/h
ohne Gleislage

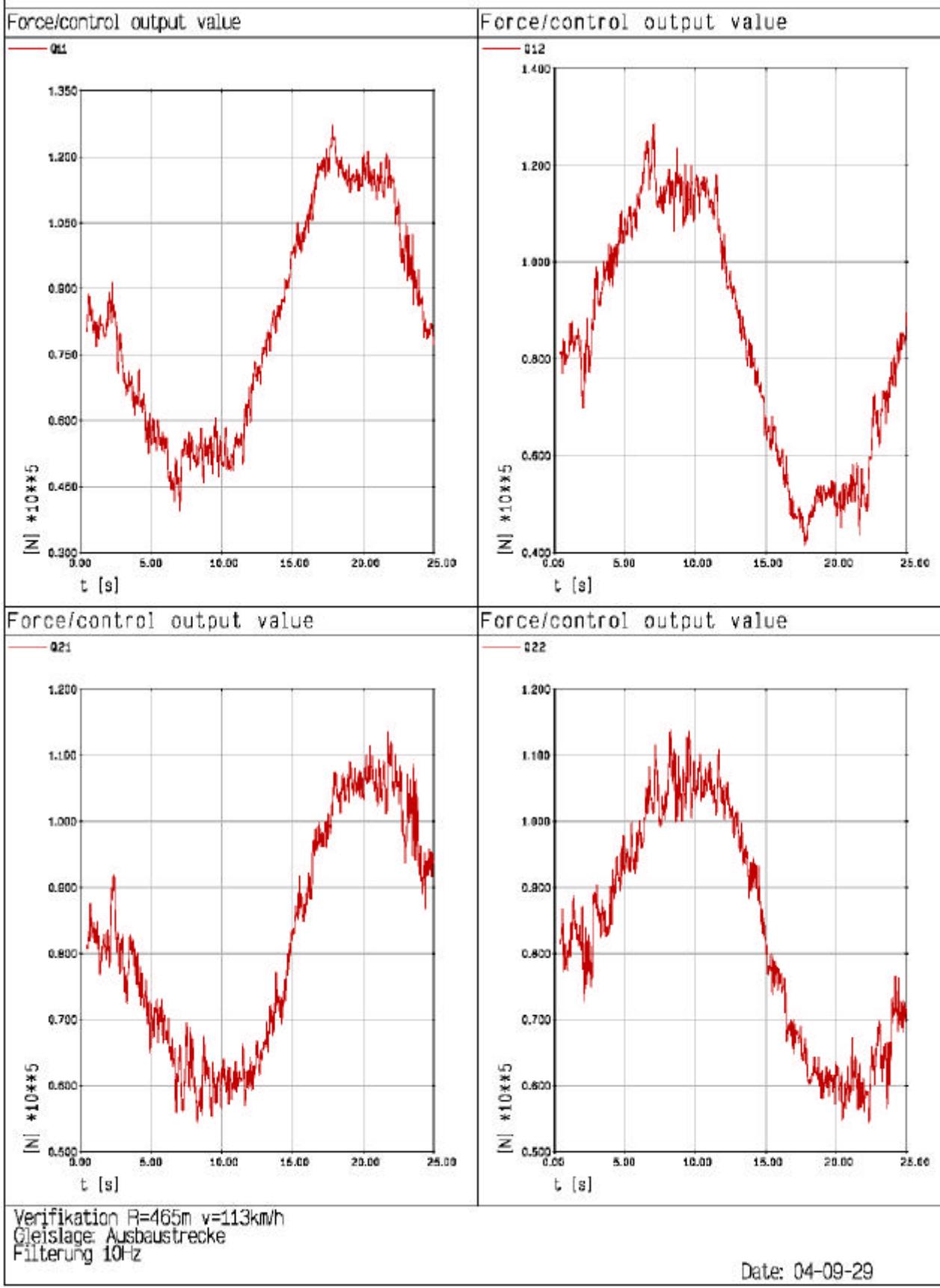
Date: 04-09-29

Thalys Triebkopf



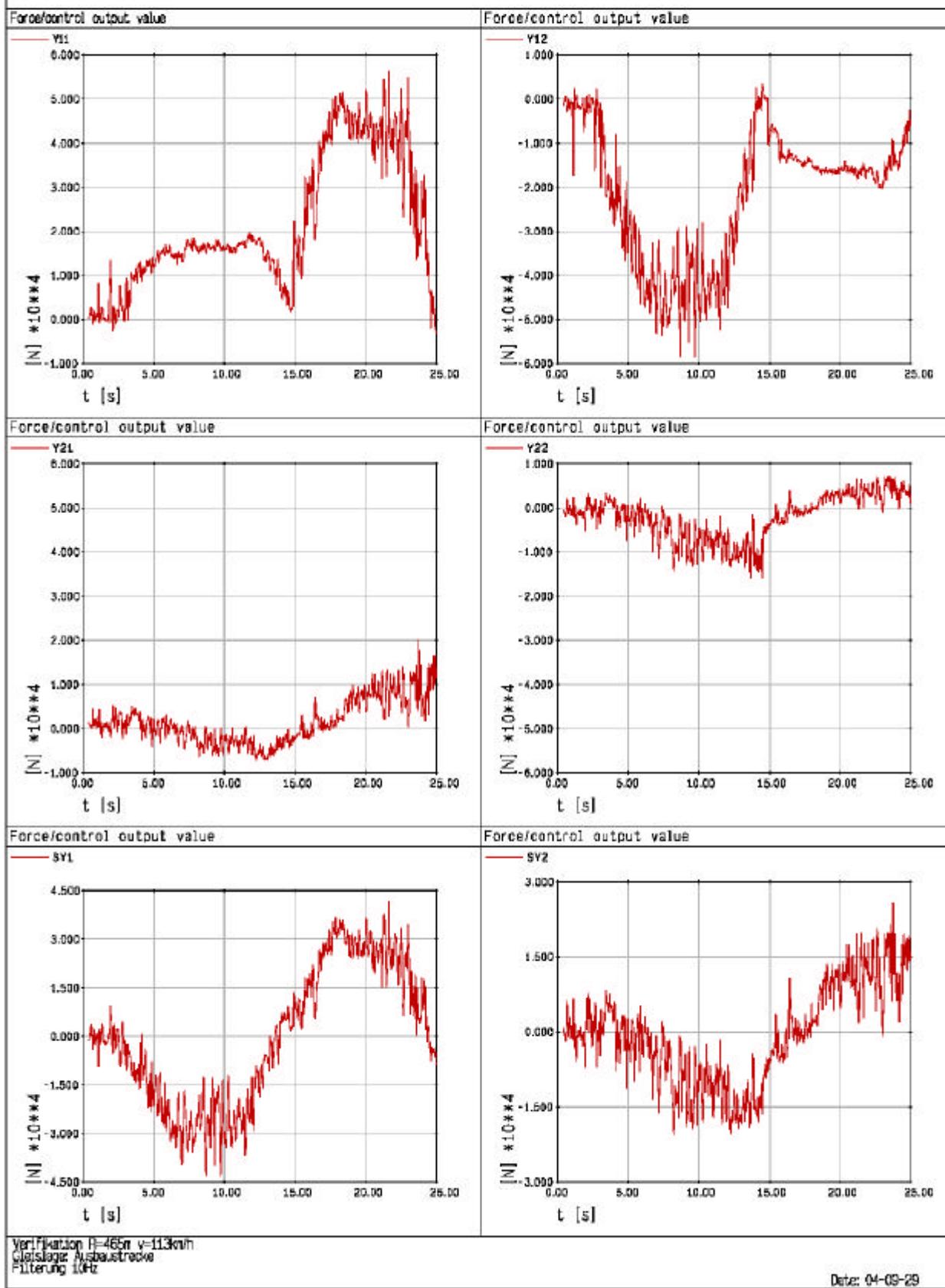
Anlage 1.4: Simulationen für Y- und SY-Kräfte für Bögen < 600m (ohne Gleislageanregung)

Thalys Triebkopf



Anlage 1.5: Simulationen für 10 Hz Q-Kräfte und Bögen < 600m (Gleislageanregung: Ausbaustrecke)

Thalys Triebkopf



Anlage 1.6: Simulationen für 10 Hz Y- SY-Kräfte und Bögen < 600m (Gleislageanregung: Ausbaustrecke)

