

	DIN EN 14067-4	
ICS 45.060.01	Ersatz für DIN EN 14067-4:2019-06 Bahnanwendungen – Aerodynamik – Teil 4: Anforderungen und Bewertungsverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke; Deutsche Fassung EN 14067-4:2024 Railway applications – Aerodynamics – Part 4: Requirements and assessment procedures for aerodynamics on open track; German version EN 14067-4:2024 Applications ferroviaires – Aérodynamique – Partie 4: Exigences et procédures d’évaluation pour l’aérodynamique à l’air libre; Version allemande EN 14067-4:2024 Gesamtumfang 65 Seiten DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)	

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-4:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-05 AA „Aerodynamik und aerodynamische Sondereffekte“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 8756 siehe DIN ISO 8756

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14067-4:2019-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich geändert, um andere Spurweiten als 1 435 mm abzudecken;
- b) normative Verweisungen aktualisiert;
- c) Prüf- und Nachweisverfahren für den Fahrwiderstand und die zugverursachten aerodynamischen Lasten im Gleisbett aktualisiert;
- d) geringfügige Änderungen und Verbesserungen im gesamten Dokument;
- e) Literaturhinweise aktualisiert;
- f) Dokument redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14067-2: 2003-09

DIN EN 14067-4: 2006-02, 2009-08, 2014-05, 2019-06

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 8756, *Luftbeschaffenheit — Handhabung von Temperatur-, Druck- und Feuchtedaten*

- Leerseite -

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen —
Aerodynamik —
Teil 4: Anforderungen und Bewertungsverfahren für
Aerodynamik auf offener Strecke

Railway applications —
Aerodynamics —

Part 4: Requirements and assessment procedures for
aerodynamics on open track

Applications ferroviaires —
Aérodynamique —

Partie 4: Exigences et procédures d'évaluation pour
l'aérodynamique à l'air libre

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 27. Februar 2024 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole	7
5 Anforderungen an Lokomotiven und Personenzüge	13
5.1 Begrenzung von Druckänderungen neben dem Gleis	13
5.1.1 Allgemeines	13
5.1.2 Anforderungen	13
5.1.3 Voller Konformitätsnachweis	14
5.1.4 Vereinfachter Konformitätsnachweis	14
5.2 Begrenzung von Strömungseffekten neben dem Gleis	17
5.2.1 Allgemeines	17
5.2.2 Anforderungen	17
5.2.3 Voller Konformitätsnachweis	20
5.2.4 Vereinfachter Konformitätsnachweis	20
5.3 Aerodynamische Belastungen im Gleisbett	22
5.4 Aerodynamisch bedingter Schotterflug	22
5.5 Fahrwiderstand	23
6 Anforderungen an die Infrastruktur	23
6.1 Zugverursachte Drucklasten auf Bauwerke parallel zum Gleis	23
6.1.1 Allgemeines	23
6.1.2 Anforderungen	23
6.1.3 Konformitätsnachweis	23
6.2 Zugverursachte Strömungsgeschwindigkeiten, die auf Infrastruktur-Komponenten neben dem Gleis wirken	23
6.3 Zugverursachte aerodynamische Belastungen im Gleisbett	24
6.4 Zugverursachte Strömungsgeschwindigkeiten, die auf Personen neben dem Gleis wirken	24
6.5 Aerodynamisch bedingter Schotterflug	24
7 Methoden und Prüfverfahren	25
7.1 Bewertung von zugverursachten Druckänderungen neben dem Gleis	25
7.1.1 Allgemeines	25
7.1.2 Druckänderungen im Druckfeld (Referenzfall)	28
7.1.3 Druckänderungen auf gleisparallelen Flächen	38
7.1.4 Windeinfluss auf zugverursachte Belastungen	45
7.2 Bewertung von zugverursachten Luftströmungen neben dem Gleis	45
7.2.1 Allgemeines	45
7.2.2 Strömungseffekte auf Personen neben dem Gleis (Referenzfall)	45
7.2.3 Strömungseffekte auf Objekte neben dem Gleis	49
7.3 Bewertung von zugverursachten aerodynamischen Belastungen im Gleisbett	50
7.4 Bewertung des Fahrwiderstands	50
7.4.1 Allgemeines	50
7.4.2 Versuche im 1 : 1-Maßstab	51
Anhang A (informativ) Verfahren zur Prüfung zugverursachter Luftströmungen im Gleisbett im 1 : 1-Maßstab	58
A.1 Allgemeines	58
A.2 Streckenaufbau	58
A.3 Fahrzeugkonfiguration und Prüfbedingungen	59
A.4 Instrumentierung und Datenerfassung	59
A.5 Datenverarbeitung	60

