

## Berechnung der Windkennkurven des ICE2-Steuerwagens nach dem Stufe-2-Verfahren



Dokument: 04-P-001277-T.TZF95-UN-0990  
WODAN-TP1-V0-T09

Datum: 23.09.2004

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	Fahrzeugparameter	3
4.2	Verifikation	6
4.3	Aerodynamik	7
<b>5</b>	<b>Windszenario</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Berechnung</b>	<b>9</b>
6.1	Berechnungsparameter	9
6.2	Beurteilungskriterien	9
6.3	Berechnung der Ergebnisse	10
6.3.1	Simulationstechnisch ermittelte Werte	10
6.4	Ergebnisse	11
<b>7</b>	<b>Unterschriften</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>14</b>

**1 Angaben zum Auftrag**

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Quy Long Tu  
Deutsche Bahn AG, DB Systemtechnik  
Simulation Strukturfestigkeit und Fahrtechnik (T.TZF 95.1)  
Pionierstrasse 10  
32423 Minden

Auftraggeber: -

Verteiler: T.TZF95.1, T.TZF13

Seiten: 14

## 2 Einleitung und Verfahren

Für den Steuerwagen vom ICE2 soll die Stabilität gegen Seitenwind nach dem Stufe-2-Verfahren (MKS-Simulation) mit Simpack in der aktuellen Version 8.60 berechnet werden.

## 3 Koordinatensystem

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

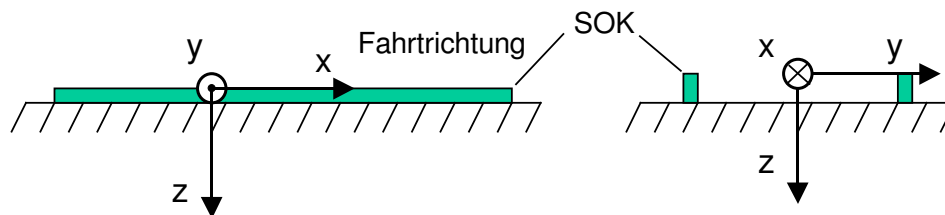


Abbildung 1: Inertiales Koordinatensystem

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 September 2000 aufgebaut (siehe Bericht [2]) und wird für die Berechnung der WKK verwendet.

### 4.1 Fahrzeugparameter

Das SIMPACK-Modell für den ICE2-Steuerwagen wurde auf der Grundlage von Daten, die von der Firma SGP in Graz zur Verfügung gestellt wurden, erstellt. Der Datensatz wurde von SGP für die Erstellung eines MEDYNA Modells des Steuerwagens benutzt, mit dem bei SGP fahrtechnische Simulationen durchgeführt wurden.

Die Wagenkastenmasse sowie deren Schwerpunktlage in Längs- und Querrichtung wurden aus Verwiegemessungen der Firma Adtranz bestimmt.

#### Festlegung:

Drehgestell I ist das in Fahrtrichtung gesehen führende Drehgestell, Drehgestell II ist das nachfolgende Drehgestell.

Die wichtigsten Modelldaten werden aufgeführt.

#### Massen:

##### Wagenkasten:

Schwerpunkt	x [m]	y [m]	z [m]
Schwerpunkt (Mitte Wagenkasten)	0,231	0	-1.772

Masse [kg]	Ix [kg m <sup>2</sup> ]	Iy [kg m <sup>2</sup> ]	Iz [kg m <sup>2</sup> ]
39600	82680	2.4163e+6	2.4194e+6

*Radsatz:*

Masse [kg]	$I_x$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_z$ [kg m <sup>2</sup> ]
1728	903,5	95	903,5

*Radsatzlager:*

Masse [kg]	$I_x$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_z$ [kg m <sup>2</sup> ]
1	1	1	1

*Joch:*

Masse [kg]	$I_x$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_z$ [kg m <sup>2</sup> ]
56	2,96	0,09	0,7

*Rahmen:*

Schwerpunkt	X [m]	y [m]	z [m]
Schwerpunkt für DG (bzgl. Inertialsystem)	0	0	-0,54

Masse [kg]	$I_x$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_z$ [kg m <sup>2</sup> ]
3239	1848	2736	2714

