

Die Prüfstelle ist „Assoziiertes Partner der Benannten Stelle Interoperabilität“ und vom Eisenbahn-Bundesamt anerkannt.

Deutsche Bahn AG  
Technik / Beschaffung  
DB Systemtechnik  
Prüfstelle  
Pionierstraße 10  
D – 32423 Minden

## Ergänzungsbericht zum Bericht 04-P-001277-T.TZF95-UN-1560 „Berechnung der Windkennkurven VT612-Endwagens nach dem Stufe-2-Verfahren“



Dokument: 04-P-001277-T.TZF95-UN-1561

WODAN-TP2-V0-T07

Datum: 02.06.2005

Fachabteilung: Verifikation und Versuche Betriebsfestigkeit,  
Simulation

Pionierstraße 10  
32423 Minden



249974 QM (Prüfstelle)  
249967 QM (Fachabteilung)

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

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

Formular Untersuchungsbericht Version 2

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Angaben zum Auftrag .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ergänzungen und Korrekturen.....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Unterschriften.....</b>	<b>11</b>

**1 Angaben zum Auftrag**

Bearbeiter: Dr.-Ing. Rolf Naumann

Deutsche Bahn AG, Technik / Beschaffung, DB Systemtechnik  
Simulation Strukturfestigkeit und Fahrtechnik (T.TZF 95.1)  
Pionierstrasse 10  
32423 Minden

Auftraggeber: Dr. Heine, T.TZF13

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

Seiten: 11

## 2 Einleitung

Dieser Bericht beinhaltet Ergänzungen und Korrekturen zu dem Bericht 04-P-001277-T.TZF95-UN-1560 „Berechnung der Windkennkurven VT612-Endwagens nach dem Stufe-2-Verfahren“ vom 08.12.2004. Diese Ergänzungen basieren auf Anmerkungen des Gutachters entsprechend dem Befreiungsprotokoll „Gutachten zu Windkennkurven VT612, VT611 und VT610“ vom 31.05.2005.

## 3 Ergänzungen und Korrekturen

### 1. Zusammenfassung fehlt

*Gutachter: Zum Abschluss des Berichts fehlt die allgemein übliche Zusammenfassung.*

Ergänzung: Einfügen eines neuen Kapitels nach Kapitel 6 **Berechnung**

### Zusammenfassung

Für den Dieseltriebwagen VT612 wurden die Windkennkurven nach dem Stufe-2 Verfahren bestimmt. Das Fahrzeug besitzt eine Neigetechnik sowie eine gleisbogenabhängige Radsatzlenkung. Das Fahrzeugmodell wurde vom Hersteller Bombardier aufgebaut und der DB AG für die Berechnung der Windkennkurven zur Verfügung gestellt. Ein Vergleich mit den fahrtechnischen Messungen ergab eine gute Übereinstimmung zwischen Messergebnissen und Simulationsrechnungen. Die aerodynamischen Beiwerte wurden am 26.06.2002 im AUDI Windkanal anhand eines 1:15 Modells ermittelt. Die Windkennkurven wurden für den Geschwindigkeitsbereich von 80 km/h bis 160 km/h und  $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$  bis  $2,0 \text{ m/s}^2$  berechnet. Für  $a_q=0,0 \text{ m/s}^2$  bis  $1,0 \text{ m/s}^2$  wurde die Aerodynamik des geraden Wagenkastens verwendet und für  $a_q=1,0 \text{ m/s}^2$  bis  $2,0 \text{ m/s}^2$  die Aerodynamik des  $8^\circ$  geneigten Wagenkastens. Alle Rechnungen erfolgten mit leerem Fahrzeug und eingeschalteter Neigetechnik. Bei den Simulationsrechnungen gab es keine Auffälligkeiten.

### 2. Dämpfer

*Gutachter: Anzahl der Dämpfer angeben. S. 4 Tabellen unten*

Dämpfer	Anzahl pro Drehgestell
Sekundärdämpfer vertikal:	2
Sekundärdämpfer quer	2
Sekundärdämpfer längs (Schlingerdämpfer)	2

### 3. Anschläge

*Gutachter: Angaben über Anschlagswege genauer S.5 1. und 2. Tabelle*

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

In der Sekundärfederung ist ein Queranschlag vorhanden.