Literaturhinweise	61
-----------------------------	----

Bilder

Bild 1 — Koordinatensystem	13
Bild 2 — Beispiele momentaner Druckverteilungen an einer vertikalen Wand verursacht durch die Vorbeifahrt eines einteiligen und eines zweiteiligen Triebzugs	26
Bild 3 — Mit der Vorbeifahrt des Zugkopfs verbundene Druckänderung	26
Bild 4 — Typische Änderung von ΔC_p mit Y	27
Bild 5 — Beispiel für die Abhängigkeit der Druckänderungen Δp_i vom Seitenwind	30
Bild 6 — Querschnittsskizze der Bodenkonfiguration	31
Bild 7 — Simulationsgebiet mit Zugmodell	35
Bild 8 — Beispiel einer schematischen Darstellung der Konfiguration für die Druckmessung	38
Bild 9 — Belastung ebener vertikaler Bauwerke parallel zu den Gleisen	40
Bild 10 — Belastung ebener horizontaler Bauwerke über den Gleisen	41
Bild 11 — Belastung ebener horizontaler Bauwerke in Gleisnähe	42
Bild 12 — Belastung von vertikal und horizontal oder geneigt errichteten Bauwerken in Gleisnähe	44
Bild 13 — Belastung der vertikalen und horizontalen Flächen eines Bauwerks, das zwei Gleise umschließt	45
Bild 14 — Beschreibung des Kriteriums des vertikalen Abstands zum umgebenden Boden	46
Bild 15 — Versuchsabschnitt für den „Schwungversuch“	52
Bild 16 — Richtung der Geschwindigkeiten, Kräfte und Beschleunigungen beim Ausrollen a) bergauf und b) bergab	53

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole	7
Tabelle 2 — Höchstzulässige Spitze-Spitze-Druckänderung $\Delta p_{95\%,\max}$ bezogen auf die vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	13
Tabelle 3 — Anwendbare Verfahren für die vollständige Konformitätsbeurteilung von Schienenfahrzeugen	14
Tabelle 4 — Anwendbare Verfahren und Anforderungen für die vereinfachte Konformitätsbeurteilung von Schienenfahrzeugen	16
Tabelle 5 — Höchstzulässige horizontale Strömungsgeschwindigkeit $U_{95\%,\max}$ bezogen auf die vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	18
Tabelle 6 — Anwendbare Verfahren für den vollen Konformitätsnachweis von Schienenfahrzeugen	20
Tabelle 7 — Anwendbare Verfahren und Anforderungen für die vereinfachte Konformitätsbeurteilung von Schienenfahrzeugen	21
Tabelle 8 — Bestimmung von $\Delta p_{95\%}$ durch CFD-Simulation	37

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-4:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2024, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2024 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 14067-4:2013+A1:2018.

Ergebnisse des von der EU finanzierten Forschungsprojektes „AeroTRAIN“ (Finanzhilfevereinbarung Nr. 233985) sind in diesem Dokument enthalten.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Der Anwendungsbereich wurde geändert, um andere Spurweiten als 1 435 mm abzudecken. Im gesamten Dokument wurden geringfügige Änderungen und Verbesserungen vorgenommen. Die Prüf- und Nachweisverfahren für den Fahrwiderstand und die zugverursachten aerodynamischen Lasten im Gleisbett wurden aktualisiert.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission CEN erteilt hat.

EN 14067 *Bahnanwendungen — Aerodynamik* besteht aus den folgenden Teilen:

- *Teil 4: Anforderungen und Bewertungsverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke;*
- *Teil 5: Anforderungen und Bewertungsverfahren für Aerodynamik im Tunnel;*
- *Teil 6: Anforderungen und Bewertungsverfahren zur Bewertung von Seitenwind;*
- *Teil 7 (TR): Grundlagen für Prüfverfahren für zuginduzierten Schotterflug.*

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden.

Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf der Internetseite von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN CENELEC Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Züge auf offener Strecke verursachen aerodynamische Belastungen an Personen und Objekten, an denen sie vorbeifahren. Wenn Züge anderen Zügen begegnen, sind sie selbst ebenfalls aerodynamischen Belastungen ausgesetzt. Die aerodynamischen Belastungen, die durch die Zugvorbeifahrt an Objekten und Personen in Gleisnähe oder durch zwei aneinander vorbeifahrende Züge verursacht werden, sind wichtige Schnittstellenparameter zwischen den Teilsystemen „Schienenfahrzeuge“, „Infrastruktur“ und „Betrieb“. Daher werden sie bei der Spezifikation des transeuropäischen Eisenbahnsystems reglementiert.

Züge müssen bei der Fahrt auf offener Strecke einen Fahrwiderstand überwinden, der großen Einfluss auf die benötigte Antriebsleistung, erreichbare Geschwindigkeit, Fahrzeit und den Energieverbrauch hat. Daher ist der Fahrwiderstand häufig Gegenstand vertraglicher Vereinbarungen und erfordert genormte Prüf- und Bewertungsverfahren. Der Prüfaufbau für den Schotterflug wurde ebenfalls aktualisiert.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen, Prüfverfahren, Beurteilungsverfahren und Abnahmekriterien für den Betrieb von Schienenfahrzeugen auf offener Strecke fest. Für Druckänderungen und Strömungseffekte neben dem Gleis werden Anforderungen und Beurteilungsverfahren bereitgestellt. Für den Fahrwiderstand werden Beurteilungsverfahren in diesem Dokument behandelt. Lastfälle auf Infrastrukturkomponenten aufgrund von zugverursachten Druckänderungen und Strömungseffekten werden in diesem Dokument behandelt. Für Schottergleise werden Prüfaufbauten zur Beurteilung des Schotterflugs vorgeschlagen.

Die Anforderungen gelten nur für Schienenfahrzeuge des Vollbahnsystems mit Höchstgeschwindigkeiten über 160 km/h und nicht für andere Bahnsysteme. Das Dokument ist anwendbar für alle Schienenfahrzeuge und Infrastrukturen im Freien mit einer Nennspurweite von 1 435 mm bis einschließlich 1 668 mm.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1991-2:2003¹, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*

EN 16727-2-2:2016, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Nicht akustische Eigenschaften — Teil 2-2: Mechanische Eigenschaftsanforderungen unter dynamischen Belastungen infolge Zugverkehr — Berechnungsverfahren*

EN 17343, *Bahnanwendungen — Allgemeine Begriffe*

ISO 8756, *Air quality — Handling of temperature, pressure and humidity data*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 17343 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Spitze-Spitze-Druckänderung

Unterschiedsbetrag zwischen größtem und kleinstem Druckwert für den entsprechenden Lastfall

3.2

Vorbeifahrt des Zugkopfs

Vorbeifahrt des vorderen Endes des führenden Schienenfahrzeugs, die für die Erzeugung des charakteristischen Druckanstiegs und -abfalls über und neben dem Zug sowie auf dem Gleisbett verantwortlich ist

3.3

Computational Fluid Dynamics

CFD

numerische Verfahren zur Annäherung und Lösung der strömungsmechanischen Erhaltungsgleichungen

¹ Dokument korrigiert durch AC:2010.

3.4
stromlinienförmiges Schienenfahrzeug

Schienenfahrzeug mit einer geschlossenen und glatten Kopfform, die keine Strömungsablösungen von mehr als 5 cm von der Schienenfahrzeugseite entfernt im mittleren Strömungsfeld verursacht

3.5
stumpf geformtes Schienenfahrzeug
nicht stromlinienförmiges Schienenfahrzeug

3.6
Einheit
Schienenfahrzeug, das aus mehreren Schienenfahrzeugen bestehen kann

3.7
feste Zugbildung
Zugbildung, die nur innerhalb einer Werkstattumgebung umgestaltet werden kann

3.8
vordefinierte Zugzusammenstellungen
Zugbildung aus einer oder mehreren miteinander gekoppelten Einheiten, die in der Entwurfsphase festgelegt wird und während des Betriebs neu konfiguriert werden kann