*Wankstabilator:*

Masse [kg]	$I_x$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_y$ [kg m <sup>2</sup> ]	$I_z$ [kg m <sup>2</sup> ]
41	24,945	0,075	24,945

Kraftelemente:*Primärfederung:*

Sekundärfeder z	Wert	Quelle
CX [N/m]	2,0e+6	SGP
CY [N/m]	2,0e+6	SGP
CZ [N/m]	1,0e+6	SGP
DX [Ns/m]	6000	SGP
DY [Ns/m]	6000	SGP
DZ [Ns/m]	10000	SGP

*Sekundärfederung:*

Sekundärfeder z	Wert	Quelle
CX [N/m]	132000	SGP
CY [N/m]	140000	SGP
CZ [N/m]	170000	SGP
DX [Ns/m]	1200	SGP
DY [Ns/m]	1200	SGP
DZ [Ns/m]	3000	SGP

*Querdämpfer sekundär:*

	Wert	Quelle
CY [N/m]	260000	SGP
DX [Ns/m]	12500	SGP

*Schlingerdämpfer:*

	Wert	Quelle
CX [N/m]	7470000	SGP
DX [Ns/m]	400000	SGP

Die Quer- und Schlingerdämpfer wurden als Feder/Dämpfer in Reihe modelliert.

*Längsmitnahme:*

	Wert	Quelle
CX [N/m]	300000	SGP
DX [Ns/m]	3750	SGP

*Achslenker:*

Der Achslenker ist als kompaktes Feder-Dämpfer Element in der Achslenkermitte abgebildet. Folgende Werte für den Achslenker wurden verwendet:

Achslenker	Wert	Quelle
CX [N/m]	24,0e+6	SGP
DX [Ns/m]	74000	SGP

Queranschlag:

Y [mm]	-88	-83	-78	-73	-68	-48	-18	0	18	48	68	73	78	83	88
F [kN]	-140	-84,4	-39,8	-24,3	-19,4	-8,7	0	0	0	8,7	19,4	24,3	39,8	84,4	140

Tabelle 3: Kennlinie des Queranschlags

Wankstütze: Die Modellierung einer Wankstütze erfolgt durch eine Torsionsstange, deren Torsionssteifigkeit mit  $c_\varphi=73224 \text{ Nm/rad}$  gegeben ist.

