

## **Berechnung der Windkennkurven des ICT-Trafowagens (BR 411/415) nach dem Stufe-2-Verfahren**



Dokument: 04-P-001277-T.TZF95-UN-1180  
WODAN-TP2-V0-T03

Datum: 06.10.2004

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Angaben zum Auftrag .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung und Verfahren .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Koordinatensystem .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Fahrzeugmodellierung .....</b>	<b>3</b>
4.1	Aerodynamik .....	3
<b>5</b>	<b>Szenario .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Berechnung .....</b>	<b>6</b>
6.1	Beurteilungskriterien .....	6
6.2	Berechnungsparameter .....	6
6.3	Variationen .....	6
6.4	Ergebnisse .....	7
6.4.1	Simulationstechnisch ermittelte Werte .....	7
6.4.2	Windkennkurven .....	10
<b>7</b>	<b>Unterschriften .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>14</b>

**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: 14

## 2 Einleitung und Verfahren

Für den ICT-Endwagen BR411/415 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.

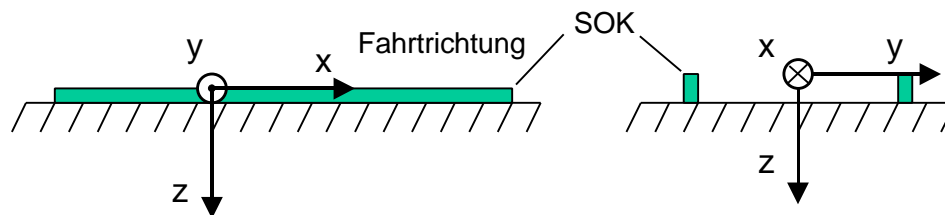


Abbildung 1: Inertiales Koordinatensystem

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 Windkennkurvenberechnung nach der RIL401 Stand März 2001 aufgebaut [1]. Nach einer gutachterlichen Stellungnahme [2] zur ICT-Berechnung wurde das Modell entsprechend überarbeitet [3] und wird in dieser Form für die Berechnung der Windkennkurven nach dem Stufe-2 Verfahren verwendet.

Eine ausführliche Dokumentation des Fahrzeugmodells und der Verifikation ist in den Berichten [1] und [3] enthalten.

### 4.1 Aerodynamik

Da es sich bei dem Fahrzeug um ein Neigetechnikfahrzeug handelt, wird die Aerodynamik für den geraden und 8° geneigten Wagenkasten gemessen. Die aerodynamischen Koeffizienten wurden dem Bericht [1] entnommen. Die aerodynamischen Beiwerte für die Aerodynamik Wagenkasten 8° mit dem Wind geneigt wurde dem Bericht [4] entnommen. Die Beiwerte beziehen sich auf die leeseitige Schienenoberkante. Folgende Beiwerte werden verwendet:

ICT-Endwagen Beiwerte, Wagenkasten senkrecht, Leeseite						
angle	cx	cy	cz	cmx	cm <sub>y</sub>	cm <sub>z</sub>
0	-0,297	0,003	-0,003	-0,004	0,407	-0,016
5	-0,340	-0,494	-0,163	-0,218	0,464	-1,103
10	-0,374	-1,122	-0,608	-0,568	0,408	-1,949
15	-0,338	-1,815	-1,245	-1,016	0,416	-2,801
20	-0,278	-2,617	-1,988	-1,547	0,902	-3,391
25	-0,207	-3,591	-2,574	-2,067	1,764	-3,560
30	-0,103	-4,751	-2,888	-2,669	3,064	-3,351
35	0,015	-5,953	-3,065	-3,321	4,307	-3,320
40	0,154	-7,126	-3,093	-3,948	5,087	-3,751

45	0,318	-8,122	-2,843	-4,376	5,068	-4,503
50	0,516	-9,048	-2,800	-4,838	5,813	-5,378
55	0,705	-9,880	-2,864	-5,299	7,402	-6,145
60	0,901	-10,456	-3,141	-5,662	8,847	-6,863
75	0,874	-8,557	-1,239	-4,134	3,391	-0,652
90	0,732	-8,122	-0,760	-3,846	2,854	2,626

