



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Bundesnetzagentur

Eisenbahn-Bundesamt



DIE BAHNINDUSTRIE.

VDB VERBAND DER BAHNINDUSTRIE IN DEUTSCHLAND E.V.



VERBAND DER GÜTERWAGENHALTER IN DEUTSCHLAND E.V.



Die Verkehrs-
unternehmen

Leitfaden

Bewertung von Änderungen an Schienenfahrzeugen bezüglich Seitenwind

Datum: 24.10.2018

Ersteller: Arbeitskreis Aerodynamik im Auftrag des
Lenkungskreis Fahrzeuge

Rev.	Datum	Beschreibung der Änderung	Verfasst	Freigabe
01	24.08.2018	Erstausgabe für den internen Gebrauch zur Weiterleitung an den LK Fahrzeuge	Arbeitskreis Aerodynamik	
02	24.10.2018	Freigabevermerkes, Formeln im Anhang A2, geringe redaktionelle Anpassungen		Lenkungskreis Fahrzeuge

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Anwendungsbereich und Motivation	4
2.1	Technischer Anwendungsbereich	4
2.2	Gültigkeit des Leitfadens und Einordnung in die Regelwerkslandschaft	4
2.3	Motivation	5
3	Symbole und Terminologie	6
3.1	Symbole	6
3.2	Terminologie	8
4	Methoden, Randbedingungen und Vorgehensweise bei kleinen Änderungen	9
4.1	Vorbereitende Schritte und Nachweispunkte	9
4.2	Liste der Änderungen und Parameterwerte	11
4.3	Änderungen der Außenform quantifizieren	11
4.3.1	Identifikation potentiell stabilitätsverringender Änderungen der Außenform	12
4.3.2	Bewertung der Änderung der Dachgeräteanordnung	13
4.3.3	Bewertung mittels CFD	14
4.3.4	Abschätzung aerodynamischer Koeffizienten aus dem Rollmoment	14
4.3.5	Definition Dachkontur und Kopfbereich	15
4.4	Typisierung der Parameteränderungen	15
4.5	Bestimmung des Nachweisweges	16
4.6	Modul I: Stabilitätserhöhende Änderungen	17
4.7	Modul II: Potenziell stabilitätsverringende Änderungen	18
4.7.1	Bewertung der Summe der Radsatzlaständerungen	18
4.7.2	Berechnung der Windkennkurvenänderung	19
4.7.3	Bewertung der Windkennkurvenänderung	20
4.8	Modul III: Vereinfachungen für Fahrzeugvarianten eines Plattform Konzeptes	20
4.9	Dokumentation bei kleinen Änderungen	20
5	Modul IV: Erneuter vollständiger Nachweis	21
6	Referenzen	22
7	Anhang	22
A.1	Tabelle für die Parametertypisierung der Fahrzeugänderung	23
A.2	Exemplarische Bestimmung der Radsatzlaständerung $dQ_{p,i}$ (informativ)	25
A.3	Herleitung der Formel in Abschnitt 4.7.1 (informativ)	30

1 Einleitung

Die Zulassung von Schienenfahrzeugen für den Personenverkehr erfordert den Nachweis der Stabilität bei Seitenwind. Grundlage des Nachweises sind die Bestimmung und Bewertung der Windkennkurven (CWC) von Fahrzeugen, für deren Berechnung die aerodynamischen und fahrdynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs notwendig sind. Die aerodynamischen Eigenschaften werden durch aerodynamische Koeffizienten beschrieben, die durch Windkanalversuche oder CFD-Berechnungen ermittelt werden. Die fahrtechnischen Eigenschaften werden durch die Konstruktion des Fahrzeugs bestimmt und über mechanische Ersatzmodelle (statisch) oder Berechnungsverfahren (dynamisch MKS - Mehrkörpersimulation) abgebildet.

Die Anwendung des Leitfadens ermöglicht die Bewertung von kleinen konstruktiven Änderungen (Umbauten, ähnliche Nachbauten oder Modernisierungen) eines Fahrzeugs hinsichtlich der Sicherheit bei Seitenwind. Es erfolgt eine Beurteilung, ob das geänderte Fahrzeug als hinreichend seitenwindstabil nach Ril 807.04 einzustufen ist oder ob ein neuer Nachweis geführt werden muss. Das Verfahren kann auch zur Bewertung der Seitenwindsicherheit von Fahrzeug-Varianten, aufbauend auf einer zugelassenen Fahrzeug-Plattform (z.B. Synthese-Fahrzeug mit reduzierter Masse) angewendet werden.

In der Ril 807.0414 ist die Möglichkeit für die Bewertung von kleinen Fahrzeugänderungen beschrieben. Bei der Verwendung dieses Moduls hat sich herausgestellt, dass die Anwendbarkeit und damit der Nutzen nur sehr gering sind, da die Beurteilung der Änderung nur eines Parameters zulässig ist. Bei gleichzeitiger Änderung von mehreren Parametern wird ein aufwändiger, rechnerischer Nachweis notwendig, der gutachterlich beurteilt werden muss.

Der vorliegende Leitfaden soll das Modul Ril 807.0414 zukünftig ersetzen. Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem der Einfluss von kleinen (mechanischen) Fahrzeugänderungen auf die CWC bewertet werden kann. Angelehnt an das Lambda-Verfahren aus der Norm für die fahrtechnische Zulassung nach EN 14363 [3] können die vorhandenen Reserven in der CWC für den Nachweis bei geänderten Fahrzeugparametern genutzt werden.

Ausgangspunkt ist die gewünschte Reduzierung des Aufwands durch den Verzicht auf einen umfangreichen Nachweis. Somit soll die Bewertung effizient, wenig aufwändig und schnell durchführbar sein. In diesem Sinn ergibt sich die Forderung nach einer leichten Darstellbarkeit, Prüfbarkeit und Transparenz der Bewertungsverfahren. Zusätzlich ist die Eindeutigkeit und Vollständigkeit des neuen Verfahrensteils zu beachten. Zentrale Forderung des Verfahrens ist, dass die Bewertung keine unzulässige Risikoerhöhung der Sicherheit bei Seitenwind ergibt. Die Beachtung dieser Bedingungen hat wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Toleranzen und die physikalische Modellierung zur Bewertung der Änderungen.

2 Anwendungsbereich und Motivation

2.1 Technischer Anwendungsbereich

Mit diesem Leitfaden können kleine Änderungen an einem Schienenfahrzeug hinsichtlich des Einflusses auf die Windkennkurven (CWC) eines Fahrzeugs beurteilt werden, um den Sicherheitsnachweis Seitenwind für das geänderte Fahrzeug weiterhin aufrecht zu erhalten, ohne erneut einen vollständigen Nachweis durchzuführen. Der Leitfaden folgt daher dem Anwendungsbereich der übergeordneten Regelwerke (TSI LOC&PAS, EN 14076-6, Ril 807.04).

Dieser Leitfaden ist für alle Fahrzeuge des Personenverkehrs anwendbar, sofern eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

1. Es liegt für das Originalfahrzeug ein vollständiger Nachweis der Sicherheit bei Seitenwind vor, der nach Ril 807.0433 mit dem P1-Verfahren oder P2-Verfahren geführt wurde
2. Es liegt für das Originalfahrzeug ein vollständiger Nachweis der Sicherheit bei Seitenwind gemäß Leitfaden [5] vor, der mit Windkennkurven nach EN 14067-6 geführt wurde
3. Das Originalfahrzeug verfügt über eine deutsche Inbetriebnahmegenehmigung und war vor dem 01.10.2005 in Betrieb.

In der Bewertung der obigen Kriterien wird bewusst kein Regelwerksstand festgeschrieben. Die Bewertung von Änderungen darf auf dem Regelwerksstand des vollständigen Nachweises des Originalfahrzeugs erfolgen, selbst wenn das Regelwerk zwischenzeitlich aktualisiert wurde.

Fahrzeuge mit großer Seitenwindstabilität und Nachweis durch Vorbewertung nach Ril 807.0412 werden hier nicht behandelt.

Der Leitfaden ist für Güterfahrzeuge nicht anzuwenden.

2.2 Gültigkeit des Leitfadens und Einordnung in die Regelwerkslandschaft

Der Leitfaden wurde von einem Expertengremium neu erarbeitet und stellt Vorgehensweisen dar, die von den Experten im Konsens als richtig und zutreffend angesehen werden.

Der Leitfaden wird zur Anwendung empfohlen, um in den kommenden Jahren Erfahrungen im Sektor zu sammeln. In diesem Sinne sind Abweichungen vom Leitfaden möglich. Diese Abweichungen müssen in der Dokumentation gesondert gekennzeichnet werden.

Nach einer bestätigten Anwendung des Leitfadens in mindestens 3 Fahrzeugnachweisen oder nach einer Übergangszeit von längstens 3 Jahren ab Inkraftsetzung, wird der Leitfaden durch das Expertengremium erneut geprüft. Nach Einarbeitung der zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen aus den durchgeführten Fahrzeugnachweisen wird der Leitfaden als verbindlich angesehen. Eventuelle zwischenzeitliche Normänderungen sind ebenfalls zu prüfen und bei Bedarf in den Leitfaden einzuarbeiten.

Der Leitfaden schließt eine Regelungslücke in der EN 14067-6:2010, da dort die Behandlung von Änderungen nicht adressiert ist.

Der Leitfaden erweitert die Regelungen im Modul Ril 807.0414 Änderungen an Personenfahrzeugen [2]. Das Modul Ril 807.0414 kann jedoch weiterhin angewendet werden.

Hinweis: Referenzwindkennkurven im Leitfaden [5] werden absehbar durch die nächsten Revisionen der EN 14067-6:2010 [1] überschrieben. Diese Neuerungen dürfen angewendet werden.

Die Ersteller empfehlen die Überführung der Inhalte in die europäische Normung, maßgeblich EN 14067-6 [1] und Ril 807.04 [2]. Entsprechende zukünftige Regelungen in [1] und [2] sollen Inhalte dieses Leitfadens ersetzen. Die Ersteller empfehlen die zur Anmeldung als notifizierte Regel (Aufnahme in NNTR Listen), da es sich um eine Ergänzung der notifizierten Regel [2] handelt.

Der AK Aerodynamik hat den Leitfaden am 24.08.2018 dem LK Fahrzeuge zur Freigabe empfohlen. Der Lenkungskreis Fahrzeuge hat in der Sitzung am 06.09.2018 den Leitfaden zur Veröffentlichung freigegeben und zur Aufnahme als notifizierte Regel empfohlen zur Wahrung der Kompatibilität mit dem nationalen System.