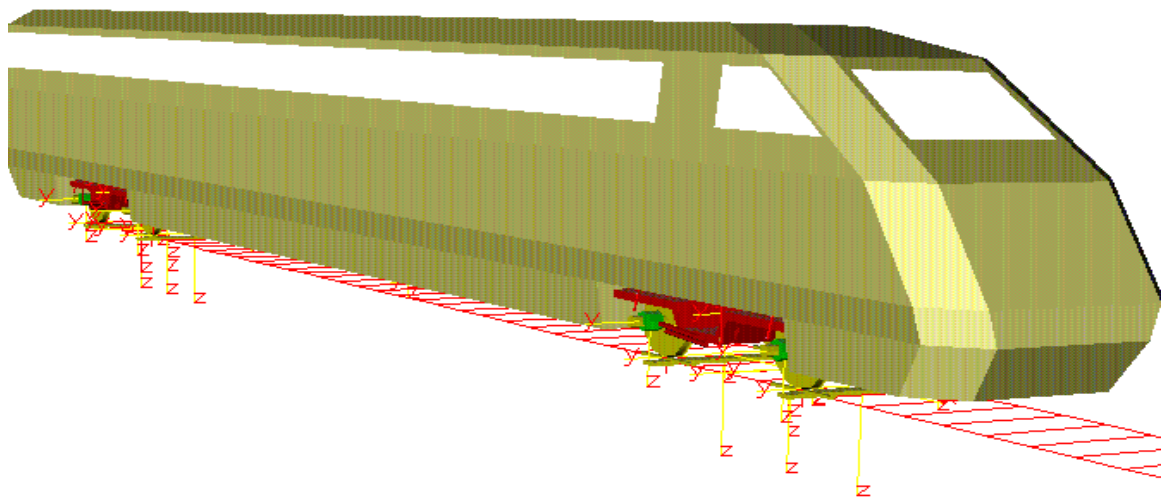


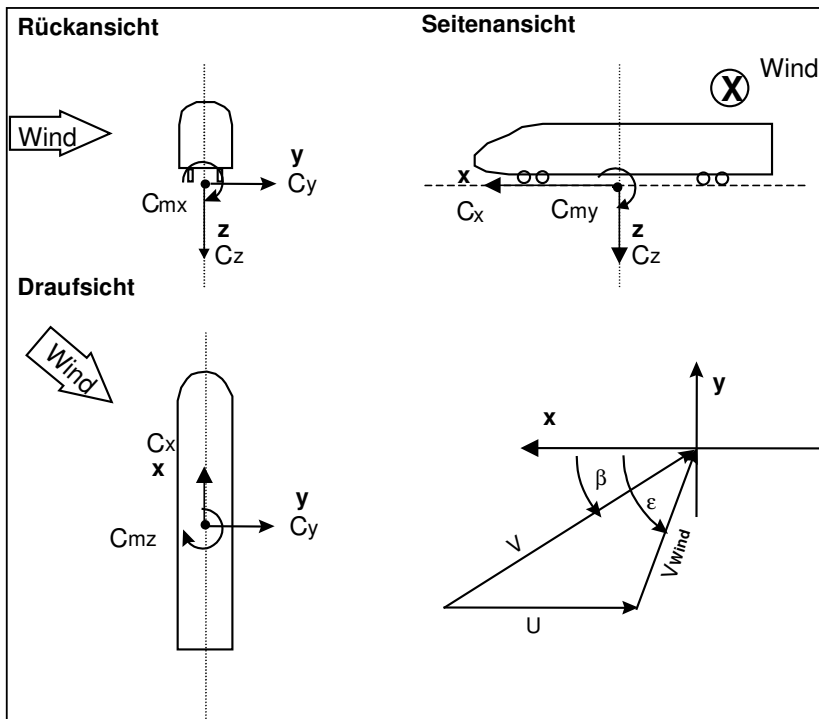
Abbildung 2: 3D-Modell ICE2-Steuerschwung

## 4.2 Verifikation

Die Verifikation des Modells wurde für die WKK-Berechnung nach Konzernrichtlinie 401 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:



Bezugsgrößen:

Bezugslänge 3 m

Bezugsfläche 10 m<sup>2</sup>

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:

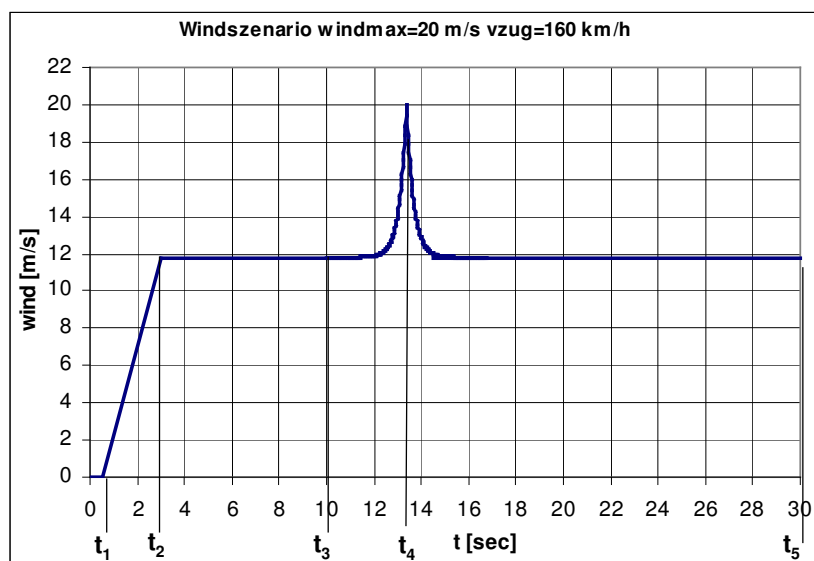
beta	Cx	Cy	Cz	Cmx	Cmy	Cmz
0	0,181	-0,02	-0,051	0,028	0,663	-0,001
10	0,244	1,043	0,051	0,709	1,083	2,283
20	0,221	2,538	1,734	1,406	0,448	4,239
25	0,18	3,398	2,444	1,886	-0,137	4,91
30	0,11	4,319	3,361	2,391	-0,91	5,544
35	-0,014	5,274	4,36	2,92	-1,794	6,153
40	-0,145	6,228	5,224	3,453	-2,556	6,655
50	-0,479	7,744	6,988	4,307	-3,768	7,433
55	-0,656	8,217	7,854	4,561	-3,974	7,936
70	-0,74	6,761	7,983	3,42	-3,87	1,095
90	-0,917	5,936	8,109	2,964	-5,594	-3,979

