

Deutsche Bahn AG  
DB Systemtechnik  
T.TZF \*. Simulation Strukturmechanik  
\* Fahrtechnik  
Pionierstraße \*  
D – \* Minden  
Beschreibung \* Stufe- \* Verfahrens \* \* Berechnung \* Wind-  
\* \* \* Mehrkörpersimulation  
Dokument: \*-P-\*-T.TZF95-UN-\*  
WODAN-TP5-V0-T02  
Datum: \*.\*  
Durchführung: Deutsche Bahn AG  
DB Systemtechnik  
Simulation Strukturmechanik  
\* Fahrtechnik (T.TZF95.\*)  
Pionierstraße \*  
\* Minden  
\* Ergebnisse \* \* \* \* \* Bericht \* Gegenstände \* Sachverhalte.  
Dieser Bericht \* \* \* \* \* Genehmigung \* DB Systemtechnik, T.TZF \*. Simulation Strukturmechanik  
\* Fahrtechnik \* DB AG \* \* \* \* \*.

## Inhaltsverzeichnis

\* Angaben \*

Auftrag.....\*

.....\*

Einleitung.....\*

.....\*

\* \*

Vorgehensweise.....\*

.....\*

\* \*

Anwendungsbereich.....\*

.....\*

Modellierung.....\*

.....\*

\*.\* Fahrtechnische

Modellierung.....\*

.....\*

\*.\*.\* Modellierung \*

Fahrzeugdynamik.....\*

.....\*

\* \* \*

Verifikation.....\*

.....\*

\*.\* Bestimmung \*.\* Fahrzeugeigenschaften.....\*

\*.\* Mathematische Beschreibung \*

Windszenarios.....\*

\*.\*.\* Meteorologisches Windmodell (\*)

.....\*

\* \* \*

Koordinatensystem.....\*

.....\*

\*.\*.\* Berechnung \*

Böenfaktors.....\*

.....\*

\*.\*.\* Berechnung \*

Zeitkonstante.....\*

.....\*

\*.\*.\* Berechnung \* \*

Windgeschwindigkeit.....\*

\* \* \*

Filterung.....\*

.....\*

\*.\*.\* Zeitlicher Verlauf \*

Windszenarios.....\*

\*

Berechnung.....\*

.....\*

\*.\* Berechnung \* Windkräfte \* —\*

.....\*

\*.\* Randbedingungen \*

Parameter.....\*

.....\*

\*.\* Kriterium \* Bestimmung \*

Windkennkurven.....\*

\*

Darstellung.....\*

.....\*

\* \*

Windkennkurve.....\*

.....\*

\* \*

\*

Bericht.....

.....\*

\*

Unterschriften.....

.....\*

\*

Literatur.....

.....\*

Bericht \*-P\*-T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

\* Angaben \* Auftrag

Bearbeiter: Dr.-Ing. Rolf Naumann

Deutsche Bahn AG, DB Systemtechnik

Simulation Strukturfestigkeit \* Fahrtechnik (T.TZF \*.\* )

Pionierstrasse \*

\* Minden

Auftraggeber: TZI

Verteiler: T.TZF99.\*, T.TZF17

Seiten: \*

\* Einleitung

\* Berechnung \* Windkennkurven \* \* Stufe-\* Verfahren \* \* \* Verfahren

\* Verwendung \* Mehrkörpersimulation. \* Verfahren \* \* \* Merkmale:

- \* \* Eigenschaften \* Fahrzeugs \* \* \* \*

Koeffizienten \*, \* \* \* Windkanal \* Modellen \* \*.

- \* Windszenario \* \* \* Untersuchungen \* \* \* Eigenschaf-

\* \* Windböe.

- \* Fahrzeugdynamik \* \* \* Mehrkörpermodell \*, \* \* Messdaten \*

\* Fahrzeugs \* \*. Somit \* \* \* \* Fahrzeugkonzepte \*

Seitenwindeigenschaften \* \*.

- Für \* Untersuchungen \* \* Gleislageanregung \*.

- Kriterium \* \* Windkennkurve \* \* \* Radentlastung (\*%).