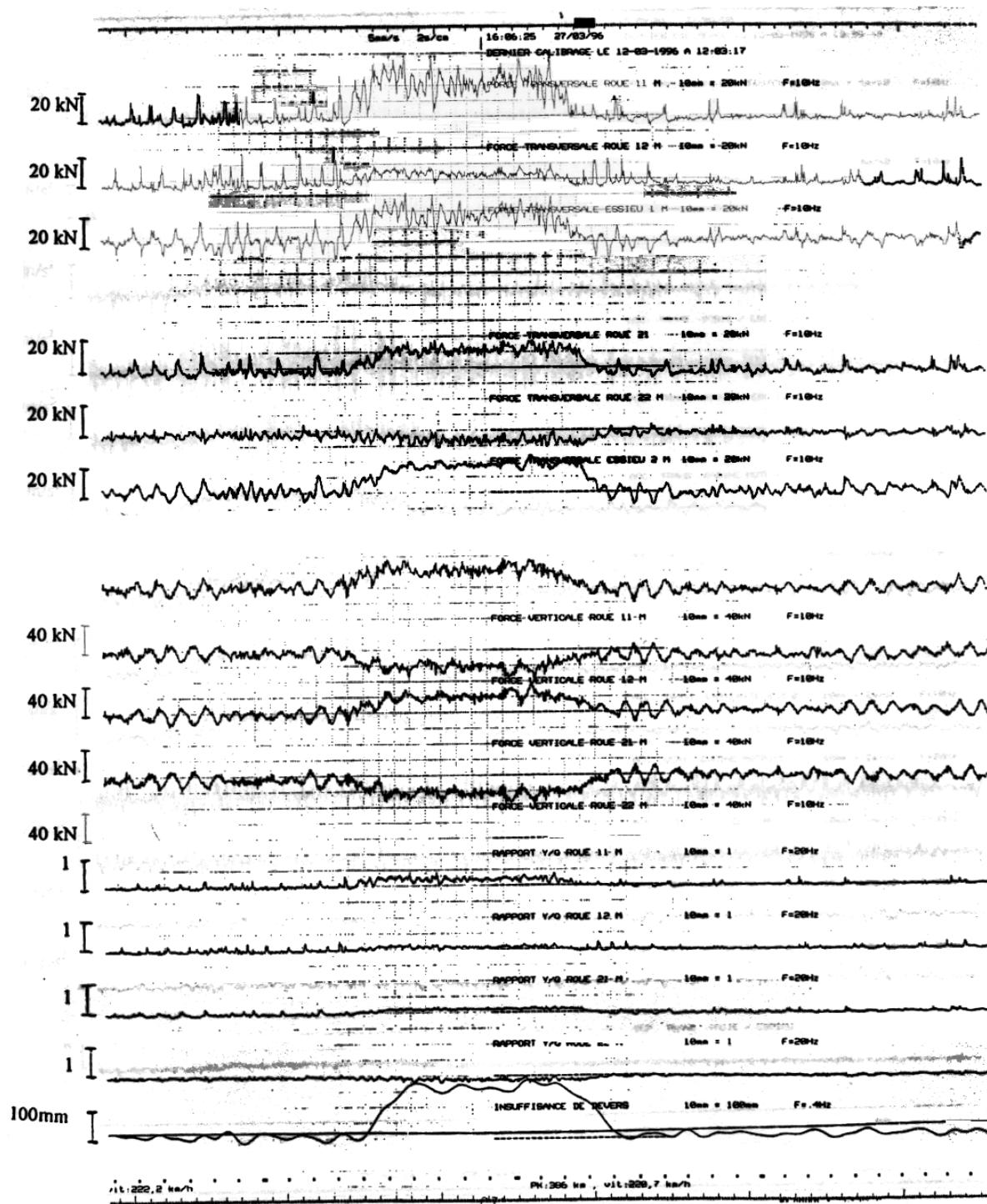
S.N.C.F. 96 D1-4 MTED1 R 96041	TGV R HOMOLOGATION DU POINT DE VUE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE à 320 Km/h	ANNEXE 6 f 5/15
--------------------------------------	---	--------------------

RELEVES D'ENREGISTREMENT GRAPHIQUE

Courbes de rayon > 600 m , à 220 km/h, entre Le Mans et Nantes - Voie

Configuration CN - Suspensions gonflées - Essieu 1 en tête

Forces Y et Q - Bogie moteur



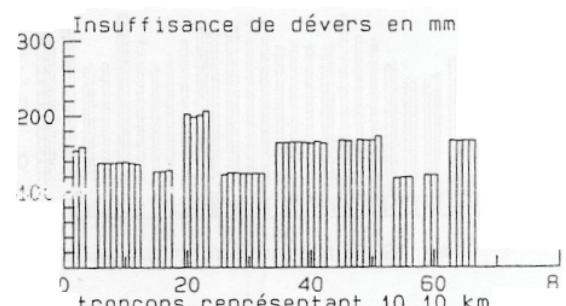
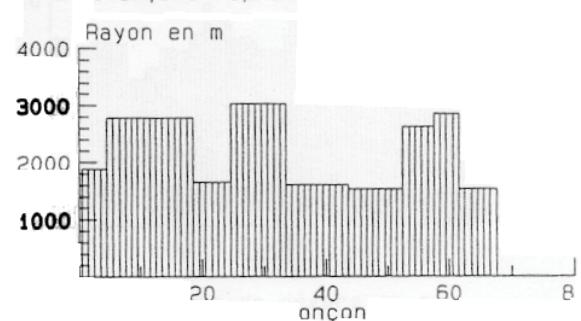
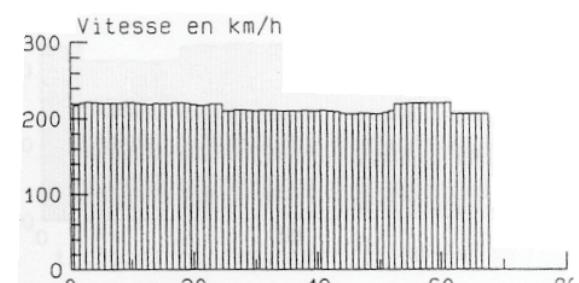
Anlage 2.1: Zeitdaten für Bögen > 600 m aus SNCF-Bericht MTED1 R 96041 Annexe 6 f5/15

S.N.C.F. 96 D1-4 MTED1 R 96041	TGV R HOMOLOGATION DU POINT DE VUE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE à 320 Km/h	ANNEXE 4 f9/10
--------------------------------------	---	-------------------

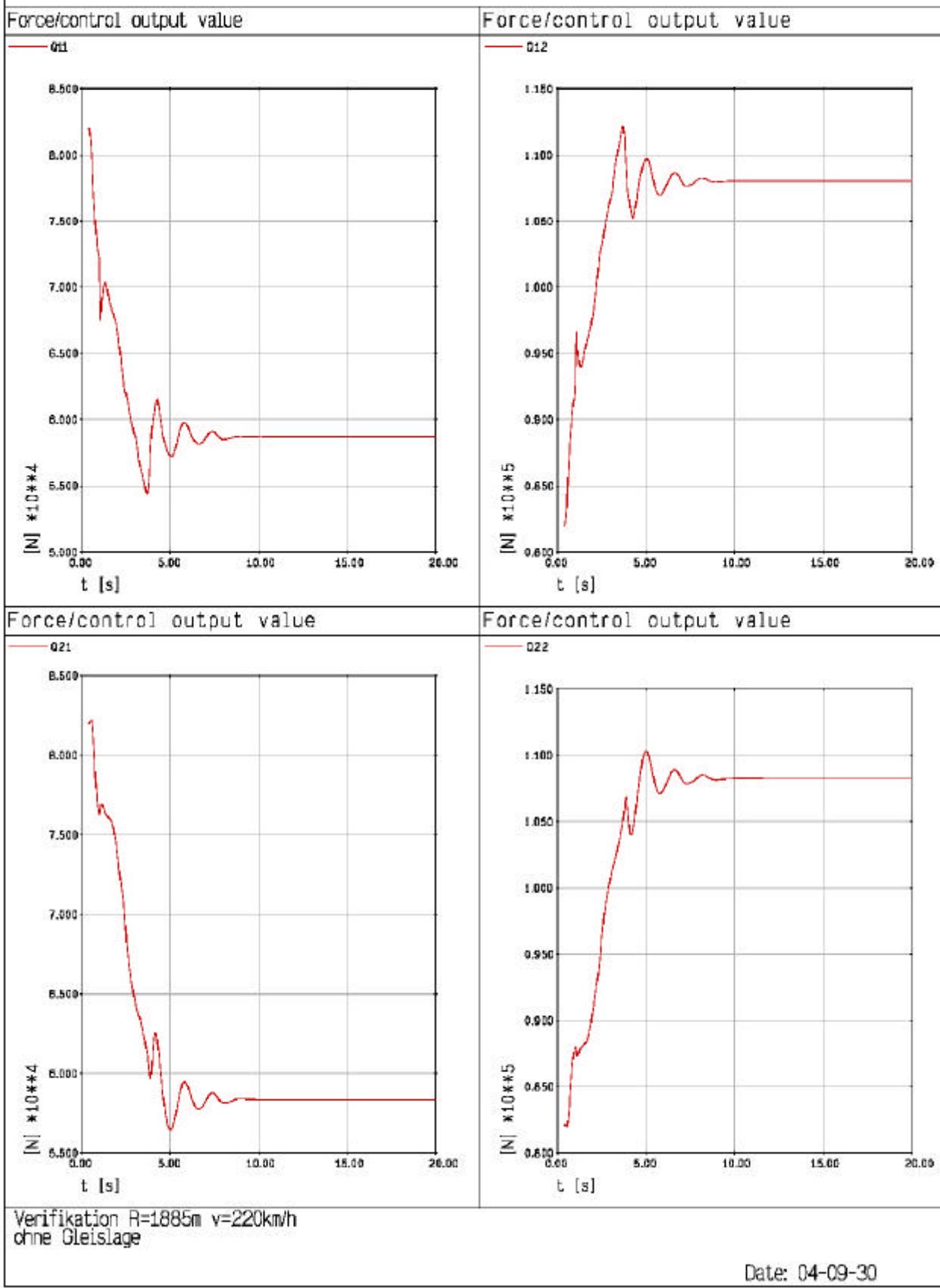
AIEMENT STATISTIQUES

Ligne classique: **LE MANS-NANTES** voie 1/voie 2
 Zones de COURBES de rayons > 600 m, Γ^- à 240 Km/h