ICT-Endwagen Beiwerte 8° gegen Wind geneigt, Leeseite						
angle	cx	cy	cz	cmx	cmz	cmz
0	-0,322	-0,045	-0,047	0,000	0,424	0,171
5	-0,375	-0,533	-0,229	-0,246	0,586	-0,865
10	-0,419	-1,144	-0,686	-0,651	0,507	-1,740
15	-0,387	-1,860	-1,280	-1,156	0,614	-2,393
20	-0,328	-2,703	-2,024	-1,746	1,252	-3,018
25	-0,218	-3,708	-2,581	-2,357	2,472	-3,307
30	-0,104	-4,810	-2,886	-2,975	4,104	-3,223
35	0,023	-6,098	-3,026	-3,661	5,949	-3,244
40	0,154	-7,197	-3,119	-4,239	6,984	-3,660
45	0,322	-8,178	-3,193	-4,803	7,410	-4,506
50	0,537	-9,144	-3,258	-5,278	8,247	-5,375
55	0,685	-9,922	-3,276	-5,702	9,414	-6,165
60	0,873	-10,438	-3,495	-5,982	10,619	-6,593

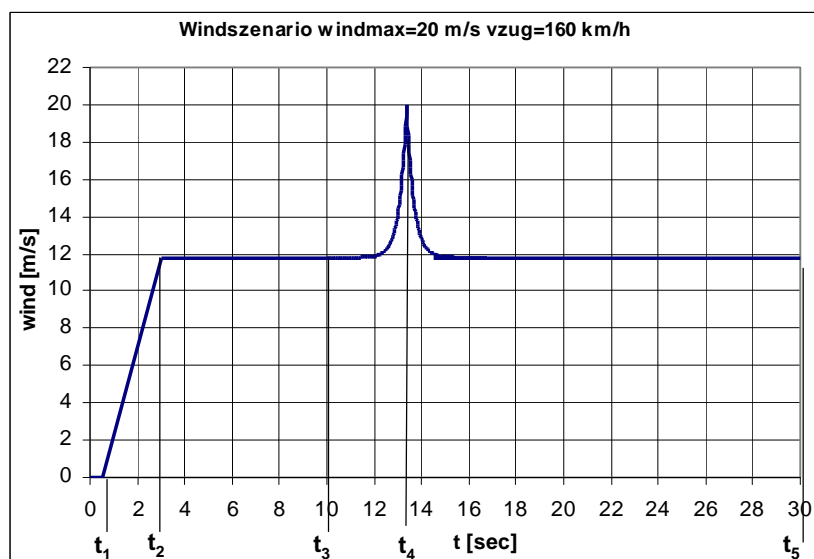
ICT-Endwagen, 8° mit Wind geneigt, Leeseite						
angle	cx	cy	cz	cmx	cmz	cmz
0	-0,323	-0,068	-0,400	-0,075	-1,111	0,048
5	-0,383	-0,452	-0,510	-0,296	-1,089	-0,977
10	-0,390	-1,042	-0,885	-0,580	-1,192	-1,815
15	-0,369	-1,752	-1,456	-0,983	-1,066	-2,619
20	-0,319	-2,532	-2,192	-1,440	-0,713	-3,246
25	-0,274	-3,568	-2,843	-1,969	0,422	-3,202
30	-0,161	-4,903	-3,116	-2,607	2,087	-2,706
35	-0,030	-6,189	-3,008	-3,248	3,184	-2,438
40	0,134	-7,553	-2,884	-3,915	4,084	-2,862
45	0,311	-8,743	-2,609	-4,484	4,759	-3,527
50	0,492	-9,662	-2,876	-4,978	5,840	-4,482
55	0,678	-10,393	-3,402	-5,464	7,683	-5,384
60	0,880	-10,885	-4,133	-5,904	9,167	-6,184

