

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: *

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

* 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 * * Radien * * Überhöhung-

*

• Verifikation * * %-Werte * Q-Kräfte * * Messungen * Zulassungsfahrten (*. B *

UIC522).

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 * * * Hauptwindrichtung * * * Komponente *
 * * * -Richtung, * * Komponente * * * -Richtung *.
 * * * Berechnung * Böenfaktors
 Ausgangspunkt * * Berechnung * Böenfaktors * * Intensität * Turbulenz, * * *-
 * * .

() GI.(*)
 I = *

*()

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

■■ * * *

* Böenfaktor G * * * * * Intensität * * Amplitude *:
 ~
 G =*+ *(*:*) I GI.(*)
 ~
 * * Amplitude * Böe, Annahme: Wert=*, * * * Mes-
 *

Aus * Böenfaktor * * * Windgeschwindigkeit * * * Wind * *-
 * * .

U GI.(*)
 U = *
 * G
 U * Windgeschwindigkeit
 *

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

Anmerkung: * Böenfaktor * * * Rauhigkeit * Geländes * * * Amp-

* *. Diese Faktoren * * * * Windgeschwindigkeit.

Somit * * * * Werten * Böenfaktor * G=*, *.

Für * * Bestimmung * Windgeschwindigkeit * * Standardabweichung * Abhängigkeit

* * * Windgeschwindigkeit * * Intensität *:

* = I (*,:) U GI.(*)

* *

Umean * Windgeschwindigkeit

* Standardabweichung * Windgeschwindigkeit

*

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

Windböe. Hierfür * * * Berechnungsschritte *.

* * * Berechnung * Zeitkonstante

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

Komponente * * *.

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

Richtung, *-Komponente) * * *:

* * GI.(*)

Lx =*(*)

* * *

*

Lx * Länge / Wellenlänge * Böe * * Trasse (*-Richtung

*

* * -Komponente)

* Höhe * Schienenoberkante (Annahme: *=*)

* Rauhigkeit * Geländes (Annahme *=.*.)

*

* * Frequenz * * * *:

*(,:) Lx GI.(*)

* = *

* U

*

Umean * Windgeschwindigkeit

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

* Frequenzbereich * * */ Daten * . -

*: * * Frequenz * * */ Hz * * * Frequenz *

* * Hz.

* , " Frequenz

*

Somit * * * Leistungsdichtespektrum (PSD) * *:

*(,:) * * GI.(*)

S (*) = * (,:)

* (,)* *

* + * . * (,:) * * *

*

S (*) Leistungsdichtespektrum (PSD) * * Böenkomponente

*

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

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

- * Gl.(*)

Ø ***

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

*

* OE *

T = (*:*) *

OE *

* *

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

OE⁰ ***

*

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 * * *

(*.*) * (*.*) * (*.*) * (*.*) * GI.(*)
- (*.*) Cx(*.*) * (*.*) + (*.*) Cy(*.*) * (*.*)

= ■ * * * ■ * * *

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 + *(*.*) * (*.*) C GI.(*)

Wind * *

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

*

* * * *.

(*.*) * (*.*) GI.(*)

- (*.*) Cy(*.*) * (*.*)

C = * ■ * * *

*

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

~

* = U + *(*.*) * (*.*) C GI.(*)

Wind94 * * *

* Windgeschwindigkeit * * Strecke

Wind

U * Windgeschwindigkeit

*

~

* * Amplitude * Böe

* Standardabweichung * Windgeschwindigkeit (* GI.(*))

*

. . Filtering

* 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 *.

Bericht *-P-*-T.TZF99-UN-* Seite * * *
* Szenario * * * Grundwind *, * * * Böenanstieg * * *
Abfall. Um * * * Ergebnisse * * Fahrzeugreaktionen * * Böe *
*, * * * Fahrzeug * * Grundwind * * * Zustand
*.

* * Szenario * * Abbildung * *.

Windszenario *=*/*=*/=

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*

*</p

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

* Berechnung

* * Berechnung * Windkräfte * -*

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

Verwendung * Windszenarios * *. * Windlast * * * Komponenten (Fy, Fz,
Mx, My, Mz) * * * Gleichungen * * *:

* () (*:*)

$F = \dots$ (*:*)

* * $F_i = \dots$, $\{ \dots \}$

$M = \dots$ Adc (* *) (*:*)

* * $M_i = \dots$

*

Luftdichte

* Fläche (* *)

* Länge (* *)

* * * Koeffizienten * Abhängigkeit * Anströmwinkel

F_i, M_i

* * 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

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

. Randbedingungen * Parameter

* Simulationsrechnungen * * * Randbedingungen *:

• * Gleislagestörungen

• Spurweite * Schienenneigung * * Einsatzstrecke

• Berücksichtigung * Querbeschleunigung * 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 * *.