4 Symbole

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Symbole nach Tabelle 1.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
a	m/s^2	während der Auslaufversuche gemessene Zugbeschleunigungen	
a_D	m/s^2	während der Auslaufversuche gemessene Zugbeschleunigungen, wenn der Zug bergab fährt	
a_d	m/s^2	Differenz der Zugbeschleunigungen zwischen zwei Auslaufversuchen auf derselben Gleisposition	
a_U	m/s^2	während der Auslaufversuche gemessene Zugbeschleunigungen, wenn der Zug bergauf fährt	
C_F	—	aerodynamischer Beiwert	
C_{p1}	—	aerodynamischer Beiwert, der vom seitlichen Abstand Y zur Gleisachse abhängt	
C_{p2}	—	aerodynamischer Beiwert, der von der Höhe h über Schienenoberkante abhängt	
C_{p3}	—	aerodynamischer Beiwert, der vom seitlichen Abstand Y zur Gleisachse abhängt	
C_1	N	mechanischer Widerstand	
$C_{1,A}$	N	Näherung des mechanischen Widerstands	siehe 7.4.2

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
$C_2 v_{tr}$	N	Impulswiderstand aufgrund des Luftstroms für die Antriebs- und Hilfsaggregate und die Klimaanlage	
$C_3 v_{tr}^2$	N	aerodynamischer Widerstand in der Fahrwiderstandsformel	
$\overline{C_3}$	N/Pa	$\overline{C_3}$ zeigt den Dichtheitsbeitrag	
c	m/s	Schallgeschwindigkeit	
dt	s	zeitliche Änderung	
dv_{tr}	m/s	Änderung der Zuggeschwindigkeit	
dx	m	örtliche Änderung	
F	N	Strömungsbelastung eines Objekts, Höchstwert der Kraft während der Vorbeifahrt	
F_d	N	Kraft	siehe 7.4.2.2.3
g	m/s ²	Beschleunigung durch Schwerkraft	
h	m	Höhe über Schienenoberkante	
i	—	Streckengefälle	innerhalb eines typischen Bereichs von $\pm 0,03$
k	—	Faktor zur Berücksichtigung der kinetischen Energie der rotierenden Massen	$\geq 1,0$
k_{MU}	—	Faktor, der bei mehrgliedrigen Triebzugeinheiten berücksichtigt wird	siehe Gleichung (16)
k_1	—	Formbeiwert des Zugs	
k_2	—	Formbeiwert des Zugs	
k_3	—	Formbeiwert des Zugs	
L_n	m	Länge des Bugs	Abstand zwischen der Spitze des Zugs und der Stelle, an der der volle Querschnitt des führenden Schienenfahrzeugs erreicht wird
L_s	m	Länge der Versuchsstrecke	siehe 7.4.2.2
m	kg	Masse des Zugs	
N_b	—	Anzahl der zusätzlichen Einheiten im Vergleich zur Testkonfiguration	siehe 7.2.2.1
P_d	N	Funktion der Zugbeschleunigungen im Quadrat zwischen zwei Auslaufversuchen auf derselben Gleisposition	siehe 7.4.2.4
p	Pa	Druck	
p_{max}	Pa	Höchstdruck	
p_{min}	Pa	Mindestdruck	

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
p_{1k}	Pa	Wert der Flächenlasten	
p_{2k}	Pa	Wert der Flächenlasten	
p_{3k}	Pa	Wert der Flächenlasten	
Re_{max}	—	höchste Reynoldszahl	basierend auf 3 m Referenzlänge im 1 : 1-Maßstab
R_1	N	Fahrwiderstand	Schienenfahrzeugseitig, siehe 7.4.1
R_2	N	Fahrwiderstand	Infrastrukturseitig, siehe 7.4.1
r	m	Bogenradius	
r_C	m	Referenzwert des Bogenradius	siehe 7.4.2.4
S	m ²	charakteristische Fläche	
s	m	Abstand	siehe 7.4.2.2
t	s	Zeit	
t_i	s	skalierte Zeit, die sich auf die i -te Vorbeifahrt bezieht	
$t_{m,i}$	s	Zeit, die sich auf die i -te Vorbeifahrt bezieht	
U_i	m/s	höchste bei der i -ten Vorbeifahrt auftretende horizontale Strömungsgeschwindigkeit nach Mittelwertbildung und Anpassung an die charakteristische Zuggeschwindigkeit	
$\bar{U}$	m/s	Mittelwert aller gemessenen Höchstwerte U_i	
U_{max}	m/s	Höchstwert von U	
$U_{2\sigma}$	m/s	Obergrenze des 2σ -Intervalls der höchsten Strömungsgeschwindigkeit	
$U_{95\%}$	m/s	höchste bei der Vorbeifahrt auftretende horizontale Strömungsgeschwindigkeit	charakteristische Strömungsgeschwindigkeit aus der Messung
$U_{95\%,max}$	m/s	höchste bei der Vorbeifahrt zulässige horizontale Strömungsgeschwindigkeit	Grenzwert für die charakteristische Strömungsgeschwindigkeit
$u_i(t_i)$	m/s	bei der i -ten Vorbeifahrt auftretende horizontale Strömungsgeschwindigkeit	nach Transformation der Zeitbasis
$u_{m,i}(t_{m,i})$	m/s	gemessener Wert der bei der i -ten Vorbeifahrt auftretenden horizontalen Strömungsgeschwindigkeit	
v_a	m/s	relative Windgeschwindigkeit	siehe Bild 1
v_d	m/s	Differenz der Zuggeschwindigkeit zwischen zwei Auslaufversuchen auf derselben Gleisposition	siehe 7.4.2.4