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 Windszenario *chinese hat* verwendet [5]. 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
$[t_0:t_1]$	$v(t) = 0$
$[t_1:t_2]$	$v(t) = \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t - \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t_1$
$[t_2:t_3]$	$v(t) = v_{mean}$
$[t_3:t_4]$	$v(t) = \text{reverse chinese hat (Gleichungen siehe [5])}$
$[t_4:t_5]$	$v(t) = \text{chinese hat (Gleichungen siehe [5])}$

## 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 ICT-Endwagen beträgt die Q0-Kraft für alle Räder:

$$Q_{0ij} = 68570 \text{ N}$$

### 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  $v_{\max}=230 \text{ km/h}$  und die maximale Querbeschleunigung des Fahrzeugs  $a_{q\max}=2,0 \text{ m/s}^2$ . Ab einer Querbeschleunigung von  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$  wird der Wagenkasten geneigt. Folgende Punkte werden durch MKS-Simulation mit entsprechender Aerodynamik berechnet:

#### 1. ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen

- Anströmwinkel  $90^\circ$ ,  $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel  $90^\circ$ ,  $a_q=0,5 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel  $90^\circ$ ,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel  $80^\circ, 60^\circ, 40^\circ, 20^\circ, 10^\circ$
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=0,5 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel  $80^\circ, 60^\circ, 40^\circ, 20^\circ, 10^\circ$
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel  $80^\circ, 60^\circ, 40^\circ, 20^\circ, 10^\circ$

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

- Anströmwinkel 90°,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel 90°,  $a_q=1,6 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel 90°,  $a_q=2,0 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=1,6 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=2,0 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°

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

- Anströmwinkel 90°,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel 90°,  $a_q=1,6 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- Anströmwinkel 90°,  $a_q=2,0 \text{ m/s}^2$ ,  $v=80 \text{ km/h} - 240 \text{ km/h}$
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=1,6 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°
- $v=230 \text{ km/h}$ ,  $a_q=2,0 \text{ m/s}^2$ , Anströmwinkel 80°, 60°, 40°, 20°, 10°

**6.4 Ergebnisse****6.4.1 Simulationstechnisch ermittelte Werte**

Folgende Windkennwerte wurden simulationstechnisch ermittelt:

**Tabelle 1: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICT-Endwagen, ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen**

<b>WKK ICT-Endwagen</b>			
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel 90°			
wind [m/s]	<b><math>a_q \text{ [m/s}^2\text{]}</math></b>		
<b>v [km/h]</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>
<b>80</b>	54,05	48,10	37,52
<b>100</b>	46,74	43,20	36,20
<b>120</b>	45,55	42,33	35,49
<b>140</b>	44,68	41,34	33,76
<b>160</b>	42,73	39,27	32,80
<b>180</b>	41,45	38,31	32,13
<b>200</b>	40,49	37,52	31,65
<b>220</b>	39,86	36,97	30,65
<b>240</b>	39,15	36,19	29,60

**Tabelle 2: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICT-Endwagen. für verschiedene Windwinkel bei  $v_{\max}=230$  km/h**

<b>WKK ICT-Endwagen</b>			
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, $v_{\max}=230$ km/h			
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]		
alpha [Grad]	0,0	0,5	1,0
80	39,29	36,28	29,69
60	42,17	38,61	31,81
40	52,87	48,38	40,15
20	86,68	80,11	66,1
10	139,15	128,76	106,3

**Tabelle 3: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICT-Endwagen, mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen**

<b>WKK ICT-Endwagen</b>			
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel 90°			
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]		
v [km/h]	1,0	1,6	2,0
80	39,46	34,61	31,38
100	37,83	33,08	29,78
120	36,40	31,63	28,10
140	35,06	30,00	26,86
160	33,66	29,41	26,44
180	32,88	28,66	25,68
200	31,97	27,91	25,29
220	30,94	27,32	24,41
240	30,05	26,73	23,67

**Tabelle 4: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICT-Endwagen. für verschiedene Windwinkel bei  $v_{\max}=230$  km/h**

