

DIN EN 14067-4

ICS 45.060.01

Ersatz für
DIN EN 14067-4:2014-05

**Bahnanwendungen –
Aerodynamik –
Teil 4: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener
Strecke;
Deutsche Fassung EN 14067-4:2013+A1:2018**

Railway applications –
Aerodynamics –
Part 4: Requirements and test procedures for aerodynamics on open track;
German version EN 14067-4:2013+A1:2018

Applications ferroviaires –
Aérodynamique –
Partie 4: Exigences et procédures d'essai pour l'aérodynamique à l'air libre;
Version allemande EN 14067-4:2013+A1:2018

Gesamtumfang 58 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-4:2013+A1:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Dieses Dokument enthält die Änderung A1, die von CEN am 28. August 2018 angenommen wurde.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch Änderungsmarken **A1** **A1** angegeben.

Für das in diesem Dokument zitierte internationale Dokument wird im Folgenden auf das entsprechende deutsche Dokument hingewiesen:

ISO 8756 siehe DIN ISO 8756

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14067-4:2014-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Europäisches Vorwort geändert;
- b) 6.1.2.1 „Versuche im 1:1-Maßstab“ geändert;
- c) Nummerierung von Bild 7 bis Bild 13 korrigiert;
- d) Anhang ZA hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14067-2: 2003-09

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

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

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

— Leerseite —

Deutsche Fassung

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

Railway applications —
Aerodynamics —
Part 4: Requirements and test procedures for
aerodynamics on open track

Applications ferroviaires —
Aérodynamique —
Partie 4: Exigences et procédures d'essai pour
l'aérodynamique à l'air libre

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. September 2013 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 28. August 2018 vom CEN angenommen wurde.

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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, 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 und Symbole	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole	7
4 Anforderungen an Lokomotiven und Personenwagen.....	10
4.1 Begrenzung von Druckänderungen neben dem Gleis.....	10
4.1.1 Allgemeines	10
4.1.2 Anforderungen	11
4.1.3 Voller Konformitätsnachweis	11
4.1.4 Vereinfachter Konformitätsnachweis.....	12
4.2 Begrenzung von Strömungseffekten neben dem Gleis	14
4.2.1 Allgemeines	14
4.2.2 Anforderungen	14
4.2.3 Voller Konformitätsnachweis	16
4.2.4 Vereinfachter Konformitätsnachweis.....	16
4.3 Aerodynamische Belastungen im Gleisbett.....	18
5 Anforderungen an die Infrastruktur	18
5.1 Zugverursachte Drucklasten auf flächige Bauwerke parallel zum Gleis	18
5.1.1 Allgemeines	18
5.1.2 Anforderungen	18
5.1.3 Konformitätsnachweis	18
5.2 Zugverursachte Strömungsgeschwindigkeiten, die auf Infrastruktur-Komponenten neben dem Gleis wirken.....	18
5.3 Zugverursachte aerodynamische Belastungen im Gleisbett.....	18
5.4 Zugverursachte Strömungsgeschwindigkeiten, die auf Personen neben dem Gleis wirken.....	19
6 Prüf- und Nachweisverfahren	19
6.1 Bewertung von zugverursachten Druckänderungen neben dem Gleis.....	19
6.1.1 Allgemeines	19
6.1.2 Druckänderungen im ungestörten Druckfeld (Referenzfall).....	22
6.1.3 Druckänderungen auf gleisparallelen Flächen	32
6.1.4 Windeinfluss auf zugverursachte Belastungen	40
6.2 Bewertung von zugverursachten Luftströmungen neben dem Gleis	40
6.2.1 Allgemeines	40
6.2.2 Strömungseffekte auf Personen neben dem Gleis (Referenzfall).....	40
6.2.3 Strömungseffekte auf Objekte neben dem Gleis	43
6.3 Bewertung von zugverursachten aerodynamischen Belastungen im Gleisbett.....	44
6.4 Bewertung des Laufwiderstands	45
6.4.1 Allgemeines	45
6.4.2 Versuche im 1:1-Maßstab.....	45
Anhang A (informativ) Verfahren zur Prüfung zugverursachter Luftströmungen im Gleisbett im 1:1-Maßstab.....	49
A.1 Allgemeines	49
A.2 Streckenkonfiguration.....	49
A.3 Fahrzeugkonfiguration und Prüfbedingungen.....	50
A.4 Instrumentierung und Datenerfassung.....	50

A.5	Datenverarbeitung.....	51
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2008/57/EG.....	52
Literaturhinweise.....		54

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-4:2013+A1:2018) 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 Juni 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2019 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 beinhaltet die von CEN am 28. August 2018 genehmigte Änderung 1.