\*. Vorgehensweise

In Abbildung \* \* \* \* Ablauf \* Berechnung \*. In \* Vorbereitungsphase \*

\* Bereitstellung \* \* \* \* \* Fahrzeugdaten \*-

\*. Daraus \* \* \* Modellierung \* MKS-Modells \* \* \* \*, \*

\* \* Bestimmung \* \* Koeffizienten \* Windkanal \* \*

Modells.

Zusammen \* \* Windszenario \* \* \* Randbedingungen \* \* Simula-

\* \* \*, \* \* \* Reaktion \* Fahrzeugs \* \* Seitenwinder-

\* \* \* (Entlastung \* Räder). Durch \* Auswertung \* Zeitdaten \* \* \*-

\* Kriterium (\*%-Radentlastung) \* \* Ermittlung \* \* \*

WKK-Punkte.

Für \* \* Darstellung \* Windkennkurve \* \* Interpolation \* \* \*

Punkten \*. \* WKK \* \* \* \* Bericht \*.

Bericht \*-P-\*-T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

Fahrtechnische Aerodynamische

Windszenario

Fahrzeugdaten Fahrzeugdaten

Modellierung Modellerstellung

\* Verifikation \* Messung

Aerodynamische

Verifiziertes Modell

Koeffizienten

Parameter / Simulations-

Randbedingungen \*

Zeitdaten

Kriterien Auswertung

WKK

Bericht

Abbildung \*: \* Ablauf \* Windkennkurvenberechnung

\*, \* Anwendungsbereich

Folgende Voraussetzungen \* \* Anwendbarkeit \* Verfahrens \* \* \*:

- \* Fahrzeug \* \* \* Windbedingungen

- \* \* \* Seitenwinds \* Fahrzeug \* \* \* (\* \*

\* Fahrzeug)

\*

\*

\*

Bericht \*-P-\*-T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

\* Modellierung

\*. \* Fahrtechnische Modellierung

\*. \* Modellierung \* Fahrzeugdynamik

Für \* Abbildung \* Berechnung \* \* Fahrzeugeigenschaften \* \* \*

Mehrkörpersimulationswerkzeug \* \*, \* \* \* \* \* Abbil-

\* \* Schienenfahrzeugen (Routinen \* \* Rad/Schiene-Kontakt) \*. \* Modellierung \*

Fahrzeugs \* \* \* \*-D Modell \* \* \* \* Wagenkasten, \* Drehgestellrah-

\* \* \* Radsätze \* \* \* Körper \* \*. Es \* \* Komponenten \* \*-

, \* \* \* \* Einfluß \* \* Seitenwindverhalten \* Fahrzeugs \*.

Dies \* \* \* Bauteile:

- Wagenkasten, Drehgestellrahmen, Radsätze \* \* \*. \* Massen \* \*

- Massen \* Trägheitsmomente

- Geometrie \* Schwerpunktlage

- Federungen

- Steifigkeiten \* Federungen (\*-, \*) \* \*- , \*- \*-Richtung \*. \* \*

Verhalten \* Kraft-Weg-Kennlinien

- Dämpfungscharakteristiken \* \* Dämpfer \* \* \* \* Richtung

- Anschläge

- Lage \* Charakteristik \* \*- \* \* Anschläge \* \* Primär- \* Sekundär-

\*

- Neigetechnik, \* \*

- Rad/Schiene-Kontakt

- Rad- \* Schienenprofile

- Berechnung \* Kontaktkräfte \* Berücksichtigung \* Spurkranzkontakt

\*. \* \* Verifikation

Bevor \* Windkennkurvenberechnung \* \*, \* \* Verifikation \* Fahrzeugmodells

, \* \* \* \* Eignung \* Modells \* Seitenwinduntersuchungen \* \*. \*

Verifikation \* \* Messwerten \* \* Fahrzeugs. Folgende Werte \* \* \*:

\*. Wankkoeffizient \*

Liegen \* Messwerte \* \* Wankkoeffizienten \*, \* \* Mittelwert \*. \* Ab-

\* \* Modell \* Messwert \* \* \* \* \*% \*

\*. Massen

\* Gesamtmasse \* Fahrzeugs \* \* \* Summe \* Q-Kräfte \*. Ebenso \*

\* Q-Kräfte \* Rades \*, \* \*, \* Drehgestells \* \* Messungen \*.

