

DIN EN 14067-5

ICS 45.060.01; 93.060

Ersatz für
DIN EN 14067-5:2011-01

**Bahnanwendungen –
Aerodynamik –
Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel;
Deutsche Fassung EN 14067-5:2021**

Railway applications –
Aerodynamics –
Part 5: Requirements and assessment procedures for aerodynamics in tunnels;
German version EN 14067-5:2021

Applications ferroviaires –
Aérodynamique –
Partie 5: Exigences et procédures d'essai pour l'aérodynamique en tunnel;
Version allemande EN 14067-5:2021

Gesamtumfang 103 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-5:2021) 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 14067-5:2011-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) neu strukturiert und erweitert, um die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems zu unterstützen;
- b) Anforderungen an die Konformitätsbewertung für Schienenfahrzeuge hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 14067-5: 2006-10, 2011-01

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen —
Aerodynamik —
Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren
für Aerodynamik im Tunnel**

Railway applications —
Aerodynamics —

Part 5: Requirements and assessment procedures for
aerodynamics in tunnels

Applications ferroviaires —
Aérodynamique —

Partie 5: Exigences et procédures d'essai pour
l'aérodynamique en tunnel

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. November 2021 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	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Anforderungen an Lokomotiven und Personenfahrzeuge	14
5.1 Begrenzung der Druckänderung im Tunnel	14
5.1.1 Allgemeines	14
5.1.2 Anforderungen	14
5.1.3 Vollständige Konformitätsbewertung	15
5.1.4 Vereinfachte Konformitätsbewertung	16
5.2 Begrenzung des Druckgradienten bei Einfahrt in den Tunnel (hinsichtlich Erzeugung von Mikrodruckwellen)	18
5.2.1 Allgemeines	18
5.2.2 Anforderungen	18
5.2.3 Vereinfachte Konformitätsbewertung	20
5.3 Festigkeit gegenüber aerodynamischen Lasten	21
5.3.1 Allgemeines	21
5.3.2 Anforderungen	22
5.3.3 Bestimmung außergewöhnlicher Belastungen	28
5.3.4 Bestimmung der Ermüdungslast	29
5.3.5 Bewertung im Fall von Änderungen	29
6 Anforderungen an die Infrastruktur	30
6.1 Begrenzung der Druckänderungen in Tunneln zur Erfüllung des Gesundheitskriteriums	30
6.1.1 Allgemeines	30
6.1.2 Anforderungen	30
6.1.3 Vollständige Konformitätsbewertung	32
6.1.4 Vereinfachte Konformitätsbewertung	33
6.2 Begrenzung des Druckgradienten bei Einfahrt in den Tunnel (in Bezug auf die Mikrodruckwellenerzeugung)	33
6.2.1 Allgemeines	33
6.2.2 Referenzfall	33
6.2.3 Anforderungen	34
6.2.4 Bewertung	34
6.3 Weitere Aspekte der Tunnelgestaltung	34
6.3.1 Allgemeines	34
6.3.2 Druckkomfort	34
6.3.3 Drucklasten auf Einbauten	36
6.3.4 Induzierte Luftströmungen	36
6.3.5 Fahrwiderstand	36
6.3.6 Kontaktkräfte zwischen Stromabnehmer und Oberleitung	37
6.3.7 Lüftung	37
6.3.8 Arbeitssicherheit	37
6.3.9 Lasten auf Fahrzeuge im Mischverkehr	37
6.4 Zusätzliche Aspekte für unterirdische Personenverkehrsanlagen	38

6.4.1	Druckänderungen	38
6.4.2	Induzierte Luftströmungen	38
6.4.3	Spezifischer Lastfall für Bahnsteig-Barriersysteme aufgrund durchfahrender Züge	38
7	Prüf- und Nachweisverfahren	39
7.1	Allgemeines	39
7.2	Verfahren zur Bestimmung von Druckänderungen in Tunneln	41
7.2.1	Allgemeines	41
7.2.2	Messungen im Maßstab 1 : 1 an festen Orten in einem Tunnel	42
7.2.3	Messgeräte	43
7.2.4	Messungen im Maßstab 1 : 1 an der Außenseite des Zugs	45
7.2.5	Näherungsgleichungen	46
7.2.6	Bewertung durch numerische Simulation	47
7.2.7	Messungen im reduzierten Maßstab an festen Orten in einem Tunnel	48
7.3	Bewertung der maximalen Druckänderung (Fahrzeugreferenzfall)	48
7.3.1	Allgemeines	48
7.3.2	Transfer der Messwerte durch einen Faktor (Ansatz 1)	49
7.3.3	Transfer der Messwerte auf der Grundlage von A.3.3 (Ansatz 2)	49
7.3.4	Transfer durch Simulation (Ansatz 3)	50
7.3.5	Bewertung des zeitlichen Druckverlaufs	51
7.3.6	Bewertungsgrößen und Vergleich	55
7.4	Bewertung der maximalen Druckänderungen (Infrastrukturreferenzfall)	56
7.4.1	Allgemeines	56
7.4.2	Bewertungsverfahren	56
7.5	Bewertung des Druckgradienten eines in einen Tunnel einfahrenden Zugs (Fahrzeugreferenzfall, hinsichtlich der Erzeugung von Mikrodruckwellen)	58
7.5.1	Allgemeines	58
7.5.2	Bewertung durch Simulationen	58
7.5.3	Bewertung durch Prüfung im Modellmaßstab mit beweglichen Modellen	59
7.6	Bewertung von Mikrodruckwellen (Infrastrukturreferenzfall)	59
7.6.1	Allgemeines	59
7.6.2	Bewertung durch numerische Simulationen	60
7.6.3	Bewertung durch Prüfung im Modellmaßstab mit beweglichen Modellen	62
7.7	Bewertung der aerodynamischen Lasten	64
7.7.1	Bewertung der Belastung durch Starkwind	64
7.7.2	Bewertung von Vorbeifahrten auf offener Strecke für Ermüdungsbewertungen	65
7.7.3	Bewertung transienter Lasten in Tunneln	66
7.7.4	Bewertung von Ermüdungslasten	69
7.7.5	Bestimmung der schadensäquivalenten Lastamplitude für ein Betriebsszenario	72
7.7.6	Dokumentation	72
7.7.7	Vereinfachte Lastfälle	73
7.8	Bewertung der Druckdichtigkeit	74
7.8.1	Allgemeines	74
7.8.2	Dynamische Druckdichtigkeit	75
7.8.3	Äquivalente Leckagefläche	76
7.8.4	Prüfverfahren	76
7.8.5	Dynamische Prüfungen	79
Anhang A (informativ)	Näherungsgleichungen	81
A.1	Allgemeines	81
A.2	SNCF-Ansatz	81
A.2.1	Einfahrt des Zugkopfes	81
A.2.2	Einfahrt des Zugkörpers	81
A.2.3	Einfahrt des Zughecks	82
A.3	Ansatz der TU Wien	82
A.3.1	Allgemeines	82

A.3.2	Symbole	82
A.3.3	Berechnung von Δp_N	83
A.3.4	Berechnung von Δp_{fr}	84
A.3.5	Berechnung von Δp_T	85
A.3.6	Berechnung des Widerstandsbeiwerts $C_{x,tu}$	86
A.4	GB-Ansatz unter Vernachlässigung der Änderung der Luftdichte und der Schallgeschwindigkeit	88
A.4.1	Allgemeines	88
A.4.2	Berechnung von Δp_N	89
A.4.3	Berechnung von Δp_{fr}	89
A.4.4	Berechnung von Δp_T	89
Anhang B (informativ)	Kriterien für den Druckkomfort	90
B.1	Allgemeines	90
B.2	Nicht druckdichte Züge (allgemein $\tau_{dyn} < 0,5$ s)	90
B.3	Druckdichte Züge (allgemein $\tau_{dyn} > 0,5$ s)	90
Anhang C (informativ)	Mikrodruckwelle	92
C.1	Allgemeines	92
C.2	Erzeugung von Kompressionswellen	92
C.3	Ausbreitung der Kompressionswelle	93
C.4	Mikrodruckwellenabstrahlung	93
Anhang D (informativ)	Lasten für nicht druckdichte Züge bei Zugbegegnungen	95
Anhang E (informativ)	Validierungsfälle für die Bewertung aerodynamischer Lasten	98
E.1	Allgemeines	98
E.2	Validierungsverfahren	98
Literaturhinweise		100

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 14067-5:2021) 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 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2022 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 14067-5:2006+A1:2010.

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

- *Teil 1: Formelzeichen und Einheiten*
- *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*

Die Ergebnisse des von der EU finanzierten Projekts „AeroTRAIN“ (Finanzhilfvereinbarung Nr. 233985) wurden verwendet.

Der Inhalt der Vorgängerversion EN 14067-5 wurde in dieses Dokument eingebunden, neu strukturiert und erweitert, um die technischen Spezifikationen für die Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems zu unterstützen. Anforderungen an die Konformitätsbewertung von Schienenfahrzeugen wurden hinzugefügt.

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

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten 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.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt aerodynamische Anforderungen, Prüfverfahren, Bewertungsmethoden und Abnahmekriterien für den Betrieb von Schienenfahrzeugen in Tunneln fest. Aerodynamische Druckänderungen, Lasten, Mikrodruckwellenerzeugung und weitere aerodynamische Aspekte, die im Tunnelbetrieb zu erwarten sind, werden in diesem Dokument behandelt. Anforderungen an die aerodynamische Konstruktion von Schienenfahrzeugen und Tunneln des Vollbahnsystems werden beschrieben. Die Anforderungen gelten nur für Vollbahnsysteme.

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 14067-4:2013+A1:2018, *Bahnanwendungen — Aerodynamik — Teil 4: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik auf offener Strecke*

EN 15273 (Reihe), *Bahnanwendungen — Begrenzungslinien*

EN 17149-1: —,¹ *Bahnanwendungen — Festigkeitsnachweis von Schienenfahrzeugstrukturen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen für Festigkeitsnachweise (Statik und Ermüdung)*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1 Druckwelle

sprunghafter Druckanstieg, der sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet

3.2 Unterdruckwelle

sprunghafter Druckabfall, der sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet

3.3 computational fluid dynamics CFD

numerische Verfahren zur Näherung und Lösung der Formeln der Strömungsdynamik

1 In Vorbereitung. Dokumentstufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: prEN 17149:2021.

3.4

außergewöhnliche Last

seltene Last, die die Extrembelastung oder Kombination von Lasten für die relevanten Betriebsbedingungen darstellt, einschließlich statischer und transienter Last

Anmerkung 1 zum Begriff: Außergewöhnliche Last wird auch mit den Begriffen „statische Last“, „statische Bemessungslast“ oder „Prüflast“ beschrieben.