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

Anfang und Ende des Textes, der durch die Änderung eingefügt oder geändert wurde, sind im Text durch die Änderungsmarken A1 A1 angegeben.

A1 *gestrichener Text* A1 Die Ergebnisse des von der EU finanzierten Forschungsprojekts „AeroTRAIN“ (Finanzhilfvereinbarung Nr. 233985) sind in dieses Dokument eingeflossen.

A1 Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 2008/57/EG siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist. A1

A1 *gestrichener Text* A1

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

- Teil 1: *Formelzeichen und Einheiten*
- Teil 2: *Aerodynamik auf offener Strecke* (A1 zurückgezogen A1)
- Teil 3: *Aerodynamik im Tunnel*
- Teil 4: *Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke*
- Teil 5: *Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel*
- Teil 6: *Anforderungen und Prüfverfahren zur Bewertung von Seitenwind*

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, 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 „Fahrzeuge“, „Infrastruktur“ und „Betrieb“, daher werden sie bei der Spezifikation des transeuropäischen Eisenbahnsystems reglementiert.

Züge müssen bei der Fahrt auf offener Strecke einen Laufwiderstand überwinden, der großen Einfluss auf die benötigte Antriebsleistung, erreichbare Geschwindigkeit, Fahrzeit und den Energieverbrauch hat. Daher ist der Laufwiderstand häufig Gegenstand vertraglicher Vereinbarungen und erfordert genormte Prüf- und Bewertungsverfahren.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm behandelt Anforderungen, Prüfverfahren und Konformitätsbewertungen für Aerodynamik auf offener Strecke. Im Rahmen dieser Norm werden die Themen aerodynamische Belastungen und Laufwiderstand angesprochen, während das Thema Seitenwind in EN 14067-6 behandelt wird.

Diese Europäische Norm gilt für die Belange von Fahrzeugen und Infrastruktur. Sie gilt nicht für Güterwagen. Sie gilt für den Eisenbahnbetrieb mit den Begrenzungslinien GA, GB und GC nach EN 15273. Der methodische Ansatz der vorgestellten Prüfverfahren darf für andere Begrenzungslinien angepasst werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken*

EN 15273 (alle Teile), *Bahnanwendungen — Begrenzungslinien*

EN 15663, *Bahnanwendungen — Definition der Fahrzeugmassen*

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

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Spitze-Spitze-Druckänderung

Unterschiedsbetrag zwischen größtem und kleinstem Druckwert für den entsprechenden Lastfall

3.1.2

Vorbeifahrt des Zugkopfs

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

3.1.3

Computational Fluid Dynamics

CFD

numerische Verfahren zur Annäherung und Lösung der strömungsmechanischen Erhaltungsgleichungen

3.1.4

stromlinienförmiges Fahrzeug

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

3.1.5

stumpf geformtes Fahrzeug

nicht stromlinienförmiges Fahrzeug

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole.

Tabelle 1 — Symbole (1 von 4)

Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
b	m	Referenzlänge	Zugbreite
c	m/s	Schallgeschwindigkeit	
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	Rollwiderstand	
$C_2 v_{tr}$	N	Impulswiderstand, der durch die Kühlluft der Lokomotiven und die Klimatisierung der Wagen verursacht wird	
$C_3 v_{tr}^2$	N	aerodynamischer Widerstand in der Laufwiderstandsformel	
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	
g	m/s ²	Gravitationsbeschleunigung	
h	m	Höhe über Schienenoberkante	
i	‰	Streckengefälle	
k	—	Faktor zur Berücksichtigung der kinetischen Energie der rotierenden Massen	$\geq 1,0$
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 Fahrzeugs erreicht wird
m	kg	Masse des Zugs	normale Zuladung im Betrieb nach EN 15663

Tabelle 1 (2 von 4)