COURBES DE GRAND				YON	
Tronçon	PK début	PK fin	T	PK début	PK fin
1	224, 40	224, 60		282, 00	282, 20
2	224, 50	224, 85		282, 20	282, 40
3	224, 95	225, 10		282, 40	282, 60
4	225, 10	225, 40		282, 60	283, 00
5	226, 10	226, 40		285, 40	285, 60
6	226, 40	226, 70		285, 60	285, 80
7	226, 70	227, 00		285, 80	286, 00
8	227, 00	227, 30		286, 00	286, 20
9	227, 30	227, 60		286, 20	286, 40
10	227, 50	227, 90		290, 40	290, 70
11	227, 90	228, 20		290, 70	290, 85
12	228, 20	228, 50		290, 85	291, 00
13	228, 70	229, 00		291, 00	291, 50
14	23, 10	231, 30		375, 40	375, 70
15	23, 30	231, 50		375, 70	375, 90
16	23, 50	231, 70		375, 90	376, 10
17	23, 70	231, 90		376, 10	376, 30
18	23, 90	232, 20		376, 30	376, 50
19	236, 50	236, 80		376, 50	376, 70
20	236, 80	237, 05			
21	237, 05	237, 30			
22	237, 30	237, 55			
23	237, 55	237, 80			
24	237, 80	238, 00			
25	263, 50	263, 80			
26	263, 80	264, 00			
27	264, 00	264, 20			
28	264, 20	264, 40			
29	264, 40	264, 60			
30	264, 60	264, 80			
31	264, 80	265, 00			
32	265, 00	265, 20			
33	265, 20	265, 40			
34	267, 50	267, 80			
35	267, 80	268, 00			
36	268, 00	268, 20			
37	268, 20	268, 40			
38	268, 40	268, 60			
39	268, 50	268, 80			
40	268, 80	269, 00			
41	269, 00	269, 20			
42	269, 20	269, 40			
43	269, 40	269, 70			
44	278, 50	278, 80			
45	278, 80	279, 00			
46	279, 00	279, 20			
47	281, 40	281, 80			
48	281, 80	282, 00			

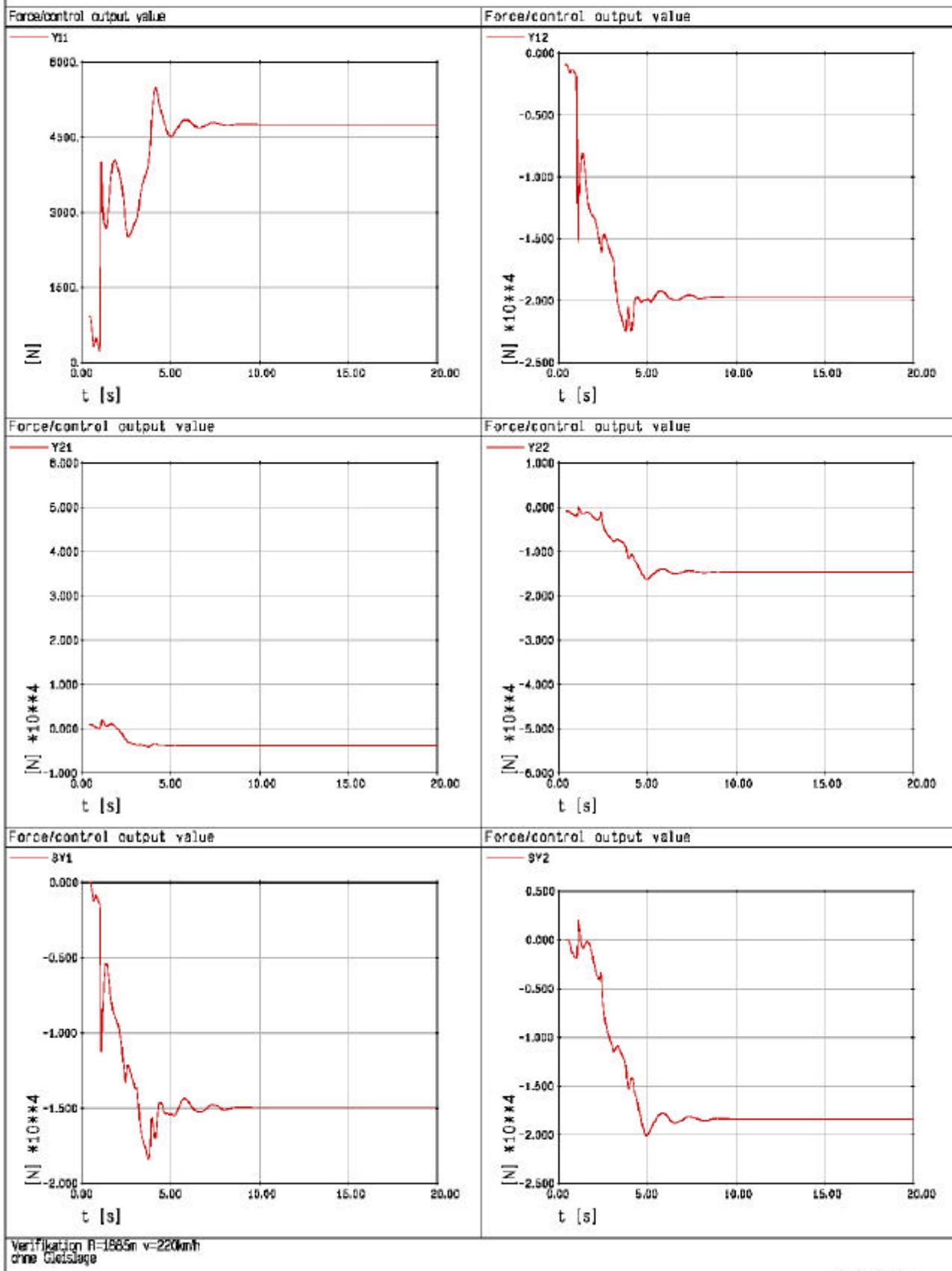


Thalys Triebkopf



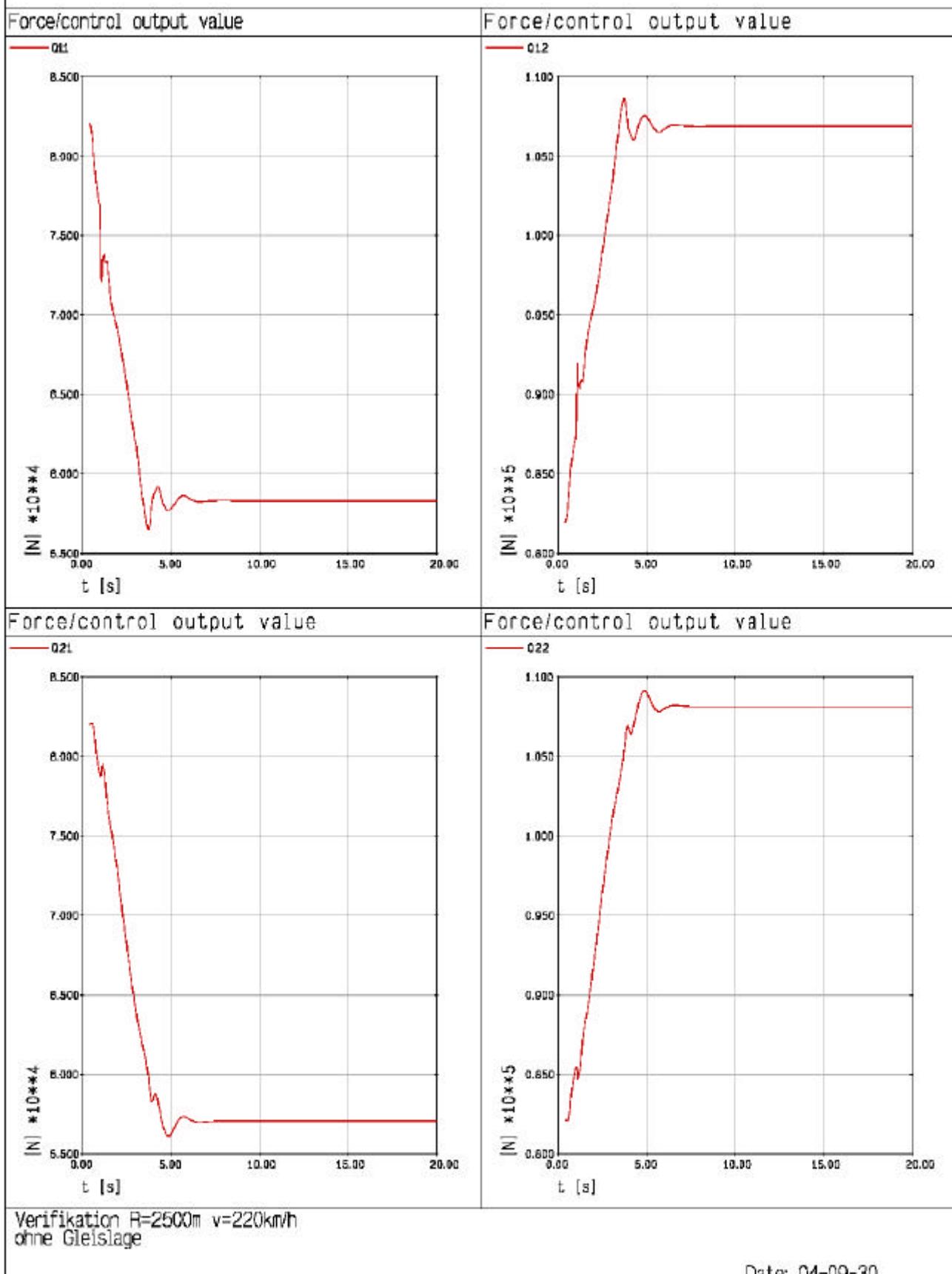
Anlage 2.3: Simulationen für Q-Kräfte R=1885m (ohne Gleislageanregung)