[QUELLE: EN 17149-1: —¹, 3.1.9; modifiziert – „einschließlich statischer und transienter Last“ hinzugefügt]

3.5

Ermüdungslast

häufige Last oder Kombination von Lasten, die die normalen relevanten Betriebsbedingungen darstellt

[QUELLE: EN 17149-1: —¹, 3.1.11]

3.6

statische Last

konstante oder nahezu konstante Last im Verlauf der Zeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Lasten umfassen den dynamischen Druck durch die Luftströmungsbeschleunigung um die Vorderfront des Zugs und Druckänderungen durch starke Seitenwinde.

3.7

transiente Belastung

Belastung, die sich im Verlauf der Zeit ändert

Anmerkung 1 zum Begriff: Transiente Belastungen können in drei Arten unterteilt werden:

- a) Belastungen durch Züge bei Begegnungen mit anderen Zügen auf offener Strecke oder aufgrund des Druckfelds um den Zug;
- b) Belastungen durch Züge in Tunneln bei Solofahrt oder bei Begegnung mit anderen Zügen in Tunneln;
- c) Belastungen aufgrund von Strömungsturbulenzen um Züge herum.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Belastungen a) und b) sind für alle Zugstrukturen relevant, während die Belastungen c) nur für einige Komponenten von Hochgeschwindigkeitszügen gelten und nicht in diesem Dokument berücksichtigt werden.

3.8

Tunnel

Erdaushub oder Konstruktion um die Gleisstrecke, die dazu dient, die Gleisstrecke beispielsweise durch Bodenerhebungen, Gebäude oder Wasser zu führen

3.9

Tunnellänge

Länge eines Tunnels ist festgelegt als vollständig umschlossener Abschnitt, gemessen in Gleishöhe

3.10

Tunnelquerschnittsfläche

freie Querschnittsfläche eines Tunnels ohne Schotterbett, Schienen, Schwellen, längslaufende Leitungen, Plattformen

3.11

Fahrzeugquerschnittsfläche

projizierte Querschnittsfläche in Längsrichtung des Fahrzeugs

3.12

kritische Begegnung

Begegnung zweier Züge in einem Tunnel, bei der maximale Druckänderungen entstehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Begriffe „Begegnung“ und „Vorbeifahrt“ werden in diesem Dokument mit der gleichen Bedeutung verwendet.

3.13

Überdruck

Betrag, um den der in einem Fluid wie Luft gemessene Druck den Umgebungsluftdruck übersteigt

3.14

fester Zugverband

Gruppe von Schienenfahrzeugen, die nur in einer Werkstattumgebung ge-/entkoppelt oder zusammengestellt/getrennt werden können (z. B. Gelenkfahrzeuge)

[QUELLE: EN 17343:2020, 3.1.6.4]

3.15

Lastkollektiv

Druckspektrum

Tabelle der Lasten und deren Häufigkeit des Auftretens

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole in Tabelle 1

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung	Einheit
A_S, A_T	Integrationsbereich	siehe Bild 12	sPa
B	Versperrungsmaß Zug/Tunnel	$B = \frac{S_{tr}}{S_{tu}}$	
b	Breite des Fahrzeugs	siehe Bild 2	m
C	Lastkollektiv	siehe 7.7.4.1	
$C_{f,tr}$	Reibungszahl oder -koeffizient des Zugs	siehe Gleichung (15)	
$C_{f,tu}$	Reibungszahl oder -koeffizient des Tunnels		
$C_{lifecycle}$	Gesamlastkollektive auf offener Strecke und in Tunneln	siehe Gleichung (34)	
$C_{lifecycle,front}$	Gesamlastkollektive auf offener Strecke und in Tunneln an der Vorderseite des Zugs	siehe 7.7.4.2	
$C_{lifecycle,tail}$	Gesamlastkollektive auf offener Strecke und in Tunneln am Heck des Zugs	siehe 7.7.4.2	
C_n	Faktor in Abhängigkeit von der Form des Zugkopfes und der Form des Tunnelportals	siehe Gleichung (C.2)	
$C_{oa,cros}$	Lastkollektiv für Züge, die sich auf offener Strecke begegnen	siehe Gleichung (30)	
$C_{oa,cros,i}$	Lastkollektiv für Züge, die sich im Segment i treffen		

Symbol	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung	Einheit
$C_{tu,cross}$	Lastkollektiv für Fahrten mit Zugbegegnungen in Tunneln	siehe Gleichung (33)	
$C_{tu,cross,j}$	Lastkollektiv für Fahrten mit Zugbegegnungen im Tunnel j		
$C_{tu,solo}$	Lastkollektiv für Einzeldurchfahrten durch einen Tunnel	siehe Gleichung (31)	
$C_{tu,solo,j}$	Lastkollektiv für Einzeldurchfahrten durch einen Tunnel j		
CFL	Courant-Friedrich-Levy-Zahl	siehe 7.6.2	
c	Schallgeschwindigkeit		m/s
D_h	hydraulischer Durchmesser	siehe Gleichung (16)	m
d_x	Messabstand	siehe Gleichungen (21), (22), (23)	m
F_{max}	maximale gemessene Kraft	siehe Bild D.4	N
g	Schwerkraft		m/s ²
h	Höhe	siehe Bild 2	m
h_1	Frequenz entsprechend einer Amplitudenklasse in einer Rainflow-Matrix	siehe 7.7.5	
h_0	Abstand zwischen der Gleisoberkante und der Unterseite des Wagenkastens	siehe Bild 2	m
h_c	Höhe der Tunnelmitte über Schienenebene	siehe Bild 1	m
$H, H1, H2$	Relative Luftfeuchte	siehe 7.3.2	%
k	S-N-Kurven-Exponent	siehe 7.7.5	
k_r	Steifigkeitsfaktor der Fahrzeugstruktur	siehe 7.8.2	
k_1	Faktor	siehe Gleichung (12)	
k_2	Faktor	siehe Gleichung (12)	
k_s	Zugrauhigkeitsparameter	siehe 7.3.3	m
L_n	Kopflänge des Zugs	siehe Bild 2	m
$L_{n,model}$	Kopflänge des Zugmodells	siehe 7.2.7	m
$L_{section,i}$	Länge des Streckenabschnitts i	siehe 7.7.4.3	km
L_{tr}	Zuglänge	Gesamtlänge	m
L_{tu}	Länge des Tunnels		m
$L_{tu,crit}$	kritische Tunnellänge	siehe 7.7.3.6	m
$L_{tu,min}$	Mindestlänge eines Tunnels, gemessen bei Prüfungen im Maßstab 1 : 1, ab Einfahrportal	siehe Gleichung (4)	m
$L_{virtun,j}$	virtuelle Tunnellänge j	siehe Gleichung (37)	m
$L_{year,e}$	Fahrstrecke je Jahr auf dem Streckenabschnitt i	siehe 7.7.4.2	km/Jahr

Symbol	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung	Einheit
Ma	Mach-Zahl		
N_{oa}	Anzahl offener Streckenabschnitte	siehe 7.7.4.2	1/a
N_c	Anzahl der Zyklen des Referenzwerts der Ermüdungslast	siehe 7.7.5	
$N_{trainsperhour}$	Anzahl der Züge, die einen stationären Punkt in eine Richtung je Stunde passieren	siehe 7.7.5	1/h
N_{tu}	Gesamtzahl der Tunnel auf einer Strecke	siehe 7.7.4.2	
$N_{\Delta te,j}$	berechnete Einfahrtzeitabstände für j_{th} Tunnel	siehe Gleichung (33)	
$n_{oa,cros,i}$	Häufigkeit der Zugbegegnungen auf offener Strecke im Streckenabschnitt i	siehe Gleichung (36)	
$n_{tu,cros,j}$	Häufigkeit der Zugbegegnungen in einem zweigleisigen Tunnel j_{th}	Gleichung (38)	
$n_{tu,solo,j}$	Häufigkeit der einzelnen Zugdurchfahrten ohne Zugbegegnung in einem zweigleisigen Tunnel j_{th}	Gleichung (31)	
Pe_{tr}	Zugumfang		m
Pe_{tu}	Tunnelumfang		m
p	Druck	siehe Gleichung (40)	Pa
p_{eq}	schadensäquivalente Amplitude	siehe 7.7.5	Pa
p_l	klassifizierte Druckamplitude	siehe 7.7.5	Pa
p_L	Druckbelastung	siehe Gleichung (24)	Pa
p_{atm}	atmosphärischer Druck		Pa
p_d	Druckdifferenz zwischen Außen- und Innendruck	siehe 7.1	Pa
$p_e, p_e(t)$	Außendruck an der Außenseite eines Fahrzeugs oder der durch einen Zug im Tunnel erzeugt wird	siehe 7.1	Pa
$p_{fullscale}$	Drücke im Maßstab 1 : 1, die mit $p_{modelscale}$ bestimmt werden	siehe Gleichung (19)	Pa
$p_i, p_i(t)$	Innendruck in einem Fahrzeug oder in einem geschlossenen Luftvolumen in einem Tunnel	siehe 7.1	Pa
$p_{modelscale}$	im Modellmaßstab gemessene Drücke	siehe Gleichung (19)	Pa
p_0	statischer Referenzdruck		Pa
p_{offset}	Druckoffset	siehe Bild 10	Pa
$p(t)_{sim}$	Drucksignal der Simulationssoftware im Tunnel	siehe 7.3.4	Pa
$p(t)_{test}$	Drucksignal der Gleisprüfung im Tunnel	siehe 7.3.4	Pa
r	Radius	Abstand zwischen der Mitte des Ausfahrportals und dem relevanten Punkt, siehe Bild C.3	m