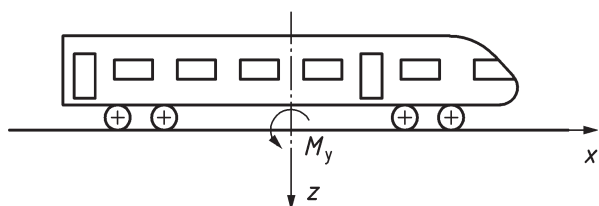
Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
p	Pa	Druck	
$p_{\max}$	Pa	Höchstdruck	
$p_{\min}$	Pa	Mindestdruck	
p_{1k}	Pa	Wert der Flächenlasten	
p_{2k}	Pa	Wert der Flächenlasten	
p_{3k}	Pa	Wert der Flächenlasten	
r	m	Bogenradius	
Re	—	Reynoldszahl	basierend auf 3,00 m Referenzlänge im 1:1-Maßstab
$Re_{\max}$	—	höchste Reynoldszahl	
R_1	N	Laufwiderstand	fahrzeugseitig
R_2	N	Laufwiderstand	infrastrukturseitig
S	m ²	charakteristische Fläche	
t	s	Zeit	
u_i	m/s	bei der i-ten Vorbeifahrt auftretende horizontale Strömungsgeschwindigkeit	nach Transformation der Zeitbasis
$u_{m,i}$	m/s	gemessener Wert der bei der i-ten Vorbeifahrt auftretenden horizontalen Strömungsgeschwindigkeit	
U	m/s	induzierte Strömungsgeschwindigkeit	
$\bar{U}$	m/s	Mittelwert aller gemessenen Höchstwerte U_i	
U_i	m/s	höchste bei der i-ten Vorbeifahrt auftretende horizontale Strömungsgeschwindigkeit nach Mittelwertbildung und Anpassung an die charakteristische Zuggeschwindigkeit	
$U_{\max}$	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
$U_{95\%,\max}$	m/s	höchstzulässige bei der Vorbeifahrt auftretende horizontale Strömungsgeschwindigkeit	zulässige charakteristische Strömungsgeschwindigkeit
v_{tr}	m/s	Geschwindigkeit des Zugs	
$v_{tr,c}$	m/s	Geschwindigkeit des Originalzugs	

Tabelle 1 (3 von 4)

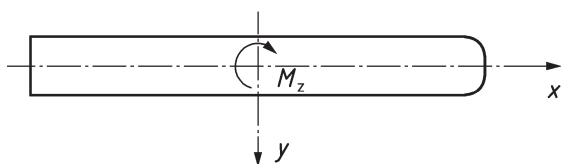
Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
$v_{tr,i}$	m/s	Geschwindigkeit des Zugs bei der i-ten Vorbeifahrt	
$v_{tr,max}$	m/s	Höchstgeschwindigkeit des Zugs	
$v_{tr,ref}$	m/s	Referenzgeschwindigkeit	
$v_{tr,test}$	m/s	nominale Prüfgeschwindigkeit	
$v_{w,x,i}$	m/s	Windgeschwindigkeitskomponente in x-Richtung bei der i-ten Vorbeifahrt	
y^+	—	dimensionsloser Wandabstand	
Y	m	seitlicher Abstand zur Gleisachse	
Y_{min}	m	kleinster seitlicher Abstand zur Gleisachse	
Y_{max}	m	größter seitlicher Abstand zur Gleisachse	
γ	m/s ²	während der Auslaufversuche gemessene Zugbeschleunigung	
$\Delta C_{p,2\sigma}$	—	Druckbeiwert der Spitze-Spitze-Druckänderung	Obergrenze des 2σ -Intervalls des Spitze-Spitze-Druckänderungsbeiwerts. Der Spitze-Spitze-Druckänderungsbeiwert wird mit Gleichung (2) bestimmt.
ΔC_p	—	Druckbeiwert der Spitze-Spitze-Druckänderung	
Δp	Pa	Spitze-Spitze-Druckänderung	
$\overline{\Delta p}$	Pa	Mittelwert der Spitze-Spitze-Druckänderung	ermittelt aus sämtlichen Messergebnissen Δp_i oder durch CFD
$\Delta p_{2\sigma}$	Pa	Obergrenze des 2σ -Intervalls der Spitze-Spitze-Druckänderung	
$\Delta p_{95\%}$	Pa	größte Spitze-Spitze-Druckänderung	charakteristische Druckänderung
$\Delta p_{95\%,max}$	Pa	größte zulässige Spitze-Spitze-Druckänderung	zulässige charakteristische Druckänderung
Δp_i	Pa	höchster Wert des Spitze-Spitze-Drucks bei der i-ten Vorbeifahrt	
$\Delta p_{m,i}$	Pa	höchster bei der i-ten Vorbeifahrt gemessener Wert des Spitze-Spitze-Drucks	
Δp_{sim}	—	durch instationäre CFD-Berechnungen ermittelte Änderung des zugkopfverursachten Drucks	
$\overline{\Delta p_{sim}}$	Pa	durch stationäre CFD-Berechnungen ermittelte Änderung des zugkopfverursachten Drucks	

Tabelle 1 (4 von 4)