Thalys Triebkopf

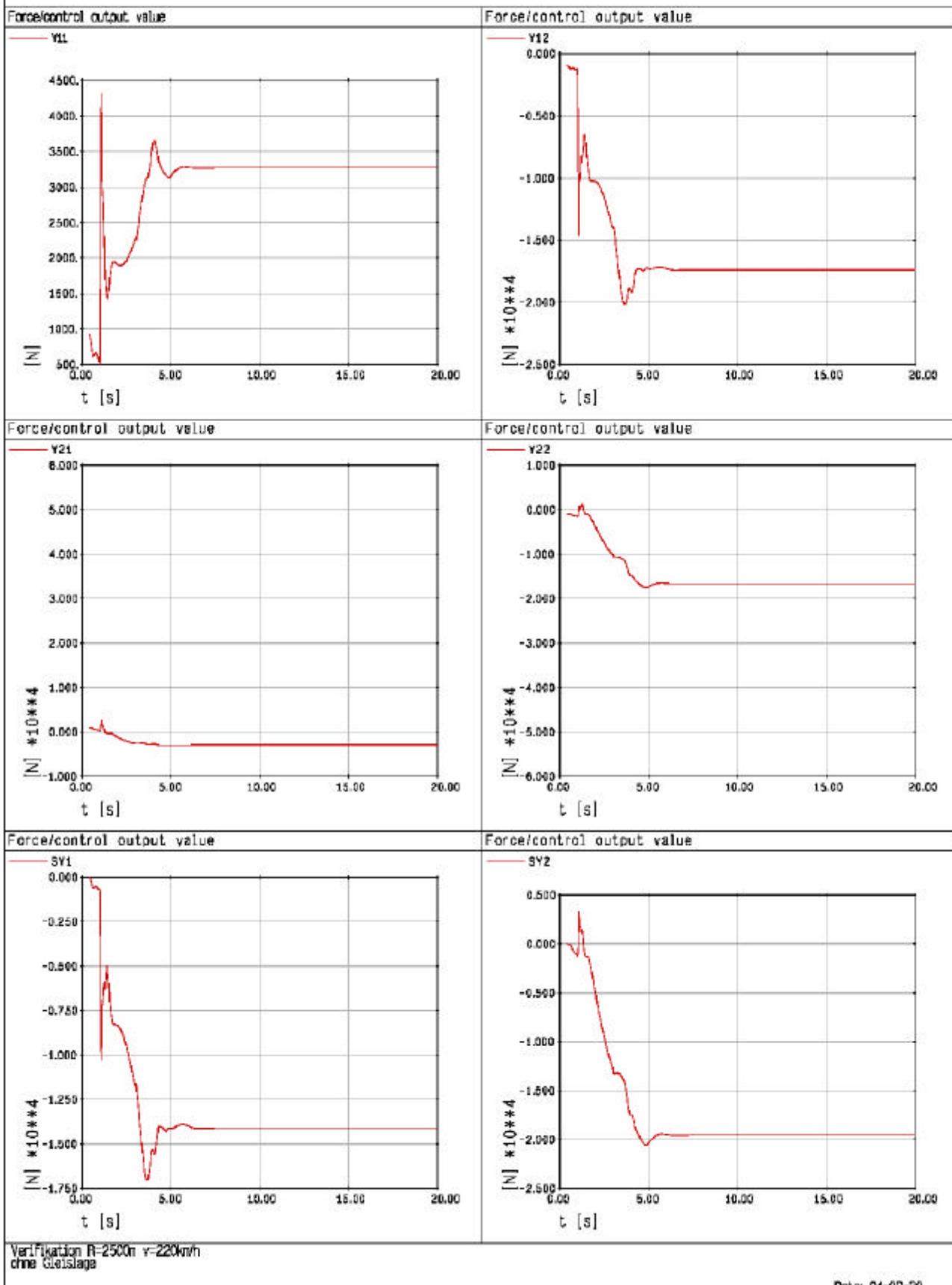


Anlage 2.4: Simulationen für Y- und SY-Kräfte R=1885m (ohne Gleislageanregung)