<b>WKK ICT-Endwagen</b>			
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, $v_{\max}=230$ km/h			
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]		
alpha [Grad]	1,0	1,6	2,0
80	30,29	26,89	24,45
60	32,54	29,04	26,15
40	41,38	36,50	32,62
20	68,31	60,12	53,64
10	110,79	98,09	88,10



**Tabelle 5: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICT-Endwagen, mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen**

<b>WKK ICT-Endwagen</b>			
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, Anströmwinkel 90°			
<b>wind [m/s]</b>	<b>aq [m/s²]</b>		
<b>v [km/h]</b>	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>
<b>80</b>	51,85	53,68	55,15
<b>100</b>	51,43	53,47	54,85
<b>120</b>	50,66	52,82	54,51
<b>140</b>	49,90	52,29	53,78
<b>160</b>	48,65	51,15	52,77
<b>180</b>	47,61	50,26	51,87
<b>200</b>	46,63	49,12	50,62
<b>220</b>	46,38	48,47	49,85
<b>240</b>	45,34	48,38	49,69

**Tabelle 6: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICT-Endwagen. für verschiedene Windwinkel bei vmax=230 km/h**

<b>WKK ICT-Endwagen</b>			
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, vmax=230 km/h			
<b>wind [m/s]</b>	<b>aq [m/s²]</b>		
<b>alpha [Grad]</b>	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>
<b>80</b>	45,62	48,39	49,90
<b>60</b>	51,91	53,85	55,16
<b>40</b>	67,05	69,49	71,09
<b>20</b>	114,74	120,37	123,18
<b>10</b>	200,00	200,00	200,00

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 7: WKK ICT-Endwagen Wind von bogeninnen,  $a_q=0,0 \text{ m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$ , Wagenkasten gerade, ohne Neigetechnik**

<b>ICT-Endwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren</b>											
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel $90^\circ$											
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]										
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	54,1	52,9	51,7	50,5	49,3	48,1	46,0	43,9	41,8	39,6	37,5
90	50,4	49,4	48,5	47,5	46,6	45,7	43,9	42,1	40,4	38,6	36,9
100	46,7	46,0	45,3	44,6	43,9	43,2	41,8	40,4	39,0	37,6	36,2
110	46,1	45,5	44,8	44,1	43,4	42,8	41,4	40,0	38,6	37,2	35,8
120	45,6	44,9	44,3	43,6	43,0	42,3	41,0	39,6	38,2	36,9	35,5
130	45,1	44,5	43,8	43,1	42,5	41,8	40,4	39,0	37,5	36,1	34,6
140	44,7	44,0	43,3	42,7	42,0	41,3	39,8	38,3	36,8	35,3	33,8
150	43,7	43,0	42,3	41,7	41,0	40,3	38,9	37,5	36,1	34,7	33,3
160	42,7	42,0	41,3	40,7	40,0	39,3	38,0	36,7	35,4	34,1	32,8
170	42,1	41,4	40,8	40,1	39,5	38,8	37,5	36,3	35,0	33,7	32,5
180	41,5	40,8	40,2	39,6	38,9	38,3	37,1	35,8	34,6	33,4	32,1
190	41,0	40,4	39,7	39,1	38,5	37,9	36,7	35,5	34,3	33,1	31,9
200	40,5	39,9	39,3	38,7	38,1	37,5	36,3	35,2	34,0	32,8	31,7
210	40,2	39,6	39,0	38,4	37,8	37,2	36,0	34,8	33,6	32,4	31,2
220	39,9	39,3	38,7	38,1	37,5	37,0	35,7	34,4	33,2	31,9	30,7
230	39,5	38,9	38,3	37,8	37,2	36,6	35,3	34,0	32,7	31,4	30,1
240	39,2	38,6	38,0	37,4	36,8	36,2	34,9	33,6	32,2	30,9	29,6

**Tabelle 8: ICT-Endwagen Wind von bogeninnen,  $a_q=0,0 \text{ m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$ , Wagenkasten gerade, ohne Neigetechnik,  $v_{\max}=230 \text{ km/h}$**