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

#### 4. Formulierung Anschlag

*Gutachter: „Anschläge über Kennlinie abgebildet“ missverständlich S. 5 Text unter 2. Tabelle*

Die Anschlüsse werden simulationstechnisch als Feder-Element mit einer Kennlinie abgebildet. Idealerweise hat die Kennlinie bei freiem Weg den Wert Null und bei Erreichen des Anschlags einen linearen Anstieg mit einer sehr großen Steigung (z. B. Steifigkeit E-Modul von Stahl). Dieser Steifigkeitssprung bereitet bei der numerischen Lösung erhebliche Probleme. Aus diesem Grund wird üblicherweise der Steifigkeitssprung durch eine geringe Rundung in der Kennlinie entschärft.

#### 5. Abweichung 0,7% in Verwindemessung

*Gutachter: Angabe über Abweichung 0,7% nicht nachvollziehbar S. 6 Text unter letzter Tabelle*

Eine Nachprüfung der Simulationsrechnung ergab geringe Abweichungen in den Werten. Folgende Werte sind korrekt (in Fett die abweichenden Werte):

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

Fahrzeugsimulation Fzg. leer mit BS 620 kg (48,306 t) in [kN]							
Q11	Q12	Q21	Q22	Q31	Q32	Q41	Q42
59,2	59,1	59,1	59,0	<b>59,7</b>	<b>59,6</b>	<b>59,1</b>	59,0

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

Radsatz 1 [kN]	Radsatz 2 [kN]	Radsatz 3 [kN]	Radsatz 4 [kN]
59,1	59,0	<b>59,6</b>	<b>59,0</b>

Die maximale Abweichung zu den Radsatzlasten aus den Verwindemessungen liegt bei **0,95%**.

*Gutachter: Beschriftung Tabelle „mittlere Radsatzlasten“ S.6 2. Tabelle passt nicht*

Für die mittleren **Radkräfte pro Radsatz** ergibt sich daraus:

Radsatz 1 [kN]	Radsatz 2 [kN]	Radsatz 3 [kN]	Radsatz 4 [kN]
59,5	58,7	59,0	59,5

#### 6. Referenz

*Gutachter: Angabe „Anlage 11“ nicht korrekt S.6 Kapitel 4.2.2*

richtige Referenz: **Anlage C**

#### 7. Simulationsrechnungen Anschlüsse

*Gutachter: besser „Plausibilitätsprüfung“ statt Verifikation von Anschlägen S.8 1. Absatz*

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

*Gutachter: Verlauf der Q-Kräfte der Räder nicht gleich, Begründung S.21 Anlage A.1*

Begründung: Die Queranschlüsse in der Sekundärstufe sind nicht symmetrisch zur y-Achse der Drehgestelle angeordnet (DG vorne - Anschlag vorne, DG hinten - Anschlag hinten). Bei Einprägung einer Querkraft am Wagenkasten wird diese Kraft über die Anschlüsse nicht gleichmäßig auf den Fahrwerksrahmen verteilt. Daraus resultieren unterschiedliche Q-Kräfte.

*Gutachter: Auslenkung beim Primäranschlag nicht 29 mm sondern 27 mm S.8 Absatz 3*

... Der Weg beim Entlasten (nach oben) ist 33 mm, beim Belasten (nach unten) **27 mm**. ...

## 8. Beschreibung Verifikation

*Gutachter: Bewertung der Verifikation als eigenes Kapitel gliedern S.8 Absatz 7*

neu einfügen:

### 4.2.4 Bewertung

Die Simulationsergebnisse zeigen bei den unterschiedlichen Anregungen ein plausibles Verhalten. **Die Rechnungen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messungen und liegen alle innerhalb der Vertrauensbereiche der Messungen.** Bei den Q0-Kräften ist dies eine maximale Abweichung von 1%, bei den Radaufstandskräften sollten die Werte innerhalb des Vertrauensbereichs liegen und die Abweichung bei den Anschlägen darf maximal 1 mm betragen. Somit ist das Fahrzeugmodell verifiziert und kann für die Seitenwindberechnungen eingesetzt werden.

