

## DIN EN 12663-1



ICS 45.060.20

Ersatz für  
DIN EN 12663-1:2010-07

**Bahnanwendungen –  
Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen –  
Teil 1: Lokomotiven und Personenzüge (und alternatives Verfahren  
für Güterwagen);  
Deutsche Fassung EN 12663-1:2010+A1:2014**

Railway applications –  
Structural requirements of railway vehicle bodies –  
Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight  
wagons);  
German version EN 12663-1:2010+A1:2014

Applications ferroviaires –  
Prescriptions de dimensionnement des structures de véhicules ferroviaires –  
Partie 1: Locomotives et matériels roulants voyageurs (et méthode alternative pour  
wagons);  
Version allemande EN 12663-1:2010+A1:2014

Gesamtumfang 41 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)



## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12663-1:2010+A1:2014) wurde unter Federführung der WG 2 „Festigkeitsanforderungen“ (Sekretariat: ASI, Österreich) des SC 2 „Schienenfahrzeuge – Komponenten“ (Sekretariat NEN, Niederlande) innerhalb des Technischen Komitees CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-04 AA „Festigkeit, Kollisionssicherheit“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 12663-1:2010-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Hinzufügung der EN 16404 in Abschnitt 2;
- b) Hinzufügung eines Anstrichs (d) in Abschnitt 5.1;
- c) Hinzufügung einer Zeile für  $m_5$  in Abschnitt 6.1, Tabelle 1;
- d) Hinzufügung einer Fußnote (a) in Abschnitt 6.3.2, Tabelle 10;
- e) Hinzufügung eines Abschnitts 6.3.4.

## Frühere Ausgaben

DIN EN 12663: 2000-10  
DIN EN 12663-1: 2010-07

Deutsche Fassung

Bahnanwendungen —  
Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von  
Schienenfahrzeugen —  
Teil 1: Lokomotiven und Personenzüge (und alternatives  
Verfahren für Güterzüge)

Railway applications —  
Structural requirements of railway vehicle bodies —  
Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and  
alternative method for freight wagons)

Applications ferroviaires —  
Prescriptions de dimensionnement des structures de  
véhicules ferroviaires —  
Partie 1 : Locomotives et matériels roulants voyageurs (et  
méthode alternative pour wagons)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. Januar 2010 angenommen und schließt Änderung 1, die am 23. September 2014 vom CEN angenommen wurde, ein.

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 Management-Zentrum des CEN-CENELEC 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, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

# Inhalt

	Seite
Vorwort .....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich .....	6
2 Normative Verweisungen .....	6
3 Begriffe .....	6
4 Koordinatensystem .....	7
5 Festigkeitsanforderungen.....	7
5.1 Allgemeines .....	7
5.2 Kategorien von Schienenfahrzeugen .....	8
5.2.1 Konstruktive Kategorien .....	8
5.2.2 Lokomotiven.....	9
5.2.3 Schienenfahrzeuge des Personenverkehrs .....	9
5.2.4 Güterwagen .....	9
5.2.5 Andere Fahrzeugtypen .....	9
5.3 Einflussparameter auf die Schienenfahrzeugkonstruktion.....	9
5.3.1 Toleranz für Unsicherheiten .....	9
5.3.2 Lastannahmen.....	10
5.3.3 Werkstoffe .....	10
5.3.4 Maßtoleranzen.....	10
5.3.5 Herstellungsverfahren.....	10
5.3.6 Berechnungsgenauigkeit.....	10
5.4 Nachweis der Festigkeit und der strukturellen Stabilität .....	10
5.4.1 Anforderung .....	10
5.4.2 Streck- bzw. Dehngrenze .....	11
5.4.3 Bruchlast-Versagen .....	12
5.4.4 Instabilität .....	12
5.5 Nachweis der Steifigkeit .....	13
5.6 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit.....	13
5.6.1 Allgemeines.....	13
5.6.2 Bemessungsverfahren .....	14
6 Auslegungslastfälle .....	14
6.1 Allgemeines .....	14
6.2 Längsgerichtete statische Belastungen des Wagenkastens .....	15
6.2.1 Allgemeines .....	15
6.2.2 Längskräfte in Puffern und/oder im Kupplungsbereich .....	16
6.2.3 Druckkräfte im Stirnwandbereich .....	17
6.3 Vertikale statische Belastungen des Wagenkastens .....	18
6.3.1 Maximales Betriebsgewicht.....	18
6.3.2 Anheben.....	18
6.3.3 Anheben mit versetzten Anhebepunkten .....	19
6.3.4 Aufgleisen und Bergen .....	19
6.4 Überlagerung statischer Lastfälle des Wagenkastens .....	20
6.5 Statische Nachweis-Lasten an Schnittstellen .....	21
6.5.1 Nachweis-Lastfälle für die Verbindung von Wagenkasten zu Drehgestell.....	21
6.5.2 Nachweis-Lastfälle für die Befestigungen der Ausrüstungsgegenstände .....	21
6.5.3 Nachweis-Lastfälle für Verbindungen von Gelenkseinheiten .....	22
6.5.4 Prüflastfälle für besondere Komponenten an Güterwagen.....	22
6.6 Allgemeine Ermüdungslastfälle des Wagenkastens.....	22