Symbol	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung	Einheit
r_b	Eckenradius des Referenzfahrzeugs für Mikrodruckwellen	siehe Bild 2	m
R	Tunnelradius	siehe Bild 1	m
R_{model}	Verhältnis des Zuges im Maßstab 1 : 1 zu seinem Modell	siehe 7.6.3.2	
S_{eq}	äquivalente Leckagefläche		m ²
S_{tr}	Zugquerschnittsfläche	siehe 3.11	m ²
S_{tu}	Tunnelquerschnittsfläche	siehe 3.10	m ²
t, t_A, t_B, t_S, t_T	Zeit	siehe Bild 9 und Bild 11	s
t_e	Einfahrversatzzeit	siehe 7.7.3.4	s
t_{life}	Zugnutzungsdauer	siehe 7.7.4.2	Jahr
$t_{50\%}$	Zeit bis zu einem Druckanstieg von 50 % des Werts zum Zeitpunkt t_T	siehe Bild 12	s
T	Absoluttemperatur		K
T_f	Tunnelfaktor	siehe Gleichung (A.26)	
U	lokale vorherrschende Geschwindigkeit (Zuggeschwindigkeit oder Druckwellengeschwindigkeit)	siehe 7.6.2	m/s
U_0	Strömungsgeschwindigkeit im Tunnel relativ zum Zug vor der Zügeinfahrt	siehe A.4	m/s
u_0	gemessene Luftströmung in einem Tunnel zum Zeitpunkt der Zügeinfahrt	siehe 7.3.2	m/s
v_{tr}	Zuggeschwindigkeit		m/s
$v_{\text{tr},1}$	Zuggeschwindigkeit	siehe 7.7.4.3	m/s
$v_{\text{tr},2}$	Geschwindigkeit des entgegenkommenden Zugs	siehe 7.7.4.3	m/s
$v_{\text{line,max}}$	Bemessungsgeschwindigkeit eines Streckensegments	Maximal zulässige Geschwindigkeit in einem bestimmten Streckensegment. Das Segment kann ein Tunnel, eine Strecke oder ein Streckensegment sein.	km/h
$v_{\text{tr,max}}$	maximale Zuggeschwindigkeit oder Bemessungs-Zuggeschwindigkeit	Die maximale Zuggeschwindigkeit bezieht sich auf den Regelbetrieb. Im Fall einer Beschränkung durch die Infrastruktur kann die maximale Zuggeschwindigkeit geringer als die Bemessungs-Zuggeschwindigkeit sein.	km/h

Symbol	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung	Einheit
$v_{tr,ref}$	Zugreferenzgeschwindigkeit		km/h
$v_{tr,test}$	Zugprüfgeschwindigkeit	siehe 7.3.2	m/s
V_{int}	inneres Fahrzeugvolumen	siehe 7.8.3	m ³
X_d, X_h, X_{fr}, X_t	Dummy-Variablen	siehe A.3	
X_p	Abstand zwischen dem Einfahrportal und der Messposition im Tunnel		m
x_1, x_2, x_3	Längspositionen am Zug	festgelegt in 7.7.3.4	m
Y_{tr}	Abstand der Gleisachsen	zwischen den Mitten	m
Δh	maximale Höhendifferenz in einem Tunnel	siehe 7.2.5	m
ΔL_1	zusätzliche Länge	siehe 7.2.2.1	m
$\Delta p, \Delta p(t)$	Differenzdruck zum Zeitpunkt t		Pa
Δp_{alt}	natürliche Druckabweichung aufgrund der Höhe	siehe Gleichung (9)	Pa
$\Delta p_{d,max}$	maximale Druckdifferenz zwischen Innen- und Außendruck	siehe Bild D.4	Pa
Δp_{exit}	Amplitude der Anfangsdruckwelle am Ausfahrportal im Tunnel	siehe Gleichung (C.4)	Pa
Δp_{fr}	Druckänderung durch die bei der Einfahrt des Hauptteils des Zugs in den Tunnel verursachten Reibungseffekte	siehe Bild 7	Pa
$\Delta p_{fr,o}$	Druckänderung durch die bei der Einfahrt des Hauptteils des Zugs in den Tunnel verursachten Reibungseffekte, gemessen an der Außenseite des Zuges	siehe 7.2.4	Pa
Δp_{HP}	Druckverlauf verursacht durch die Vorbeifahrt des Zugkopfs an der Messposition im Tunnel	siehe Bild 7	Pa
$\Delta p_{i,limit}$	Druckgrenzwerte, $i = N, N+fr, N+fr+T$	siehe Tabelle 4	Pa
Δp_{max}	maximale Spitze-Spitze-Druckänderung an der Außenseite des Zugs		Pa
Δp_N	Druckänderung verursacht durch die Einfahrt des Zugkopfes in einen Tunnel	siehe Bild 6	Pa
$\Delta p_{N,o}$	Druckänderung verursacht durch die Einfahrt des Zugkopfes in einen Tunnel, gemessen an der Außenseite des Zugs	siehe 7.2.4	Pa
Δp_T	Druckänderung verursacht durch die Einfahrt des Zughecks in einen Tunnel	siehe Bild 6	Pa
$\Delta p_{T,o}$	Druckänderung verursacht durch die Einfahrt des Zughecks in einen Tunnel, gemessen an der Außenseite des Zugs	siehe 7.2.4	Pa
Δp_1	Druck nach Einfahrt des Zughecks	siehe A.3.2	Pa
$\Delta p_{95\%,max}$	maximal zulässige Druckänderung	siehe Gleichungen (21), (22), und (23)	Pa

Symbol	Bedeutung	Erläuterung oder Bemerkung	Einheit
$\overline{\Delta p_N}$	mittlere Druckänderung durch die Einfahrt des Kopfes	siehe Tabelle 4	Pa
$\overline{\Delta p_{fr}}$	mittlerer Reibungsdruckanstieg	siehe Tabelle 4	Pa
$\overline{\Delta p_T}$	mittlere Druckänderung durch die Einfahrt des Hecks	siehe Tabelle 4	Pa
Δt	das charakteristische Zeitintervall für den Druckanstieg	siehe Gleichung (C.2)	s
Δt_e	Zeitschritt	siehe Gleichung (26)	s
Δx_1	zusätzlicher Abstand, um eine gute zeitliche Trennung der einzelnen Druckänderungen sicherzustellen	siehe 7.2.2.2	m
$\varepsilon_{\Delta p}$	Abweichung zwischen Prüfung und Simulation	siehe 7.3.4	
ζ_E	Verlustbeiwert für das Tunnelportal	siehe A.3	
ζ_h	Verlustbeiwert des Zugkopfes im Tunnel	siehe A.3	
ζ_{h0}	Verlustbeiwert des Zugkopfes auf offener Strecke	siehe A.3	
ζ_{h1}	Zusatzverlustbeiwert für den Zugkopf im Tunnel	siehe A.3	
ζ_t	Verlustbeiwert des Zughecks im Tunnel	siehe A.3	
ξ_{t0}	Verlustbeiwert des Zughecks auf offener Strecke	siehe A.3	
ζ_{t1}	Zusatzverlustbeiwert des Zughecks im Tunnel	siehe A.3	
ζ_1	Verlustbeiwert für den Zug	siehe A.3	
ζ_N	Druckverlustbeiwert des Zugkopfs	siehe A.4	
ζ_p	Druckverlustbeiwert des Tunnelportals	siehe A.4	
ζ_T	Druckverlustbeiwert des Zughecks	siehe A.4	
θ_1, θ_2	Temperatur	siehe 7.3.2	°C
ρ_{amb}	atmosphärische Umgebungsluftdichte	siehe Gleichung (12)	kg/m ³
ρ_0	Referenzluftdichte	1,225 kg/m ³	kg/m ³
ρ, ρ_1, ρ_2	Luftdichte ρ_1 im Prüfzenario ρ_2 im Referenzzenario	siehe 7.3.2 siehe 7.3.2	kg/m ³
τ_{dyn}	Druckdichtigkeitsbeiwert für fahrende Schienenfahrzeuge	siehe 7.7.3.2	s
τ_{stat}	Druckdichtigkeitsbeiwert für stehende Schienenfahrzeuge	siehe 7.8.1	s
Ω	Raumwinkel, der die Abstrahlbedingungen im Bereich des Ausfahrportals charakterisiert	siehe C.4	
$\overline{}$ (overbar)	Mittelwert		

5 Anforderungen an Lokomotiven und Personenzüge

5.1 Begrenzung der Druckänderung im Tunnel

5.1.1 Allgemeines

Wenn ein Zug in einen Tunnel einfährt und ihn wieder verlässt, werden Druckänderungen erzeugt, die sich entlang des Tunnels mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten und an den Portalen zurück in den Tunnel reflektiert werden. Diese Druckänderungen können bei Fahrgästen und dem Zugpersonal unangenehm auf das Gehör wirken oder es im schlimmsten Fall beschädigen und zur Einwirkung transients Lasten auf die Struktur der Züge und die Infrastrukturkomponenten führen.

Um eine klare Schnittstelle zwischen den Teilsystemen von Schienenfahrzeugen und der Infrastruktur bei Vollbahnen festzulegen, müssen die durch den Zug induzierten aerodynamischen Druckänderungen im Tunnel bekannt sein und begrenzt werden. Zwei Referenzfälle für die Bewertung von Schienenfahrzeugen werden festgelegt, um die von Zügen induzierten aerodynamischen Druckänderungen im Tunnel festzulegen und zu begrenzen.

5.1.2 Anforderungen

5.1.2.1 Referenzfall

Für Spurweiten von 1 435 mm bis einschließlich 1 668 mm werden die durch einen Zug, der in einen einfachen, nicht geneigten röhrenförmigen Tunnel (d.h. ohne Schächte usw.) einfährt, erzeugten Druckänderungen durch die Druckverläufe für zwei gegebene Kombinationen von Zuggeschwindigkeit und Tunnelquerschnitt festgelegt. Diese Fälle werden als Referenzfälle bezeichnet.