\* Abweichung \* \* Messungen \* \* \* \* \*% \*. Wenn \* Messwerte

, \* \* \* \* Mittelwert \* \*.

Wenn \* \* Messungen \*, \* \* \* \* Verifikation \* \*.

Dies \* \* \*:

- Zeitdaten \* Q-Kräfte \* \* Rad \* \* Radian \* \* Überhöhun-

\*

- Verifikation \* %-Werte \* Q-Kräfte \* \* Messungen \* Zulassungsfahrten (\*. B \* UIC522).

Bericht \*-P-\*-T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

\*.\* Bestimmung \* \* Fahrzeugeigenschaften

Für \* Berechnung \* Windlasten \* \* \* Fahrzeug \* \* \* \* \* Ko-

\* \*, \*, \*, \*. Diese \* \* Verwendung \* Modells \*

Windkanal \*.

\*.\* Mathematische Beschreibung \* Windszenarios

Für \* Berechnung \* Windkennkurven \* MKS-Simulation \* \* \* Windverlauf \*-

\* \* \* \* Modell \* (Windszenario). Grundlage \* Windmodells

\* \* \* Beschreibung \* \* Windböe, \* \* \* Mes-

\* [\*].

\* Windmodell \* \* Anregung \* \* \* Modell \* \* \* \* Abbildung \* \*-

\* Form. Auf \* \*-Achse \* \* Zeit \* \* [\*] \* \* \* \*-Achse \* Windgeschwindigkeit \*

[\*/] \*. Bei \* Simulationsrechnung \* \* Fahrzeug \* \* Fahrzeugge-

\* \* \* \* Wind \*. In Abbildung \* \* \* Verlauf \* Windes \*

\* Weg \* \* \* Fahrzeuggeschwindigkeit \*.

Windszenario \* MKS-Simulation Reihe5

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\* \* \* \* \* \*

Weg [\*]

Abbildung \*: \* Verlauf \* Windszenarios

Es \* \* \* \* \* Windmodell, \* \*, \* \* \* \* Windverlauf \*

\* \* \* Verlauf \*. Aus \* \* Verlauf \* \* \* Transformation

\* Verwendung \* Fahrzeuggeschwindigkeit \* \* Verlauf \* \* (\* Ab-

\* \* \* \*).

\*.\* Meteorologisches Windmodell (\*)

\* \* Teil \* \* Berechnung \* Windgeschwindigkeit \* Abhängigkeit \* Weg \*.

Beginnend \* \* Bestimmung \* Böenfaktors \* \* Zeitkonstante \* \* Windgeschwindigkeit

\*

\*.\* Koordinatensystem

In Abbildung \* \* \* Koordinatensystem \*, \* \* \* Meteorologie \* \* Ableitung \*

Windszenarios \* \*. \* Hauptwindrichtung \* \* \* \* \*, -Koordinatensystem

\*. \* Richtungen \* \*- \*-Achse \* \* \* \* \* Bahntechnik \*-

\* Richtungen (\*-Richtung = Fahrtrichtung; \*-Richtung= \* \* Fahrtrichtung). Durch Turbulen-

]/\*[

\*



Bericht \*-P--T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

\* \* Störungen \* Windes \* \* Betrag \* \* \* \* Richtung \*. Diese  
 Abweichungen \* \* Hauptwindrichtung \* \* \* Komponenten \* \* Hauptwind-  
 \* \* \* \* \* Hauptwindrichtung \* \* .  
 Koordinatensystem \* Meteorologie  
 \* Anströmwinkel \* Trasse  
 \*