<b>ICT-Endwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren</b>											
ohne Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten gerade, Wind von bogeninnen, $v_{\max}=230 \text{ km/h}$											
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]										
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	39,3	38,7	38,1	37,5	36,9	36,3	35,0	33,6	32,3	31,0	29,7
70	40,7	40,1	39,4	38,8	38,1	37,4	36,1	34,8	33,4	32,1	30,8
60	42,2	41,5	40,7	40,0	39,3	38,6	37,3	35,9	34,5	33,2	31,8
50	47,5	46,7	45,9	45,1	44,3	43,5	42,0	40,5	39,0	37,5	36,0
40	52,9	52,0	51,1	50,2	49,3	48,4	46,7	45,1	43,4	41,8	40,2
30	69,8	68,7	67,6	66,5	65,4	64,2	62,0	59,8	57,6	55,3	53,1
20	86,7	85,4	84,1	82,7	81,4	80,1	77,3	74,5	71,7	68,9	66,1
10	139,2	137,1	135,0	132,9	130,8	128,8	124,3	119,8	115,3	110,8	106,3

**Tabelle 9: WKK ICT-Endwagen Wind von bogeninnen,  $aq=1,0 \text{ m/s}^2$  -  $2,0 \text{ m/s}^2$ , Wagenkasten  $8^\circ$  gegen Wind geneigt, mit Neigetechnik**

<b>ICT-Endwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren</b>											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten $8^\circ$ gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel $90^\circ$											
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]										
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	39,5	38,7	37,8	37,0	36,2	35,4	34,6	33,8	33,0	32,2	31,4
90	38,6	37,8	37,0	36,2	35,4	34,6	33,8	33,0	32,2	31,4	30,6
100	37,8	37,0	36,2	35,5	34,7	33,9	33,1	32,3	31,4	30,6	29,8
110	37,1	36,3	35,5	34,7	33,9	33,1	32,4	31,5	30,6	29,8	28,9
120	36,4	35,6	34,8	34,0	33,2	32,4	31,6	30,7	29,9	29,0	28,1
130	35,7	34,9	34,1	33,3	32,5	31,6	30,8	30,0	29,1	28,3	27,5
140	35,1	34,2	33,4	32,5	31,7	30,8	30,0	29,2	28,4	27,6	26,9
150	34,4	33,6	32,8	32,0	31,3	30,5	29,7	28,9	28,2	27,4	26,7
160	33,7	33,0	32,2	31,5	30,8	30,1	29,4	28,7	27,9	27,2	26,4
170	33,3	32,6	31,9	31,2	30,4	29,7	29,0	28,3	27,5	26,8	26,1
180	32,9	32,2	31,5	30,8	30,1	29,4	28,7	27,9	27,2	26,4	25,7
190	32,4	31,7	31,0	30,4	29,7	29,0	28,3	27,6	26,9	26,2	25,5
200	32,0	31,3	30,6	29,9	29,3	28,6	27,9	27,3	26,6	25,9	25,3
210	31,5	30,8	30,2	29,5	28,9	28,3	27,6	26,9	26,2	25,5	24,9
220	30,9	30,3	29,7	29,1	28,5	27,9	27,3	26,6	25,9	25,1	24,4
230	30,5	29,9	29,3	28,8	28,2	27,6	27,0	26,3	25,5	24,8	24,0
240	30,1	29,5	28,9	28,4	27,8	27,3	26,7	26,0	25,2	24,4	23,7

**Tabelle 10: WKK ICT-Endwagen Wind von bogeninnen,  $aq=1,0 \text{ m/s}^2$  -  $2,0 \text{ m/s}^2$ , Wagenkasten  $8^\circ$  gegen Wind geneigt, mit Neigetechnik, verschiedene Anströmwinkel**