	Seite
6.6.1 Lastbereiche .....	22
6.6.2 Spektrum der Zuladung .....	22
6.6.3 Be- und Entladungszyklen .....	23
6.6.4 Belastungen aus dem Fahrweg .....	23
6.6.5 Aerodynamische Belastung .....	24
6.6.6 Traktion und Bremsen .....	24
6.7 Ermüdungslasten an Schnittstellen .....	25
6.7.1 Allgemeine Anforderungen .....	25
6.7.2 Verbindung von Wagenkasten zu Drehgestell .....	25
6.7.3 Befestigung der Ausrüstungsgegenstände .....	25
6.7.4 Kupplungen .....	25
6.7.5 Ermüdungslastfälle für Verbindungen von Gelenkseinheiten .....	25
6.8 Kombination von Ermüdungslastfällen .....	25
6.9 Schwingungsmoden .....	26
6.9.1 Wagenkasten .....	26
6.9.2 Ausrüstung .....	26
7 Zulässige Werkstoffspannungen .....	26
7.1 Interpretation von Spannungen .....	26
7.2 Statische Festigkeit .....	26
7.3 Ermüdungsfestigkeit .....	26
8 Anforderungen an Tests zum experimentellen Festigkeitsnachweis .....	27
8.1 Ziele .....	27
8.2 Statische Lastfälle .....	27
8.2.1 Aufgebrachte Lasten .....	27
8.2.2 Testablauf .....	28
8.3 Tests unter Betriebs- oder Ermüdungsbeanspruchung .....	29
8.4 Auflaufversuche .....	29
9 Abnahmeprogramm .....	29
9.1 Ziel .....	29
9.2 Abnahmeprogramm für Neukonstruktion von Wagenkastenstrukturen .....	30
9.2.1 Allgemeines .....	30
9.2.2 Strukturanalysen .....	30
9.2.3 Prüfung .....	31
9.3 Abnahmeprogramm für weiterentwickelte Konstruktion von Wagenkastenstrukturen .....	31
9.3.1 Allgemeines .....	31
9.3.2 Strukturanalysen .....	31
9.3.3 Prüfung .....	32
Anhang A (informativ) Behandlung lokaler Spannungskonzentrationen bei Berechnungen .....	33
Anhang B (informativ) Beispiele für Prüfbelastungsfälle bei Gelenksverbindungen .....	34
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 2008/57/EG .....	36
Literaturhinweise .....	39

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 12663-1:2010+A1:2014) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Railway applications“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2015, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2015 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument enthält Änderung 1, die durch CEN am 2014-09-23 angenommen wurde.