\* \* Störungen \* (\*) \* \* (\*)  
 \* Hauptwindrichtung \*  
 \*

\*

\* Koordinatensystem (\*, \*) \* \*

Festlegung \* Hauptwindrichtung \*

Abbildung \*: Definition Koordinatensystem \* \* Meteorologie  
 \* Winkel \* \* \* Hauptwindrichtung \* \* Trasse \* \* Anströmwinkel \* Trasse  
 \*. Bei \* Anströmwinkel \* \* o \* \* Hauptwindrichtung \* \* \* Komponente \*  
 \* \* \*-Richtung, \* \* Komponente \* \* \* \*-Richtung \*.  
 \* . \* Berechnung \* Böenfaktors  
 Ausgangspunkt \* \* Berechnung \* Böenfaktors \* \* Intensität \* Turbulenz, \* \* \*-  
 \* .  
 \*(\*) Gl.( \*)  
 $I =$  \*  
 \*

\*( )  
 \*

\*

I Intensität \* Turbulenz  
 \* Rauigkeit \* Geländes. Annahme \* Windszenario \*=\*, \*  
 \*(\*) Hilfsfunktion (\* \* \* Rauigkeit)  
 \* Höhe \* Schienenoberkante (Annahme: \*=\*)  
 \* .  

$$\frac{(\cdot \cdot) (\cdot \cdot) * (\cdot \cdot) (\cdot \cdot) * Gl.(*)}{(*)} = - * (\cdot \cdot) - * (\cdot \cdot) (\cdot \cdot) (*) (*) * (\cdot \cdot) * (\cdot \cdot) + * (\cdot \cdot) (\cdot \cdot)$$
 \* ■ ■ \* \* \*

\* Böenfaktor G \* \* \* \* \* Intensität \* \* Amplitude \*:  
 ~  
 $G = + * (\cdot \cdot) I Gl.(*)$   
 ~  
 \* \* Amplitude \* Böe, Annahme: Wert=\*, \* \* \* Mes-  
 \*

Aus \* Böenfaktor \* \* \* Windgeschwindigkeit \* \* \* Wind \* \*-  
 \* .  
 U Gl.( \*)  
 $U =$  \*  
 \* G  
 U \* Windgeschwindigkeit  
 \*

Bericht \*-P-\*-T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

Anmerkung: \* Böenfaktor \* \* \* \* Rauigkeit \* Geländes \* \* \* Amp-

\* \*. Diese Faktoren \* \* \* \* \* Windgeschwindigkeit.

Somit \* \* \* \* \* Werten \* Böenfaktor \*  $G = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\text{Rauigkeit}}}}$  , \*

Für \* \* Bestimmung \* Windgeschwindigkeit \* \* Standardabweichung \* Abhängigkeit

\* \* \* Windgeschwindigkeit \* \* Intensität \*:

$I = \frac{1}{2} \rho U^3$  U Gl.( \*)

\* \*

Umean \* Windgeschwindigkeit

\* Standardabweichung \* Windgeschwindigkeit

\*

\* \* Berechnungen \* \* \* Informationen \* \* \* Verlauf \*

Windböe. Hierfür \* \* \* Berechnungsschritte \*.

\* . \* Berechnung \* Zeitkonstante

\* Berechnung \* Zeitkonstante \* \* \* Leistungsdichtespektrum (PSD) \* \*

Komponente \* \* \*.

\* \* Länge (\* \* Wellenlänge \* Böe) \* \* Hauptwindrichtung ( \*-

Richtung, \*-Komponente) \* \* \*:

\* . \* Gl.( \*)

$L_x = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\text{Rauigkeit}}}}$

\* \* \*

\*

$L_x$  \* Länge / Wellenlänge \* Böe \* \* Trasse (\*-Richtung

\*

\* \*-Komponente)

\* Höhe \* Schienenoberkante (Annahme: \*=\*)

\* Rauigkeit \* Geländes (Annahme \*=\*.)

\*

\* \* Frequenz \* \* \* \*:

$f = \frac{1}{L_x}$  Lx Gl.( \*)

\* = \*

\* U

\*

Umean \* Windgeschwindigkeit

\* \* Vektor \* \* Zahlenwerte \* \* \* \* . Durch \* \* \* \*

\* Frequenzbereich \* \* \*/\* Daten \* . \*-

\* . \* \* Frequenz \* \* \*/\* Hz \* \* \* Frequenz \*

\* \* Hz.