Tabelle 1 (fortgesetzt)

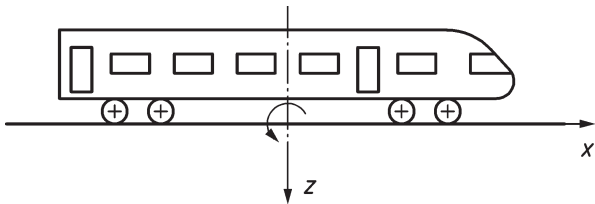
Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
$v_{d,q}$	m^2/s^2	Differenz der Zugbeschleunigungen im Quadrat zwischen zwei Auslaufversuchen auf derselben Gleisposition	siehe 7.4.2.4
v_{tr}	m/s	Zuggeschwindigkeit	
v_{trD}	m/s	momentane Zuggeschwindigkeit, wenn der Zug bergab fährt	siehe 7.4.2.2
$v_{tr,i}$	m/s	Geschwindigkeit des Zugs bei der i -ten Vorbeifahrt	
$v_{tr,max}$	m/s	maximale Zuggeschwindigkeit oder Bemessungs-Zuggeschwindigkeit	Die maximale Zuggeschwindigkeit bezieht sich auf den Zugbetrieb. Im Fall einer Beschränkung durch die Infrastruktur darf die maximale Zuggeschwindigkeit geringer als die Bemessungs-Zuggeschwindigkeit sein.
$v_{tr,ref}$	m/s	Referenzgeschwindigkeit	
$v_{tr,S1}$	m/s	gemessene Geschwindigkeit am Punkt S, wenn der Zug bergauf fährt	siehe 7.4.2.2
$v_{tr,S2}$	m/s	gemessene Geschwindigkeit am Punkt S, wenn der Zug bergab fährt	siehe 7.4.2.2
$v_{tr,S1a}$	m/s	gemessene Geschwindigkeit an Startpunkt S1 in Auslaufrichtung 1	siehe 7.4.2.2.3
$v_{tr,S1b}$	m/s	gemessene Geschwindigkeit am Endpunkt in Auslaufrichtung 1	siehe 7.4.2.2.3
$v_{tr,S2a}$	m/s	gemessene Geschwindigkeit an Startpunkt S2 in Auslaufrichtung 2	siehe 7.4.2.2.3
$v_{tr,S2b}$	m/s	gemessene Geschwindigkeit am Endpunkt in Auslaufrichtung 2	siehe 7.4.2.2.3
$v_{tr,test}$	m/s	nominelle Prüfgeschwindigkeit	
v_{trU}	m/s	momentane Zuggeschwindigkeit, wenn der Zug bergauf fährt	siehe 7.4.2.2
v_w	m/s	Windgeschwindigkeit	Windgeschwindigkeit gemessen am ortsfesten Punkt, siehe Bild 1
$v_{w,x,i}$	m/s	Windgeschwindigkeitskomponente in x-Richtung bei der i -ten Vorbeifahrt	
$v_{w,y,i}$	m/s	Windgeschwindigkeitskomponente in y-Richtung bei der i -ten Vorbeifahrt	
W_y	—	Quotient aus Seitenwindgeschwindigkeit und Geschwindigkeit der einfallenden Strömung in Gleisrichtung	siehe 7.1.2.1
Y	m	seitlicher Abstand zur Gleisachse	

Tabelle 1 (fortgesetzt)