## 9. Schwerpunktlagen

*Gutachter: Die Schwerpunktlagen der wichtigsten Massen aufführen S. 3f*

Bezeichnung	Schwerpunktlage über SOK in z-Richtung
Gesamtfahrzeug (ohne BS)	1,503 m
Ballast Betriebsstoffe (BS)	1,0 m
Wagenkasten	1,89 m
DG-Rahmen vorne	0,489 m
DG-Rahmen hinten	0,489 m
Radsätze	0,445 m
NT-Traverse	0,683 m
Getriebe 1	0,445 m
Getriebe 2	0,445 m

## 10. Zeitplots für WKK Berechnung

*Gutachter: In den Zeitplots für die WKK Berechnung ist die Radentlastung beim Einschwingvorgang wesentlich größer als bei der Windböe. Weiterhin dauert der Einschwingvorgang mehr als 10 sec (siehe RIL807), wie beispielsweise in Anlage B.18 Rad Q41 zu sehen ist.*

Bei den Simulationsrechnungen wird folgendes Szenario verwendet:

- Fahrt in der Geraden mit 20 km/h
- Einstellung einer Überhöhung entsprechend des Überhöhungsfelbstabags ( $\ddot{u}_f=305$  mm bei  $a_q=2,0$  m/s<sup>2</sup>)
- Übergangslänge von 60 m
- Beginn der Neigung Wagenkasten bei 5sec, volle Neigung nach 8 sec
- Anstieg des Seitenwindes auf den Grundwind

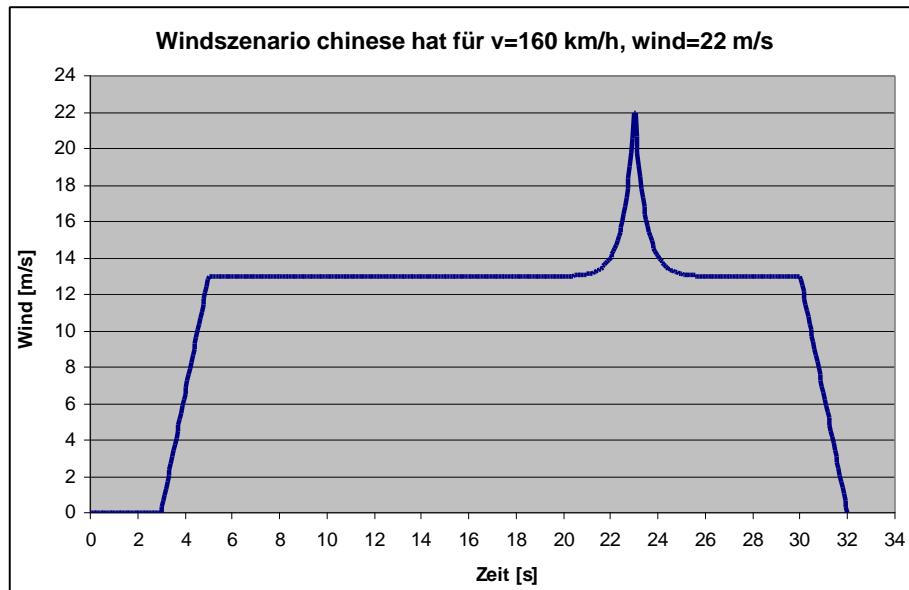
Durch diese Trassierungs- und Fahrzeugparameter wird eine erhebliche Verwindung des Gleises erzeugt, die zu einer sehr großen Radentlastung, verstärkt durch die Seitenwindbelastung, führt. Nach ca. 18 sec – 20 sec ist der Einschwingvorgang im Grundwind abgeschlossen und das Fahrzeug befindet sich mit allen Rädern in einem überhöhten Gleis. Nun kommt der für die Windkennkurven ent-

scheidende Anstieg des Windes entsprechend des *chinese hat* und die damit verbundene seitenwind-relevante Radentlastung. Für die Bewertung der Radentlastung wird der Bereich 18 sec bis 30 sec betrachtet.