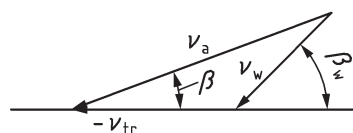
Symbol	Einheit	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung
Δt	s	charakteristisches Zeitintervall	Vorbeifahrt des Zugkopfs, Zeit zwischen den Druckspitzen
ε	—	relative Differenz	
$\sum R_i$	N	Summe aller Laufwiderstandskräfte	
η	Pa · s	dynamische Viskosität	
ρ	kg/m ³	Luftdichte	
ρ_i	kg/m ³	bei der i-ten Vorbeifahrt 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) Draufsicht



c) Geschwindigkeitsdreieck

Bild 1 — Koordinatensystem

4 Anforderungen an Lokomotiven und Personenwagen

4.1 Begrenzung von Druckänderungen neben dem Gleis

4.1.1 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 „Fahrzeuge“ 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 wird ein Referenzfall für die Fahrzeugbewertung festgelegt.

4.1.2 Anforderungen

4.1.2.1 Referenzfall

Bei den Standardbegrenzungslinien GA, GB, GC nach EN 15273 und in Abwesenheit von Dämmen, Geländeeinschnitten und anderen signifikanten Objekten in Gleisnähe wird das ungestörte Druckfeld, das durch einen vorbeifahrenden Zug an einer 2,50 m von der Gleisachse entfernten Stelle auf gerader Strecke mit Standardbettungsquerschnitt erzeugt wird, als Referenzfall bezeichnet. Die auftretenden Druckänderungen werden durch die obere Grenze des 95-%-Vertrauensintervalls, gebildet aus den größten Spitze-Spitze-Druckänderungen, beschrieben. Die größte Spitze-Spitze-Druckänderung $\Delta p_{95\%}$ bezieht sich auf die größte Druckänderung, die während der Vorbeifahrt des Zugkopfs auftritt.

4.1.2.2 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

Vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	Zulässige Druckänderung $\Delta p_{95\%,\max}$ bei Referenzgeschwindigkeit	Referenzgeschwindigkeit
$v_{tr} \leq 160 \text{ km/h}$	keine Anforderungen	
$160 \text{ km/h} < v_{tr} < 250 \text{ km/h}$	$\Delta p_{95\%,\max} = 800 \text{ Pa}$	vorgesehene Höchstgeschwindigkeit
$250 \text{ km/h} \leq v_{tr}$	$\Delta p_{95\%,\max} = 800 \text{ Pa}$	250 km/h

4.1.2.3 Einzelfahrzeuge mit Führerraum

Einzelfahrzeuge mit Führerraum, die als führendes Fahrzeug mit Referenzgeschwindigkeit im Referenzfallszenario fahren, dürfen keine größte Spitze-Spitze-Druckänderung verursachen, die zur Überschreitung des in Tabelle 2 aufgeführten Wertes $\Delta p_{95\%,\max}$ führt. Bei der Vorbeifahrt des vorderen Fahrzeugendes ist hierbei ein Höhenbereich zwischen 1,50 m und 3,00 m über Schienenoberkante zu berücksichtigen. Bei Einzelfahrzeugen, die in beiden Richtungen als führendes Fahrzeug eingesetzt werden können, gilt die Anforderung für jede mögliche Fahrtrichtung.

4.1.2.4 Andere Personenwagen

Für Personenwagen, die nicht unter 4.1.2.2 oder 4.1.2.3 fallen, bestehen keine Anforderungen.

4.1.3 Voller Konformitätsnachweis

Ein voller Konformitätsnachweis für interoperable Fahrzeuge ist nach Tabelle 3 durchzuführen.

Tabelle 3 — Anwendbare Verfahren für den vollen Konformitätsnachweis von Fahrzeugen

Vorgesehene Höchstgeschwindigkeit	Verfahren
$v_{tr} \leq 160 \text{ km/h}$	kein Nachweis erforderlich
$160 \text{ km/h} < v_{tr}$	Nachweis durch: — Versuche im 1:1-Maßstab nach 6.1.2.1 oder — Versuche mit bewegten Modellen im verkleinerten Maßstab nach 6.1.2.2 oder — CFD-Simulationen nach 6.1.2.4.

4.1.4 Vereinfachter Konformitätsnachweis

Für Fahrzeuge, an denen im Vergleich zu Fahrzeugen, 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 Fahrzeug, für das ein voller Konformitätsnachweis bereits vorliegt.