Der Druckverlauf besteht aus drei charakteristischen Druckänderungen: Δp_N , verursacht durch das Einfahren des Zugkopfes in den Tunnel, Δp_{fr} durch die Reibungseffekte aufgrund des Einfahrens des Hauptteils des Zugs in den Tunnel und Δp_T , verursacht durch das Einfahren des Zughecks in den Tunnel (siehe Bild 6).

Die Bewertung muss für die meteorologischen Normbedingungen erfolgen: atmosphärischer Druck $p_{atm} = 101\,325\text{ Pa}$, Luftdichte $\rho_{amb} = 1,225\text{ kg/m}^3$, Temperatur $\theta = 15\text{ °C}$ ohne Grundströmung im Tunnel.

Tabelle 2 — Maximale Veränderungen der charakteristischen Druckänderungen Δp_N , Δp_{fr} und Δp_T für den Referenzfall

Maximale Bemessungs- geschwindigkeit km/h	Referenzfall		Kriterien für den Referenzfall, Pa		
	Referenz- geschwindigkeit, $v_{tr,ref}$ km/h	S_{tu} m^2	Δp_N	$\Delta p_N + \Delta p_{fr}$	$\Delta p_N + \Delta p_{fr} + \Delta p_T$
$v_{tr,max} < 200$	Keine Anforderung				
$200 \leq v_{tr,max} \leq 230$	200	53,6	$\leq 1\,750$	$\leq 3\,000$	$\leq 3\,700$
$230 < v_{tr,max}$	250 oder $v_{tr,max}^a$	63,0	$\leq 1\,600$	$\leq 3\,000$	$\leq 4\,100$
^a Anzuwenden ist der niedrigere der Werte von $v_{tr,max}$ und 250 km/h.					

5.1.2.2 Feste oder vorgegebene Zugzusammensetzungen

Eine feste oder vorgegebene Zugzusammensetzung, die mit Referenzgeschwindigkeit das Tunnelszenario des Referenzfalls ohne Zugbegegnung befährt, darf an einem festen Punkt im Tunnel die in Tabelle 2 ausgewiesenen charakteristischen Druckänderungen nicht überschreiten.

ANMERKUNG 1 Feste und vorgegebene Zugzusammensetzungen werden in TSI LOC&PAS 2014, 2.2.1 beschrieben.

Für Zugzusammensetzungen, die im Hinblick auf ihre Fahrtrichtung nicht symmetrisch sind, gilt die Anforderung für beide Fahrtrichtungen. Zur Beurteilung der Symmetrie siehe Tabelle 4, Spalte 1, Zeile 1, ohne Berücksichtigung der Unterschiede, die vorteilhaft sind.

Für feste oder vorgegebene Zugzusammensetzungen, die aus mehr als einer Zugeinheit bestehen, muss die vollständige Bewertung für die maximale Länge des Zugs aus den gekuppelten Einheiten erfolgen, siehe 7.3.

ANMERKUNG 2 Prüfungen im Maßstab 1:1 liefern Eingangsdaten für die Bewertung und können an kürzeren Zugkonfigurationen vorgenommen werden, siehe 7.2.2.3.

5.1.2.3 Einzelne mit einem Führerraum ausgestattete Schienenfahrzeugeinheiten

Eine einzelne mit einem Führerraum ausgestattete Fahrzeugeinheit, die als führendes Fahrzeug mit Referenzgeschwindigkeit das Tunnelszenario des Referenzfalls ohne Zugbegegnung befährt, darf an einem festen Punkt im Tunnel die charakteristischen Druckänderungen Δp_N und Δp_T , wie in Tabelle 2 ausgewiesen, nicht überschreiten. Die Druckänderung Δp_{fr} muss auf 1 250 Pa für Züge mit $200 \text{ km/h} \leq v_{tr,max} \leq 230 \text{ km/h}$ oder auf 1 400 Pa für Züge mit $v_{tr,max} > 230 \text{ km/h}$ festgelegt werden.

Für einzelne Schienenfahrzeugeinheiten, die für den Betrieb in beide Richtungen als führendes Fahrzeug ausgelegt sind, gilt die Anforderung in beide Richtungen.

5.1.2.4 Andere Personenschienenfahrzeuge

Andere Personenschienenfahrzeuge, die mit der Referenzgeschwindigkeit in dem Referenzfall-Tunnelszenario fahren, dürfen keine Veränderung des charakteristischen Drucks Δp_{fr} über die in Tabelle 2 angegebenen Werte hinaus verursachen. Die Druckänderung Δp_N muss auf 1 750 Pa und Δp_T auf 700 Pa für Züge mit $200 \text{ km/h} \leq v_{tr,max} \leq 230 \text{ km/h}$ oder auf 1 600 Pa und 1 100 Pa für Züge mit $v_{tr,max} > 230 \text{ km/h}$ festgelegt werden.

Für Personenschienenfahrzeuge, die nicht von 5.1.2.2 oder 5.1.2.3 umfasst sind, muss die Konformität für eine mögliche reale Zugkonfiguration, mit realistischen Endfahrzeugen mit einem Führerraum beurteilt werden, die einer Zuglänge von 400 m möglichst nahekommt. Wenn das Fahrzeug für Zugzusammensetzungen mit einer Länge über 400 m geeignet sein könnte, muss die maximale Zuglänge (Länge der Führerräume plus Wagen) bestimmt werden, die das Kriterium in Tabelle 2 gerade erfüllt. Diese maximale Zuglänge muss im Fahrzeugregister dokumentiert werden. Zur Skalierung der Zuglänge, siehe 7.3.6.

5.1.3 Vollständige Konformitätsbewertung

Eine vollständige Konformitätsbewertung von Schienenfahrzeugen² muss nach Tabelle 3 durchgeführt werden.

² Diese Bewertung wird die Anforderungen der Richtlinie über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems erfüllen.

Tabelle 3 — Anwendbare Verfahren für die vollständige Konformitätsbewertung von Schienenfahrzeugen

Maximale Bemessungsgeschwindigkeit km/h	Verfahren
$v_{tr,max} < 200$	Keine Bewertung erforderlich
$v_{tr,max} \geq 200$	Dokumentation der Konformität nach 5.1.4, sofern zutreffend; oder Prüfungen im Maßstab 1 : 1 nach 7.2.2 und Bewertung nach 7.3

5.1.4 Vereinfachte Konformitätsbewertung

Eine vereinfachte Konformitätsbewertung darf für Schienenfahrzeuge durchgeführt werden, die geringfügigen Gestaltungsunterschieden im Vergleich zu Schienenfahrzeugen, für die bereits eine vollständige Konformitätsbewertung vorliegt, unterliegen.

In Bezug auf Druckänderungen in Tunneln sind die einzigen relevanten Gestaltungsunterschiede Änderungen an der äußeren Geometrie und Änderungen der Bemessungsgeschwindigkeit und der Zuglänge.

Die vereinfachte Konformitätsbewertung muss eine der folgenden Formen in Übereinstimmung mit Tabelle 4 annehmen:

- einen Nachweis, dass die Gestaltungsunterschiede keine Auswirkung auf die Druckänderungen im Tunnel haben oder
- eine vergleichende Bewertung der relevanten Designunterschiede des Schienenfahrzeuges mit einer vorliegenden vollständigen Schienenfahrzeug -Konformitätsbewertung.

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

Gestaltungsunterschiede	Verfahren und Anforderungen
Unterschiede in der äußeren Geometrie beschränkt auf: — Nachbestellung von untersuchten Reisezugwagen der gleichen Bauart und/oder mit dem gleichen Querschnitt; — geringfügige Unterschiede der äußeren Geometrie: — Scheibenwischer, Griffe und Antennen; — lange isolierte vorstehende Objekte oder Hohlräume, die nicht quer/vertikal zur Fahrtrichtung sind oder sich in der Nähe der vorderen Rundung befinden, oder Kanten, deren Querabmessung weniger als 5 cm beträgt; — kleine isolierte vorstehende Objekte und Hohlräume mit Abmessungen von weniger als 5 cm in jeder Richtung; — Stromabnehmer, Stromkabel und Leitungen; — andere Änderungen der Dach- oder Unterbodenausstattung von weniger als 20 cm in jede physische Richtung;	Dokumentation der Unterschiede, Erklärung, dass keine Auswirkungen entstehen, und Verweisung auf bestehende konforme vollständige Konformitätsbewertungen

Gestaltungsunterschiede	Verfahren und Anforderungen
— Hinzufügung von Geräteverkleidungen mehr als 10 m hinter der Spitze des Zugkopfes; — Beschläge, Dichtungen, Klebeverbindungen, Griffstangen, Rückspiegelanbauten, Oberflächenrauigkeit, Türen, Fenster, Änderungen der Verglasung, Signalleuchten, Leitungen, Kabel und Stecker; — andere Teile mit Änderungen der seitlichen Abmessungen von weniger als 5 cm. — Unterschiede, die vorteilhaft sind: — Erhöhung der Kopflänge; — Reduzierung des Querschnitts; — Reduzierung der Zuglänge.	
Andere Unterschiede der äußeren Geometrie (z. B. Puffer, Frontkupplungen, Schneepflüge, Vorder- oder Seitenfenster), bei denen die grundlegenden Eigenschaften der Kopfform und insbesondere die Querschnittsfläche und Kopflänge erhalten bleiben.	Dokumentation der Unterschiede und Verweisung auf bestehende konforme vollständige Konformitätsbewertungen UND Bewertung der relativen Auswirkung von Unterschieden durch — Prüfungen beweglicher Modelle im reduzierten Maßstab nach 7.2.7, oder — dreidimensionale CFD-Simulationen nach EN 14067-4:2013+A1:2018, 6.1.2.4 UND Nachweis und Dokumentation, dass i) der Unterschied Veränderungen in $\overline{\Delta p}_N$, $\overline{\Delta p}_N + \overline{\Delta p}_{fr}$ und $\overline{\Delta p}_N + \overline{\Delta p}_{fr} + \overline{\Delta p}_T$ von jeweils weniger als 5 % verursacht. $\left \frac{\overline{\Delta p}_{i,B} - \overline{\Delta p}_{i,A}}{\overline{\Delta p}_{i,A}} \right < 0,05 \text{ für } i = N, N + fr, N + fr + T$ ANMERKUNG Index <i>B</i> bezieht sich auf die neue Zuggeometrie und Index <i>A</i> bezieht sich auf den bestehenden konformen Zug. und ii) der Unterschied beträgt nicht mehr als 50 % der in Übereinstimmung mit 5.1.2 verfügbaren Spanne, d. h.: $\overline{\Delta p}_{i,B} - \overline{\Delta p}_{i,A} < 0,5 \cdot (\Delta p_{i,limit} - \overline{\Delta p}_{i,A})$ Wobei die Werte von $\Delta p_{i,limit}$ $i = N, N + fr, N + fr + T$ in Tabelle 2 angegeben sind.
Erhöhung der: — Bemessungsgeschwindigkeit; — Zuglänge.	— Dokumentation der Unterschiede UND — Übertragung in den Referenzfall durch die in 7.3.2, 7.3.3 oder 7.3.4 beschriebene Reskalierung UND — Nachweis und Dokumentation, dass der Zug weiterhin die in 5.1.2 aufgelisteten Anforderungen erfüllt.