## 11. Beschreibung Windszenario

*Gutachter: Beschreibung des Windszenarios ist missverständlich S.11*

...



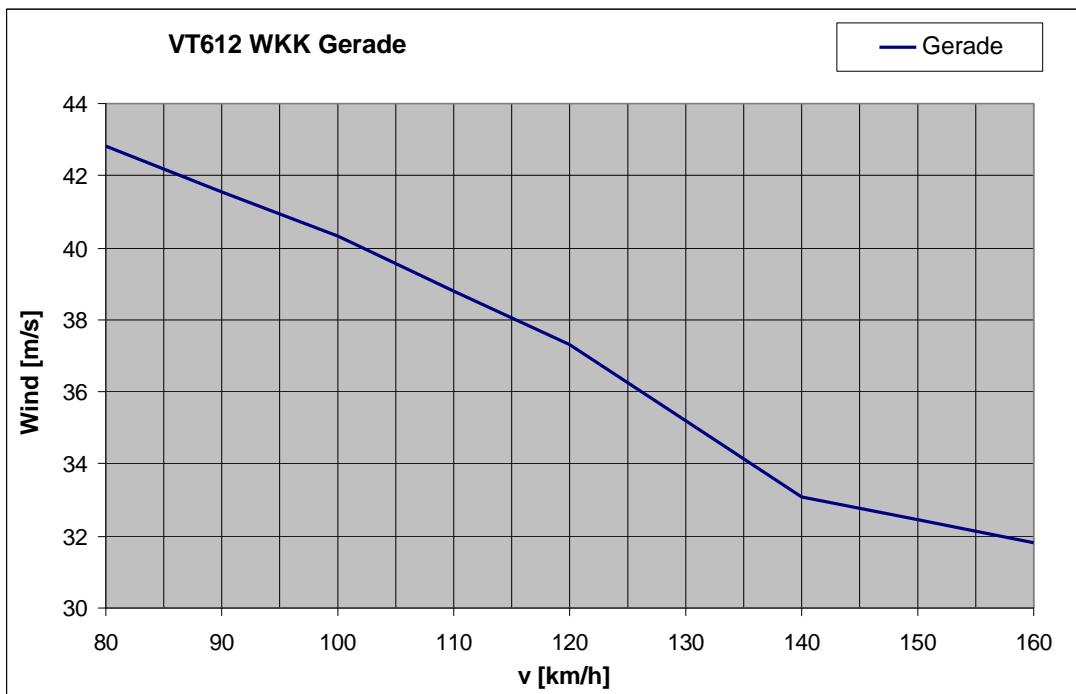
**Abbildung 5.1: zeitlicher Verlauf des Windszenarios**

Zunächst liegt bis zum Zeitpunkt 3 sec kein Wind an. Bis zum Zeitpunkt 5 sec erfolgt ein linearer Anstieg des Windes auf den Grundwind  $U_{mean}$ . Bis zum Einsetzen des Anstiegs durch den *chinese hat* muss sich das Fahrzeug im eingeschwungenen Zustand befinden. Das Windmaximum liegt bei 23 sec. Nach dem Windmaximum fällt der Wind in Form des *chinese hat* bis zum Grundwind ab. Bei  $t_3=32$  sec ist das Windszenario beendet. Die für die Windkennkurve wesentliche Radentlastung wird durch den *chinese hat* erreicht, so dass eine Auswertung der Simulationsdaten in dem Intervall 18 sec – 30 sec ausreichend ist. ...