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

## 5 Windszenario

Für die Berechnung der Fahrzeugreaktionen auf ein Windereignis wird eine Böe gemäß dem Windszenario *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 4 dargestellte Szenario verwendet:



**Abbildung 4: 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
$[t_0:t_1]$	$v(t) = 0$
$[t_1:t_2]$	$v(t) = \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t - \frac{v_{mean}}{t_2 - t_1} \cdot t_1$
$[t_2:t_3]$	$v(t) = v_{mean}$
$[t_3:t_4]$	$v(t) = \text{reverse chinese hat (Gleichungen siehe [4])}$
$[t_4:t_5]$	$v(t) = \text{chinese hat (Gleichungen siehe [4])}$

## 6 Berechnung

### 6.1 Berechnungsparameter

Die Fahrzeughöchstgeschwindigkeit beträgt  $v_{\max}=280$  km/h und die maximale Querbesehleunigung des Fahrzeugs ist  $a_{q\max}=1,0$  m/s<sup>2</sup>. Es werden die Punkte  $v=80$  km/h bis  $v=280$  km/h und  $a_q=0,0$  m/s<sup>2</sup> bis  $a_q=1,0$  m/s<sup>2</sup> berechnet sowie unterschiedliche Anströmwinkel von 80° bis 10° bei  $v_{\max}=280$  km/h.

Folgende Randbedingungen werden bei der Berechnung angenommen:

Radprofil : S1002

Schienenprofil : UIC60

Schienenneigung : 1:40

nom. Spurweite : 1435 m

Reibungskoeffizient Rad/Schiene: 0.4

Schlupfkraftberechnung : vereinfachte Kalkersche Theorie

Kalkerscher Reduktionsfaktor : 0.67

Gleislagestörung: keine

### 6.2 Beurteilungskriterien

Als Kriterium für das Erreichen der Windkenngeschwindigkeit wird eine maximale drehgestellseitige Radentlastung von 90% angesetzt. Das Kriterium berechnet sich wie folgt:

$$\frac{dQ}{Q_{ij0}} = \frac{Q_{i1\min} + Q_{j1\min} - 2 \cdot Q_{ij0}}{2 \cdot Q_{ij0}} < 0,9$$

$Q_{ij0}$  = mittlere Radlast im Drehgestell im Ruhezustand

$Q_{i1\min}$  = minimale Radlast des führenden Radsatzes im Drehgestell

$Q_{j1\min}$  = minimale Radlast des nachfolgenden Radsatzes im Drehgestell

Für die Bestimmung der minimalen Radlasten wird das Q-Signal folgendermaßen bearbeitet:

- Tiefpassfilterung mit 2 Hz
- Minimum

### 6.3 Berechnung der Ergebnisse

#### 6.3.1 Simulationstechnisch ermittelte Werte

Um den Berechnungsaufwand zu minimieren, werden nicht alle Werte für die Berechnung der Windkennkurve durch MKS-Simulation ermittelt. In einer anschließenden Nachbearbeitung werden die fehlenden Werte linear interpoliert. Folgende Werte werden simulationstechnisch ermittelt:

**Tabelle 1: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICE2-Stw. in der Geradenfahrt für verschiedene Fahrzeuggeschwindigkeiten und bei verschiedenen Querbeschleunigungen.**

<b>Berechnung von Windwerten [m/s] in der Geradenfahrt für verschiedene Fahrzeuggeschwindigkeiten und verschiedene Querbeschleunigungen (aq)</b>			
<b>v [km/h]</b>	<b>aq=0</b>	<b>aq=0,5</b>	<b>aq=1,0</b>
<b>80</b>	52,03	47,10	41,49
<b>100</b>	43,48	40,12	36,58
<b>120</b>	41,19	38,37	35,34
<b>140</b>	39,99	36,83	34,18
<b>160</b>	38,65	35,64	32,83
<b>180</b>	37,64	34,83	32,47
<b>200</b>	36,78	34,26	32,06
<b>220</b>	35,83	33,87	29,48
<b>240</b>	35,48	33,27	28,63
<b>260</b>	35,21	31,49	27,73
<b>280</b>	34,37	29,90	27,00