**A1** Dieses Dokument ersetzt EN 12663-1:2010. **A1**

Beginn und Ende des Textes, der durch die Änderung eingeführt oder geändert wurde, ist im Text durch die Symbole **A1** **A1** gekennzeichnet.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der **A1** EU-Richtlinie 2008/57/EG. **A1**

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

Diese Europäische Norm ist Teil der Reihe *Bahnanwendungen — Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen*, welche aus den folgenden Teilen besteht:

- *Teil 1: Lokomotiven und Personenzüge (und alternatives Verfahren für Güterwagen)*
- *Teil 2: Güterwagen*

**A1** gestrichener Text **A1**

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, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## Einleitung

Die Wagenkastenkonstruktion von Schienenfahrzeugen hängt von den Belastungen ab, denen sie ausgesetzt sind, und den Eigenschaften der Werkstoffe, aus denen sie hergestellt werden. Innerhalb des Anwendungsbereiches dieser Europäischen Norm wird beabsichtigt, eine einheitliche Grundlage für die Konstruktion von Wagenkästen zu schaffen.

Die Belastungsanforderungen an Konstruktion und Test der Wagenkästen basieren auf fundierten Erfahrungen, die durch Auswertung von Versuchsdaten und Veröffentlichungen untermauert sind. Das Ziel dieser Europäischen Norm ist es, dem Lieferanten die Freiheit zu geben, seine Konstruktion zu optimieren, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der notwendigen Sicherheit.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Mindestanforderungen an die Festigkeit von Wagenkästen für Schienenfahrzeuge fest.

Diese Europäische Norm gibt die Belastungen an, denen die Wagenkästen standhalten müssen. Sie legt fest, wie die Werkstoffdaten verwendet werden sollten und stellt die Prinzipien dar, die zur Validierung der Konstruktion durch Berechnung und Prüfung zu benutzen sind. Diese Europäische Norm gilt für Lokomotiven und Personenfahrzeuge. EN 12663-2 liefert das Nachweisverfahren für Güterwagen und verweist auch auf das Verfahren in dieser Norm als eine Alternative für Güterwagen.

Die Schienenfahrzeuge werden in Kategorien eingeteilt, die ausschließlich im Hinblick auf die Festigkeitsanforderungen der Wagenkästen festgelegt sind. Einige Schienenfahrzeuge passen möglicherweise in keine der definierten Kategorien; die Festigkeitsanforderungen an solche Schienenfahrzeuge sollten Teil der Spezifikation sein und nach Grundsätzen, die in dieser Norm dargestellt sind, festgelegt werden.

Diese Europäische Norm gilt für alle Schienenfahrzeuge im Gebiet der EU und EFTA. Die angeführten Anforderungen setzen die vorherrschenden Betriebsbedingungen und -verhältnisse in diesen Ländern voraus.

Zusätzlich zu den Anforderungen dieser Europäischen Norm wird gewöhnlich gefordert, dass die Struktur aller Fahrzeuge in Verbindung mit Fahrgast-Beförderung Eigenschaften besitzen, die die Insassen im Fall von Kollisionsunfällen schützen. Diese Anforderungen werden in EN 15227 dargestellt.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 10002-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

EN 13749, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Spezifikationsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen*

EN 15663, *Bahnanwendungen — Fahrzeugmassedefinitionen*



EN 16404:2014, *Bahnanwendungen — Anforderungen für das Aufgleisen und Bergen von Schienenfahrzeugen*



## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### Wagenkasten

tragende Hauptstruktur oberhalb der Fahrwerke, einschließlich aller Komponenten, die an dieser Struktur befestigt sind und direkt zu ihrer Festigkeit, Steifigkeit und Stabilität beitragen

ANMERKUNG Mechanische Ausrüstungsteile und sonstige Montageteile werden nicht als Teil des Wagenkastens betrachtet, jedoch werden deren Befestigungselemente als Teil des Wagenkastens gezählt.