*In dem Bericht soll der folgende Absatz zusammen mit der Tabelle ganz entfallen.*

## 12. Darstellung der WKK

*Gutachter: Beschriftung in WKK Gerade ist falsch sowie Darstellung standardisiert*



**Abbildung 6.1: WKK VT612 Gerade, Wagenkasten gerade**

Für  $a_q$  sind folgende Gültigkeitsbereiche der Windkennkurven massgeblich:

$0 \text{ m/s}^2 < a_q \leq 1,0 \text{ m/s}^2$  : WKK mit Aerodynamik WK gerade

$1,0 \text{ m/s}^2 < a_q \leq 2,0 \text{ m/s}^2$  : WKK mit Aerodynamik Wk  $8^\circ$  geneigt

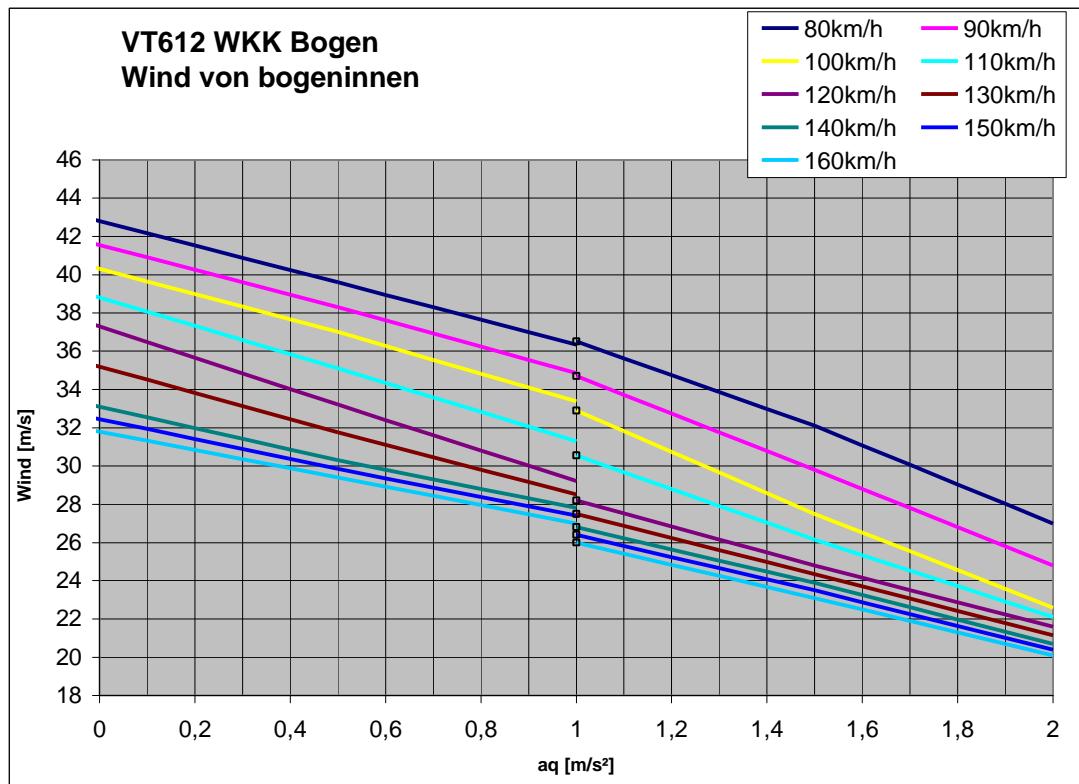


Abbildung 6.2: WKK VT612 Bogen, Wind von bogeninnen,  $aq=0,0\text{m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$  Wagenkasten gerade;  $aq=1,1\text{m/s}^2 - 2,0 \text{ m/s}^2$  Wagenkasten  $8^\circ$  gegen Wind geneigt