Tabelle 4 — Anwendbare Verfahren und Anforderungen für den vereinfachten Konformitätsnachweis von Fahrzeugen

Designunterschiede	Verfahren und Anforderungen
Unterschiede in der Außengeometrie, beschränkt auf: — Stellen, die sich vom Bug aus gesehen entweder stromabwärts von dem Ort befinden, an dem der größte Querschnitt erreicht wird, oder stromabwärts von der Stelle, an der die kleinste Druckspitze relativ zum Bug auftritt; — 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 l; — 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 Druckänderungen neben dem Gleis haben, und Bezug auf einen vorliegenden vollen Konformitätsnachweis für das Vergleichsfahrzeug.
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 für das Vergleichsfahrzeug UND Bewertung des relativen Einflusses der Unterschiede durch — Versuche mit bewegten Modellen im Modellmaßstab nach 6.1.2.2 oder — CFD-Simulationen nach 6.1.2.4 UND Nachweis und Belegmaterial dafür, dass: (i) die Unterschiede $\overline{\Delta p}$ um weniger als $\pm 10\%$ verändern; $\frac{\overline{\Delta p}(B) - \overline{\Delta p}(A)}{\overline{\Delta p}(A)} < 0,1$ ANMERKUNG B bezieht sich auf die neue Zuggeometrie. A bezieht sich auf den nachgewiesenermaßen konformen Zug. und (ii) die Unterschiede 50 % der verfügbaren Toleranz bezüglich der Übereinstimmung mit 4.1.2 nicht überschreiten. $(\overline{\Delta p}(B) - \overline{\Delta p}(A)) < 0,5 \cdot (\Delta p_{95\%,\max} - \Delta p_{95\%}(A))$

Designunterschiede	Verfahren und Anforderungen
Erhöhung der vorgesehenen Geschwindigkeit - um weniger als 10 % für einen Zug mit ursprünglich vorgesehener Geschwindigkeit < 250 km/h, - für einen Zug mit ursprünglich vorgesehener Geschwindigkeit ≥ 250 km/h.	Dokumentation der Unterschiede und Bezug auf einen vorliegenden vollen Konformitätsnachweis für das Vergleichsfahrzeug UND Nachweis und Dokumentation auf der Grundlage einer Analyse von ΔC_p, dass das neue Design, das untersucht wird, die in 4.1.2 aufgeführten Anforderungen noch erfüllt.

4.2 Begrenzung von Strömungseffekten neben dem Gleis

4.2.1 Allgemeines

Ein vorbeifahrender Zug erzeugt ein sich änderndes Strömungsfeld neben dem Gleis, das auf Personen und Objekte neben dem Gleis und auf Bahnsteigen einwirkt. Zur Definition einer eindeutigen Schnittstelle zwischen den Teilsystemen „Fahrzeuge“ und „Infrastruktur“ müssen die zugverursachten Strömungseffekte bekannt sein und begrenzt werden.

Zur Beschreibung und Begrenzung der zugverursachten Strömungseffekte wird ein Referenzfall für die Fahrzeugbewertung festgelegt.

ANMERKUNG Zum Schutz von Gleisarbeitern und von Passagieren auf Bahnsteigen sind zusätzlich betriebliche und infrastrukturelle Maßnahmen erforderlich.

4.2.2 Anforderungen

4.2.2.1 Referenzfall

Bei den Standardbegrenzungslinien GA, GB, GC nach EN 15273 und in Abwesenheit von Dämmen, Geländeeinschnitten und anderen signifikanten Objekten in Gleisnähe wird das ungestörte Strömungsfeld, das durch einen vorbeifahrenden Zug an einer 3,00 m von der Gleisachse entfernten Stelle auf gerader Strecke mit Standardbettungsquerschnitt erzeugt wird, als Referenzfall bezeichnet.

Die auftretenden Luftströmungen werden durch die obere Grenze des 95%-Vertrauensintervalls für die größte horizontale Strömungsgeschwindigkeit beschrieben. Die größte horizontale Strömungsgeschwindigkeit $U_{95\%}$ bezieht sich auf die gesamte Vorbeifahrt des Zugs und seinen Nachlauf.

4.2.2.2 Nicht trennbare oder vordefinierte Zugverbände

Ein nicht trennbarer oder vordefinierter Zugverband voller Länge, der mit Referenzgeschwindigkeit im Referenzfallszenario fährt, darf während der Vorbeifahrt des gesamten Zugs einschließlich Nachlaufeffekten keine größere horizontale Strömungsgeschwindigkeit verursachen als den in Tabelle 5 aufgeführten Wert $U_{95\%,\max}$. Die horizontale Strömungsgeschwindigkeit wird 0,20 m über Schienenoberkante ermittelt. Bei nicht symmetrischen Zugverbänden gilt die Anforderung für jede mögliche Fahrtrichtung. Bei nicht trennbaren oder vordefinierten Zugverbänden, die aus mehr als einer Einheit bestehen, genügt es einen Zugverband zu bewerten, der aus mindestens zwei Einheiten besteht und mindestens 120 m lang ist.