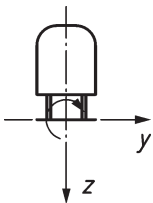
Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
$Y_{\min}$	m	kleinster seitlicher Abstand zur Gleisachse	
$Y_{\max}$	m	größter seitlicher Abstand zur Gleisachse	
y^+	—	dimensionsloser Wandabstand	
β	°	Gierwinkel	Winkel zwischen der Schienenfahrzeugachse und dem relativen Wind, der auf den Zug wirkt. In einem Windkanal mit stationärem Zugmodell ist dies der Winkel zwischen der Zugachse und der Windkanalachse, siehe Bild 1.
ΔC_p	—	Druckbeiwert der Druckänderung	
$\Delta C_{p,2\sigma}$	—	Druckbeiwert der Druckänderung	Obergrenze des 2σ -Intervalls des Spitze-Spitze-Druckänderungsbeiwerts. Der Spitze-Spitze-Druckänderungsbeiwert wird mit Gleichung (2) bestimmt.
Δp	Pa	Spitze-Spitze-Druckänderung	
$\overline{\Delta p}$	Pa	Mittelwert der Spitze-Spitze-Druckänderung	ermittelt aus sämtlichen Messergebnissen Δp_i oder durch CFD
Δp_i	Pa	korrigierter höchster Wert des Spitze-Spitze-Drucks bei der i -ten Vorbeifahrt	Gleichung (5)
$\Delta p_{m,i}$	Pa	höchster bei der i -ten Vorbeifahrt gemessener Wert des Spitze-Spitze-Drucks	Gleichung (5)
Δp_{sim}	Pa	durch instationäre CFD-Berechnungen ermittelte Änderung des zugkopferursachten Drucks	
$\overline{\Delta p_{\text{sim}}}$	Pa	durch CFD-Berechnungen ermittelte Änderung des durchschnittlichen zugkopferursachten Drucks	der Durchschnitt bezieht sich entweder auf stationäre CFD-Berechnungen oder auf den Durchschnitt der Ergebnisse aus instationären Simulationen
$\overline{\Delta p_{\text{sim},k}}$	Pa	durch stationäre CFD-Berechnungen ermittelte Änderung für die k -te Höhe	Gleichung (6)
$\Delta p_{\text{test},k}$	Pa	durchschnittliche Wert des Spitze-zu-Spitze-Drucks für die 6 Höhen k , ermittelt durch Messungen	Gleichung (8)
$\Delta p_{2\sigma}$	Pa	Obergrenze des 2σ -Intervalls der Spitze-Spitze-Druckänderung	
$\Delta p_{95\%}$	Pa	größte Spitze-Spitze-Druckänderung	charakteristische Druckänderung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

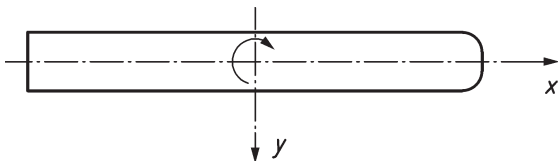
Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
$\Delta p_{95\%,\max}$	Pa	größte zulässige Spitze-Spitze-Druckänderung	zulässige charakteristische Druckänderung
Δt	s	charakteristisches Zeitintervall	Vorbeifahrt des Zugkopfs, Zeit zwischen den Druckspitzen
ε	—	relativer quadratischer Mittelwert der Differenz zwischen einer berechneten Druckänderung und den Prüfergebnissen	
η	Pa s	dynamische Viskosität der Luft	
ρ	kg/m ³	Luftdichte	
ρ_i	kg/m ³	bei der i -ten Vorbeifahrt ermittelte Luftdichte	
ρ_0	kg/m ³	Normalluftdichte	$\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$
σ	—	Standardabweichung	für Druck oder Geschwindigkeit
σ_{sim}	Pa	Standardabweichung des simulierten Drucks	



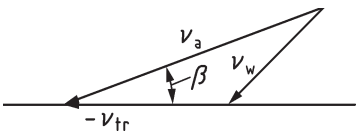
a) Seitenansicht



b) Rückansicht



c) Ansicht von oben



d) Geschwindigkeitsdreieck

ANMERKUNG Ein positiver Wert β bedeutet, dass der scheinbare Wind v_a von der rechten Seite des Zuges kommt.