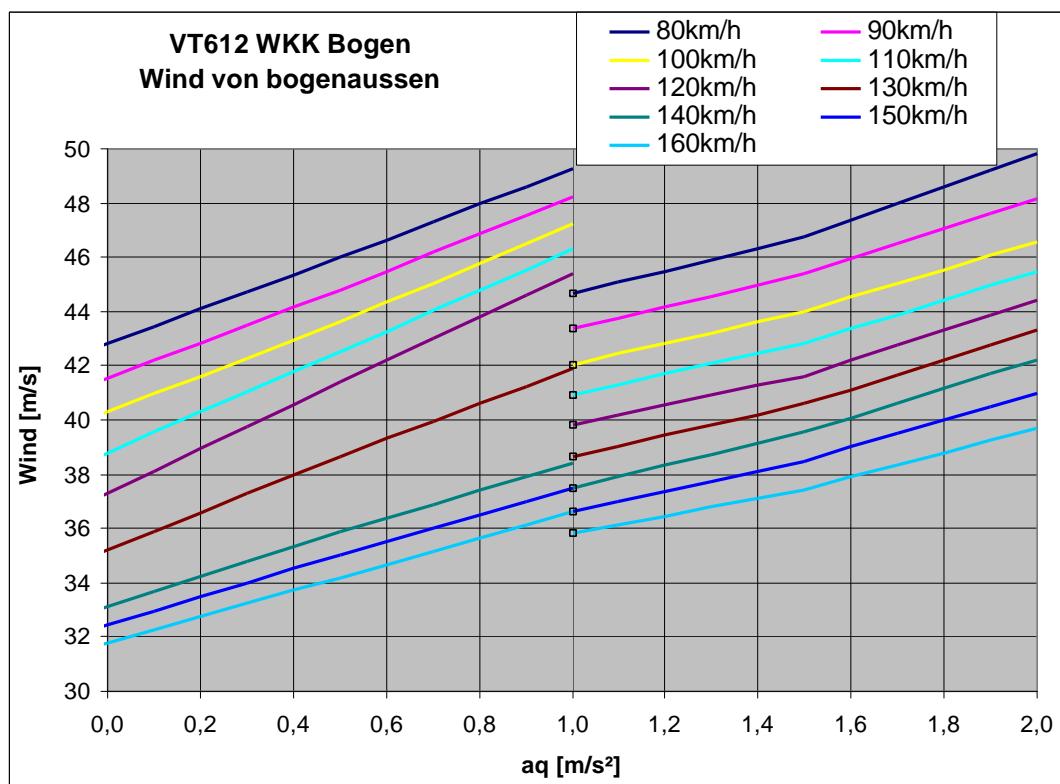
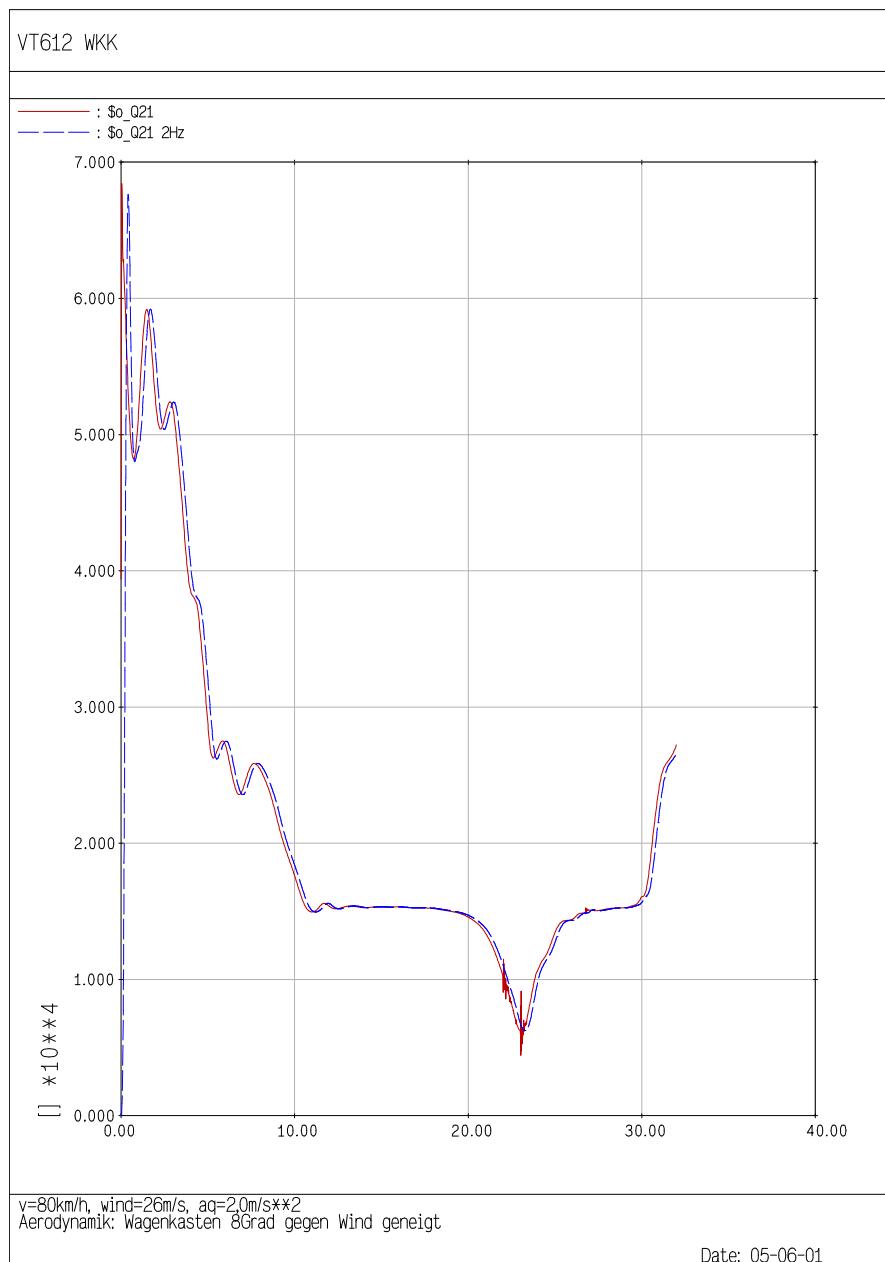