2.3 Motivation

Der Leitfaden stellt Verfahren bereit, um

- eine Regelungslücke zu Fahrzeugänderungen in der EN 14067-6 zu schließen,
- die Anwendungsmöglichkeiten des Moduls 807.0414 zu erweitern,
- Änderungen oder Fahrzeugvarianten eines Schienenfahrzeuges zu beurteilen

Der Nachweis wird auf die Bewertung der Unterschiede beschränkt, wodurch Aufwand und Dauer der Nachweisführung und Dokumentation signifikant reduziert wird.

Die neuen Methoden können ebenfalls für Fahrzeugvarianten von Plattformkonzepten verwendet werden, was zu stark vereinfachten Nachweiswegen in der Inbetriebnahme führt.

3 Symbole und Terminologie

3.1 Symbole

In Tabelle 1 und 2 sind die verwendeten Symbole und Indizes dargestellt. Symbole, Vorzeichenkonventionen und Koordinatensystem folgen der EN 14067-6 [1] und EN 14363 [3].

Tabelle 1: Verwendete Symbole

Symbol	Einheit	Bedeutung	Erklärung, Bemerkung
a	m	Halber Drehgestellmittenabstand	
A_0	m ²	Vorgegebene Bezugsfläche	10 m ²
a_q	m/s ²	Unausgeglichene Querschleunigung, entspricht dem Überhöhungsfehlerbetrag	
b_A	m	Halber Abstand der Radaufstandspunkte	
c_i	-	Dimensionsloser Aerodynamik-Beiwert	$i = M_x, M_y, M_z, F_x, F_y, F_z$
C_{Fi}	-	Dimensionsloser Aerodynamik-Kraftbeiwert	$i = x, y, z$
C_{Mi}	-	Dimensionsloser Aerodynamik-Momentenbeiwert	$i = x, y, z$
$C_{Mx,lee}$	-	Dimensionsloser Rollmomentenbeiwert um die leeseitige Schiene	
c_s	Nm/rad	Fahrwerkswanksteifigkeit	Reihenschaltung für Primär- und Sekundärfederstufe $c_s = \frac{c_{s,p} + c_{s,s}}{c_{s,p} \cdot c_{s,s}}$
d	-	Änderung der Größe eines Wertes; Delta	
d_0	m	Vorgegebene Bezugslänge	3 m
dp_i	-	Änderung des Parameters p_i	
dQ_0	N	Änderung der nominellen Radaufstandskraft	
$dQ_{p,i}$	N	Radlaständerung aufgrund Änderung von Parameter i	
dQ_{total}	N	Summe aller Radlaständerungen	
$dV_{W,total}$	m/s	Windkennkurvenänderung	Wert positiv bei CWC Absenkung gegenüber Originalzustand
f_{cs}	-	Faktor zur Aufteilung der Fahrwerk-Wanksteifigkeiten zwischen Drehgestell I und Drehgestell II	$f_{cs} = c_{s,max} / (c_{s,max} + c_{s,min})$ $c_{s,max} = \max(c_{s,I}; c_{s,II})$ $c_{s,min} = \min(c_{s,I}; c_{s,II})$
F_x	N	Aerodynamische Längskraft	
F_y	N	Aerodynamische Seitenkraft	
F_z	N	Aerodynamische Abtriebskraft	
g	m/s ²	Erdbeschleunigung	
h_{VEH}	m	Fahrzeughöhe von Schienenoberkante bis Dachscheitel	
$k_{p,y}$	N/m	Federsteifigkeit primär, Querrichtung	
$k_{s,y}$	N/m	Federsteifigkeit sekundär, Querrichtung	
L_{Bez}	m	Längenbezug des Wagenkastens	$L_{Bez} = L_{VEH}$ für Mittelwagen $L_{Bez} = L_{VEH} + 10 \text{ m}$ für führende Fahrzeuge
L_{VEH}	m	Längenparameter des Wagenkastens	Länge des Wagenkastens ohne Puffer und Wagenübergang
M	kg	Bei der Bewertung von Seitenwind zu berücksichtigende Fahrzeugmasse	Bezieht sich auf die Betriebsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs nach EN 15663
m_0	kg	Ungefederte Massen	Bezieht sich auf die Betriebsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs nach EN 15663

Symbol	Einheit	Bedeutung	Erklärung, Bemerkung
m_1	kg	Primär gefederte Massen	Bezieht sich auf die Betriebsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs nach EN 15663
m_2	kg	Sekundär gefederte Massen	Bezieht sich auf die Betriebsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs nach EN 15663
M_x	Nm	Aerodynamisches Rollmoment	
$M_{x,lee}$	Nm	Aerodynamisches Rollmoment um die leeseitige Schiene	
M_y	Nm	Aerodynamisches Nickmoment	
M_z	Nm	Aerodynamisches Giermoment	
n_W	-	Anzahl Räder pro Fahrwerk	
p_i	-	Parameter einer Fahrzeugänderung	
Q	N	Radaufstandskraft	Bezogen auf ein Rad
Q_R	N	Restradaufstandskraft	Bezogen auf ein Rad, $Q_0 - \Delta Q$
Q_0	N	Mittlere statische Radaufstandskraft	Bezogen auf ein Rad
s^*	-	Neigungskoeffizient (Wagenkasten-Gleis)	entsprechend EN 14363
s_w	Ns/m	Windkennkurvensensitivität	
v_{max}	m/s	Maximale Zuggeschwindigkeit	
v_{min}	m/s	Niedrigste Fahrzeuggeschwindigkeit, die im Vergleich der CWC zur Referenz-CWC geprüft wird	
v_{tr}	m/s	Zuggeschwindigkeit	
v_W	m/s	Windgeschwindigkeit	
$x_{CoG,2}$	m	Schwerpunktlage sekundär gefederte Massen in Längsrichtung	
$y_{CoG,2}$	m	Schwerpunktlage sekundär gefederte Massen in Querrichtung	
$y_{p,max}$	m	Maximaler Querweg Primärfeder in y	je Drehgestell im betrachteten Wagen
$y_{s,max}$	m	Maximaler Querweg Sekundärfeder in y	je Drehgestell im betrachteten Wagen
$z_{CoG,2}$	m	Schwerpunkthöhe sekundär gefederte Massen	
β	°	Schiebewinkel	Winkel zwischen der Fahrzeugachse und der Richtung der Anströmung des Zuges. In einem Windkanal mit unbeweglichem Zugmodell ist dies der Winkel zwischen Zuglängsachse und der Windkanalachse
β_W	°	Windwinkel zum Gleis	Winkel zwischen Windrichtung und Fahrtrichtung des Zuges (Gleisachse)
$\Delta Q/Q_0$	-	Relative Radentlastung	
$\Delta v_{Min,CWC}$	m/s	kleinste Stabilitätsreserve	
$\Delta v_{VP,CWC}$	m/s	Stabilitätsreserve im Nachweispunkt	
η_{VP}	%	Prozentuale Ausnutzung der Stabilitätsreserve	
ρ_0	kg/m ³	Referenzluftdichte	$\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$

Tabelle 2: Verwendete Indizes

Index	Bezeichnung
<i>CB</i>	Car Body (Wagenkasten)
<i>CFD</i>	Numerische Strömungssimulation
<i>CoG</i>	Center of Gravity (Schwerpunkt)
<i>total</i>	Total (gesamt)
<i>i</i>	Änderungsparameter
<i>Max</i>	Maximal
<i>Min</i>	Minimal
<i>mod</i>	Gegenüber Originalzustand geändertes Fahrzeug
<i>VP</i>	Verification point (Nachweispoint)
<i>orig</i>	Originalfahrzeug
<i>rel</i>	relativ
<i>res</i>	Resultierend
<i>CWC</i>	Windkennkurve (characteristic wind curve)

3.2 Terminologie

Stabilitätsreserve: Der Abstand zwischen der Windkennkurve eines Fahrzeugs zu der Referenzwindkennkurve der zugehörigen Fahrzeugklasse nach [2] bzw. [5] und zukünftig [1] im jeweiligen Punkt der Windkennkurve gegeben durch Fahrgeschwindigkeit v_{tr} und Querbeschleunigung a_q .

Stabilitätsänderung: Die Stabilitätsänderung ist die Änderung der Windkennkurve des Originalfahrzeugs durch die konstruktive Änderung.

Stabilitätserhöhung: Eine Stabilitätsänderung, die zu einer Erhöhung der Seitenwindstabilität führt.

Stabilitätsverringering: Eine Stabilitätsänderung, die zu einer Verringerung der Seitenwindstabilität führt.

Windkennkurvensensitivität: Einfluss der Änderung der Radaufstandskraft aufgrund Parameteränderungen auf die Windkennkurve des Originalfahrzeugs.

Originalfahrzeug: Fahrzeug vor Änderungen

4 Methoden, Randbedingungen und Vorgehensweise bei kleinen Änderungen

In den Abschnitten 4.1 bis 4.7 wird ein Verfahren zur Bewertung von Änderungen bzw. Unterschieden vorgestellt, basierend auf dem Nachweis des Originalfahrzeuges. Im Abschnitt 4.1 werden hierfür die Voraussetzungen geprüft und Nachweispunkte definiert. Im Abschnitt 4.2 werden die baulichen Änderungen aufgelistet und die relevanten, geänderten Parameterwerte bestimmt. Im Abschnitt 4.3 werden Änderungen der Außenform, die die aerodynamischen Eigenschaften verändern könnten, behandelt und bewertet. Im Abschnitt 4.4 erfolgt eine Typisierung in die Typen N, B und K. Die Typisierung zeigt auf, ob die geänderten Parameter mit den nachfolgenden vereinfachten Verfahren bewertet werden können oder ob ein komplett neuer Nachweis erforderlich ist. Weiterhin wird unterschieden in stabilitätserhöhende und (potenziell) stabilitätsverringende Änderungen. Aufbauend auf der Typisierung wird im Abschnitt 4.5 der Nachweisweg festgelegt. Abschnitt 4.6 beschreibt das sehr einfache Verfahren, wenn nur stabilitätserhöhende Parameteränderungen vorliegen (Modul I). Im Abschnitt 4.7 werden Berechnungsverfahren vorgestellt, die Bewertungen auch für stabilitätsverringende Änderungen zulassen (Modul II). Kann für die Nachweispunkte gezeigt werden, dass die Summe der Radlaständerungen zu einer Stabilitätserhöhung führt, darf die Windkennkurve des Originalfahrzeuges dem geänderten Fahrzeug zugeschrieben werden. Andernfalls kann eine Berechnung der Windkennkurvenänderung erfolgen und zur Stabilitätsreserve des Originalfahrzeuges verglichen werden. Ist die Stabilitätsverringering kleiner als die Stabilitätsreserve, so liegt die abgeschätzte abgesenkte Windkennkurve immer noch über der Referenzwindkennkurve. Dem geänderten Fahrzeug darf dann die Referenzwindkennkurve zugeschrieben werden.