**Tabelle 2: Simulationstechnisch ermittelte Windwerte für den ICE2-Stw. in der Geradenfahrt für verschiedene Windwinkel bei v<sub>max</sub>=280 km/h und verschiedene dQ/Q<sub>0</sub>-Grenzwerte**

<b>Berechnung von Windwerten [m/s] in der Geradenfahrt für verschiedene Windwinkel bei v<sub>max</sub>= 280 km/h und verschiedene aq</b>			
<b>alpha [Grad]</b>	<b>aq=0</b>	<b>aq=0,5</b>	<b>aq=1,0</b>
<b>80</b>	34	30	27
<b>60</b>	36	32	30
<b>40</b>	45	41	38
<b>20</b>	77	71	64
<b>10</b>	121	112	103

Für alle Windwerte wurde das Kriterium am führenden Drehgestell erreicht.

## 6.4 Ergebnisse

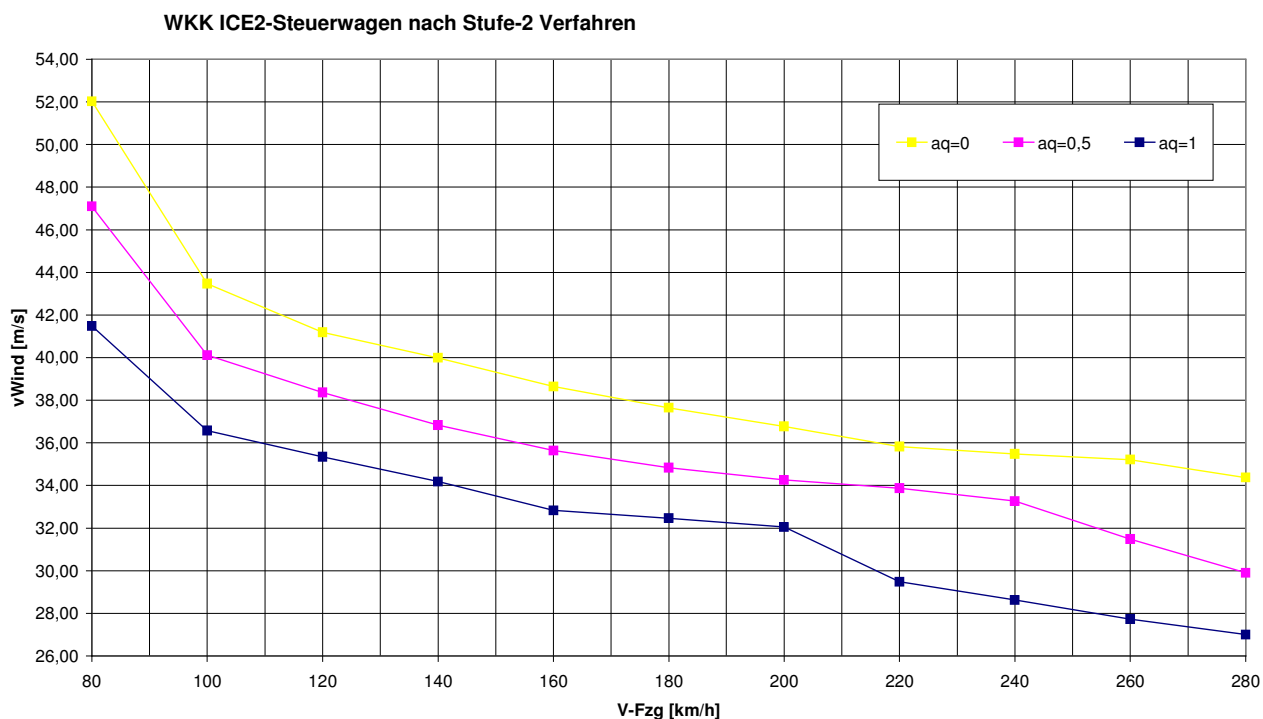
Folgende Werte für die Windkennkurve wurden mit diesem Verfahren berechnet:

**Tabelle 3: ICE2-Stw. WKK nach Stufe-2 Verfahren**

ICE2-Steuerwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
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	52,0	51,0	50,1	49,1	48,1	47,1	46,0	44,9	43,7	42,6	41,5
90	47,8	46,9	46,1	45,3	44,4	43,6	42,7	41,8	40,9	39,9	39,0
100	43,5	42,8	42,1	41,5	40,8	40,1	39,4	38,7	38,0	37,3	36,6
110	42,3	41,7	41,1	40,5	39,9	39,2	38,6	37,9	37,3	36,6	36,0
120	41,2	40,6	40,1	39,5	38,9	38,4	37,8	37,2	36,6	35,9	35,3
130	40,6	40,0	39,4	38,8	38,2	37,6	37,0	36,5	35,9	35,3	34,8
140	40,0	39,4	38,7	38,1	37,5	36,8	36,3	35,8	35,2	34,7	34,2
150	39,3	38,7	38,1	37,5	36,9	36,2	35,7	35,1	34,6	34,1	33,5
160	38,6	38,0	37,4	36,8	36,2	35,6	35,1	34,5	34,0	33,4	32,8
170	38,1	37,6	37,0	36,4	35,8	35,2	34,7	34,2	33,7	33,2	32,7
180	37,6	37,1	36,5	36,0	35,4	34,8	34,4	33,9	33,4	32,9	32,5
190	37,2	36,7	36,1	35,6	35,1	34,5	34,1	33,6	33,2	32,7	32,3
200	36,8	36,3	35,8	35,3	34,8	34,3	33,8	33,4	32,9	32,5	32,1
210	36,3	35,9	35,4	35,0	34,5	34,1	33,4	32,7	32,1	31,4	30,8
220	35,8	35,4	35,0	34,7	34,3	33,9	33,0	32,1	31,2	30,4	29,5
230	35,7	35,2	34,8	34,4	34,0	33,6	32,7	31,8	30,9	30,0	29,1
240	35,5	35,0	34,6	34,2	33,7	33,3	32,3	31,4	30,5	29,6	28,6
250	35,3	34,8	34,2	33,6	33,0	32,4	31,5	30,7	29,9	29,0	28,2
260	35,2	34,5	33,7	33,0	32,2	31,5	30,7	30,0	29,2	28,5	27,7
270	34,8	34,0	33,2	32,3	31,5	30,7	30,0	29,4	28,7	28,0	27,4
280	34,4	33,5	32,6	31,7	30,8	29,9	29,3	28,7	28,2	27,6	27,0

Tabelle 4: ICE2-Stw. WKK nach Stufe-2 Verfahren für verschiedene Windwinkel bei  $v_{\max} = 280$  km/h

ICE2-Steuerwagen Windkennkurven nach Stufe-2 Verfahren											
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	34,4	33,6	32,7	31,9	31,0	30,2	29,5	28,9	28,3	27,6	27,0
70	35,2	34,5	33,7	32,9	32,1	31,3	30,8	30,2	29,6	29,1	28,5
60	36,1	35,3	34,6	33,9	33,2	32,5	32,0	31,5	31,0	30,5	30,0
50	40,5	39,8	39,0	38,2	37,4	36,6	36,1	35,5	35,0	34,4	33,8
40	45,0	44,2	43,3	42,5	41,6	40,8	40,1	39,5	38,9	38,3	37,7
30	61,0	60,0	59,0	58,0	56,9	55,9	54,9	53,9	53,0	52,0	51,0
20	77,0	75,8	74,6	73,4	72,3	71,1	69,7	68,4	67,0	65,7	64,3
10	121,3	119,5	117,7	115,9	114,1	112,4	110,4	108,5	106,5	104,6	102,6

Abbildung 5: WKK ICE2-Stw. nach Stufe-2-Verfahren in der Geradenfahrt, bei  $aq=0,5$  und  $aq=1$