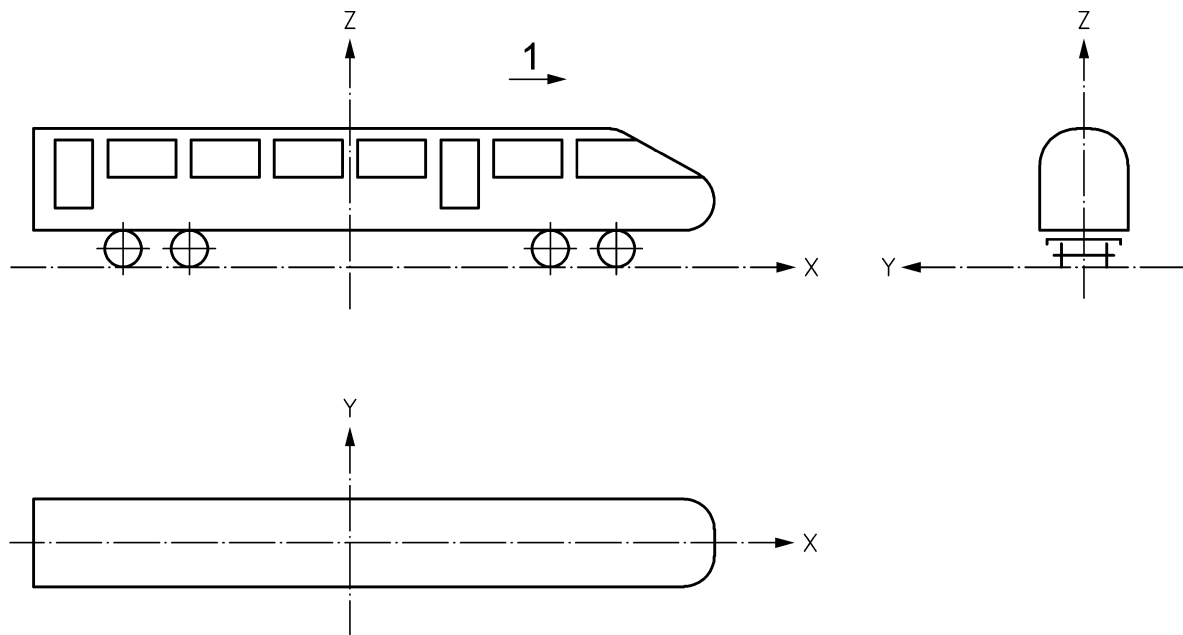
### 3.2

#### Befestigung der Ausrüstungsgegenstände

Befestigung und alle dazugehörigen lokalen Tragstrukturen oder Rahmen, welche die Ausrüstungsgegenstände mit dem Wagenkasten verbinden

## 4 Koordinatensystem

Bild 1 zeigt das Koordinatensystem. Die positive Richtung der x-Achse (entspricht der Wagenkastenlängsachse) zeigt in die Fahrtrichtung. Die positive z-Achse (entspricht der Wagenkastenhochachse) zeigt nach oben. Die y-Achse (entspricht der Wagenkastenquerachse) verläuft in der horizontalen Ebene, wobei diese der rechten Hand-Regel für das Koordinatensystem entspricht.



#### Legende

- 1 Fahrtrichtung
- X Längsrichtung
- Y Querrichtung
- Z Vertikalrichtung

Bild 1 — Wagenkastenkoordinatensystem

## 5 Festigkeitsanforderungen

### 5.1 Allgemeines

Wagenkästen von Schienenfahrzeugen müssen der maximalen Belastung entsprechend ihren Betriebsanforderungen standhalten und die geforderte Lebensdauer unter normalen Betriebsbedingungen mit angemessener Überlebenswahrscheinlichkeit erreichen.

Die Fähigkeit des Wagenkastens, den geforderten Belastungen ohne bleibende Verformungen und Bruch zu widerstehen, muss durch Berechnung und/oder Test nachgewiesen werden, so wie es im Abnahmeprogramm in Abschnitt 9 beschrieben ist.

Die Bewertung hat für folgende Kriterien zu erfolgen:

- a) außergewöhnliche Belastungen, d. h. die maximalen Belastungen, denen unter Aufrechterhaltung der vollen Betriebsfähigkeit standgehalten werden muss;
- b) ausreichende Sicherheit, wie in 5.4.3 und 5.4.4 beschrieben, so dass die außergewöhnliche Belastung deutlich überschritten werden kann, bevor völliges Versagen oder Bruch eintritt;
- c) Ertragbarkeit von Betriebs- oder zyklischen Belastungen, so dass während der festgelegten Lebensdauer keine Beeinträchtigung der Struktursicherheit auftritt;



- d) Belastungen auf Grund des Aufgleisens und Bergens ohne Totalversagen.