Abschnitt 4.8 zeigt auf, wie für verschiedene Fahrzeugvarianten einer Plattform starke Vereinfachungen der Nachweise basierend auf einem vollständigen Nachweis eines Synthesefahrzeuges und der oben beschriebenen Verfahren möglich sind (Modul III).

Abschnitt 4.9 nennt den Umfang der Dokumentationen.

Kapitel 5 enthält Vereinfachungen, falls ein erneuter vollständiger Nachweis für das geänderte Fahrzeug erforderlich ist.

4.1 Vorbereitende Schritte und Nachweispunkte

Alle Dokumente zum vorhandenen Nachweis der Seitenwindstabilität nach [1] und [5] oder [2] des Originalfahrzeuges werden dem Nachweis für das geänderte Fahrzeug zugrunde gelegt.

Folgende Voraussetzungen sind für die Anwendung des Verfahrens zu erfüllen:

1. Eine Nachweisdokumentation nach [2] oder nach [1] und [5] liegt vor.

War das Fahrzeug bereits vor 01.10.2005 im Betrieb in Deutschland, so sind keine Nachweisdokumente nach [2] oder nach [1] und [5] verfügbar. In diesem Fall wird auf o.g. erste Voraussetzung verzichtet. Dem Fahrzeug wird für Zwecke der Beurteilung von Änderungen die Referenzwindkennkurve seiner Fahrzeugklasse nach Ril 807.04 zugeschrieben, damit ist die kleinste Stabilitätsreserve $\Delta v_{Min,CWC} = 0$ m/s.

2. Die Windkennkurve des Originalfahrzeugs muss eine kleinste Stabilitätsreserve $\Delta v_{Min,CWC}$ aufweisen, die $\Delta v_{Min,CWC} \geq 0,5 \text{ m/s}$ erfüllt.

Maßgeblich für die kleinste Stabilitätsreserve sind dabei alle Nachweispunkte (VP) der CWC, wie nachfolgend aufgeführt. Die Anforderung $\Delta v_{Min,CWC} \geq 0,5 \text{ m/s}$ entfällt, wenn

- alle Parameteränderungen vom Typ K (siehe Abschnitt 4.4) und alle stets stabilitätserhöhend¹ sind oder
- eine direkte Berechnung der Windkennkurvenänderung (Weg 2) nach Abschnitt 4.7.2 erfolgt oder
- das Fahrzeug bereits vor 01.10.2005 in Deutschland im Betrieb war.

3. Die von der Fahrzeugänderung betroffenen Parameterwerte sind für das Originalfahrzeug und das geänderte Fahrzeug bekannt (siehe Liste im Anhang A.1).

Bei festen Zugverbänden wird die Windkennkurve nur für das empfindlichste Fahrzeug bestimmt. Für Änderungen an allen anderen Fahrzeugen ist eine Wiederholung des ersten Nachweisschritts (P0 Verfahren) nach Ril 807.0411 3 (1) [2] bzw. der Beurteilung nach EN 14067-6 [1] Abschnitt 5.2 zweckmäßig. Wenn im Originalzustand und im geänderten Zustand weiterhin dasselbe Fahrzeug das empfindlichste ist, sind Änderungen an allen anderen Fahrzeugen abgedeckt und der Nachweis ist für diese Fahrzeuge erbracht.

Bei Fahrzeugen eines Gliederzuges werden mit einer mechanischen Kopplung Quer-, Vertikalkräfte oder Momente zu benachbarten Wagen übertragen. Für Gliederzüge ist die Vorgehensweise des Leitfadens, ggf. in erweiterter Form, anwendbar.

Die Nachweispunkte sind definiert durch eine Fahrzeuggeschwindigkeit v_{tr} , eine Querbeschleunigung a_q und die zugehörige Windgeschwindigkeit v_W . Die Nachweispunkte umfassen mindestens vier Punkte gegeben durch v_{Min} und v_{Max} je bei $a_q = 0 \text{ m/s}^2$ und $a_q = 1 \text{ m/s}^2$. Zusätzlich ist die Fahrgeschwindigkeit zwischen v_{Min} und v_{Max} und die Querbeschleunigung zwischen $a_q = 0 \text{ m/s}^2$ und $a_q = 1 \text{ m/s}^2$ zu suchen und festzulegen, bei der die geringste Stabilitätsreserve auftritt. Die gefundene Fahrgeschwindigkeit und Querbeschleunigung definiert einen weiteren Nachweispunkt, sofern sie von v_{Min} und v_{Max} abweicht. Für Neigetechnik Fahrzeuge sind zusätzliche Nachweispunkte bei maximaler Querbeschleunigung $a_q > 1,0 \text{ m/s}^2$ entsprechend der vorgenannten Schritte zu definieren.

Zu jedem Nachweispunkt ist die Stabilitätsreserve $\Delta v_{VP,CWC}$ zu dokumentieren. Sie ergibt sich aus dem Abstand zwischen der Windkennkurve des Originalfahrzeugs und der Referenzwindkennkurve und ist immer $\geq 0 \text{ m/s}$.

Die kleinste Stabilitätsreserve $\Delta v_{Min,CWC}$ ergibt sich aus dem kleinsten Wert aller Stabilitätsreserven $\Delta v_{VP,CWC}$.

¹ Beispiel: eine geringe Verringerung primär gefederter Massen ist nicht stabilitätserhöhend, selbst wenn sie noch die Bedingungen des Typ K erfüllt.

4.2 Liste der Änderungen und Parameterwerte

In einem ersten Schritt wird eine Übersichtsliste der baulichen Änderungen (Bauteile, Komponenten) im Fahrzeug erstellt, die potenziell einen Einfluss auf den Seitenwindnachweis haben. Als Beispiele wären zu nennen: Einbauten im Innern, Bauteile im Drehgestell oder auf dem Dach, Veränderungen der dynamischen Fahrverhaltens durch Änderung von Dämpfern.

Anschließend werden die Änderungen bewertet bezüglich deren Auswirkungen auf die Parameter gemäß Liste im Anhang A.1. Die dort genannten Parameter entsprechen den Parametern, die im P1 Verfahren nach in Ril 807.0433 bzw. im 5-Massen-Modell in EN 14076-6 Abschnitt 5.4.3 enthalten sind. Änderungen, die keine Auswirkungen auf die in Liste in A.1 genannten Parameter haben, müssen nicht weiter berücksichtigt werden, sind aber zu dokumentieren. Beispiele sind Änderungen der Dämpferkennlinie oder der Schwerpunkthöhe eines Drehgestells. Für alle Parameter gemäß Liste A.1 werden Parameteränderungen anhand folgender Vorschrift bestimmt:

$$dp_i = p_{i,mod} - p_{i,orig} \quad (\text{Gl. 1})$$

Für Änderungen, die die Außengeometrie und damit die Aerodynamik betreffen könnten, sind im Abschnitt 4.3 Methoden vorgegeben.

4.3 Änderungen der Außenform quantifizieren

Änderungen der Außenform können Einfluss auf die Aerodynamik des Fahrzeuges haben. Im ersten Schritt werden die Änderungen gegenüber den Anforderungen an Windkanalmodelle gespiegelt bezüglich Vereinfachung der Drehgestelle, Symmetrie, Stromabnehmer, Anbauteile, Detaillierungsgrad, siehe Ril 807.0432 Abschnitt 4 oder [1] Abschnitt 5.3.4. Änderungen, die keine Auswirkungen im Windkanalmodell haben, sind zu dokumentieren, müssen jedoch nicht weiter betrachtet werden.

Die verbleibenden Änderungen werden gemäß folgendem Vorgehen bewertet und anschließend klassifiziert. Änderungen werden in „stabilitätserhöhend“, „neutral“ oder „potenziell stabilitätsverringern“ eingestuft. Der quantitative Effekt von Änderungen wird allein anhand des Rollmomentenbeiwertes $c_{Mx,lee}$ bewertet:

1. Änderungen, deren Wirkung auf $c_{Mx,lee}$ mit einfachen Methoden quantifiziert werden kann
 - a. Längenänderung bei gleichbleibender Kopfform und Dachkontur und mittlerer Unterbodenfreiheit. Für Änderungen der Dachgeräteanordnung siehe Abschnitt 4.3.2. Die relative Änderung des Rollmomentenbeiwertes $c_{Mx,lee}$ kann durch folgende Gleichung² bewertet werden:

$$\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}} = \frac{dL_{veh}}{L_{Bez}} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit $L_{Bez} = L_{VEH,orig}$ für Mittelwagen und $L_{Bez} = L_{VEH,orig} + 10$ m für führende Fahrzeuge

- b. Höhenänderung bei unveränderter Dachkontur und nur geringfügiger Anpassung der Kopfform. Änderungen der Kopfform dürfen nur der Realisierung der

² Diese Skalierung ergibt sich aus der jüngst überarbeiteten Formel zur universellen Aerodynamik.

Höhenänderung des Daches dienen und es müssen aerodynamisch wirksame Elemente insbesondere im Stirnbereich, im Kupplungsbereich und im Bereich der A-Säulen auslegungsgerecht übernommen werden. Die Kopflänge darf sich dabei höchstens 10% ändern. Die relative Änderung des Rollmomentenbeiwertes $c_{Mx,lee}$ kann durch folgende Gleichung 3 bewertet werden:

$$\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}} = \frac{2 dh_{VEH}}{h_{VEH,orig}} \quad (\text{Gl. 3})$$

2. Änderungen, die nicht nach Punkt 1 bewertet werden konnten:

- a. Identifikation potentiell stabilitätsverringender Änderungen gemäß Abschnitt 4.3.1 und ggf. Abschnitt 4.3.2.
- b. Änderungen der Außenform, die stabilitätserhöhend wirken oder als neutral bewertet werden:

Für diese Änderungen darf vereinfachend angesetzt werden, dass sich das Fahrzeug aerodynamisch wie das ursprüngliche Fahrzeug verhält. Die Änderung des Rollmomentes $\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}$ darf für die betrachtete Änderung der Außenform mit Null angesetzt werden.