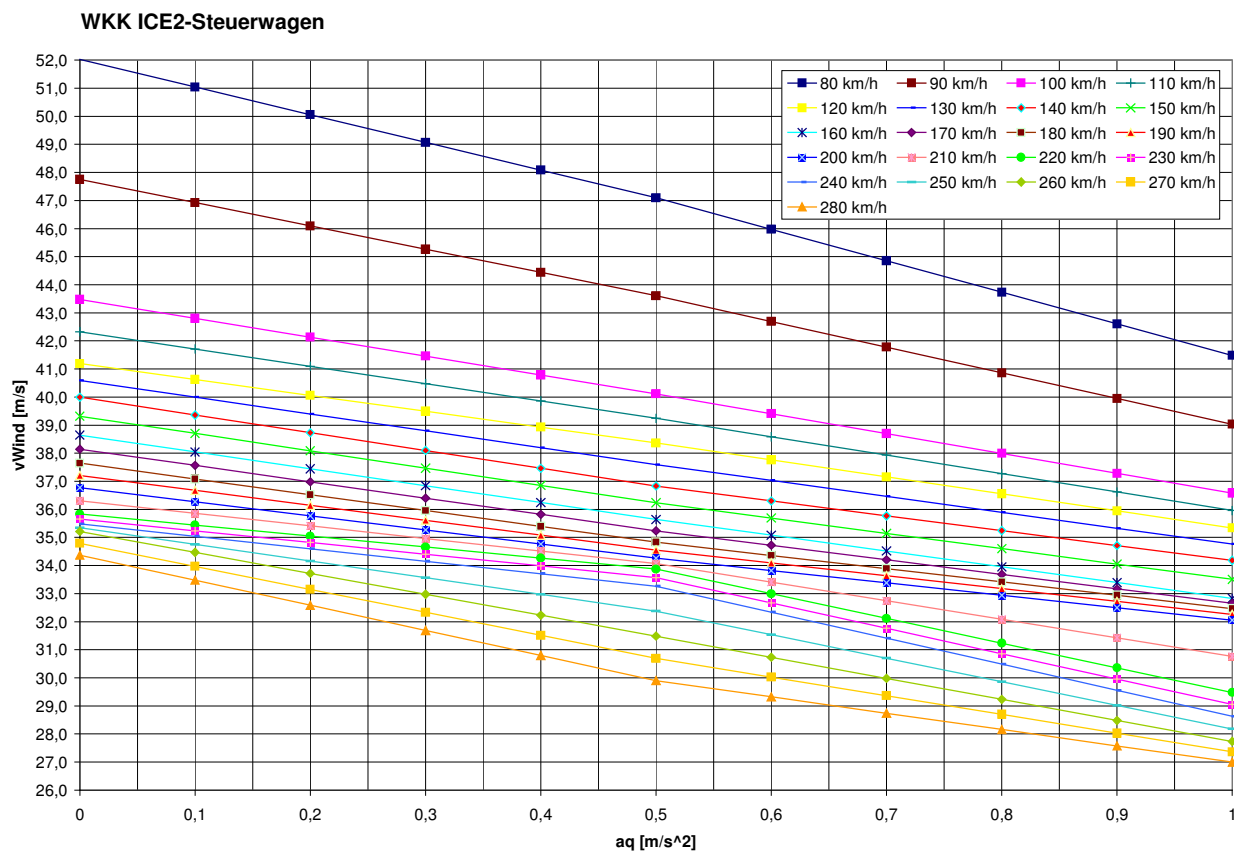



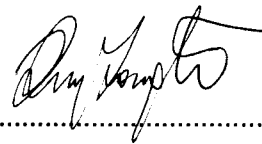
Abbildung 6: WKK ICE2-Stw. nach Stufe-2-Verfahren in der Bogenfahrt

## 7 Unterschriften

Minden, den 23.9.2004.....



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



Dipl.-Ing. Quy-Long Tu  
T.TZF 95.1

## 8 Literatur

- [1] Mail vom 19.12.03 von Thorsten Tielkes, DB Systemtechnik, TZF102.
- [2] „Simulationsrechnung zur Bestimmung der Windkennkurven des ICE2-Steuerwagens“ Bericht-Nr. MKS-PR-2000-05 von DB Systemtechnik TZF25 vom 11.09.2000.
- [3] Krauss-Maffei Verkehrstechnik, "Ergebnisse der Modelluntersuchungen der Bundesbahn" ,11.08.1993, Bericht Nr. 7.0/34
- [4] „Mathematische Beschreibung eines Windmodells für die Berechnung von Windkennkurven durch Mehrkörpersimulation“ Wodan Bericht Nr.: 250-FE-016-03 vom 01.04.2003