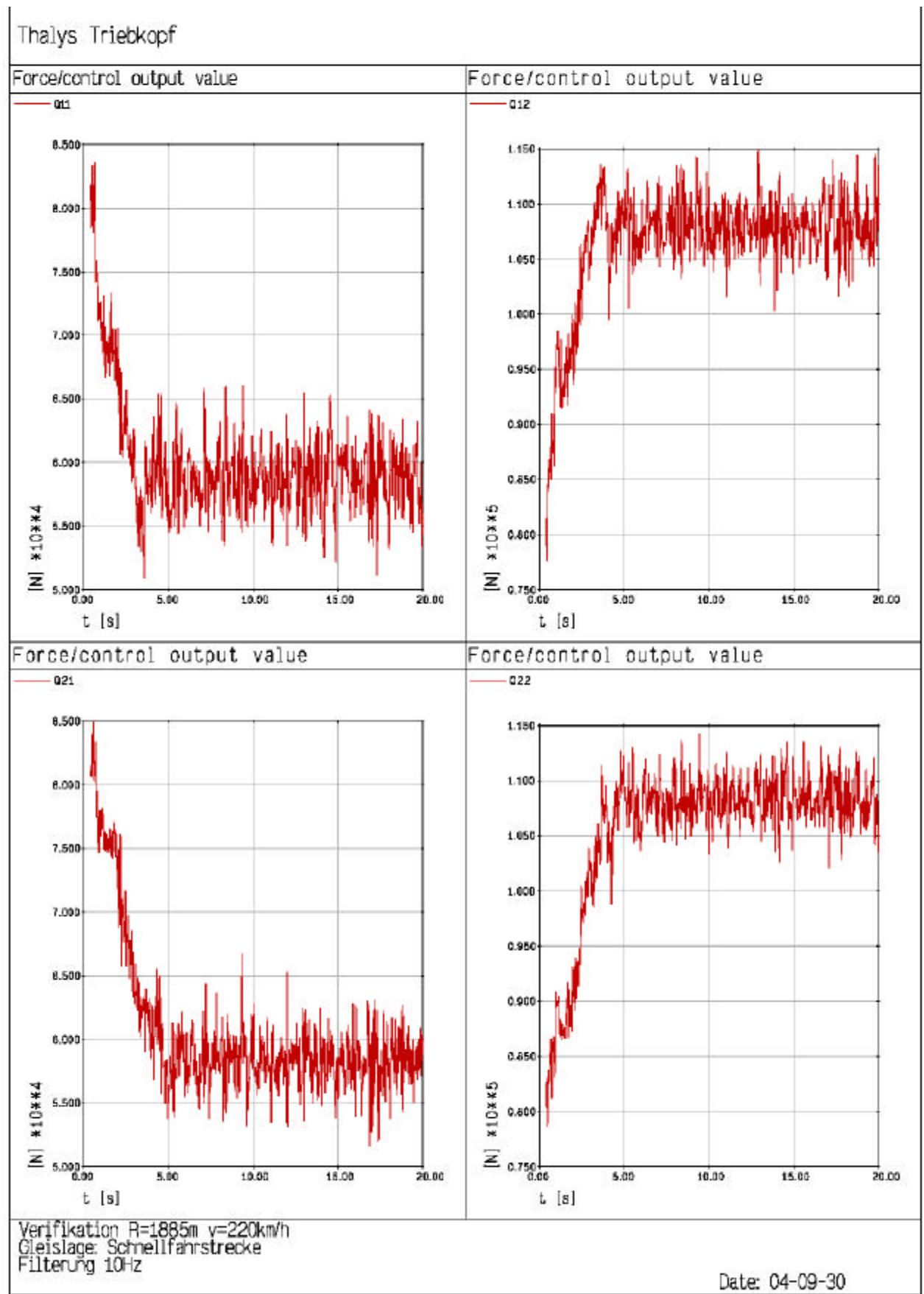
Thalys Triebkopf



Thalys Triebkopf

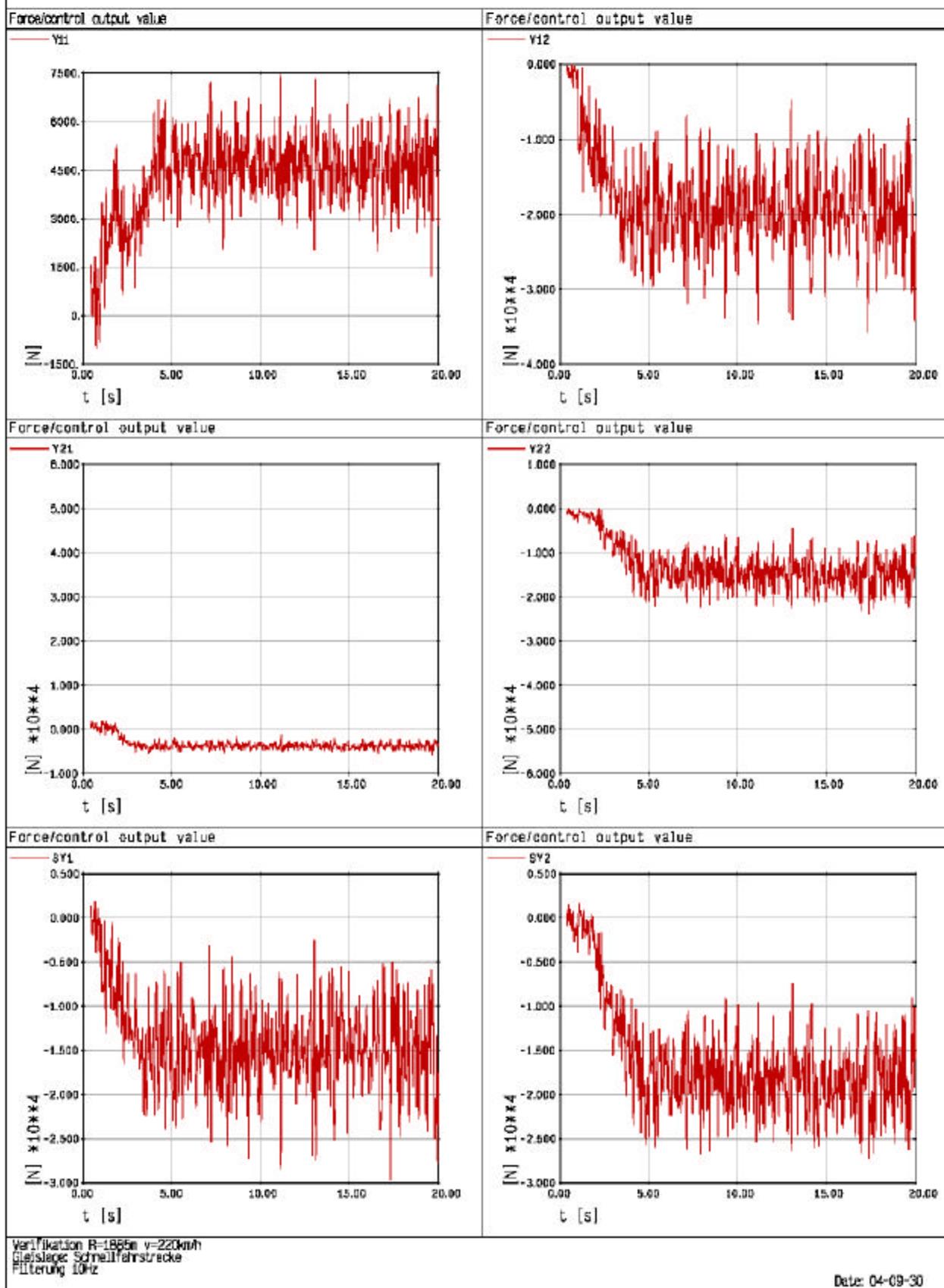


Anlage 2.6: Simulationen für Y- und SY-Kräfte R=2500m (ohne Gleislageanregung)

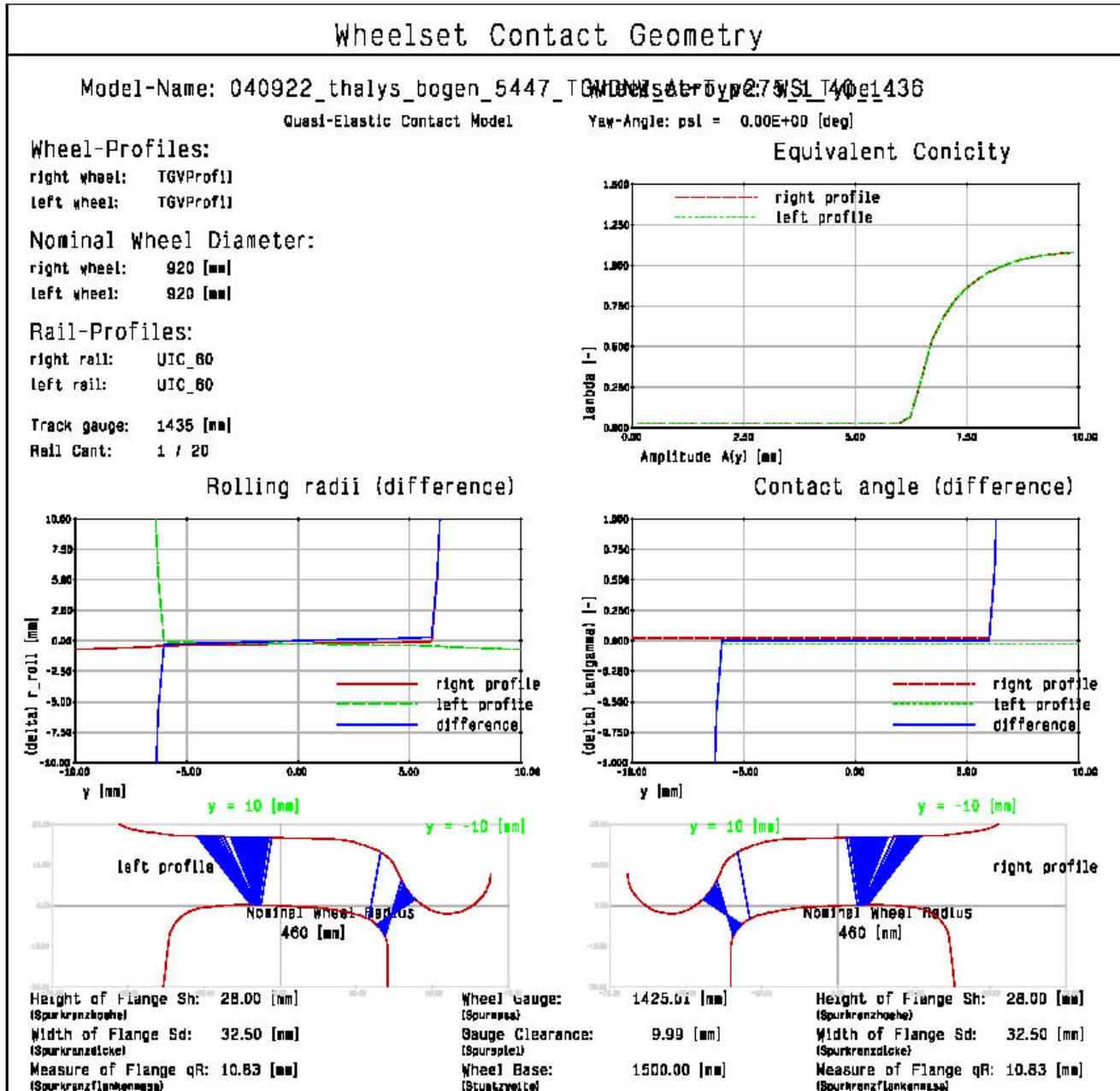


Anlage 2.7: Simulationen für Q-Kräfte R=1885m (Gleislageanregung Schnellfahrstrecke)