Bild 1 — Koordinatensystem

5 Anforderungen an Lokomotiven und Personenzüge

5.1 Begrenzung von Druckänderungen neben dem Gleis

5.1.1 Allgemeines

Ein vorbeifahrender Zug erzeugt ein sich änderndes Druckfeld neben dem Gleis, das auf Objekte wie in Gegenrichtung vorbeifahrende Züge, Lärmschutzwände, Bahnsteigaufbauten usw. einwirkt. Zur Definition einer eindeutigen Schnittstelle zwischen den Teilsystemen „Schienenfahrzeuge“ und „Infrastruktur“ müssen die zugverursachten aerodynamischen Drucklasten neben dem Gleis bekannt sein und begrenzt werden.

Zur Beschreibung und Begrenzung der zugverursachten aerodynamischen Drucklasten neben dem Gleis werden Referenzfälle für die Schienenfahrzeugbewertung für Spurweiten von 1 435 mm bis einschließlich 1 668 mm festgelegt.

5.1.2 Anforderungen

5.1.2.1 Referenzfall

Für Spurweiten von 1 435 mm bis 1 668 mm wird das Druckfeld, das durch einen vorbeifahrenden Zug in einem Abstand nach Tabelle 2 von der Mitte des Gleises erzeugt wird, als Referenzfall bezeichnet. Der Referenzfall ist für ein gerades Gleis mit Standardbettungsquerschnitt und in Abwesenheit von Dämmen, Geländeeinschnitten und anderen bedeutenden Objekten in Gleisnähe definiert. Die auftretenden Druckschwankungen werden durch die zulässige Druckänderung $\Delta p_{95\%,\max}$ begrenzt, die sich auf die größte Druckänderung, die während der Vorbeifahrt des Zugkopfs auftritt, bezieht.

5.1.2.2 Nicht trennbare oder vordefinierte Zugverbände

Ein nicht trennbarer oder vordefinierter Zugverband, der mit Referenzgeschwindigkeit im Referenzfallszenario fährt, darf während der Vorbeifahrt des Zugkopfs keine größere Spitze-Spitze-Druckänderung verursachen als den in Tabelle 2 aufgeführten Wert $\Delta p_{95\%,\max}$ in 1,50 m bis 3,00 m Höhe über Schienenoberkante. Bei nicht identischen Endwagen gilt die Anforderung für jede mögliche Fahrtrichtung.

Tabelle 2 — Höchstzulässige Spitze-Spitze-Druckänderung $\Delta p_{95\%,\max}$, bezogen auf die vorgesehene Höchstgeschwindigkeit

Spurweite	Vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	Messabstand zur Gleisachse	Zulässige Druckänderung $\Delta p_{95\%,\max}$ bei Referenzgeschwindigkeit	Referenzgeschwindigkeit
mm	km/h	m	Pa	km/h
alle	$v_{tr,\max} \leq 160$	2,50	keine Anforderung	
1 435	$160 < v_{tr,\max} < 250$	2,50	$\Delta p_{95\%,\max} = 800$	$v_{tr,\max}$
1 435	$250 \leq v_{tr,\max}$	2,50	$\Delta p_{95\%,\max} = 800$	250

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Spurweite	Vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	Messabstand zur Gleisachse	Zulässige Druckänderung $\Delta p_{95\%,\max}$ bei Referenzgeschwindigkeit	Referenzgeschwindigkeit
mm	km/h	m	Pa	km/h
1 524	$160 < v_{tr,\max} < 250$	2,50	$\Delta p_{95\%,\max} = 1\,600$	$v_{tr,\max}$
1 668	$160 < v_{tr,\max} < 250$	2,60	$\Delta p_{95\%,\max} = 800$	$v_{tr,\max}$
1 668	$250 \leq v_{tr,\max}$	2,60	$\Delta p_{95\%,\max} = 800$	250

5.1.2.3 Schienenfahrzeug, das in führender Position fahren kann

Ein Schienenfahrzeug, das als führendes Schienenfahrzeug fahren kann, darf keine maximale Spitze-Spitze-Druckänderung verursachen, die zur Überschreitung des in Tabelle 2 aufgeführten Wertes $\Delta p_{95\%,\max}$ führt, wenn es als führendes Schienenfahrzeug mit der Bezugsgeschwindigkeit im Bezugsfall fährt. Bei der Vorbeifahrt des vorderen Schienenfahrzeuges liegt der zu berücksichtigende Höhenbereich zwischen 1,50 m und 3,00 m über Schienenoberkante. Bei Schienenfahrzeugen, die in beiden Richtungen als führendes Schienenfahrzeug eingesetzt werden können, gilt die Anforderung, wenn das Schienenfahrzeug in jeder Fahrtrichtung in die führende Position gebracht wird.