Falls der stabilitätserhöhende Einfluss der Änderung der Außenform in den Nachweis einfließen soll, kann eine Bewertung mittels CFD gemäß Abschnitt 4.3.3 erfolgen.

- c. Änderungen, die potentiell stabilitätsverringend wirken:

Eine Bewertung mittels CFD nach Abschnitt 4.3.3 ist erforderlich um die Änderung des Rollmomentes $\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}$ zu bestimmen.

Mit obigen Schritten sind alle Änderungen der Außenform für die anschließende Typisierung des Rollmomentes nach Abschnitt 4.4 quantifiziert worden. Für neutrale oder stabilitätserhöhende Änderungen ist $\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}$ entweder quantitativ bestimmt worden oder wurde mit Null angesetzt.

4.3.1 Identifikation potentiell stabilitätsverringender Änderungen der Außenform

Änderungen, deren Wirkung nicht mit einfachen Methoden bewertet werden kann, werden nach ihrer Lage und folgenden Kriterien in eine der beiden Kategorien eingeordnet.

- Bei Lage der Formänderung in den aerodynamisch aktiven Bereichen am Kopf und im Dachbereich sowie im Unterboden vor der ersten Achse (Definitionen in Abschnitt 4.3.5):
 - Die Bewertung der Änderung der Anordnung von Dachgeräten erfolgt nach Abschnitt 4.3.2.

- Der Anbau von Antennen und Teilen der Leittechnik im Kopf- und Dachbereich mit strömungsgünstiger Formgebung oder Verkleidung werden als aerodynamisch neutral eingestuft, sofern die dadurch verursachten Volumenänderungen in Summe $0,005 \text{ m}^3$ nicht überschreiten.
- Änderungen der Dachkontur oder der Form und Lage von Dachschürzen werden als potentiell stabilitätsverringend eingestuft.
- Änderungen der Kopfform, außer geringfügige Änderungen im Zusammenhang mit einer zulässigen Höhenänderung des Fahrzeuges (siehe Abschnitt 4.3), werden als potentiell stabilitätsverringend eingestuft
- Andere Änderungen werden als potentiell stabilitätsverringend eingestuft.
- Lage der Formänderung in aerodynamisch nicht aktiven Bereichen, wie Seitenwände, Wagenübergang, Unterflur ab der ersten Achse oder Drehgestelle (Definitionen in Abschnitt 4.3.5):
 - Änderungen, die die mittlere Unterbodenfreiheit in der Seitenprojektion um mehr als $0,05 \text{ m}$ verringern, werden als potentiell stabilitätsverringend eingestuft.
 - Alle anderen Änderungen in nicht aktiven Bereichen einschließlich Änderungen der Seitenwandform und der Geometrie des Wagenüberganges werden als aerodynamisch neutral eingestuft.

4.3.2 Bewertung der Änderung der Dachgeräteanordnung

Bei Änderung der Dachgeräteanordnung werden folgende Fälle unterschieden:

- Der Entfall, das Verkürzen oder das Verschieben von Dachgeräten, wenn dadurch keine zusätzlichen Lücken³ zwischen den verbleibenden Geräten $>0,2 \text{ m}$ entstehen, wird als stabilitätserhöhend bzw. neutral bewertet.
- Das Schließen von Lücken $>0,2 \text{ m}$ durch das Zusammenrücken der ursprünglichen Dachgeräte wird als stabilitätserhöhend bewertet.
- Das Verringern von Lücken $>0,2 \text{ m}$ und $<0,05 * L_{VEH,orig}$ auf Lücken $<0,2 \text{ m}$ durch Hinzufügung zusätzlicher Dachgeräte, die in ihrem Querprofil den vor- oder nachlaufenden Dachgeräten ähneln, wird als aerodynamisch neutral bewertet. Abweichungen von den Querprofilen vor- oder nachlaufender Geräte sind nur im Rahmen von $\pm 10\%$ der Querschnittsfläche und $\pm 0,05 \text{ m}$ in der Dachscheitelhöhe zulässig.
- Der Austausch von Dachgeräten, deren Abmessungen $\pm 10\%$ der Querschnittsfläche, $\pm 0,05 \text{ m}$ der Dachscheitelhöhe und $\pm 0,5 \text{ m}$ der Länge des ursprünglichen Gerätes entsprechen, wird als neutral bewertet.

³ Durch eine zusätzliche Lücke $> 0,2 \text{ m}$ tritt im geänderten Zustand ein Dachgerät aus dem Strömungsschatten des vorlaufenden Gerätes heraus und erhält bei Seitenwind eine angeströmte Stirnseite.

Alle anderen Änderungen der Dachgeräteanordnung sind potenziell stabilitätsverringend.

4.3.3 Bewertung mittels CFD

Der Einfluss von Änderungen der Außenform auf das aerodynamische Verhalten eines Fahrzeuges kann mittels CFD unter Verwendung der Methoden der DIN EN 14067-6 [1], Abschnitt 5.3.3 bestimmt werden. Im Gegensatz zu den Vorgaben der DIN EN 14067-6 [1] werden dabei nicht neue Datensätze der aerodynamischen Beiwerte bestimmt, sondern es werden nur die relativen Änderungen der Beiwerte durch die Formänderung quantifiziert. Daraus ergeben sich folgende Abweichungen von den Vorgaben der DIN EN 14067-6 [1]:

- Berechnungen für Originalfahrzeug und Modifikation müssen nur für eine begrenzte Anzahl repräsentativer Schiebewinkel durchgeführt werden. Zu jedem Nachweispunkt, siehe Abschnitt 4.1, wird der jeweils nächstgelegene Schiebewinkel aus dem Windkanalversuch des Originalfahrzeugs herangezogen.
- Anstelle der in Abschnitt 5.3.3.2 in [1] verwendeten Referenzfahrzeuge ICE 3 und TGV Duplex und ETR 500 erfolgt ein Benchmark-Vergleich zu den Windkanaldaten des Originalfahrzeugs. Die Eignung des CFD-Ansatzes ist anhand der Qualitätskriterien in [1] in Abschnitt 5.3.4.2 für die o.g. repräsentativen Schiebewinkel aufzuzeigen durch Vergleich der Simulationsergebnisse des Originalfahrzeugs zur Windkanalmessung.
- Als Ergebnis werden die relativen Unterschiede in den simulierten Beiwerten aller Nachweispunkte für Originalfahrzeug und Modifikation ausgewiesen:

$$\frac{dc_i}{c_{i,orig}} = \frac{c_{i,CFD,mod}}{c_{i,CFD,orig}} - 1 \quad (\text{Gl. 4})$$

- Für die Typisierung in Abschnitt 4.4 wird separat für jeden Nachweispunkt der Quotient $\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}$ herangezogen.

4.3.4 Abschätzung aerodynamischer Koeffizienten aus dem Rollmoment

Für die Bewertung von Änderungen mit dem direkten Weg 2 in Abschnitt 4.7.2 und die Neuberechnung nach Kapitel 5 müssen zusätzlich alle sechs aerodynamischen Beiwerte für das geänderte Fahrzeug neu bestimmt werden.

Nachfolgendes Vorgehen gilt nur, wenn Änderungen der Außenform nicht vom Typ N sind.

Die aerodynamischen Beiwerte aus dem Windkanal des Originalfahrzeugs $c_{i,orig}(\beta)$ werden folgendermaßen skaliert, um das geänderte Fahrzeug abzubilden:

Für c_{Mx} , c_{Fy} , c_{Fz} gilt:

$$c_{i,mod}(\beta) = \left(1 + \max\left(\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}\right) \right) \cdot c_{i,orig}(\beta) \quad (\text{Gl. 5})$$

Für c_{My} , c_{Mz} , c_{Fx} werden die Beiwerte unverändert übernommen.

Wurden einfache Methoden verwendet, geht in Gleichung 5 die Summer der $dc_{Mx,lee}$ Werte aus Gleichung 2 und 3 ein.

Wurde CFD nach Abschnitt 4.3.3 verwendet, gehen in Gleichung 5 alle $\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}$ der Nachweispunkte ein. Die Skalierung dreier Beiwerte anhand des Maximalwertes ist ein konservativer Ansatz für Stabilitätsverringerungen und Erhöhungen. Alternativ zum Maximalwert in Gleichung 5 sind Approximationen für den Verlauf des Skalierungsfaktors $\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}(\beta)$ im nach Abschnitt 4.3.3 untersuchten Schiebewinkelbereich zulässig.

4.3.5 Definition Dachkontur und Kopfbereich

Zur Unterscheidung zwischen Seitenwand und Dachkontur wird folgende Definition genutzt:

- Der Dachbereich beginnt ab der Höhe, ab der sich Tangente an die Kontur des Wagenkastenquerschnittes um mehr als 10° von der Neigung der Seitenwand unterscheidet. Die Neigung der Seitenwand kann in der Regel von der gemittelten Neigung der Fensterreihe (bei Doppelstockfahrzeugen unten) abgeleitet werden. Abweichungen davon sind zu begründen.

Zur Bestimmung des Kopfbereiches wird folgende Definition genutzt:

- Der Kopfbereich eines führenden Fahrzeugs endet 1 m hinter der Stelle, ab der oberhalb der Oberkante der Drehgestellausschnitte ein gleichbleibender Querschnitt des Wagenkastens in Längsrichtung erreicht wird.

4.4 Typisierung der Parameteränderungen

Für jede einzelne Parameteränderung erfolgt eine Einordnung in eine der Typklassen N, K oder B anhand der definierten Wertebereiche in der Liste in Anlage A.1. Die Typisierung für Parameteränderungen, die je nach Vorzeichen von dp_i eindeutig eine Stabilitätserhöhung bzw. eine Stabilitätsverringerung hervorrufen, ist in Abbildung 1 exemplarisch dargestellt. Bei Parameteränderungen, die entweder eine Stabilitätserhöhung oder eine Stabilitätsverringerung auslösen könnten, wird vorsorglich eine Stabilitätsverringerung angenommen, siehe Abbildung 2. Folgende Typklassen werden definiert:

Typ N: Die Änderung ist keine kleine Änderung. Die Module I, II und III aus Kapitel 4 dürfen **nicht** angewendet werden. Wird eine Parameteränderung dem Typ N zugeordnet, erfordert dies einen neuen Nachweis für das Fahrzeug (siehe Kapitel 5).