5.2 Begrenzung des Druckgradienten bei Einfahrt in den Tunnel (hinsichtlich Erzeugung von Mikrodruckwellen)

5.2.1 Allgemeines

Wenn ein Hochgeschwindigkeitszug in einen Tunnel einfährt, wird im Tunnel aufgrund des Kolbeneffekts eine Druckwelle erzeugt. Diese Druckwelle breitet sich mit Schallgeschwindigkeit dem Zug voraus durch den Tunnel in Richtung des Ausfahrportals aus. Am gegenüberliegenden Portal wird die Welle teilweise zurück in den Tunnel reflektiert und teilweise in die Umgebung abgestrahlt. Der nach außen abgestrahlte Teil wird als Mikrodruckwelle bezeichnet. Wenn der Druckgradient der Druckwelle im Tunnel ausreichend groß ist, kann die Mikrodruckwelle zu starken hörbaren Auswirkungen auf Personen und die Umgebung führen. Weitere Informationen hierzu sind in Anhang C enthalten.

Aus diesem Grund wird ein Referenzszenario festgelegt, bestehend aus einem Referenzfahrzeug und einem Referenztunnel, um die Eigenschaften des zu beurteilenden Zuges mit denen des Referenzfahrzeugs zu vergleichen.

5.2.2 Anforderungen

5.2.2.1 Allgemein

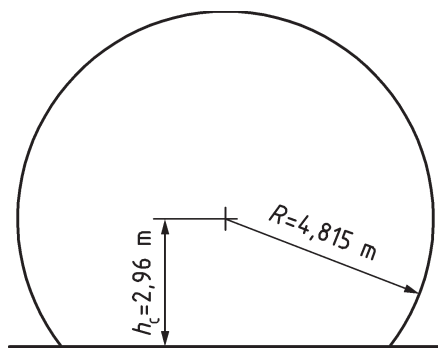
Bei Vollbahnen mit Spurweiten von 1 435 mm bis einschließlich 1 668 mm muss der Einfahrdruckgradient beurteilt und mit dem im Referenzfall erzeugten Druckgradienten verglichen werden.

ANMERKUNG Die Anforderung gilt für den Betrieb im europäischen Schienennetz. Für Züge, die in begrenzten Netzen verkehren (z. B. ohne Tunnel) kann ihre Anwendung neu beurteilt werden.

5.2.2.2 Referenzfall

Der Referenzfall für den Tunnel und den Zug wird wie folgt festgelegt.

Der Referenztunnel hat eine freie Querschnittsfläche von 63 m^2 . Er hat eine runde Form mit einem gefüllten unteren Segment, wie in Bild 1 dargestellt. Das Portal befindet sich in einer vertikalen Wand, welche eine Ausdehnung von mindestens 75 m Radius um die Tunnelachse aufweist. Der Zug muss mittig in den Tunnel einfahren. Die Tunnellänge muss mindestens 300 m betragen.



a)



b)

Legende

h_c Höhe der Tunnelmitte über Boden

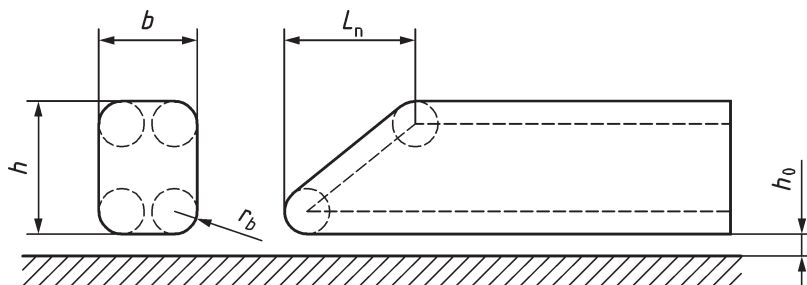
R Radius

ANMERKUNG Die Bodenhöhe im Referenzfall modelliert die Schienenoberkante bei der Beurteilung eines Zuges.

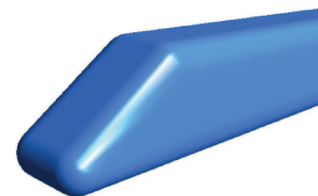
Bild 1 — Referenz tunnel

Der Referenzzug basiert auf einfachen geometrischen Parametern wie in Bild 2 dargestellt. Alle Ecken sind durch Fasen mit dem Radius r_b abgerundet. Der Querschnitt des Zugkörpers hinter dem Zugkopf von $S_{tr} = 11 \text{ m}^2$ bleibt bis zum Zugheck konstant. Es sind keine Drehgestelle, Stromabnehmer oder Fahrzeugzwischenräume vorhanden. Die folgenden Parameter müssen für die Referenzgeometrie verwendet werden:

$b = 3 \text{ m}$, $L_n = 4 \text{ m}$, $r_b = 0,75 \text{ m}$, $h_0 = 0,25 \text{ m}$, $h = 3,828 \text{ m}$



a)



b)

Legende

b Zugbreite

h Höhe

h_0 Abstand zwischen der Gleisoberkante und der Unterseite des Wagenkastens

L_n Kopflänge

r_b Radius

Bild 2 — Referenzfahrzeug

Der Referenzzug muss die gleiche Länge wie der beurteilte Zug haben. Es ist ausreichend, nur die ersten 100 m der Züge nachzubilden.

5.2.2.3 Mit einem Führerraum ausgestattete Schienenfahrzeugeinheiten

Die Anforderung gilt für alle Fahrzeuge, die für den Betrieb als führendes Fahrzeug mit einer Bemessungsgeschwindigkeit von mindestens 200 km/h, siehe Tabelle 5 ausgelegt sind.

Die Anforderung gilt für jede mögliche Laufrichtung.

Tabelle 5 — Anwendbare Verfahren für die vollständige Konformitätsbewertung von Schienenfahrzeugen

Maximale Bemessungsgeschwindigkeit km/h	Verfahren
$v_{tr,max} < 200$	Keine Bewertung erforderlich
$v_{tr,max} \geq 200$	Bewertung durch numerische Simulation oder Messung im reduzierten Maßstab nach 7.5.

5.2.3 Vereinfachte Konformitätsbewertung

Für Schienenfahrzeuge mit Führerraum, die geringfügigen Gestaltungsunterschieden unterliegen, darf eine vereinfachte Konformitätsbewertung durchgeführt werden über einen Vergleich mit Schienenfahrzeugen, für die eine vollständige Konformitätsbewertung bereits besteht. Änderungen der grundlegenden Kopfmerkmale und insbesondere des Verlaufs der Querschnittsfläche gelten grundsätzlich nicht als geringfügige Gestaltungsänderungen.

Im Hinblick auf den Druckgradienten bei der Einfahrt in den Tunnel sind die einzigen relevanten Gestaltungsunterschiede Unterschiede der äußeren Geometrie, der Bemessungsgeschwindigkeit und der Ausrüstung im Bereich des Kopfes, die die Druckwelle bei Einfahrt des Kopfes beeinflussen.

Diese vereinfachte Konformitätsbewertung besteht aus einer Stellungnahme, dass die Gestaltungsunterschiede keine Auswirkungen auf den Druckgradienten in Übereinstimmung mit Tabelle 6 haben.

Tabelle 6 — Anwendbare Verfahren und Anforderungen für die vereinfachte Konformitätsbewertung von Schienenfahrzeugen

Gestaltungsunterschiede	Verfahren und Anforderungen
Unterschiede in der äußeren Geometrie beschränkt auf: — Erhöhungen der Querschnittsfläche von weniger als 1 %; — Reduzierungen der Kopflänge von weniger als 2 %; — Ausrüstung im Bereich des Zugkopfes, die die Kopfdruckwelle nicht beeinflusst und in Tabelle 4 unter, 'geringfügige Unterschiede der äußeren Geometrie' angegeben ist.	Dokumentation der Unterschiede, Erklärung, dass keine Auswirkungen bestehen, und Verweisung auf eine bestehende vollständige Konformitätsbewertung mit einem um mindestens 5 % im Vergleich zur Bewertung des Referenzfahrzeugs geringeren Druckgradienten bei der Einfahrt.

5.3 Festigkeit gegenüber aerodynamischen Lasten

5.3.1 Allgemeines

Aerodynamische Lasten entstehen durch die dynamischen Lasten aufgrund von Begegnungen von Zügen auf offener Strecke, der Fahrt von Zügen im Tunnel und der statischen Lasten aufgrund der relativen Luftströmung über den Zügen, und beinhalten starke Windlasten. Die Lasten müssen bei der Konstruktion von Wagenkästen von Schienenfahrzeugen berücksichtigt werden und dürfen als aerodynamische Lasten für Festigkeitsbewertungen nach EN 12663-1:2010+A1:2014 verwendet werden. Die Verfahren zur Ableitung von Lasten sind nur für die Wagenkästen von Schienenfahrzeugen geeignet. Die Verfahren müssen weiter angepasst werden, um Informationen für die Gestaltung kleinerer Zugelemente wie Windschutzscheiben, Wagenkasten-Seitenfenster, Türen, Hauben, Geräteverkleidungen oder anderer an dem Wagenkasten angebrachter Formteile zu liefern.