Die Daten, welche die erwarteten Betriebsbedingungen bestimmen, müssen Teil der Spezifikation sein. Aus diesen Angaben sind alle maßgeblichen Lastfälle in einer Weise abzuleiten, die im Einklang mit den Zulassungskriterien steht.

**ANMERKUNG** Falls zutreffend, sollten die in 5.5 definierten Steifigkeitskriterien Teil der Spezifikation sein.

Die Anforderungen dieser Europäischen Norm basieren auf der Verwendung von metallischen Werkstoffen und der Anforderungen in 5.4.2, 5.4.3 und 5.6. Die Abschnitte 7 und 8 sind speziell nur für solche Werkstoffe anwendbar. Wenn andere (nichtmetallische) Werkstoffe verwendet werden, müssen dennoch die grundsätzlichen Prinzipien dieser Norm angewendet werden und geeignete Daten zur Beschreibung der Werkstoffeigenschaften müssen eingesetzt werden.

Die als Grundlage für die Wagenkastenkonstruktion verwendeten Lastfälle müssen die relevanten Fälle von Abschnitt 6 beinhalten.

Für alle Parameter werden SI-Basiseinheiten bzw. davon abgeleitete Einheiten eingesetzt. Die Fallbeschleunigung  $g$  beträgt  $-9,81 \text{ m/s}^2$ .

## **5.2 Kategorien von Schienenfahrzeugen**

### **5.2.1 Konstruktive Kategorien**

Bei Anwendung dieser Europäischen Norm werden die Schienenfahrzeuge in Kategorien eingeteilt.

Die Einteilung der verschiedenen Schienenfahrzeugkategorien basiert ausschließlich auf den Festigkeitsanforderungen der Wagenkästen.

**ANMERKUNG** Es liegt in der Verantwortung der Kunden, darüber zu entscheiden, nach welcher Kategorie die Schienenfahrzeuge ausgelegt werden sollten. Es wird Unterschiede zwischen Kunden geben, deren Kategorienwahl Rangierbedingungen und Systemsicherheitsmaßnahmen berücksichtigen. Dieses ist zu erwarten und sollte nicht als Widerspruch zu dieser Europäischen Norm betrachtet werden.

Aufgrund der spezifischen Art ihrer Konstruktion und verschiedener Konstruktionsziele gibt es drei Hauptgruppen, nämlich Lokomotiven (L), Personenwagen (P) und Güterwagen (F). Die drei Gruppen können entsprechend den Festigkeitsanforderungen in weitere Kategorien unterteilt werden.

Die Kategorien für Güterwagen werden der EN 12663-2 entnommen.

Die Wahl der jeweiligen Kategorie in den folgenden Abschnitten muss auf den Festigkeitsanforderungen der Tabellen in Abschnitt 6 basieren.

### 5.2.2 Lokomotiven

Zu dieser Gruppe gehören alle Arten von Lokomotiven und Triebfahrzeugen, deren einziger Zweck die Bereitstellung von Zugkraft ist und die nicht für den Transport von Fahrgästen bestimmt sind.

— Kategorie L z. B. Lokomotiven und Triebfahrzeuge.

### 5.2.3 Schienenfahrzeuge des Personenverkehrs

Zu dieser Gruppe gehören alle Arten von Schienenfahrzeugen, die für den Transport von Personen bestimmt sind, von Vollbahnfahrzeugen, S-Bahn-Fahrzeugen, Stadtbahnen bis hin zu Straßenbahnen.

Die Schienenfahrzeuge für Personenverkehr werden in fünf konstruktive Kategorien unterteilt, denen jedes Fahrzeug zugeordnet werden kann. Die fünf Kategorien sind nachstehend mit Angabe des gewöhnlich der jeweiligen Kategorie zugeordneten Fahrzeugtyps aufgelistet:

- Kategorie P-I z. B. Reisezugwagen;
- Kategorie P-II z. B. Triebzugeinheiten und Reisezugwagen;
- Kategorie P-III z. B. U-, S-Bahn-Fahrzeuge und leichte Triebwagen;
- Kategorie P-IV z. B. leichte U-Bahn-Fahrzeuge und Stadtbahnfahrzeuge;
- Kategorie P-V z. B. Straßenbahnfahrzeuge.