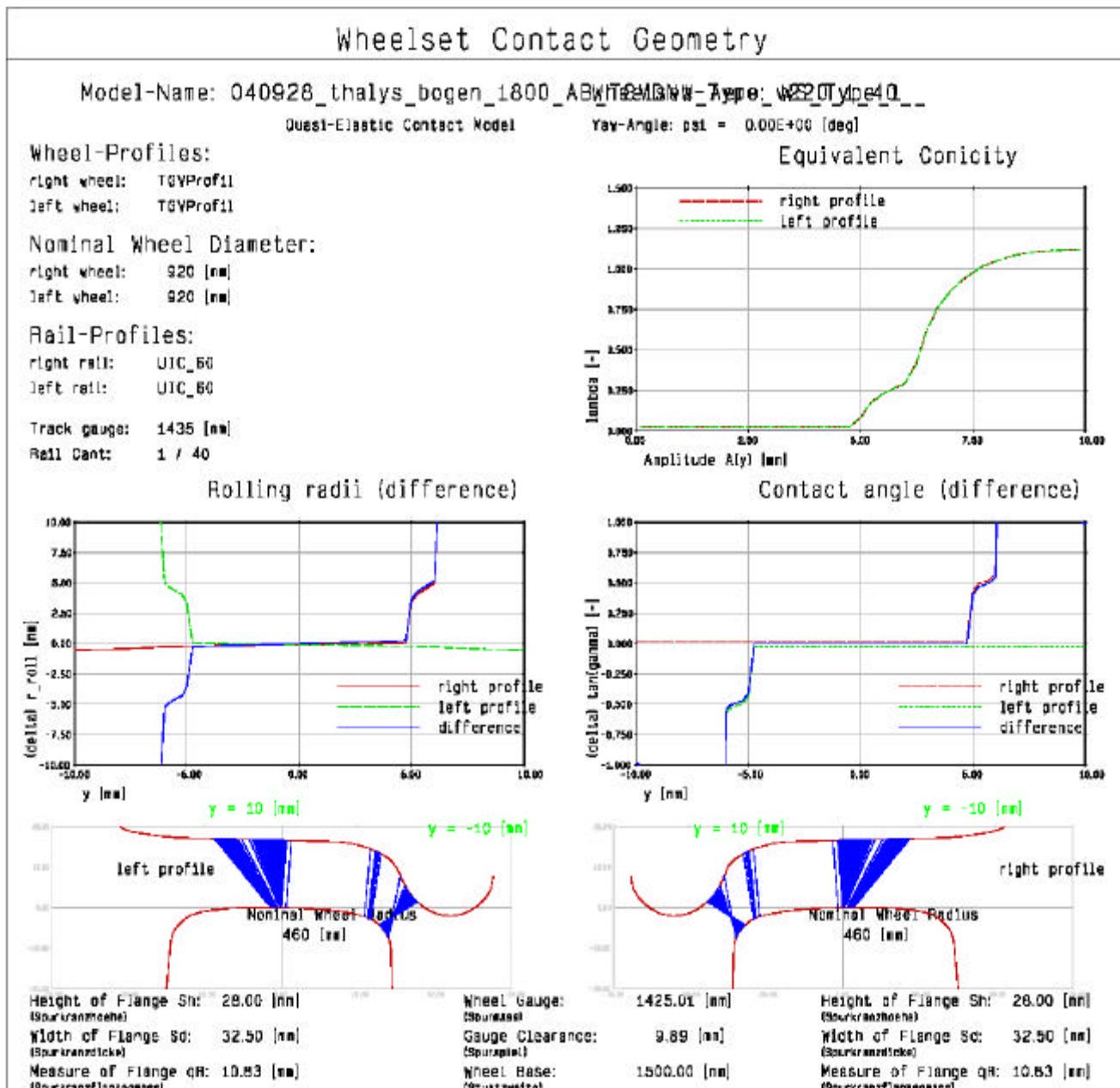
Thalys Triebkopf



Anlage 2.8: Simulationen für Y- und SY-Kräfte R=1885m (Gleislageanregung Schnellfahrstrecke)