Typ K: Die Anwendbarkeit des Leitfadens für kleine Änderungen ist möglich. Die Änderung führt zu einer Erhöhung bzw. zu keiner signifikanten Veränderung⁴ der CWC.

Typ B: Die Anwendbarkeit des Leitfadens für kleine Änderungen ist möglich. Die Änderung führt zu einer Absenkung der CWC, was eine weitergehende Bewertung nach Modul II erforderlich macht.

Folgende Bedingungen sind zu beachten:

- Liegt eine Parameteränderung exakt auf der Grenze

⁴ Anmerkung: Der Wertebereich für nicht signifikante Veränderungen wurde aus einem Toleranzbereich von 0,1 m/s bis max. 0,2 m/s bei der CWC Berechnung abgeleitet [6].

- zwischen K und N, ist dies Typ K
 - zwischen B und N, ist dies Typ B
 - zwischen K und B, ist dies Typ K
- Hinweis: Die Zahlenwerte der Schwerpunktlage $z_{CoG,2}$ sind gemäß Koordinatensystem immer negativ. Die Änderung $dz_{CoG,2} > 0$ ist daher stabilitätserhöhend.
 - Für die Fahrzeugwanksteifigkeit ist zu beachten, dass die Aufteilung der Fahrwerk-Wanksteifigkeiten f_{cs} zwischen Drehgestell I und Drehgestell II keine ungünstige Veränderung der Aufteilung der Rollmomente in Bezug auf die Radentlastung zur Folge hat.
 - Hinweis: Die Änderung des halben Drehgestellmittenabstandes a beinhaltet keine Änderung der aerodynamischen Eigenschaften, z.B. Fahrzeuglänge.

Parameteränderung

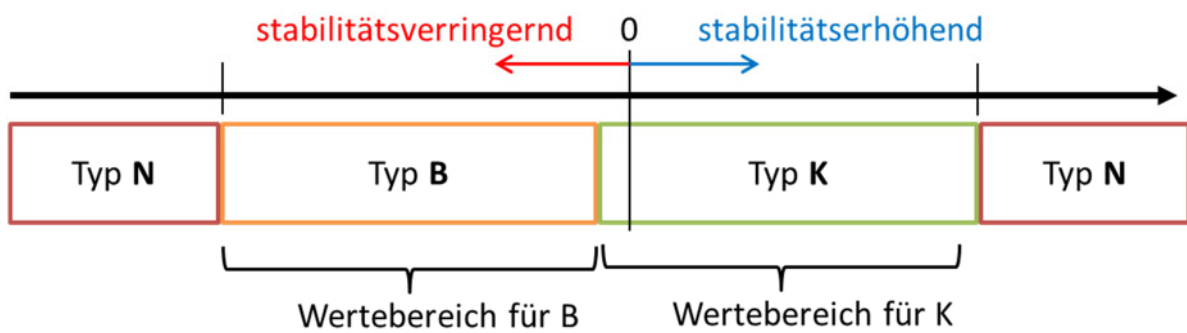


Abbildung 1: Wertebereiche und Parametertypen bei eindeutig stabilitätserhöhenden Parametern

Parameteränderung

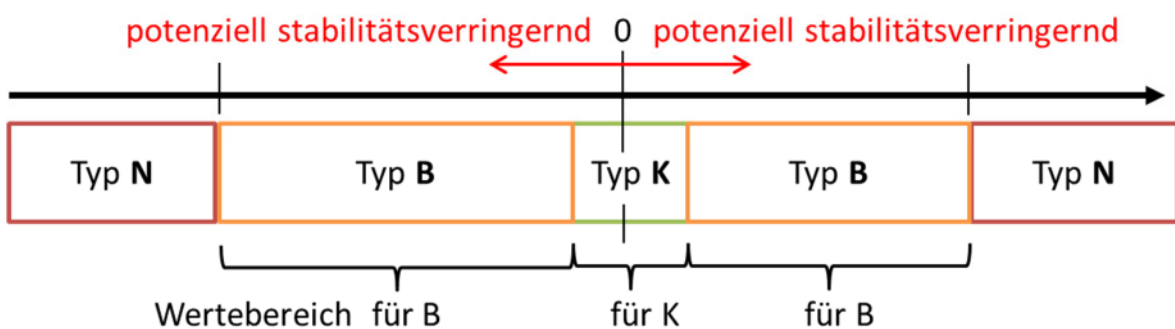


Abbildung 2: Wertebereiche und Parametertypen bei potenziell stabilitätsverringern Parametern

4.5 Bestimmung des Nachweisweges

Bewertung der Parameter durch den Parametertyp:

- Wenn ein oder mehrere Parameter vom Typ N sind, ist ein **neuer vollständiger** Nachweis für das geänderte Fahrzeug notwendig (siehe Kapitel 5).
- Wenn **alle** Parameteränderungen vom Typ K sind, ist eine weitergehende Bewertung nicht notwendig. Es darf das Modul I angewendet werden und der vorliegende Nachweis gilt anschließend weiterhin für das geänderte Fahrzeug.
- Wenn ein oder mehrere Parameter vom Typ B und keiner vom Typ N ist, ist der vorliegende Nachweis nicht ohne weitergehende Beurteilung auf das geänderte Fahrzeug übertragbar. Die weitergehende Beurteilung muss nach Modul II erfolgen.

Obiges Vorgehen ist im Prinzipschaubild dargestellt.

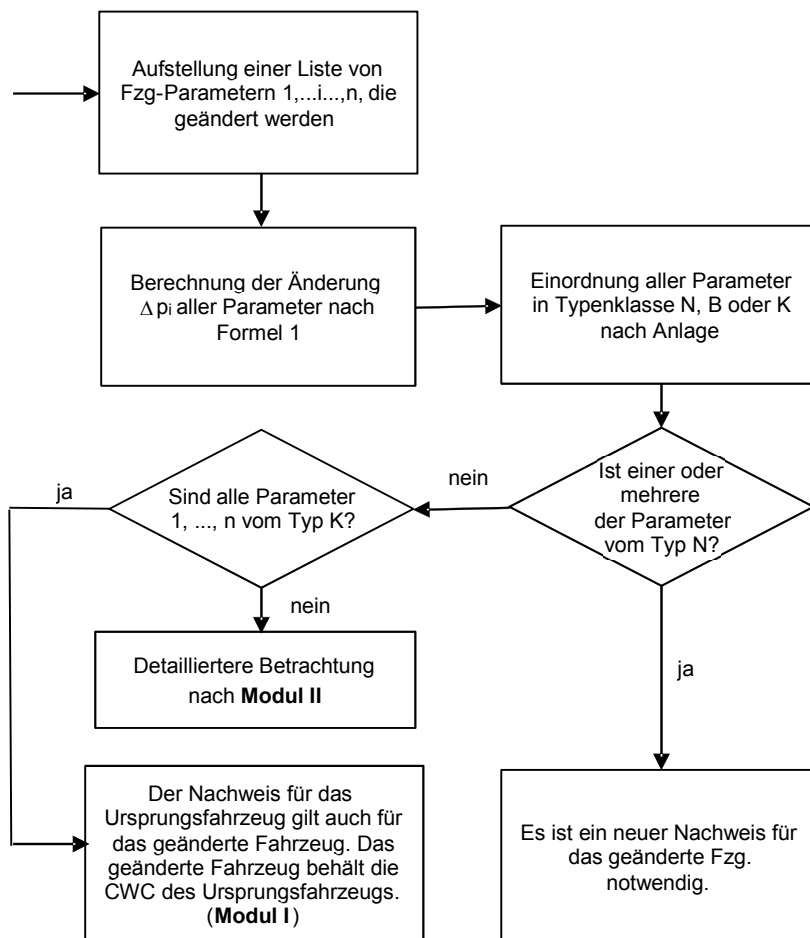


Abbildung 3: Verfahrensschritte zur Beurteilung von Parameteränderungen

4.6 Modul I: Stabilitätserhöhende Änderungen

Da alle Parameteränderungen vom Typ K sind, kann davon ausgegangen werden, dass keine Stabilitätsverringering durch die Änderungen resultiert, die eine weitergehende Bewertung

erfordert. Es ist die Liste der Parameteränderungen mit der jeweiligen Typisierung und eine Rechtfertigung zur Anwendung des Nachweisweges nach Modul I zu dokumentieren. Es ist der Erstnachweis zu referenzieren. Für das im Vergleich zum Erstnachweis geänderte Fahrzeug gelten der Erstnachweis und die ggf. darin bestimmten Windkennkurven weiter. Das Verfahren ist damit abgeschlossen.

4.7 Modul II: Potenziell stabilitätsverringemde Änderungen

Ein oder mehrere Parameteränderungen sind vom Typ B und es ist davon auszugehen, dass potenziell eine Stabilitätsverringering durch die Änderungen resultiert. Daher ist eine Bewertung der Parameteränderungen für jeden Nachweispunkt nach 4.1 hinsichtlich des Einflusses auf die Windkennkurven erforderlich.

Im ersten Schritt wird geprüft, ob die Summe der Radlaständerungen dQ_{ges} positiv ist und damit stabilitätserhöhend, siehe Abschnitt 4.7.1. Gelingt dies nicht, kann im zweiten Schritt die Windkennkurvenänderung $dv_{W,ges}$ nach Abschnitt 4.7.2 bestimmt und zur Stabilitätsreserve verglichen werden.

4.7.1 Bewertung der Summe der Radlaständerungen

Die Bewertung erfolgt durch die Abschätzung der sich aufgrund der Parameteränderung i ergebenden Radlaständerungen $dQ_{p,i}$ der luvseitigen, durch den Seitenwind entlasteten Räder. Eine positive Radlaständerung $dQ_{p,i} > 0$ wirkt stabilitätserhöhend, eine negative Radlaständerung $dQ_{p,i} < 0$ stabilitätsverringend.