5.1.2.4 Sonstige Schienenfahrzeuge

Für andere Schienenfahrzeuge, die nicht unter 5.1.2.2 oder 5.1.2.3 fallen, bestehen keine Anforderungen.

5.1.3 Voller Konformitätsnachweis

Ein voller Konformitätsnachweis für interoperable Schienenfahrzeuge muss nach Tabelle 3 durchgeführt werden.

Tabelle 3 — Anwendbare Verfahren für die vollständige Konformitätsbeurteilung von Schienenfahrzeugen

Vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	Verfahren
$v_{tr,\max} \leq 160 \text{ km/h}$	kein Nachweis erforderlich
$160 \text{ km/h} < v_{tr,\max}$	Nachweis durch: — Versuche im 1 : 1-Maßstab nach 7.1.2.1; oder — Versuche mit bewegten Modellen im Modellmaßstab nach 7.1.2.2; oder — CFD-Simulationen nach 7.1.2.4.

5.1.4 Vereinfachter Konformitätsnachweis

Für Schienenfahrzeuge, an denen im Vergleich zu Schienenfahrzeugen, für die ein voller Konformitätsnachweis bereits vorliegt, geringfügige konstruktive Änderungen vorgenommen wurden, darf ein vereinfachter Konformitätsnachweis durchgeführt werden.

Bezüglich der Druckänderungen neben dem Gleis sind ausschließlich Designunterschiede der Außengeometrie und der vorgesehenen Geschwindigkeit von Belang.

Der vereinfachte Konformitätsnachweis muss in Übereinstimmung mit Tabelle 4 wie folgt durchgeführt werden:

- anhand einer Erklärung und Begründung dafür, dass die konstruktiven Unterschiede keinen Einfluss auf die Druckänderungen neben dem Gleis haben; oder
- durch eine vergleichende Auswertung der konstruktiven Unterschiede bezogen auf das Schienenfahrzeug, für das ein voller Konformitätsnachweis bereits vorliegt.

Tabelle 4 — Anwendbare Verfahren und Anforderungen für die vereinfachte Konformitätsbeurteilung von Schienenfahrzeugen

Gestaltungsunterschiede	Verfahren und Anforderungen
Unterschiede in der Außengeometrie, beschränkt auf: — Stellen, die entweder stromabwärts vom maximalen Querschnitt der Zugspitze oder stromabwärts vom Abstand der minimalen Druckspitze relativ zur Zugspitze liegen; — den inneren Bereich des Zugunterbodens (unter dem Zug und zwischen den Schienen); — geringfügige Unterschiede in der Außengeometrie; — Scheibenwischer und Griffe; — Antennen mit einem Volumen von weniger als 5 000 cm³; — lange, isoliert hervorstehende Objekte oder Spalten mit einem Querschnitt von weniger als 50 mm, die nicht vertikal zu Frontradius oder -kante verlaufen oder sich in Nähe dazu befinden; — kleine isoliert hervorstehende Objekte und Spalten, die in jeder Dimension kleiner sind als 50 mm.	Dokumentation der Unterschiede; Bestätigung, dass diese keinen Einfluss auf die horizontalen Strömungsgeschwindigkeiten neben dem Gleis haben, und Bezug auf einen vorliegenden vollen Konformitätsnachweis.
Andere Unterschiede in der Außengeometrie (z. B. bei Puffern, Frontkupplungen, Schneepflügen, Front- oder Seitenfenstern), durch die die Grundmerkmale der Kopfform erhalten bleiben.	Dokumentation der Unterschiede und Bezug auf einen vorliegenden vollen Konformitätsnachweis UND Bewertung des relativen Einflusses der Unterschiede durch — Versuche mit bewegten Modellen im Modellmaßstab nach 7.1.2.2 oder — CFD-Simulationen nach 7.1.2.4, UND Nachweise und Dokumentation, dass 1) die Unterschiede $\overline{\Delta p}$ um weniger als $\pm 10\%$ verändern; $\frac{\overline{\Delta p}(B) - \overline{\Delta p}(A)}{\overline{\Delta p}(A)} < 0,1$UND 2) die Unterschiede 50 % der verfügbaren Toleranz bezüglich der Übereinstimmung mit 5.1.2 nicht überschreiten.