<b>ICT-Endwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren</b>											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten $8^\circ$ gegen Wind geneigt, Wind von bogeninnen, Anströmwinkel $90^\circ$ , $v_{\max}=230 \text{ km/h}$											
wind [m/s]	aq [m/s <sup>2</sup> ]										
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	30,3	29,7	29,2	28,6	28,0	27,5	26,9	26,3	25,7	25,1	24,5
70	31,4	30,8	30,3	29,7	29,1	28,5	28,0	27,3	26,6	26,0	25,3
60	32,5	32,0	31,4	30,8	30,2	29,6	29,0	28,3	27,6	26,9	26,2
50	37,0	36,3	35,6	34,9	34,2	33,5	32,8	31,9	31,1	30,2	29,4
40	41,4	40,6	39,8	38,9	38,1	37,3	36,5	35,5	34,6	33,6	32,6
30	54,8	53,8	52,7	51,6	50,5	49,4	48,3	47,0	45,7	44,4	43,1
20	68,3	66,9	65,6	64,2	62,9	61,5	60,1	58,5	56,9	55,3	53,6
10	110,8	108,7	106,6	104,4	102,3	100,2	98,1	95,6	93,1	90,6	88,1

**Tabelle 11: WKK ICT-Endwagen Wind von bogenaussen,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$  -  $2,0 \text{ m/s}^2$  , Wagenkasten  $8^\circ$  mit Wind geneigt, mit Neigetechnik**

ICT-Endwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
mit Neigetechnik, Aerodynamik Wagenkasten 8° mit Wind geneigt, Wind von bogenaussen, Anströmwinkel 90°											
wind [m/s]	aq [m/s²]										
v [km/h]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
80	51,9	52,2	52,5	52,8	53,1	53,4	53,7	54,0	54,4	54,8	55,2
90	51,6	52,0	52,3	52,6	52,9	53,3	53,6	53,9	54,3	54,6	55,0
100	51,4	51,8	52,1	52,5	52,8	53,1	53,5	53,8	54,2	54,5	54,9
110	51,0	51,4	51,7	52,1	52,4	52,8	53,1	53,5	53,9	54,3	54,7
120	50,7	51,0	51,4	51,7	52,1	52,5	52,8	53,2	53,7	54,1	54,5
130	50,3	50,7	51,0	51,4	51,8	52,2	52,6	53,0	53,4	53,7	54,1
140	49,9	50,3	50,7	51,1	51,5	51,9	52,3	52,7	53,0	53,4	53,8
150	49,3	49,7	50,1	50,5	50,9	51,3	51,7	52,1	52,5	52,9	53,3
160	48,7	49,1	49,5	49,9	50,3	50,7	51,2	51,6	52,0	52,4	52,8
170	48,1	48,6	49,0	49,4	49,8	50,3	50,7	51,1	51,5	51,9	52,3
180	47,6	48,1	48,5	48,9	49,4	49,8	50,3	50,7	51,1	51,5	51,9
190	47,1	47,5	48,0	48,4	48,8	49,3	49,7	50,1	50,5	50,9	51,2
200	46,6	47,0	47,5	47,9	48,3	48,7	49,1	49,5	49,9	50,2	50,6
210	46,5	46,9	47,3	47,7	48,0	48,4	48,8	49,2	49,5	49,9	50,2
220	46,4	46,7	47,1	47,4	47,8	48,1	48,5	48,8	49,2	49,5	49,9
230	45,9	46,3	46,7	47,1	47,6	48,0	48,4	48,8	49,1	49,4	49,8
240	45,3	45,8	46,4	46,9	47,4	47,9	48,4	48,7	49,0	49,4	49,7

**Tabelle 12: WKK ICT-Endwagen Wind von bogen aussen,  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$  -  $2,0 \text{ m/s}^2$ , Wagenkasten  $8^\circ$  mit Wind geneigt, mit Neigetechnik, verschiedene Anströmwinkel**

[illegible]