Abbildung 6.3: WKK VT612 Bogen, Wind von bogenaussen,  
 $aq=0,0\text{m/s}^2 - 1,0 \text{ m/s}^2$  Wagenkasten gerade;  $aq=1,1\text{m/s}^2 - 2,0 \text{ m/s}^2$  Wagenkasten  $8^\circ$  mit Wind geneigt

### 13. Anlage B Filterung

*Gutachter: Die Zeitplots der Q-Kräfte enthalten keine 2 Hz Filterung*

Diese Feststellung ist korrekt. Die in Anlage B dargestellten Zeitplots der Q-Kräfte sind ungefiltert. Für die Auswertung der Radentlastung wurde das  $\Delta Q/Q$  Signal entsprechend der Vorschrift gefiltert. In folgendem Diagramm ist für Anlage B.16 Q21 das ungefilterte und das mit 2 Hz gefilterte Signal gegenübergestellt.



**Abbildung 1: Gegenüberstellung gefiltertes und 2Hz gefiltertes Signal Q21 aus Anlage B.16**

#### 14. Einfluss der Reibwerte auf WKK

*Gutachter: In der RIL807 wird ein Reibwert von  $\mu_e=0,4$  festgelegt. Beim VT611 wurde mit einer Reibung von  $\mu_e=0,3$  gerechnet. Der Einfluss der Reibung auf die WKK ist an einem Punkt zu überprüfen*

Für den VT612 wurde im Punkt  $v=160$  km/h und  $a_q=2,0$  m/s $^2$  der Windkennwert mit unterschiedlicher Reibung berechnet. Die Ergebnisse sind auf den VT611 und VT610 übertragbar.

<b>WKK VT612 Berechnung mit unterschiedlicher Reibung</b>	
Reibung	wind [m/s]
$\mu_e=0,3$	20,2
$\mu_e=0,4$	20,2

#### 15. Beurteilungskriterium

*Gutachter: Das Beurteilungskriterium ist nicht  $dQ/Q$  sondern  $DQ/Q$  S. 11*

$$\left( \frac{\Delta Q}{Q_{012}} \right)_{\min} = \frac{Q_{11} + Q_{21} - 2 \cdot Q_{012}}{2 \cdot Q_{012}} < -0,9$$

#### 4 Unterschriften

Minden, den 02.06.2005

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

gez. Dr.-Ing. Rolf Naumann  
T.TZF 95.1

gesehen:

gez. Scheunemann  
Prüfstelle