Die wichtigsten relevanten Einflussparameter, die nicht alle in jedem Referenzfall gelten (siehe 5.3.2.4, 5.3.2.5 und 5.3.2.6) sind folgende:

- natürliche Windgeschwindigkeit;
- maximale Streckengeschwindigkeit;
- Zuglänge;
- Zugquerschnitt;
- Formen der Zugspitze und des Zughecks;
- maximale Zuggeschwindigkeit;
- entsprechende Parameter vorbeifahrender oder entgegenkommender Züge;
- Gleisabstand (Gleismittenabstand);
- Tunnelquerschnitt;
- Tunnellänge;
- Tunnelart, d. h. ein- oder zweigleisig;
- Einfahrversatzzeit von in einen Tunnel einfahrenden Zügen;
- Umgebungsbedingungen:
 - Luftdichte;
 - Schallgeschwindigkeit;
 - Umgebungsdruck;
 - Umgebungstemperatur;
 - Wind (einschließlich Windrichtung, Gegenwind).

5.3.2 Anforderungen

5.3.2.1 Allgemeines

Für Spurweiten von 1 435 mm bis einschließlich 1 668 mm und Vollbahn-Schienenfahrzeuge mit Bemessungsgeschwindigkeiten von mehr als 140 km/h müssen außergewöhnliche aerodynamische Lasten und Ermüdungslasten bei der Gestaltung neuer Schienenfahrzeuge berücksichtigt werden. Diese Anforderung muss unabhängig von der Bemessungsgeschwindigkeit auch erfüllt werden, wenn das Vollbahn-Schienenfahrzeug in Tunneln Fahrzeugen mit einer Geschwindigkeit von mehr als 140 km/h in seinem normalen Zugbetrieb begegnet. Die Anforderung gilt nicht für Güterwagen.

Dieses Dokument beschreibt außergewöhnliche und aerodynamische Ermüdungslasten für die Gestaltung von Schienenfahrzeugen und bietet damit eine Schnittstelle für Bewertungen der Strukturfestigkeit nach EN 12663-1:2010+A1:2014. Da die Zugeigenschaften die Belastungen beeinflussen, müssen die Belastungen einzeln für die Referenzfälle durch Anwendung der nachfolgend angegebenen Verfahren beurteilt werden. Für einige Züge sind vereinfachte Lastfälle vorgesehen und können ohne weitere Bewertungsschritte angewendet werden, siehe 7.7.7. Darüber hinaus hängen Lasten von dem Vorhandensein von Starkwind, anderen auf benachbarten Gleisen vorbeifahrenden Zügen sowie den Eigenschaften der Infrastruktur und des Zugbetriebs ab. Nationale Unterschiede können beispielsweise durch verschiedene Fahrzeuge und Spurweiten auftreten.

Für Fahrzeugwagenkästen gelten die nachfolgend festgelegten aerodynamischen außergewöhnlichen und Ermüdungslastfälle als ausreichend für:

- die Fahrt bei Starkwind;
- die Begegnung von Zügen auf offener Strecke;
- die Durchfahrt einzelner Züge durch einen Tunnel;
- Begegnung mit einem anderen Zug in einem Tunnel.

Die Belegung mit mehr als zwei Zügen kann in einem sehr langen Tunnel möglich sein. Dieser Fall wird in diesem Dokument nicht behandelt.

Die obigen Fälle führen zu einer äußeren Druckverteilung auf dem Fahrzeugkasten. Der Druck im Fahrzeug passt sich mit einer Zeitverzögerung in Abhängigkeit von der Dichtigkeit des Fahrzeugs an den Außendruck an. Die Differenz zwischen dem inneren Druck p_i und dem äußeren Druck p_e repräsentiert die Druckbelastung p_L auf alle Komponenten, die die Außenfläche des Fahrzeugs bilden. Die Wagenkastenstruktur des Fahrzeugs muss diesen Lasten widerstehen. Der Wagenkasten des Fahrzeugs ist daher positiven und negativen Belastungen durch die Druckänderungen im Tunnel ausgesetzt.

Die folgenden Mindestanforderungen sind für die Bestimmung der Belastungen festgelegt. Wenn andere Parameter angegeben werden oder aus Untersuchungen zur Verfügung stehen, ist ihre Anwendung erlaubt und muss dokumentiert werden. Die Anwendung ausführlicherer Verfahren ist erlaubt und muss dokumentiert werden.

Sofern nicht anders festgelegt, müssen Bewertungen bei meteorologischen Normbedingungen erfolgen, d. h.: atmosphärischer Druck $p_{\text{atm}} = 101\,325\text{ Pa}$, Luftdichte $\rho_{\text{amb}} = 1,225\text{ kg/m}^3$, Temperatur $\theta = 15\text{ °C}$ ohne Grundströmung in allen betrachteten Tunneln.

5.3.2.2 Außergewöhnliche Lastfälle für Fahrzeugwagenkästen

Außergewöhnliche Lastfälle ergeben sich aus dem Betrieb:

- auf offener Strecke bei starkem Wind;
- in Tunneln (Bedingungen im ungünstigsten Fall).

Bei Fahrten auf offener Strecke wird die lokale Lastverteilung durch starken Wind als statische Last angewendet. Sie werden durch die Anwendung des Referenzfalls für die Fahrt bei starkem Wind abgeleitet, siehe 5.3.2.4. Im Tunnelbetrieb gelten die Lasten durch die Tunnelluftströmung um den Zug als durch die Lasten im Betrieb auf offener Strecke bei starkem Wind abgedeckt.

ANMERKUNG Auch wenn eine Böengeschwindigkeit (d. h. transient) berücksichtigt wird, gilt die damit verbundene Last als statische Last.

Transiente Lasten wirken aufgrund von durch den Betrieb in Tunneln verursachten Druckänderungen auf einen Zug. Alle relevanten betrieblichen Tunnelszenarien müssen betrachtet und die maximalen Lasten bei der Gestaltung des gesamten Fahrzeugkastens berücksichtigt werden. Transiente Lasten aufgrund von Druckänderungen in Tunneln werden anhand der Referenzfälle für außergewöhnliche Lasten in Tunneln beurteilt, siehe 5.3.2.6.

Die maximalen aerodynamischen Belastungen (positive und negative Werte für p_L) werden für jeden Fall separat abgeleitet. Die maximalen Lasten werden nach EN 12663-1:2010+A1:2014 auf den Fahrzeugkasten angewendet.

5.3.2.3 Ermüdungslastfälle für Fahrzeugwagenkästen

Ermüdungslastfälle resultieren aus:

- häufigen Zugvorbeifahrten auf offener Strecke;
- dem allgemeinen Betrieb in Tunneln (ungünstiges, jedoch typisches Szenario).

Als Grundlage für die Bestimmung der Ermüdungslasten dient ein Betriebsszenario mit den folgenden Parametern, die berücksichtigt werden müssen: für das Fahrzeug (Zuggeschwindigkeit, verschiedene Fahrzeugparameter), für das Streckensystem (Tunnel, Tunnelabmessungen, freie Streckenabschnitte, Streckengeschwindigkeitsbeschränkungen usw.) und für den Gegenverkehr (Art, Geschwindigkeit, Häufigkeit der Vorbeifahrten).

Nur transiente Lasten werden für Ermüdungslasten berücksichtigt. Die durch transiente aerodynamische Druckbelastungen verursachten Auswirkungen auf den Fahrzeugkasten können bei geeigneter Kombination für ein festgelegtes Betriebsszenario die über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs erfahrene Last darstellen. Je nach betrachtetem Betriebsszenario muss der Lastzeitverlauf für die folgenden Lastfälle bestimmt werden:

- Transiente Lasten für Vorbeifahrten auf offener Strecke müssen anhand des Referenzfalls für Vorbeifahrten auf offener Strecke beurteilt werden, siehe 5.3.2.5.
- Transiente Lasten in Tunneln müssen unter Verwendung des Referenzfalls für Ermüdungslasten in Tunneln, siehe 5.3.2.7, beurteilt werden.

Züge, die sich auf offener Strecke begegnen oder in Tunneln betrieben werden, verursachen vergleichbare Belastungsverteilungen und können daher in Kombination berücksichtigt werden. Die relevanten Auswirkungen auf die Wagenkastenstruktur können beispielsweise anhand einer Rainflow-Analyse der Druckverläufe kombiniert werden, siehe 7.7.4.4. Solange die Anwendung die in Übereinstimmung mit diesem Dokument festgelegten Referenzszenarien erfüllt, dürfen die Lasten als konservative Lasten für Festigkeitsbewertungen nach EN 12663-1:2010+A1:2014 betrachtet werden.

5.3.2.4 Referenzfall für das Fahren bei Starkwind (außergewöhnlicher Lastfall)

Die lokale Druckverteilung um ein mit maximaler Bemessungsgeschwindigkeit auf offener Strecke fahrendes Fahrzeug bei einer stetigen und gleichmäßigen Windgeschwindigkeit von 30 m/s mit Windwinkeln zwischen 0° und 90° verursacht statische Lasten, die je nach Position variierend auf den Fahrzeugkasten einwirken. Diese werden als Referenzfälle für das Fahren bei Starkwind bezeichnet. Diese Lasten müssen auf den Fahrzeugkasten angewendet werden. Annahmen in Bezug auf die Position des Fahrzeugs im Zug und die Eigenschaften anderer Fahrzeuge im Zug sind bei der Bewertung zulässig.

ANMERKUNG Die vorgenannte Windgeschwindigkeit ist ein gewähltes Szenario, das als ausreichend für die Bemessung des Fahrzeugs gilt und nicht mit der Seitenwindstabilität verbunden ist.

5.3.2.5 Referenzfall für Vorbeifahrten auf offener Strecke (Ermüdungslastfall)

Bei Nichtvorhandensein von Aufschüttungen, Einschnitten und anderen wesentlichen gleisseitigen Strukturen wird das von einem mit maximaler Streckengeschwindigkeit vorbeifahrenden Zug erzeugte Druckfeld, das auf den untersuchten Zug auf offener Strecke einwirkt, als Referenzlastfall bezeichnet.