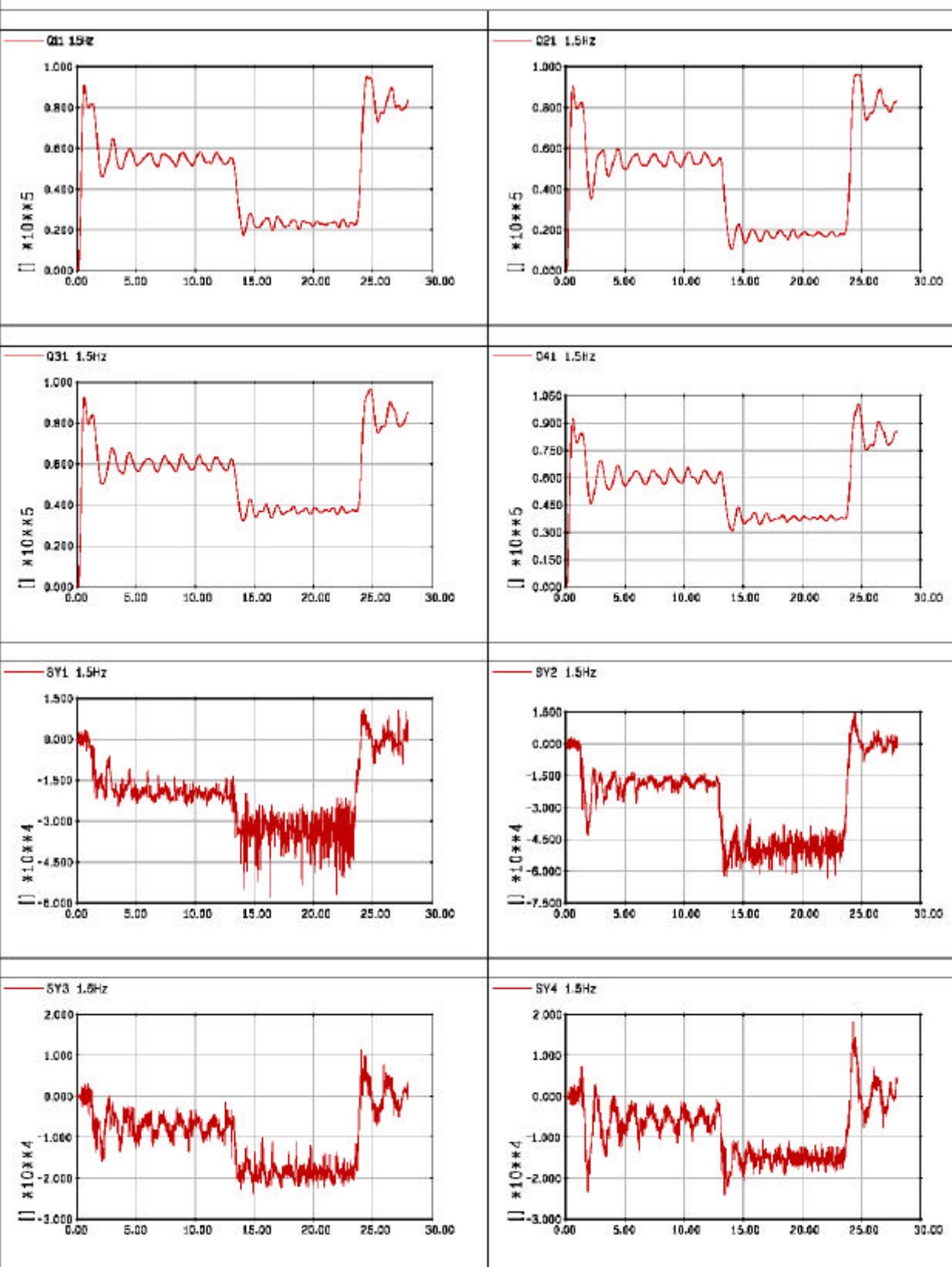


Anlage 3.1: Kontaktgeometrie TGV-Profil / UIC60 Neigung 1/20



Anlage 3.2: Kontaktgeometrie TGV-Profil / UIC60 Neigung 1/40

Thalys PBKA Triebkopf

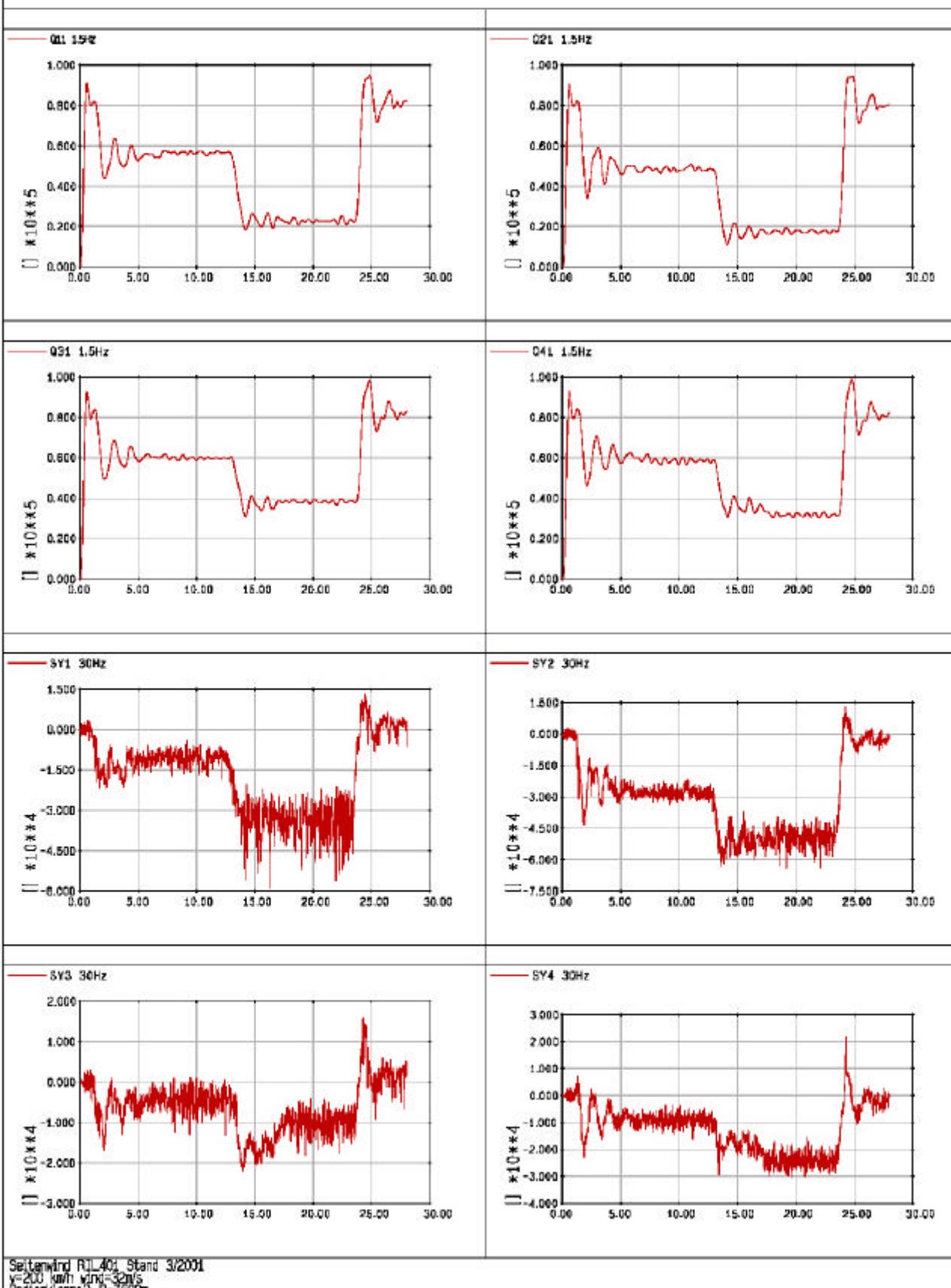


Seitenwind RIL401 Stand 3/2001
 $v=200$ km/h $wind=32$ m/s
 Radienklasse: Gerade

Date: 04-10-01

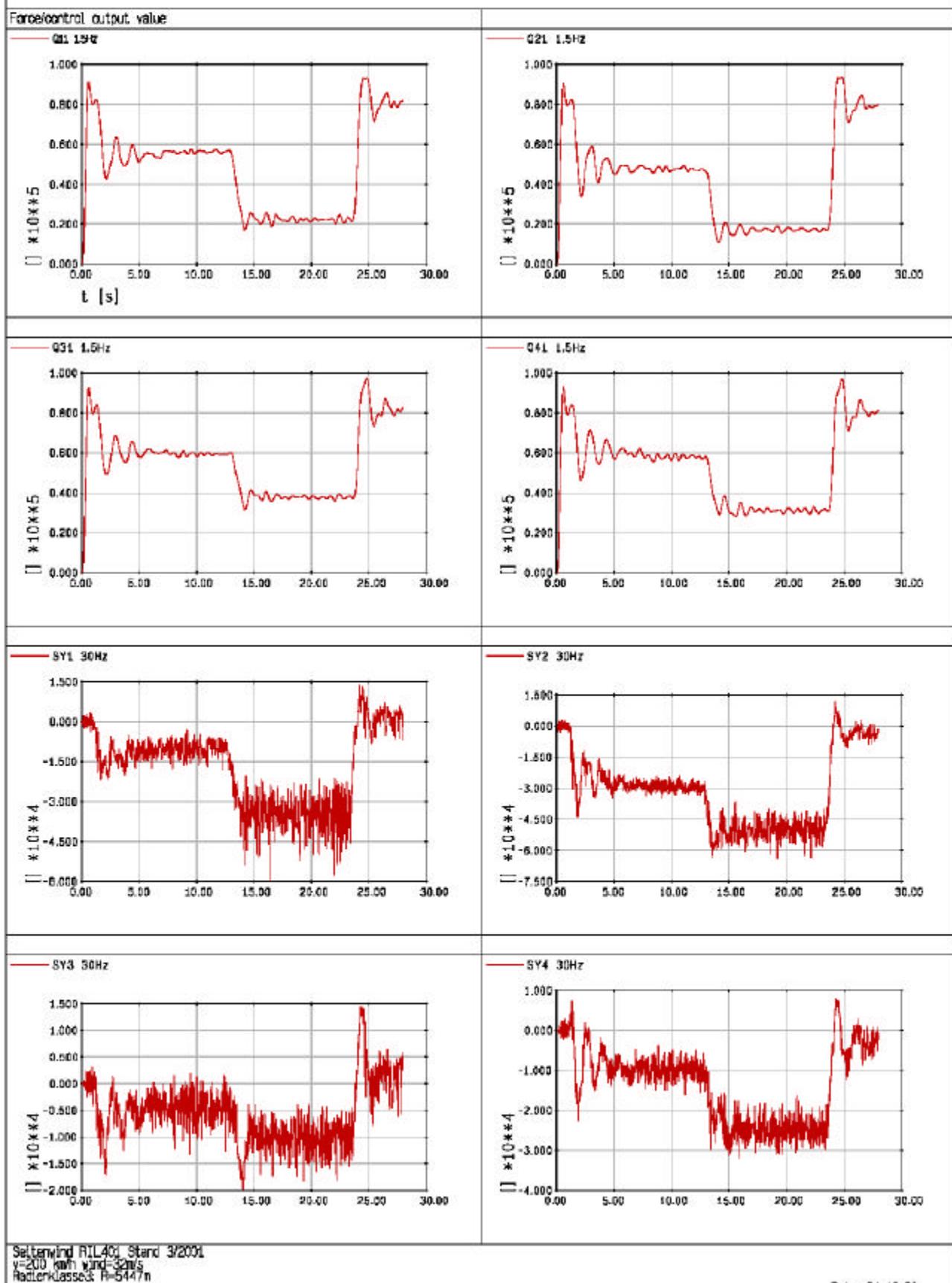
Anlage 4.1: Zeitschriebe Q- und SY-Kräfte für $v=200$ km/h, wind=32m/s, Radienklasse 1 Gerade

Thalys PBKA Triebkopf

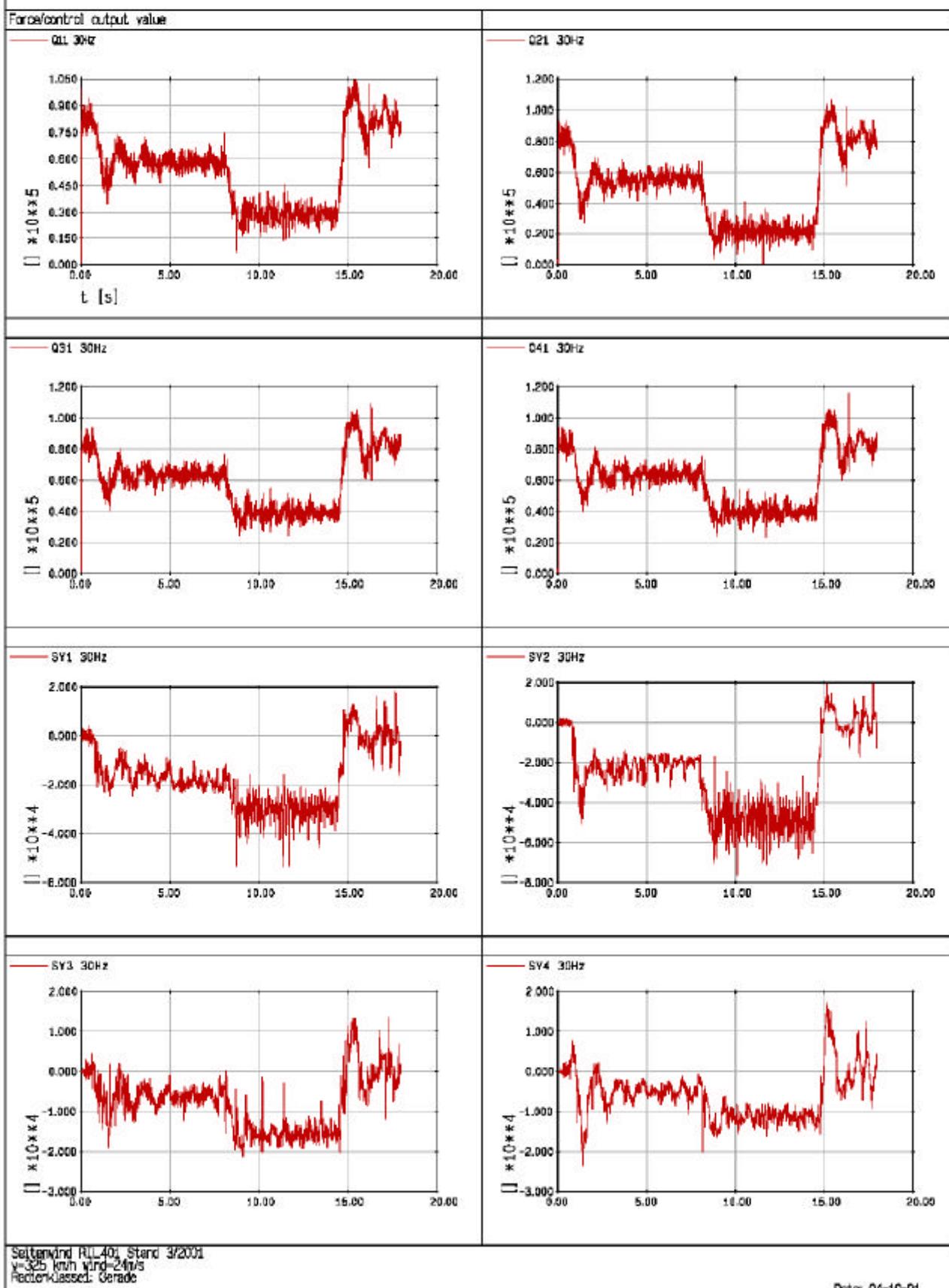


Anlage 4.2: Zeitschriebe Q- und SY-Kräfte für v=200km/h, wind=32m/s, Radierklasse 2 R=7500m