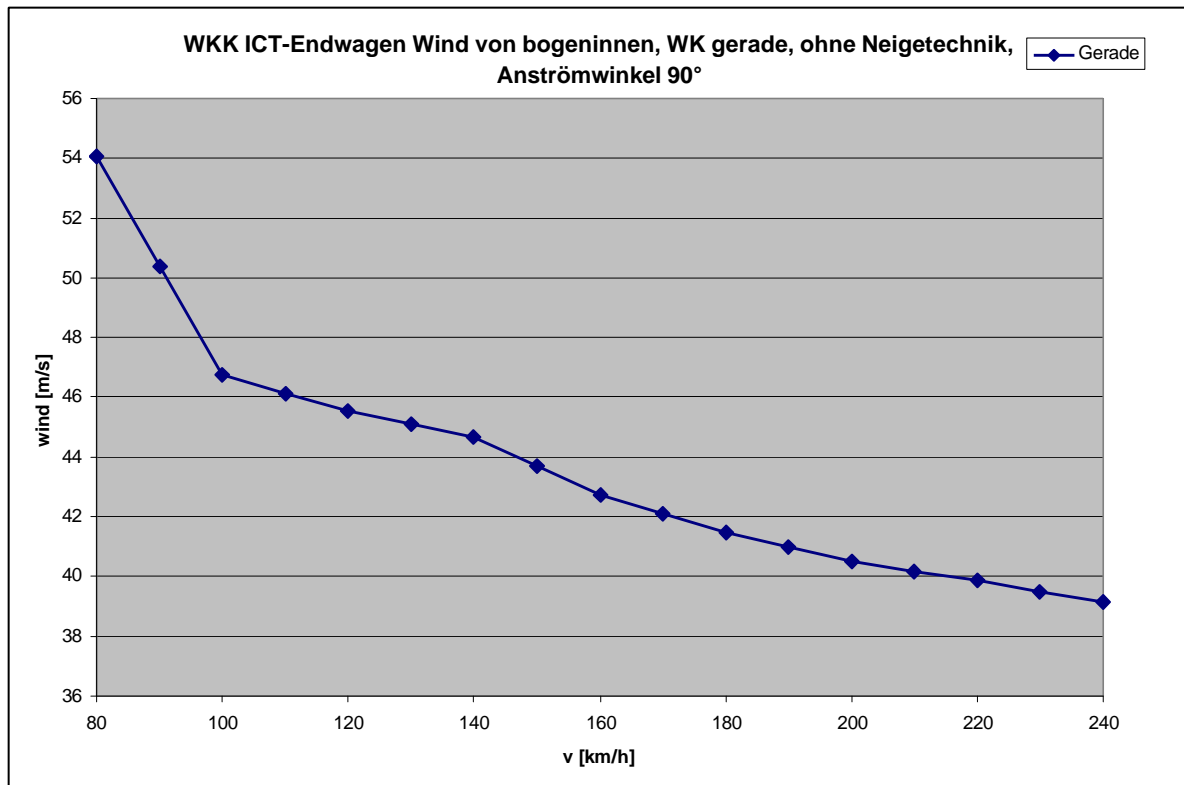
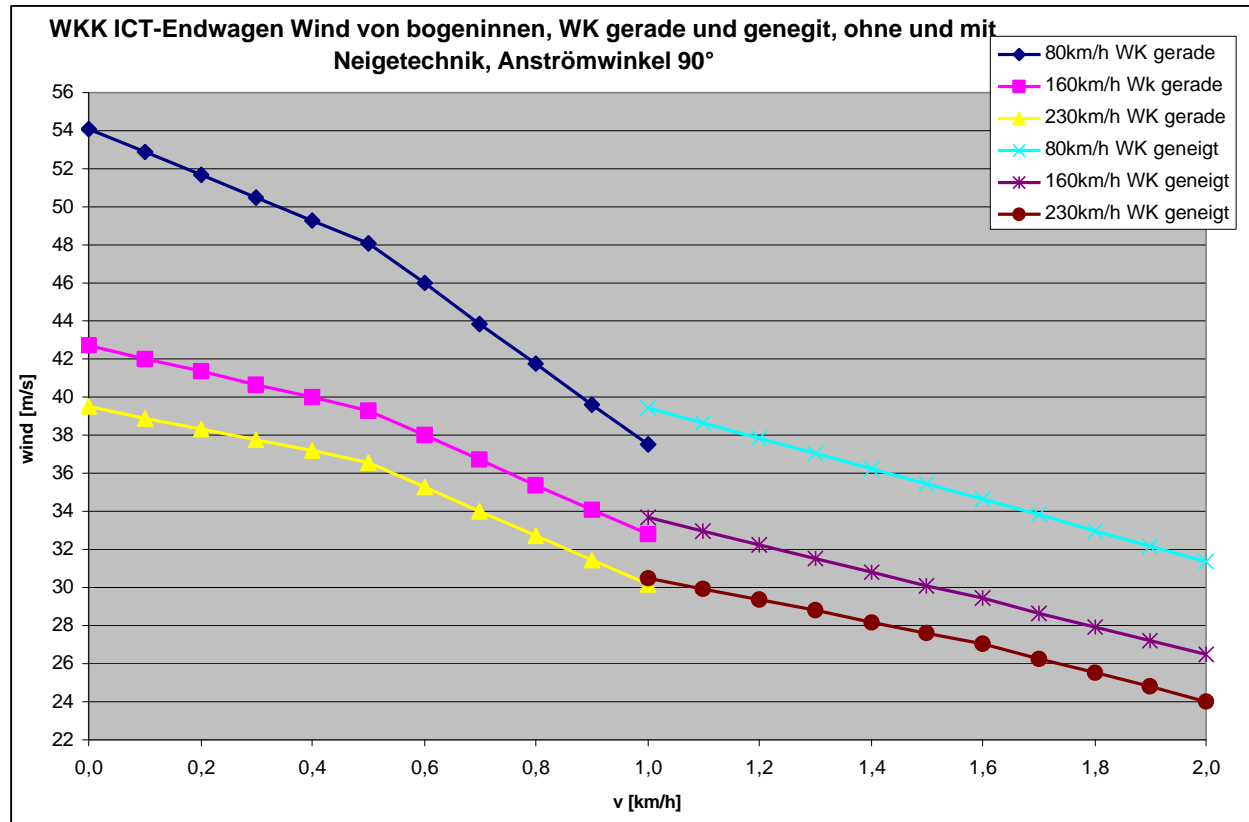