Die Position des untersuchten Fahrzeugs in einem Zug hat keinen Einfluss auf die durch den vorbeifahrenden Zug verursachten Druckbelastungen. Die verursachten Lasten richten sich nach dem Gleismittenabstand sowie den aerodynamischen Eigenschaften und der Geschwindigkeit des vorbeifahrenden Zugs. Ungünstige aerodynamische Eigenschaften müssen für den vorbeifahrenden Zug angenommen werden und müssen analog EN 14067-4:2013+A1:2018, 4.1 angesetzt werden. Die durch die Druckänderungen des vorbeifahrenden Zugs verursachten Lasten wirken nur auf die dem vorbeifahrenden Zug zugewandte Seite des untersuchten Zugs.

Da Lasten von Vorbeifahrten auf offener Strecke und Tunnelfahrten in Ermüdungsbewertungen zusammengeführt werden, ist der Referenzfall der Vorbeifahrten auf offener Strecke in dem in 5.3.2.7 festgelegten Referenzszenario enthalten.

5.3.2.6 Referenzfälle für außergewöhnliche Lasten bei Tunneldurchfahrten

Das Referenzszenario beschreibt den Zugbetrieb in einer Reihe von Tunneln, teilweise mit Begegnungen anderer Züge. In dem Referenzfall werden alle Züge mit einer Geschwindigkeit betrieben, die dem Minimum aus i) der angegebenen maximalen Tunnelgeschwindigkeit, ii) der maximalen Bemessungsgeschwindigkeit des untersuchten Fahrzeugs oder iii) einer projektspezifischen Geschwindigkeitsbeschränkung in Bezug auf die Geschwindigkeit sich begegnender Züge entspricht. Die folgenden Szenarien mit festgelegten Parametern für die Betriebsgeschwindigkeit, die Tunnelmaße und die Zugeigenschaften werden als Referenzszenarien bezeichnet.

- a) Einspurige Tunnel mit einer Tunnelquerschnittsfläche S_{tu} und maximalen Streckengeschwindigkeiten $v_{line,max}$:
- $v_{line,max} = 120 \text{ km/h}$, $S_{tu} = 32,4 \text{ m}^2$;
 - $v_{line,max} = 160 \text{ km/h}$, $S_{tu} = 46,7 \text{ m}^2$;
 - $v_{line,max} = 230 \text{ km/h}$, $S_{tu} = 52,0 \text{ m}^2$;
 - $v_{line,max} = 300 \text{ km/h}$, $S_{tu} = 59,7 \text{ m}^2$.

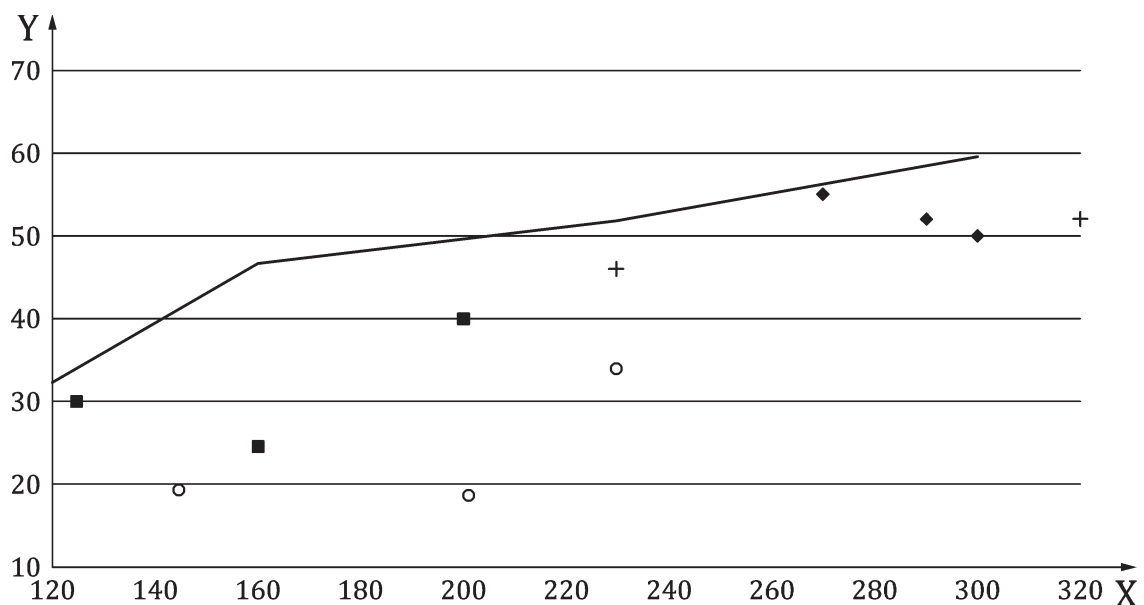
b) Zweigleisige Tunnel mit einer maximalen Geschwindigkeit $v_{\text{line,max}}$ im Tunnel und einer Tunnelquerschnittsfläche S_{tu} und einer vorbeifahrenden Zugklasse, die die in Tabelle 2 festgelegten Druckamplituden für die jeweilige Streckengeschwindigkeit $v_{\text{line,max}}$ vollständig ausnutzt:

- $v_{\text{line,max}} = 150 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 51,0 \text{ m}^2$;
- $v_{\text{line,max}} = 160 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 74,2 \text{ m}^2$;
- $v_{\text{line,max}} = 200 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 79,2 \text{ m}^2$;
- $v_{\text{line,max}} = 230 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 79,2 \text{ m}^2$;
- $v_{\text{line,max}} = 250 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 82,1 \text{ m}^2$;
- $v_{\text{line,max}} = 280 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 82,1 \text{ m}^2$;
- $v_{\text{line,max}} = 300 \text{ km/h}$, $S_{\text{tu}} = 92,0 \text{ m}^2$.

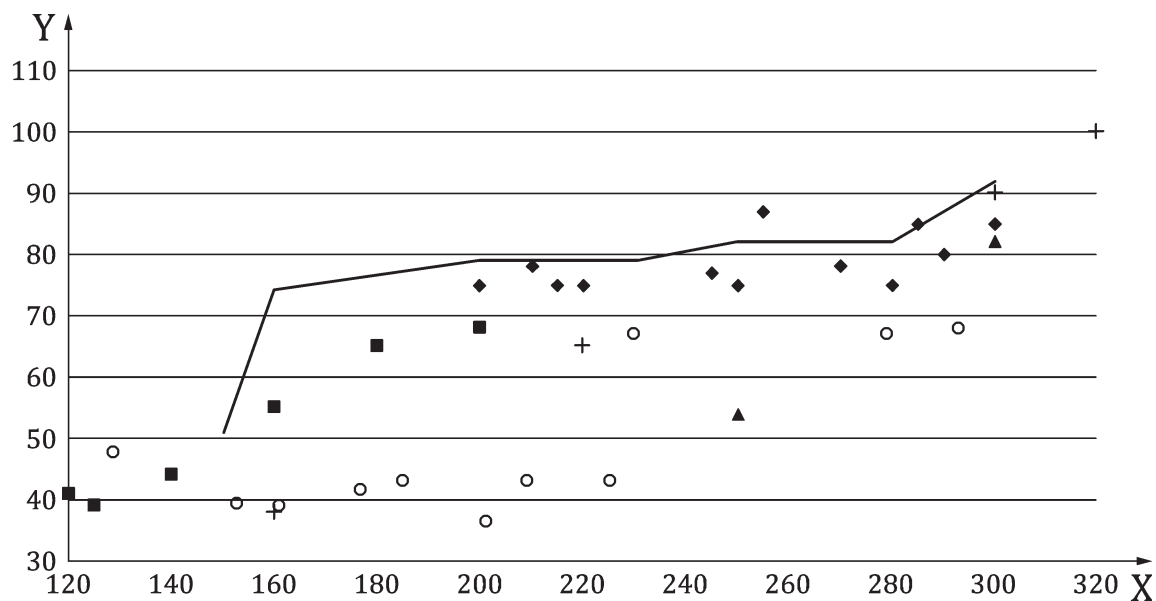
Wenn der Betrieb des untersuchten Fahrzeugs für eine bestimmte Strecke gilt, auf der einige Szenarien nicht relevant sind, müssen diese ausgenommen oder ersetzt werden. Wenn die Strecke beispielsweise keine Tunnel enthält, darf die Bewertung der Lasten aus Tunnelszenarien ignoriert werden.

Die vorgenannten Tunnelfestlegungen gelten als für Deutschland geeignet. Bild 3 zeigt Querschnittsflächen für ein- und zweigleisige Streckentunnel zusammen mit ihren Tunnelbetriebsgeschwindigkeiten, die für eine Reihe europäischer Länder typisch sind. Die obigen Referenzfälle sind als Linien, die die Symbole verbinden, dargestellt. Sofern keine Referenzfälle auf nationaler oder Netzwerkebene definiert sind, können Referenzfälle abgeleitet werden, um den vorgesehenen Betrieb des Fahrzeugs zu modellieren.