Für jede Parameteränderung dp_i vom Typ B muss eine Bewertung der daraus resultierenden Radlaständerung $dQ_{p,i}$ erfolgen. Da die Parameteränderungen vom Typ K konservativ sind, kann eine Bewertung der Parameteränderung dp_i vom Typ K erfolgen. Die dabei heranzuziehende Bestimmungsmethode ist nicht vorgegeben. Die gewählte Methode muss plausibel und nachvollziehbar sein und zudem ausreichend dokumentiert werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass lineare Approximationen im Wertebereich Typ K und B möglich sind. Methoden nach Abschnitt 5.4 *Bestimmung der Radentlastung* der EN 14067-6:2010 sind grundsätzlich anwendbar, wenn die Parameteränderung in der Methode abbildbar ist.

$$dQ_{p,i} = f(dp_i) \quad (\text{Gl. 6})$$

Es ist möglich, den Einfluss von mehreren Parameteränderungen auf die Radlaständerung gleichzeitig durch eine Bestimmungsmethode zu bestimmen (beispielsweise die Änderung der Masse und der Schwerpunktlage):

$$dQ_{\Sigma p,i} = f(dp_u, dp_v, \dots dp_w) \quad (\text{Gl. 7})$$

Bei Parameteränderungen, deren Einfluss auf die Seitenwindstabilität nicht eindeutig ist (siehe Abbildung 2), wird konservativ eine Stabilitätsverringering $dQ_{p,i} < 0$ angenommen.

Beispiele:

- Bei Längsverschiebung des Wagenkasten Schwerpunktes ist ohne weitere Informationen unklar, ob das kritische Drehgestell entlastet / belastet wird.

- Wird die Masse nur in einem der beiden Fahrwerke erhöht, ist zu zeigen, dass das Fahrwerk das kritische Fahrwerk ist und bleibt und damit eine stabilitätserhöhende Wirkung entsteht.

Die Änderung der nominellen Radaufstandskraft $dQ_{0,p,i}$ aller Parameteränderungen ist quantitativ zu bestimmen. In A.2 Anlage (informativ) ist exemplarische die Bestimmung der Änderungen $dQ_{p,i}$ und $dQ_{0,p,i}$ mittels einfacher Methoden beschrieben. Anschließend ist die Summe dQ_{total} aller Radlaständerungen zu bestimmen und um die Änderung der nominellen Radaufstandskraft dQ_0 zu korrigieren⁵.

$$dQ_{total} = \sum dQ_{p,i} - 0,1 * \sum dQ_{0,p,i} \quad (\text{Gl. 8})$$

Wenn für alle Nachweispunkte die Summe der Radlaständerungen dQ_{total} positiv und damit stabilitätserhöhend ist, ist der Nachweis erbracht. Für das im Vergleich zum Erstnachweis geänderte Fahrzeug gelten der Erstnachweis und die ggf. darin bestimmten Windkennkurven weiter. Das Verfahren ist damit abgeschlossen. Wenn die Summe der Radlaständerungen dQ_{total} negativ und damit stabilitätsverringern ist, muss das Verfahren nach Abschnitt 4.7.2 und 4.7.3 angewendet werden.

4.7.2 Berechnung der Windkennkurvenänderung

Für alle Nachweispunkte ist eine Beurteilung der Stabilitätsverringern gegenüber der Stabilitätsreserve nach 4.7.3 notwendig. Die Ermittlung der CWC-Änderung dv_w durch alle Parameteränderungen in jedem Nachweispunkt kann auf zwei Wegen erfolgen.

Weg 1: Windkennkurvensensitivität

Die Windkennkurvenänderung wird nach folgender Gleichung bestimmt:

$$dv_{w,total} = s_w^{-1} \cdot dQ_{total} \quad (\text{Gl. 9})$$

Die Windkennkurvensensitivität wird pauschal mit dem Wert $s_w = 1200 \text{ Ns/m}$ angesetzt⁶.

Weg 2: Direkte Bestimmung

Unabhängig von der Bestimmung der Radentlastung ist eine direkte Bestimmung von $dv_{w,total}$ durch Anwendung der Verfahren nach EN 14067-6:2010, Abschnitten 5.4 oder Ril 807.0433 möglich, wenn alle betrachteten geänderten Parameter im angewendeten Berechnungsverfahren modelliert sind.

⁵ Herleitung zu Formel 6 siehe Anhang A.4

⁶ Der Wert s_w wurde aus einer Untersuchung von fünf exemplarischen Fahrzeugen konservativ für Stabilitätsverringern abgeleitet [6].

4.7.3 Bewertung der Windkennkurvenänderung

Für jeden Nachweispunkt wird aus der Stabilitätsreserve der Ausnutzungsgrad bestimmt:

$$\eta_{VP} = \frac{dv_{W,total}}{\Delta v_{VP,CWC}} \cdot 100\% \quad (\text{Gl. 10})$$

Wenn in jedem Nachweispunkt der Ausnutzungsgrad $\eta_{VP} \leq 80\%$ beträgt, ist der Nachweis erbracht. Dem geänderten Fahrzeug wird die Referenzwindkennkurve zugeschrieben. Das Verfahren ist damit abgeschlossen. Die Dokumentation umfasst die Ausnutzungsgrade und die Stabilitätsreserven und deren Herleitung.

4.8 Modul III: Vereinfachungen für Fahrzeugvarianten eines Plattform Konzeptes

Zur Vereinfachung der Nachweisschritte bei Fahrzeugvarianten eines Plattformkonzeptes ist es möglich, einzelne Parameter wie Masse, Schwerpunkthöhe oder Wahl des Aerodynamik-Datensatzes (bei Varianten bzgl. Komponenten auf dem Dach siehe 4.3) auf den jeweils ungünstigsten Wert in der Bandbreite des Plattformkonzeptes zu setzen. Dieses daraus resultierende Synthesefahrzeug kann im Rahmen der Nachweisreserven ungünstige Eigenschaften im Sinne ungünstiger Parameteränderungen auf sich vereinen. Für das Synthesefahrzeug wird der vollständige Nachweis nach Ril 807.04 oder EN 14067-6 erbracht und die Dokumentation als Zulassungsunterlage für die Varianten der Plattform erstellt. Auf Basis der Messung eines oder mehrerer ausgeführter Fahrzeuge der Plattform ist das ggf. angepasste Modell des Synthesefahrzeuges zu validieren.

Für einzelne Fahrzeugvarianten der Plattform genügt die Bewertung der Unterschiede zum Synthesefahrzeug bezüglich der Auswirkungen auf die Seitenwindstabilität gemäß Vorgehen in den Abschnitten 4.1 bis 4.7.

Es ist daher zweckmäßig, die Parameter der Synthesefahrzeuge so zu definieren, dass spätere Varianten nur Unterschiede des Typs K aufweisen und damit durch einfache Dokumentationen behandelt werden können. Alternativ kann bei Typ B durch ein geeignet definiertes Synthesefahrzeug erreicht werden, dass Fahrzeugvarianten gegenüber dem Synthesefahrzeug immer Erhöhungen der Summe der Radlaständerungen dQ_{ges} der luvseiteigen Räder nach Abschnitt 4.7 zur Folge haben. Auch dies reduziert den Umfang der Nachweisführung für die Fahrzeugvariante.

4.9 Dokumentation bei kleinen Änderungen

Die Dokumentation für den Nachweis kleiner Änderungen muss die Berechnungen vollständig und nachvollziehbar darlegen. Insbesondere folgende Punkte sind zu dokumentieren, sofern zutreffend:

- Bezeichnung des Fahrzeugs
- Verweis auf vollständigen Nachweis des Originalfahrzeugs
- Bezeichnung, Werte und Typklasse aller geänderten Parameter
- Dokumentation gemäß der herangezogenen Abschnitte aus Kapitel 4

5 Modul IV: Erneuter vollständiger Nachweis

Wenn Änderungen auf Basis einer Neuberechnung nachgewiesen werden, sind Vereinfachungen bei den Modellverifikationen möglich, siehe Verfahrens- und Fahrzeugverifikation z.B. nach Ril 807.0433 oder EN 14067-6:2010, Abschnitte 5.4.2, 5.4.3.3, 5.4.4.2 bzw. 5.4.4.4. Eine erneute Verifikation des gegenüber dem Erstnachweis geänderten Berechnungs- und Fahrzeugmodells ist in der Regel nicht notwendig. Diese Vorgehensweise ist zu begründen. Die Massen des geänderten Modells sind zu validieren. Die Massenbilanz nach Änderung ist zu aktualisieren durch Verwiegung des gesamten geänderten Fahrzeugs oder der geänderten Komponenten. Der Aufwand für die Prüfung des Nachweises reduziert sich damit auf die Prüfung der Dokumentation der Änderungen, ggf. die Prüfung der Bestimmung von aerodynamischen Koeffizienten und die Prüfung der Berechnungsergebnisse. Die neue Berechnung wird auf Basis des Seitenwindstabilitätsmodells des Originalfahrzeugs durchgeführt und sämtliche Parameteränderungen werden dokumentiert.

Änderungen der Außenform vom Typ K oder B dürfen berücksichtigt werden, indem der Satz der aerodynamischen Beiwerte aus dem Windkanal mit CFD nach 4.3.3 und den Methoden aus 4.3.4 korrigiert wird.

Die Dokumentation umfasst bei einem Nachweis in dieser Form folgende Inhalte:

1. Bericht zur Validierung des Originalnachweises
2. Dokumentation sämtlicher Fahrzeugänderungen
3. Relevante Änderungen am Simulationsmodell gegenüber dem Originalmodell sind vollständig zu dokumentieren
4. Dokumentation der Seitenwindstabilität des geänderten Fahrzeugs

In Nachweisen nach Ril 807.04 genügt im Sinne der 807.0409A01 die Begutachtung der Dokumente 2, 3 und 4.