Abbildung 2: WKK ICT-Endwagen Wind von bogeninnen, ohne Neigetechnik, Wagenkasten gerade

Abbildung 3: WKK ICT-Endwagen Wind von bogeninnen, ohne und mit Neigetechnik,  $a_q=0,0\text{m/s}^2$  -  $2,0\text{ m/s}^2$  Wagenkasten gerade und Wagenkasten 8° gegen Wind geneigt

## 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

- [1] Bericht MKS-PR-2001-03 „Simulationsrechnungen zur Bestimmung der Windkennkurven des ICT Trafowagens BR 411/415“, DB Systemtechnik, TZF25 vom 20.07.2001.
- [2] Gutachten: „Gutachten: Bestimmung der Windkennkurven des ICT Trafowagens (BR411/415)“, Logomotive, Hr. Benker, Doc-No. TBO-303-250800, 25.03.03.
- [3] Bericht 250-PR-045-03 „Ergänzungsbericht zum Bericht MKS-PR-2001-03 „Simulationsrechnung zur Bestimmung der Windkennkurven des ICT-Trafowagens BR 411/415“, DB Systemtechnik, T.TZF95.1 vom 02.02.2004.
- [4] Krauss Maffei Verkehrstechnik, Dr. Peters, Bericht-Nr.: LA-TB12/96: „Windkanaluntersuchungen eines 1/10 Modells des ersten Wagens vom ICT“ vom 11.12.1996.
- [5] „Mathematische Beschreibung eines Windmodells für die Berechnung von Windkennkurven durch Mehrkörpersimulation“ Wodan Bericht Nr.: 250-FE-016-03 vom 01.04.2003