ANMERKUNG Informationen zu Tunnellängen und -querschnitten sind im Infrastrukturregister gemäß „Durchführungsverordnung (EU) 2019/777 der Kommission vom 16. Mai 2019 zu gemeinsamen Spezifikationen für das Eisenbahn-Infrastrukturregister“ zu finden, siehe Leitfaden in [21].



a) eingleisige Streckentunnel



b) zweigleisige Streckentunnel

Legende

X v_{tr} [km/h]

Y S_{tu} [m²]

— CEN/Deutschland

+ Frankreich

◆ Spanien

○ Großbritannien

■ Schweiz

▲ Italien

Bild 3 — Querschnittsbereiche für ein- und zweigleisige europäische Streckentunnel

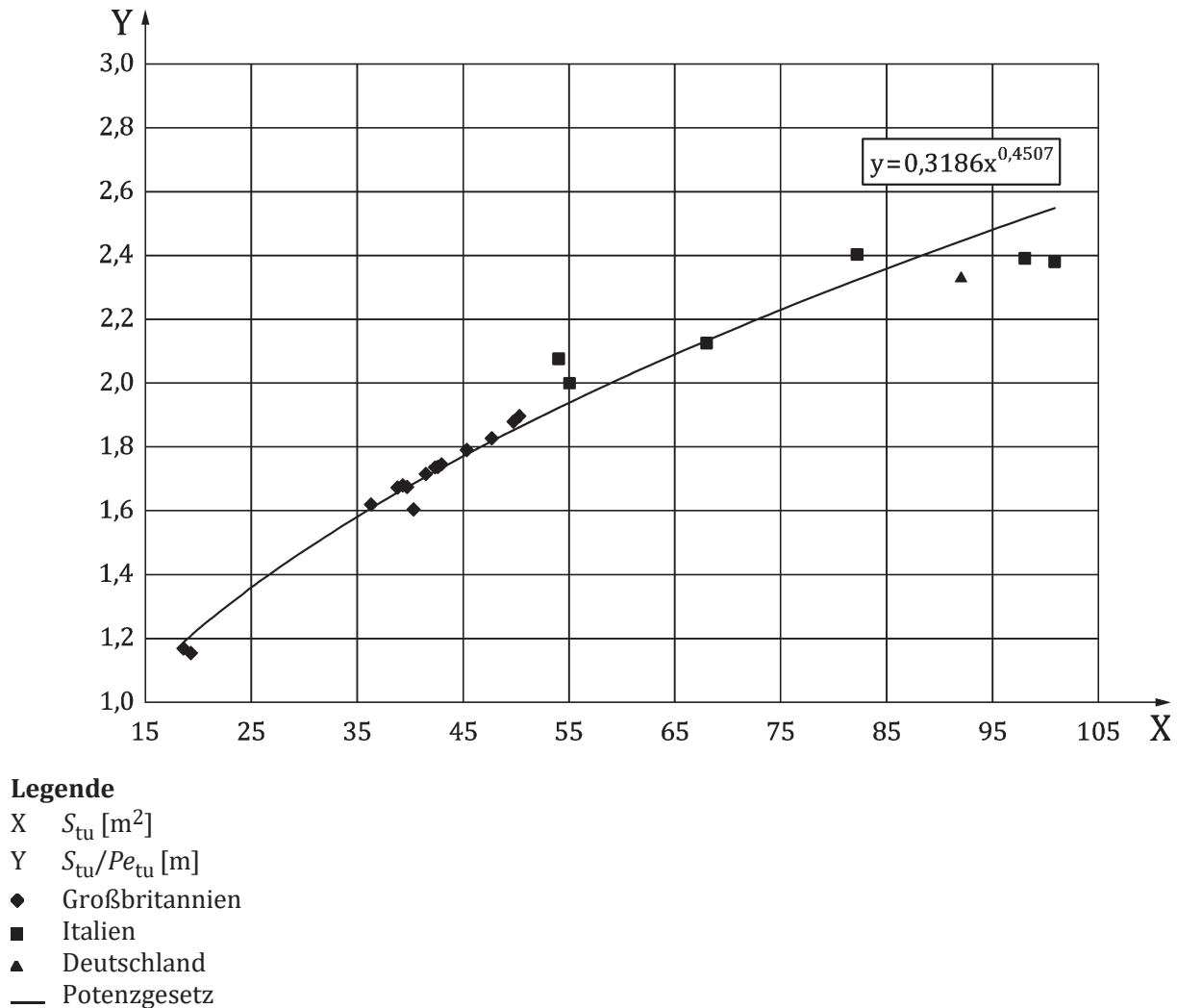


Bild 4 — Verhältnisse zwischen Tunnelfläche und Tunnelumfang

Bild 4 zeigt einen Plot des Zusammenhangs zwischen der Querschnittsfläche und dem Umfang der Tunnel auf der Grundlage nationaler Datenbankwerte und ist hilfreich, wenn nur Werte für die Querschnittsfläche zur Verfügung stehen.

Transiente Drücke in Tunneln müssen für das untersuchte in einem Zug eingereihte Fahrzeug beurteilt werden. Die Tunnellänge wird als kritische Länge auf der Grundlage der maximalen äußeren Druckänderung nach 7.7.3.6 gewählt.

5.3.2.7 Referenzfälle für Ermüdungslasten bei Tunneldurchfahrten

Ein Szenario mit festgelegten Parametern für Züge, den Betrieb und die Infrastruktur, wie nachfolgend aufgelistet, wird als Referenzfall bezeichnet. Das Referenzszenario beschreibt einen Zugbetrieb auf einer Strecke mit Tunneln und entgegenkommenden Zügen. In dem Referenzfall wird angenommen, dass das Fahrzeug während seiner gesamten Lebensdauer ausschließlich auf der durch das Referenzszenario beschriebenen Strecke betrieben wird. Bei diesem Betrieb ist die Außenfläche des Fahrzeugs verschiedenen Druckänderungen ausgesetzt. Unterschiede zwischen dem äußeren und inneren Druck wirken als transiente Lasten des Fahrzeugkastens und sind daher von dem Grad der Druckdichtigkeit des untersuchten Fahrzeugs abhängig.

Die verschiedenen Druckunterschiede zwischen den äußeren und inneren Drücken und die Häufigkeit ihres Auftretens während der Lebensdauer des Fahrzeugs werden durch das Lastkollektiv dargestellt. Das für den Lebensdauerbetrieb nach dem Referenzszenario repräsentative Lastkollektiv muss als Ermüdungsbelastung auf den Fahrzeugkasten angewendet werden.

Bis zur Entwicklung von Standardreferenzszenarien sollten die Szenarien in der Fahrzeugspezifikation angegeben werden. Wenn ein Referenzszenario für ein Eisenbahnnetz und nicht nur für eine bestimmte Strecke repräsentativ sein soll, muss dies begründet werden, um nachzuweisen, dass das gewählte Referenzszenario ausreichend anspruchsvolle Ermüdungslasten enthält, um für die verschiedenen Segmente (d. h. Tunnel, offene Strecken) des Streckennetzes repräsentativ zu sein.

Das allgemeine Referenzszenario wird durch die folgenden Parameter festgelegt, die den Betrieb des untersuchten Fahrzeugs auf einer Eisenbahnstrecke für jedes Streckensegment beschreiben:

- Infrastrukturparameter (je Segment):
 - Länge des Streckensegments $L_{\text{section},i}$ und Hinweis, ob es sich um einen offenen Streckenabschnitt oder einen Tunnel handelt;
 - die maximale Streckengeschwindigkeit, $v_{\text{line,max}}$;
 - die freie Querschnittsfläche des Tunnels, S_{tu} ;
 - die Anzahl der Gleise und der Gleismittenabstand.
- Betriebsparameter:
 - Betrieb in beide Richtungen auf der vorgenannten Infrastruktur während der Lebensdauer des Fahrzeugs;
 - Anzahl der Züge, die einen stationären Punkt in eine Richtung je Stunde passieren, $N_{\text{trainsperhour}}$
- Zugparameter:
 - die Geschwindigkeit der entgegenkommenden Züge entspricht der maximalen Streckengeschwindigkeit, falls nicht anders festgelegt;
 - die aerodynamischen Eigenschaften entgegenkommender Züge in Tunneln, gemäß den Grenzwerten wie in Tabelle 2 in 5.1.2.1 festgelegt;
 - die aerodynamischen Eigenschaften von auf offener Strecke entgegenkommenden Fahrzeugen, wie in EN 14067-4:2013+A1:2018, Tabelle 2 festgelegt.

Die erforderlichen Parameter des untersuchten Fahrzeugs werden in 7.7.3.2 vorgestellt.

ANMERKUNG Ein Referenzszenario für das deutsche Streckennetz ist in [9] und [10] festgelegt.

5.3.3 Bestimmung außergewöhnlicher Belastungen

Eine vollständige Bemessung außergewöhnlicher Lasten von Schienenfahrzeugen muss nach Tabelle 7 durchgeführt werden.

Tabelle 7 — Anwendbare Verfahren für die vollständige Konformitätsbewertung der außergewöhnlichen Lasten von Schienenfahrzeugen

Kriterien	Verfahren
Schienenfahrzeuge mit — nicht druckdichter Gestaltung (siehe 7.7.3.2), und — $v_{tr,max} \leq 200$ km/h, und — Betrieb nur auf Eisenbahnstrecken mit $v_{line,max} \leq 200$ km/h.	Bewertung außergewöhnlicher Lasten durch — den vereinfachten Lastfall nach 7.7.7.2
alle anderen Schienenfahrzeuge	Bewertung von — Lasten durch den Betrieb bei Starkwind nach 7.7.1, und — außergewöhnlichen transienten Lasten im Tunnel nach 7.7.3.
ANMERKUNG Der Begriff ‚nicht druckdicht‘ wird in diesem Dokument gleichbedeutend mit ‚undicht‘ und der Begriff ‚druckdicht‘ gleichbedeutend mit ‚dicht‘ verwendet	

5.3.4 Bestimmung der Ermüdungslast

Eine vollständige Bewertung der Ermüdungslast von Schienenfahrzeugen muss nach Tabelle 8 durchgeführt werden.

Tabelle 8 — Anwendbare Verfahren für die vollständige Bewertung der Ermüdungslast von Schienenfahrzeugen

Kriterien	Verfahren
Schienenfahrzeuge mit — nicht druckdichter Gestaltung, und — $v_{tr,max} \leq 200$ km/h, und — Betrieb nur auf Eisenbahnstrecken mit $v_{line,max} \leq 200$ km/h.	Bewertung von Ermüdungslasten durch — den vereinfachten Lastfall nach 7.7.7.3
alle anderen Schienenfahrzeuge	Bewertung von — Ermüdungslasten durch entgegenkommende Züge auf offener Strecke nach 7.7.2, und — Ermüdungslasten durch den Betrieb in Tunneln nach 7.7.4.

5.3.5 Bewertung im Fall von Änderungen

Eine vereinfachte Konformitätsbewertung darf für Schienenfahrzeuge mit geringfügigen Gestaltungsunterschieden im Vergleich zu Schienenfahrzeugen, für die ein vollständiger Lastnachweis bereits vorliegt, durchgeführt werden.

Die einzigen relevanten Gestaltungsunterschiede sind Unterschiede in der Bemessungsgeschwindigkeit des Zugs, Änderungen der Streckeneigenschaften und Änderungen der Druckdichtigkeit des untersuchten Zugs, die nur als relevant anzusehen sind, wenn sie sich auf das aerodynamische Lastkollektiv oder die Festigkeitsanalyse auswirken.