6 Referenzen

[1]	DIN EN 14067-6:2010-05, Bahnanwendungen - Aerodynamik - Teil 6: Anforderungen und Prüfverfahren für die Bewertung von Seitenwind; Deutsche Fassung EN 14067-6:2010, Ausgabedatum: 2010-05
[2]	DB Netz AG, Richtlinie 807.04, Bautechnik, Leit-, Signal- und Telekommunikationstechnik, Aerodynamik / Seitenwind, (Guideline Aerodynamics / crosswind), 30.04.2006.
[3]	DIN EN 14363:2016-10: Bahnanwendungen - Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen - Fahrverhalten und stationäre Versuche; Deutsche Fassung EN 14363:2016.
[4]	Naumann, R.: Schroeder-Bodenstein, K.: Bewertung kleiner Fahrzeugänderungen bei einem zukünftigen Differenznachweis Seitenwind nach RiL 807.04, EN14067-6 und TSI HS RST, 13. Internationale Schienenfahrzeugtagung 26.-28.02.2014 Dresden Rad Schiene 2014, 26.-28.02.2014.
[5]	Leitfaden Sicherstellung der technischen Kompatibilität für Fahrzeuge mit Seitenwindnachweis nach TSI LOC&PAS zu Anforderungen der Ril 807.04 Anwendung von Fahrzeugnachweisen nach EN 14067-6 für Verkehre auf dem betreffenden Netz, Ersteller: Arbeitskreis Aerodynamik im Auftrag des Lenkungsreis Fahrzeuge, Revision 02, verfügbar auf www.eba.bund.de , 07.09.2016
[6]	Herleitungsbericht „Sensitivitätsanalyse für kleine Änderungen Seitenwind“ des AK Aerodynamik, Siemens Transportation, interner Bericht des AK Aerodynamik, Datum 14.08.2018

7 Anhang

A.1 Anlage: Tabelle für die Parametertypisierung der Fahrzeugänderung

A.2 Anlage: Exemplarische Bestimmung der Radsatzlaständerung $dQ_{p,i}$ (informativ)

A.3 Anlage: Herleitung der Formel in Abschnitt 4.7.1 (informativ)

A.1 Tabelle für die Parametertypisierung der Fahrzeugänderung

Name	Bezeichnung	Einheit	$d_{pi} = p_{i,mod} - p_{i,orig}$ $d_{pi} > 0$ entspricht	$d_{pi} > 0$ bewirkt	Typ N (neuer Nachweis)	Typ B (Abschätzung möglich)	Typ K (konservativ)	Typ N (neuer Nachweis)	Bezugswert: d_{pi} bezogen auf...
Massen									
Sekundär gefederte Masse (Wagenkastenmasse)	m_2	kg	Massenzunahme	Stabilitäts erhöhung	<-15%	-15% bis -1,5%	-1,5% bis 15%	>15%	$d_{pi}/m_{2,orig}$
Primär gefederte Masse (Fahrwerkmasse)	m_1	kg	Massenzunahme	Stabilitäts erhöhung	<-30%	-30% bis -3%	-3% bis 30%	>30%	$d_{pi}/m_{1,orig}$
Ungefederte Masse (Masse Radsätze, Lager)	m_0	kg	Massenzunahme	Stabilitäts erhöhung	<-15%	-15% bis -5%	-5% bis 15%	>15%	$d_{pi}/m_{0,orig}$
Schwerpunktlagen									
Schwerpunktlage sekundär gedeferte Massen in Längsrichtung	$x_{CoG,2}$	mm	Schwerpunkt- verschiebung nach vorne	ggf. Stabilitäts verringern	<-6%	-6% bis -0,5% 6% bis 0,5%	+/- 0,5%	>6%	d_{pi}/a_{orig}
Schwerpunktlage sekundär gedeferte Massen in	$y_{CoG,2}$	mm	Schwerpunkt- verschiebung	ggf. Stabilitäts verringern	Gängig ist es, im Nachweis y auf Null zu setzen. Untypische Abweichungen sind als Typ N anzusehen.				
Schwerpunkthöhe sekundär gedeferte Massen	$z_{CoG,2}$	mm	Schwerpunkt- erhöhung	Stabilitäts verringern	>15%	15% bis 1%	1% bis -15%	<-15%	$d_{pi}/z_{CoG,2,orig}$
Querspiele									
Summe der maximalen Querwege	$y_{p,max} +$ $y_{s,max}$	mm	Spielvergrößerung	Stabilitäts verringern	>25mm	25 mm bis 5 mm	5 mm bis -25 mm	<-25mm	absoluter Wert von d_{pi}
Maximaler Querweg Primärfeder in y	$y_{p,max}$	mm	Spielvergrößerung	Stabilitäts verringern	Betrachtung über Summe der maximalen Querwege				
Maximaler Querweg Sekundärfeder in y	$y_{s,max}$	mm	Spielvergrößerung	Stabilitäts verringern	Betrachtung über Summe der maximalen Querwege				
Quersteifigkeiten									
Primärfederungskonstante in Querrichtung	$k_{p,y}$	N/m	Erhöhte Quersteifigkeit	Stabilitäts erhöhung	Betrachtung über Summe der maximalen Querwege				
Sekundärfederungskonstante in Querrichtung	$k_{s,y}$	N/m	Erhöhte Quersteifigkeit	nicht signifikant	Betrachtung über Summe der maximalen Querwege				
Fahrzeug-Wanksteifigkeit	c_s	Nm/rad	Erhöhte Wanksteifigkeit	Stabilitäts erhöhung	<-25%	-25% bis -5% und zus. Bedingung in 4.4	-5% bis 30% und zus. Bedingung in 4.4	>30%	$d_{pi}/c_{s,orig}$
Halber Drehgestellmitten- abstand	a	m	Erhöhter Drehgestellabstand	Stabilitäts erhöhung	<-20%	-20% bis -5%	-5% bis 20%	>20%	d_{pi}/a_{orig}

Fortsetzung Tabelle A.1

Name	Bezeichnung	Einheit	$d_{pi} = p_{i,mod} - p_{i,orig}$ $d_{pi} > 0$ entspricht	$d_{pi} > 0$ bewirkt	Typ N (neuer Nachweis)	Typ B (Abschätzung möglich)	Typ K (konservativ)	Typ N (neuer Nachweis)	Bezugswert: d_{pi} bezogen auf...
Aerodynamische Beiwerte									
Rollmomentenbeiwert um die leeseitige Schiene	$C_{Mx,lee}$	-	Zunahme Moment	Stabilitätsverring erung	>10%	10% bis 1%	1% bis -10%	<-10%	$d_{pi}/C_{Mx,lee,orig}$ (in allen Nachweis- punkten)
Nickmomentenbeiwert	C_{My}	-	Zunahme Moment	nicht signifikant	Aerodynamik wird allein durch $C_{Mx,lee}$ bewertet				
Giermomentenbeiwert	C_{Mz}	-	Zunahme Moment	nicht signifikant	Aerodynamik wird allein durch $C_{Mx,lee}$ bewertet				
Aerodynamik Kräftebeiwert	$C_{Fx}, C_{Fy},$ C_{Fz}	-	Zunahme Kraft	nicht signifikant			alle Werte		-

Obige Werte der Klassengrenzen wurden durch eine Sensitivitätsanalyse mit vier Vergleichsfahrzeugen bestimmt [6].

A.2 Exemplarische Bestimmung der Radsatzlaständerung $dQ_{p,i}$ (informativ)

Die Formeln verwenden Formelzeichen und Konventionen der EN 14067-6 und EN 14363.

Grundlagen der Herleitung

Die Radaufstandskräfte der Iuvseitigen Räder ergeben sich im Rahmen einer quasi-statischen Betrachtung (gemäß EN 14067-6 Abschnitt 5.4.3) prinzipiell aus den folgenden Anteilen:

- Statische Radaufstandskräfte aus Masse Wagen, Fahrwerken und Radsätzen
- Äußere aerodynamische Kräfte und Momente
- Äußere Querkräfte aus Bogenbeschleunigung
- Verlagerungen aus Querverschiebungen
- Verlagerungen aus Wanken

Die Veränderungen der Radaufstandskräfte durch kleine Änderungen am Fahrzeug lassen sich durch Betrachtung der Einflüsse auf diese Anteile bestimmen.

Grundsätzliche Gegebenheiten und Ansätze

1. Das Ziel der hier vorgegebenen Formeln ist die einfache und explizite Berechnung der Änderung der Seitenwindstabilität, unabhängig und ohne Kenntnis der Einzelinformationen aus dem Ursprungsnachweis. Es werden allein die originalen Modellparameter als bekannt vorausgesetzt.
2. Die nachfolgenden Formeln sind konservativ bestimmt. Gegebenenfalls können Formeln gefunden werden, welche weniger konservativ aber dennoch hinreichend genau sind, um eine konservative Abschätzung zu erlauben. Eine Anwendung der hier vorgegebenen Formeln ist bei Anwendung des Moduls II daher nicht zwingend notwendig.
3. Für eine einfache Nachweisführung werden sämtliche Änderungen so angesetzt, als ob sie jeweils am kritischen Wagen bzw. Fahrwerk eines Zugverbandes wirken. Darauf basierend wird die jeweils ungünstigste mögliche Auswirkung auf die CWC betrachtet und die zugehörige Änderung der Radaufstandskraft des Iuvseitigen Rades jeweils konservativ bestimmt. Schwerpunktverschiebungen werden z.B. so angesetzt, als ob sie ein kritisches Fahrwerk (hinsichtlich CWC Kriterium) entlasten.
4. Wankmomente teilen sich bei unsymmetrisch steifer Wankabstützung auf die vorderen und hinteren Fahrwerke eines Wagenkastens so auf, dass über das wanksteifer angebundene Fahrwerk der höhere Momentenanteil abgesetzt wird. Die Aufteilung erfolgt im Verhältnis der gesamten Fahrwerk wanksteifigkeiten c_s nach folgender Formel (Aufteilungsfaktor):

$$\frac{c_{s,max}}{c_{s,max} + c_{s,min}} = f_{cs} ; 0,5 < f_{cs} < 1$$

Die konservative Annahme für f_{cs} ist 1,0.

5. Die folgenden Formeln sind für Fahrzeuge mit zwei Laufwerken erstellt worden. Sie können mit der oben dargestellten Aufteilung der Momentenanteile gegebenenfalls (zu begründen) auch für Fahrzeuge mit einer mechanischen Kopplung zu benachbarten Wagen (Gliederzüge) angewendet werden.

Validierung

Zur Validierung wurden die o.g. Formeln den Ergebnissen des Stufe 1 Verfahrens gegenübergestellt für die Fahrzeuge:

- ICE3
- Doppelstockfahrzeug
- Silberling
- Interregio-Steuerwagen.

Die im Folgenden beschriebenen Formeln wurden umfassend validiert, indem die berechnete Radlaständerung aufgrund der Änderung eines Parameters abzüglich einer Toleranz von 5 % betragsmäßig immer kleiner war als die im 5-Massen-Modell an allen Fahrwerken bestimmten Vergleichswerte, siehe interner Herleitungsbericht [6]. Damit sind die Formeln im Rahmen der Genauigkeit konservativ. Die Untersuchung wurde an Hand einer Vielzahl von Vergleichsfahrzeugen unterschiedlicher Fahrzeugtypen (Highspeed, Regional, Interregional, Double Deck) durchgeführt. Dabei wurde der gesamte Wertebereich an Parameteränderungen im Rahmen der Tabelle in Anlage A.1 abgedeckt. Zur Validierung wurden überdies sämtliche Windgeschwindigkeiten und Querbeschleunigungen im Rahmen der Windkennkurven betrachtet.