Thalys PBKA Triebkopf

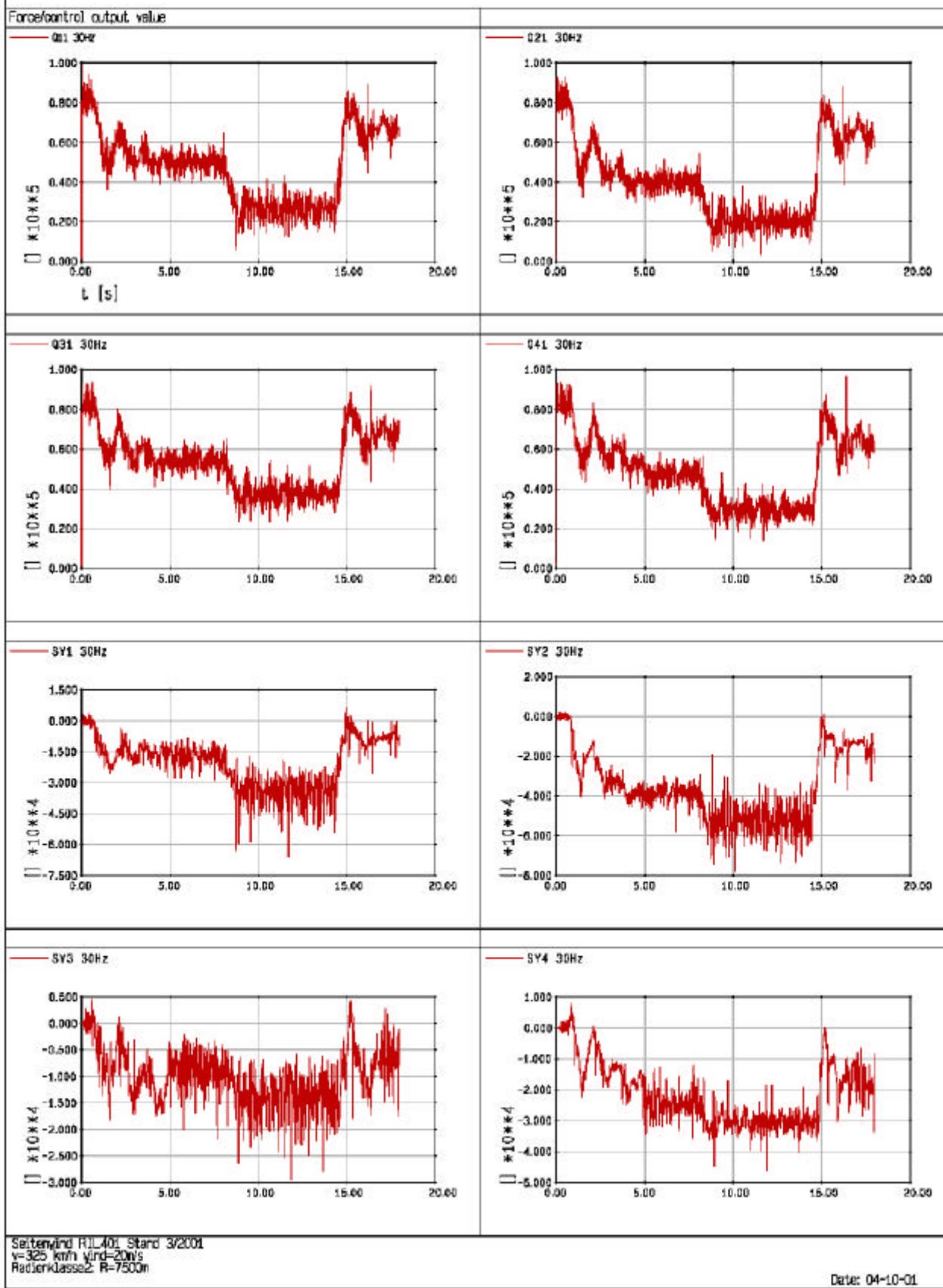


Thalys PBKA Triebkopf



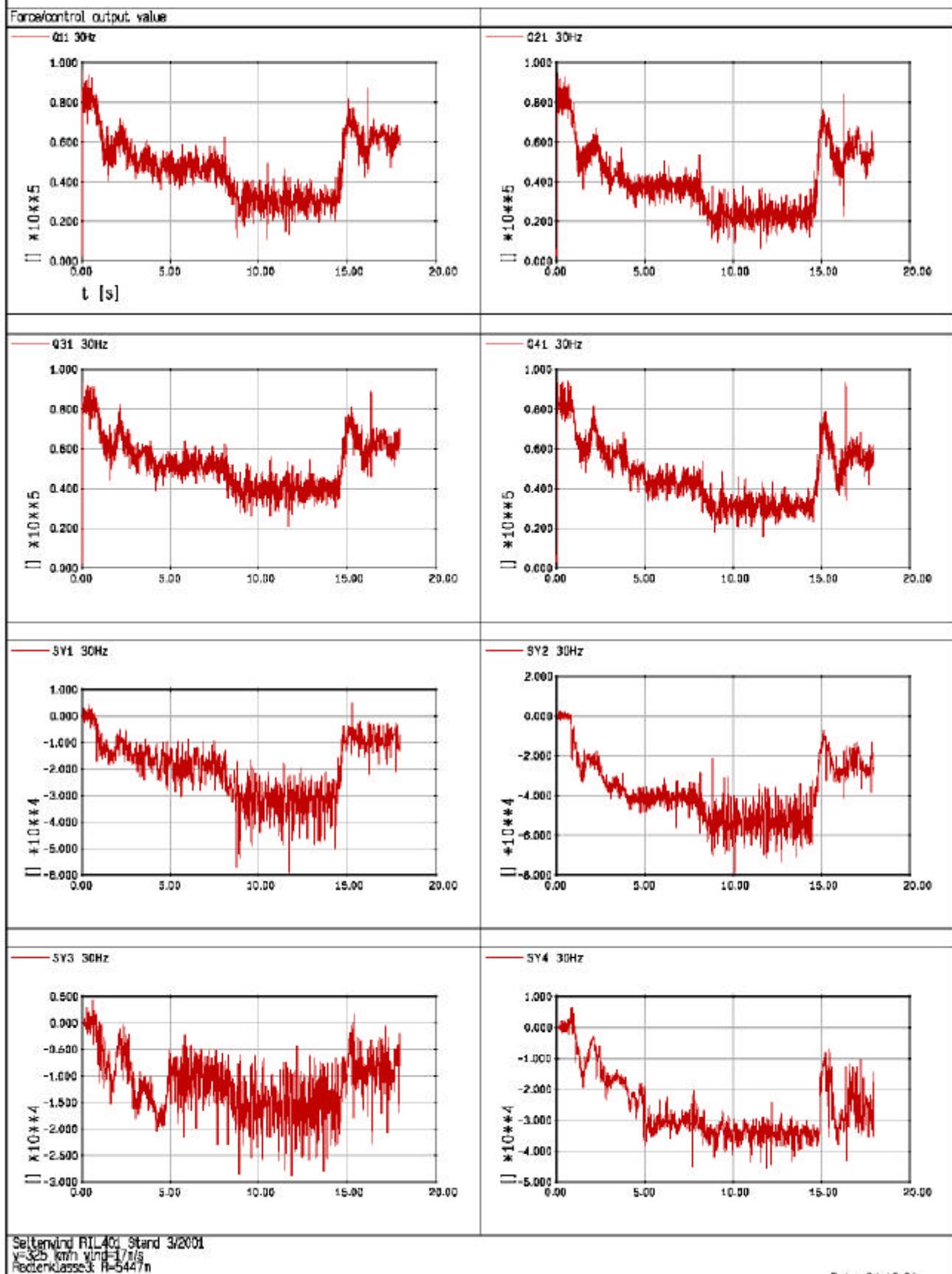
Anlage 4.4: Zeitschriebe Q- und SY-Kräfte für v=325km/h, wind=24m/s, Radienklasse 1 Gerade

Thalys PBKA Triebkopf



Anlage 4.5: Zeitschriebe Q- und SY-Kräfte für v=325km/h, wind=20m/s, Radierklasse 2 R=7500m

Thalys PBKA Triebkopf



Anlage 4.6: Zeitschreibe Q- und SY-Kräfte für v=325km/h, wind=17m/s, Radienklasse 3 R=5447m