\* „“ Frequenz

\*

Somit \* \* \* Leistungsdichtespektrum (PSD) \* \*:

$S(f) = \frac{1}{L_x} \cdot \frac{1}{f}$  Gl.( \*)

$S(f) = \frac{1}{L_x} \cdot \frac{1}{f}$

\* ( ) \* \*

\* + \* . \* ( \* . \* ) \* \* \*

\*

$S(f)$  \* Leistungsdichtespektrum (PSD) \* \* Böenkomponente

\*

\* \* Zeitkonstante \* \* Böe \* \* \* \* \* Integralen:

- \* Gl.( \*)

Ø \* \* \*

OE (\*:\*) \* (\*:\*) S (\*)\*

\*

\* OE \*

T = (\*:\*) \*

OE \*

\* \*

OE (\*:\*) S (\*)\* \*

OE<sup>0</sup> \* \*

\*

T \* Zeitkonstante \* Böe

\* Zeitkonstante \* \* Böe \* \* \* \*:

~

T = T (\*:\*) T Gl.( \*)

~

T \* Zeitkonstante \* Böe

Zwischen \* \* Amplitude \* \* Zeitkonstante \* \* Zusammenhang:

~ ~

T = \*. (\*:\*) Aq Gl.( \*)

\* Faktor \* Messungen/Theorie Annahme: \*=\*, \*

Daraus \* \* \* \* Zeitkonstante \* \* Böe:

~

T = T (\*:\*) \*. (\*:\*) Aq Gl.( \*)

\*. \* \* Berechnung \* \* Windgeschwindigkeit

Unter Verwendung \* Zeitkonstante \* \* Windwinkel \* Trasse \* \* \* Windge-

\* \* \* \* \* Richtung \* \* Weg \* \*.

Zunächst \* \* Faktor \* \* Zeitkonstante \* (Einheit [\*/] = [Hz]):

\* Gl.( \*)

\* =

\* (\*:\*) T

\* Faktor [\*/]

Nun \* \* Windgeschwindigkeit \* \*-Komponente \* \* \* \* Richtung \*

Trasse \* \*:

\* Gl.( \*)

\* (\*) = \* (\*:\*) \* (\*:\*) \* (\*) (\*:\*)

\* U

\*

\* Gl.( \*)

\* (\*) = \* (\*:\*) \* (\*:\*) \* (\*) (\*:\*)

\* U

\*

\* Windanteil \*

\*

\* Windanteil \*

\*

\* Weg \* Richtung \* Wegtrasse \* [\*]

\* Windwinkel \* Trasse

U \* Windgeschwindigkeit

\*

Aus \* Windgeschwindigkeiten \* Richtungen \* \* \* Korrelation \* \* \*

Windgeschwindigkeit \* \* Interpolation \* \*:

Bericht \*-P-\*-T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

$$\begin{aligned} & ( \cdot ) * ( \cdot ) * ( \cdot ) * ( \cdot ) * \text{Gl.} ( \cdot ) \\ & - ( \cdot ) \text{Cx} ( \cdot ) * ( \cdot ) + ( \cdot ) \text{Cy} ( \cdot ) * ( \cdot ) \\ & = \blacksquare * * * \blacksquare * * * \end{aligned}$$

C \*

C \* Windgeschwindigkeit

Cx Abstiegskoeffizient \* \* Windrichtung; Wert = \*.\*

\*

Cy Abstiegskoeffizient \* \* \* Windrichtung; Wert = \*.\*

\*

\* Exponent \* Abstiegs \* \* Windrichtung; Wert = \*.\*

\*

\* Exponent \* Abstiegs \* \* \* Windrichtung; Wert = \*.\*

\*

Diese Werte \* \* \* Messungen.