Beispiel für einfache Formeln zur konservativen Abschätzung kleiner Änderungen

Hinweise

- In allen folgenden Formeln sind die Parameterwerte des Originalfahrzeugs zu verwenden und nicht die des geänderten Fahrzeugs. Die Änderungen werden jeweils allein als Parameteränderung dpi des geänderten Fahrzeugs berücksichtigt.
- Gelegentlich werden in den Formeln Einflüsse von aq dargestellt. Dies ermöglicht die Bestimmung der Änderung der Radaufstandskräfte für unterschiedliche Querbeschleunigungen.

Pro Wagen:

1. Sekundärgefederte Masse m_2

Abschätzung Obergrenze Wankwinkel Wagen (Kippmoment, bis zur Radentlastung 90 %):

$$\varphi_2 = 0,9 * (m_0 + m_1 + m_2) * g * b_A * (c_{s,I} + c_{s,II})^{-1}$$

$$dQ_W = -\varphi_2 * z_{CoG,2} * dm_2 * g * \frac{1}{2*b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung bei Wankwinkel})$$

$$dQ_{aq} = -z_{CoG,2} * dm_2 * aq * \frac{1}{2*b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung bei aq})$$

$$dQ_{\Delta y} = -\left(y_{s,max} + y_{p,max}\right) * dm_2 * g * \frac{1}{2*b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung bei Querverlagerung})$$

a. Falls $dm_2 > 0$ d.h. Massenerhöhung

$$dQ_{p,i} = \frac{1}{n_W} dm_2 * g * \frac{2a_{\frac{1}{2}} - |x_{CoG,2}|}{2a^*} \quad (\text{erhöhend})$$

$$+ 90\% dQ_W \quad (\text{verringend})$$

$$+ dQ_{aq} \quad (\text{verringend})$$

$$+ dQ_{\Delta y} \quad (\text{verringend})$$

$$dQ_{0,p,i} = \frac{1}{n_W} dm_2 * g * \frac{2a_{\frac{1}{2}} - |x_{CoG,2}|}{2a^*}$$

In den Formeln wird der überhöht angesetzte Wankterm dQ_W auf 90 % reduziert, da die Abschätzung des Wankwinkels auf Momenten basiert, welche im Bezugspunkt Schienenoberkante wirken. Das Wankmoment wirkt tatsächlich in der Fahrwerksmitte.

b. Falls $dm_2 < 0$

$$dQ_{p,i} = \frac{1}{n_W} dm_2 * g * \frac{2a_{\frac{1}{2}} + |x_{CoG,2}|}{2a^*} \quad (\text{verringend})$$

$$+ 40\% dQ_W \quad (\text{erhöhend})$$

$$+ dQ_{aq} \quad (\text{erhöhend})$$

$$+ 70\% dQ_{\Delta y} \quad (\text{erhöhend})$$

$$dQ_{0,p,i} = \frac{1}{n_W} dm_2 * g * \frac{2a_{\frac{1}{2}} + |x_{CoG,2}|}{2a^*}$$

In den Formeln wird der überhöht angesetzte Wankterm dQ_W auf 40 % reduziert, um in allen Fällen eine konservative Bestimmung sicher zu gewährleisten.

Ebenso wird das Moment aus Querverlagerung auf 70 % reduziert, da ggf. die Querwege nicht voll ausgeschöpft werden.

2. Primärgefederte Masse m_1 (auf gesamtes Fahrzeug bezogen gemäß EN14067-6)

$$dQ_{p,i} = dQ_{0,p,i} = \frac{1}{2 * n_W} dm_1 * g$$

3. Ungefederte Masse m_0

$$dQ_{p,i} = dQ_{0,p,i} = \frac{1}{2 * n_W} dm_0 * g$$

4. Schwerpunkt $x_{COG,2}$ von m_2

$$dQ_{p,i} = dQ_{0,p,i} = \frac{1}{n_W} m_2 * g * \frac{-dx_{COG,2}}{2a}$$

5. Schwerpunkt $z_{COG,2}$ von m_2

Mit φ_2 aus „1. Sekundärgefederter Masse“

$$dQ_W = -\varphi_2 * dz_{COG,2} * m_2 * g * \frac{1}{2*b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung bei Wankwinkel})$$

$$dQ_{aq} = -dz_{COG,2} * m_2 * aq * \frac{1}{2*b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung bei } aq)$$

a. Falls $dz_{COG,2} > 0$ d.h. Erhöhung des Schwerpunktes

$$dQ_{p,i} = + 90\% dQ_W \quad (\text{verringern})$$

$$+ dQ_{aq} \quad (\text{verringern})$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

b. Falls $dz_{COG,2} < 0$

$$dQ_{p,i} = + 40\% dQ_W \quad (\text{erhöhend})$$

$$+ dQ_{aq} \quad (\text{erhöhend})$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

6. Maximaler Querweg Sekundärfeder $y_{s,max}$

$$dQ_{p,i} = -\frac{dy_{s,max}}{2b_A} * m_2 * g * f_{cs} * \frac{2}{n_W}$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

7. Primär-Querspiel $y_{p,max}$

$$dQ_{p,i} = -\frac{dy_{p,max}}{2b_A} * (m_2 + m_1) * g * f_{cs} * \frac{2}{n_W}$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

8. Fahrzeugwanksteifigkeit c_s

Falls sich die Wanksteifigkeiten der Fahrwerke eines Wagens nicht unsymmetrisch ändern, gilt zur Bestimmung der Radaufstandskräfte, mit φ_2 aus „1. Sekundärgefederte Masse“:

$$dQ_W = \varphi_2 \frac{(dc_{s,I} + dc_{s,II})}{(c_{s,I} + c_{s,II})} * z_{CoG,2} * m_2 * g * \frac{1}{2 * b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W}$$

- a. Falls $dc_{s,I} + dc_{s,II} > 0$ d.h. Erhöhung Wanksteifigkeit

$$dQ_{p,i} = +70\% dQ_W \quad (\text{erhöhend})$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

Im Falle einer Erhöhung der Wanksteifigkeit dürfen die Formeln nur angewendet werden, wenn sichergestellt wird, dass keine beidseitig (links-rechts) wirkenden, vertikalen Wank-Anschläge zum Einsatz kommen. Sonst gilt: $dQ_{p,i} = 0$.

- b. Falls $dc_{s,I} + dc_{s,II} < 0$

$$dQ_{p,i} = +90\% dQ_W \quad (\text{verringert})$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

9. Aerodynamik Beiwert $c_{Mx,lee}$

Eine universelle obere Abschätzung des Kippmoments $M_{x,lee}$, kann folgendermaßen durchgeführt werden:

$$Q_{Mx,lee} = 0,9 * (m_0 + m_1 + m_2)g * \frac{1}{2} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung Rollmoment})$$

$$Q_{aq} = z_{CoG,2} * m_2 * a_q * \frac{1}{2 * b_A} * f_{cs} * \frac{2}{n_W} \quad (\text{Änderung Moment durch } a_q)$$

- a. Falls $\max\left(\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}\right) > 0$ d.h. Erhöhung des aerodynamischen Rollmoment

$$dQ_{p,i} = -\max\left(\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}\right) * (90\% Q_{Mx,lee} - Q_{aq})$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

- b. Falls $\max\left(\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}\right) < 0$

$$dQ_{p,i} = -\max\left(\frac{dc_{Mx,lee}}{c_{Mx,lee,orig}}\right) * (70\% Q_{Mx,lee} - Q_{aq})$$

$$dQ_{0,p,i} = 0$$

A.3 Herleitung der Formel in Abschnitt 4.7.1 (informativ)

Berücksichtigung von Änderungen p_i , welche sich auch auf Q_0 auswirken.

Radentlastung ΔQ gem. EN 14363-6:2010, 5.4.4.1, Restradaufstandskraft $Q_R = Q_0 - \Delta Q$ (Anmerkung: Erhöhungen der Radaufstandskraft dQ als Auswirkung kleiner Änderungen erhöhen äquivalent die Restradaufstandskraft dQ_R).

$$\frac{\Delta Q(v_W, p_i)}{Q_0(p_i)} \leq 0,9 \quad , \text{ umgeformt} \quad \frac{Q_R(v_W, p_i)}{Q_0(p_i)} \geq 0,1.$$

Die Entwicklung von $\frac{Q_R}{Q_0}$ in der Lösungsmannigfaltigkeit (Variation) ergibt:

$$d \frac{Q_R(v_W, p_i)}{Q_0(p_i)} = 0$$

Abgekürzt:

$$q_R := \frac{Q_R}{Q_0};$$

$$dq_R = 0$$

$$\frac{\partial q_R}{\partial v_W} dv_{Wi} + \frac{\partial q_R}{\partial p_i} dp_i = 0$$

$$dv_{Wi} = - \left(\frac{\partial q_R}{\partial v_W} \right)^{-1} \frac{\partial q_R}{\partial p_i} dp_i$$

$$dv_{Wi} = s_W^{-1} Q_0 \frac{\partial q_R}{\partial p_i} dp_i$$

$$\frac{\partial q_R}{\partial p_i} dp_i = \frac{Q_0 \frac{\partial Q_R}{\partial p_i} - Q_R \frac{\partial Q_0}{\partial p_i}}{Q_0^2} dp_i$$

$$\frac{\partial q_R}{\partial p_i} dp_i = \frac{\frac{\partial Q_R}{\partial p_i} - \frac{Q_R}{Q_0} \frac{\partial Q_0}{\partial p_i}}{Q_0} dp_i$$

$$dQ_{Ri} = dQ_{pi} - 0,1 * dQ_{0,pi}$$

und

$$dv_{Wi} = s_W^{-1} dQ_{Ri}$$

Entsprechend können kleine Änderungen mit Bezug auf die Änderung der Seitenwindstabilität durch die Linearkombination $dQ_{pi} - 0,1 * dQ_{0,pi}$ der Änderung der Radaufstandskraft und der Änderung der nominellen Radaufstandskraft in der Nulllage (Q_0) erfasst werden. Die Seitenwindsensitivität s_W bildet diese Größe linear auf die Änderung der Seitenwindstabilität dv_w ab.