\* Windgeschwindigkeit \* \* Trasse \* \* \* \* Formel \* \*:

~

$$* = U + * ( \cdot ) * ( \cdot ) \text{C Gl.} ( \cdot )$$

Wind \* \*

Bei \* Anströmwinkel \* ° \* \* \* Anteil \* = \* \* \* Berechnung \* Korrelati-

\*

\* \* \* \*.

$$\begin{aligned} & ( \cdot ) * ( \cdot ) \text{Gl.} ( \cdot ) \\ & - ( \cdot ) \text{Cy} ( \cdot ) * ( \cdot ) \\ & \text{C} = * \blacksquare * * * \end{aligned}$$

\*

\* Windgeschwindigkeit \* \* Trasse \* \* \* \* Formel \* \*:

~

$$* = U + * ( \cdot ) * ( \cdot ) \text{C Gl.} ( \cdot )$$

Wind94 \* \* \*

\* Windgeschwindigkeit \* \* Strecke

Wind

U \* Windgeschwindigkeit

\*

~

\* \* Amplitude \* Böe

\* Standardabweichung \* Windgeschwindigkeit ( \* Gl. ( \* ) )

\*

\* \* \* Filterung

\* Verlauf \* Windszenarios \* \* \* \* Mittelwert \* \* Fahrzeuglänge

\*

\* \* \* Zeitlicher Verlauf \* Windszenarios

\* \* Windmodell \* \* \* Verlauf \* Windböe. Zusammen \* \*

Fahrzeuggeschwindigkeit \* \* \* \* Verlauf \* \* , \* \* \* \* MKS-

Simulation \* \*. Hierfür \* \* Länge \* \* \* \* , \* \* \*

Windmaximum \* \* \*. Diese Strecke \* \* Fahrzeug \* \* \* Geschwindigkeit \*

\* \* Zeit \*. Bei \* Berechnung \* \* Verlaufs \* \* \*

Windmaximum \* \* \* \* Zeitpunkt \*. \* \* Windgeschwindigkeit (U-

\*) \* \* Kriterium \* \* Windkennkurve \*.

$$]^{*}/^{*}[$$

\* Berechnung

\*. Berechnung \* Windkräfte \* —\*

Für \* \* Fahrzeug- \* Windgeschwindigkeiten \* \* \* Windlasten \*

Verwendung \* Windszenarios \* \*. \* Windlast \* \* \* Komponenten (Fy, Fz,

Mx, My, Mz) \* \* \* Gleichungen \* \* \*:

\* ( ) (\*. \*)

F = \* \* \* \* \* (\*. \*)

\* \* Fi \* (\*. \*) , \* ■ { \* , \* , \* }

M = \* \* Adc ( \* ) \* (\*. \*)

\* \* Mi \* (\*. \*)

\*

Luftdichte

\* Fläche ( \* \*)

\* Länge ( \* \*)

\* \* \* Koeffizienten \* Abhängigkeit \* Anströmwinkel

Fi, Mi

\* \* Windgeschwindigkeit

\*

\* Anströmwinkel

\* \* Koeffizienten \* \* Anströmwinkel \* \* \* Interpolation \*

\* Messungen \* \*. In \* Abbildung \* \* \* Zusammenhang \* \*

Geschwindigkeiten \* \*:

\*

\*

\* \*

\*

\*

\*

\*

\*

Abbildung \*: Windgeschwindigkeiten \* Fahrzeug

\* \* Windgeschwindigkeit \* \* \* \*

= ( \* + \* \*) \* + ( \* \*) \*

\* \* W W

\* \* Anströmwinkel \* \*

( )

\* \* \*

\* = \* W ( )

\* + \* \*

\* W

\*.

\* Fahrzeuggeschwindigkeit

\*

\* Windgeschwindigkeit (\* . Windszenario \* . \* . \*)

W

\* Windwinkel \* Trasse

\*. \* Randbedingungen \* Parameter

\* Simulationsrechnungen \* \* \* Randbedingungen \*:

- \* Gleislagestörungen
- Spurweite \* Schienenneigung \* \* Einsatzstrecke
- Berücksichtigung \* Querschleunigung \* Überhöhung \* Fahrt \* \* Geraden
- Reibwerte \* Rad/Schiene-Kontakt \* \* \* Schiene

Folgende Punkte \* Windkennkurve \* \* Simulationsrechnungen \* \*:

\*. Windwinkel \* °:

- Gerade, Fahrzeuggeschwindigkeiten \* \*=\* \*/\* \* \* \* \*/\* Schritten
- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Fahrzeuggeschwindigkeiten \* \*=\* \*/\* \* \* \* \*/\* Schritten

- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Fahrzeuggeschwindigkeiten \* \*=\* \*/\* \* \* \* \*/\* Schritten

\* Neigetechnikfahrzeuge (\* \* Neigetechnik) \* \* \* \*:

- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Fahrzeuggeschwindigkeiten \* \*=\* \*/\* \* \* \* \*/\* Schritten

- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Fahrzeuggeschwindigkeiten \* \*=\* \*/\* \* \* \* \*/\* Schritten

\*. Fahrzeuggeschwindigkeit \*

- Gerade, Windwinkel °, °, °, °, °
- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Windwinkel °, °, °, °, °
- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Windwinkel °, °, °, °, °

\* Neigetechnikfahrzeuge (\* \* Neigetechnik) \* \* \* \*:

- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Windwinkel °, °, °, °, °
- Bogenfahrt \* \*=\*, \* \*/\*, Windwinkel °, °, °, °, °

\*. \* Kriterium \* Bestimmung \* Windkennkurven

Aus \* Simulationsrechnungen \* \* Zeitdaten \* Q-Kräfte \* Räder \*. \* Kriterium

\* \* Bestimmung \* Windkennkurven \* \* \* Radentlastung \* Drehgestells. \* Ber-

\* \* Kriteriums \* \* \* Vorschrift:

- Berechnung \* D Q/Q Werte \* \* Zeitdaten \* Q-Kräfte

\*

D Q Q +Q - \*(.\*) Q

• = \* \* \*

Q \*(.\*) Q

\* \*

- Tiefpassfilterung \* D Q/Q \* \* Hz (Butterworth-Filter, \*. Ordnung)

\*

- Bildung \* Maximums \* D Q/Q \* \* Drehgestellen

\*

Q \* \* \* Q-Kräfte \* \* Fahrzeugs \* Ruhezustand, Q \* \* Q-Kräfte \* \*-

\* \*

\* Rades \* \* Radsatzes, Q \* \* Q-Kräfte \* \* Rades \* \*-

\*

\* Radsatzes.

Sind \* Radsätze \* \* Drehgestell \*, \* \* Gleichungen \* \* \*

Kräfte \* \*.

Bericht \*-P--T.TZF99-UN-\* Seite \* \* \*

\* Darstellung

\*. \* Windkennkurve

Für \* \* Beschreibung \* Windkennkurve \* \* Werte \* \* Diskretisierung

\* \* \*/\* \* \*, \*/\* Schritten \*. Diese Werte \* \* \* Interpolation \* \*

\* \* Werten \* \*.

Für \* \* \* Berechnung \* \* Windkennwerte \* \* Querbesch-

\* \*. Diese \* \* \* \*, \* \* \* \*\_

\* Spiegelung \* \*=\*, \*/\* \* \*. Folgende Werte \* \*:

Tabelle \*: Windkennkurve \* \* Anströmwinkel \*°

Anströmwinkel \*°

\* [\*/] \* [\*/]

\* [\*/] \* \*, \*, \*, \*, \*, \*, \*, \*, \* ... \*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

...

\*

Tabelle \*: Windkennkurve \* \* \* \* Windwinkel

\*

\* [\*/] \* [\*/]

\* [°] \* \*, \*, \*, \*, \*, \*, \*, \*, \* ... \*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*. \* Bericht

\* Windkennkurven \* \* \* \* Bericht \* \*. \* Bericht \* \*-

\* \* Teile \*:

- Simulationswerkzeug (Name, Version)
- Eingangsdaten \* Quellenangaben
- Verifikationsrechnungen (Messungen \* Simulationsrechnungen)
- Randbedingungen \* Variationen \* WKK-Berechnung
- Grenzwerte \* Kriterium
- Windkennkurven \* \* Form
- Literaturliste \* Quellenangaben