### 5.2.4 Güterwagen

Alle Güterwagen dieser Gruppe werden für den Gütertransport eingesetzt. Zwei Kategorien sind definiert worden:

- Kategorie F-I z. B. Fahrzeuge, die ohne Beschränkung rangiert werden können;
- Kategorie F-II z. B. Fahrzeuge, die weder über einen Ablaufberg noch durch Abstoßen rangiert werden dürfen.

### 5.2.5 Andere Fahrzeugtypen

Manche Schienenfahrzeuge mögen zu keiner Art der oben erwähnten Kategorien passen (z. B. kann der offene Einheits-Drehgestell-Gepäckwagen für Kraftfahrzeugbeförderung als P-I-Fahrzeug behandelt werden). Die passende Kategorie für die Strukturanforderungen solcher Schienenfahrzeuge sollte Teil der Spezifikation sein.

## 5.3 Einflussparameter auf die Schienenfahrzeugkonstruktion

### 5.3.1 Toleranz für Unsicherheiten

Die in folgenden Abschnitten beschriebenen Unsicherheiten können durch Begrenzung der zugehörigen Parameterwerte oder durch Einfügen eines Sicherheitsfaktors in den Konstruktionsprozess toleriert werden. Dieser mit  $S$  bezeichnete Sicherheitsfaktor muss dann angewendet werden, wenn der Vergleich von berechneten Spannungen mit den zulässigen Spannungen erfolgt, wie in 5.4 angegeben.

**ANMERKUNG** Im Auslegungsprozess sollte Folgendes bezüglich der Gefährlichkeit von Komponentenversagen beachtet werden: Folge der Fehlfunktion, Redundanz, Zugangsmöglichkeit für Inspektion, Detektion des Komponentenfehlers, Wartungsintervall usw.

Der Wert von  $S$  ist zu wählen, um die Gesamtauswirkung aller Unsicherheiten einzuschließen, die nicht in anderer Weise berücksichtigt sind.

### 5.3.2 Lastannahmen

Alle Lastannahmen, die als Grundlage für den Wagenkastenentwurf eingesetzt werden, müssen jegliche notwendige Toleranz für Unsicherheiten in ihren Werten mit einbeziehen. Die in Abschnitt 6 festgelegten Lastannahmen schließen diese Toleranz ein. Falls die Auslegungslastannahmen aus Streckenversuchen oder anderen Informationsquellen hergeleitet werden, muss eine Unsicherheitstoleranz angewendet werden.

### 5.3.3 Werkstoffe

Zur Auslegung der Fahrzeugstruktur müssen die Mindestwerte der Werkstoffeigenschaften entsprechend den Spezifikationen für die eingesetzten Werkstoffe verwendet werden. Falls die Werkstoffeigenschaften zum Beispiel durch

- Beanspruchungsgeschwindigkeit,
- Zeit (z. B. Alterung),
- Umgebung (Feuchtigkeitsaufnahme, Temperatur usw.),
- Schweißen oder andere Herstellungsprozesse

beeinflusst werden, müssen geeignete Mindestwerkstoffkennwerte bestimmt werden.

Gleichmaßen muss die S-N-Kurve (Wöhlerkurve), die zur Darstellung des Werkstoffermüdungsverhaltens verwendet wird, vorstehend genannte Einflüsse beinhalten und die untere Grenze des in 7.3 definierten Datenstrebereichs darstellen.

### 5.3.4 Maßtoleranzen

Im Allgemeinen ist es zulässig, dass die Berechnungen auf der Grundlage der Komponenten-Nennmaße basieren. Mindestmaße müssen nur berücksichtigt werden, wenn erhebliche Verringerungen der Dicke (aufgrund von Verschleiß usw.) typisch für die Funktion des Bauteils sind. Ein angemessener Schutz gegen Korrosion ist integraler Bestandteil der Fahrzeugspezifikation. Der hierdurch bedingte Materialverlust kann üblicherweise vernachlässigt werden.

### 5.3.5 Herstellungsverfahren

Die Kennwerte, die der Werkstoff in einem realen Bauteil aufweist, können von den aus Prüfmustern abgeleiteten Kennwerten abweichen. Solche Abweichungen sind auf Schwankungen in den Herstellungsverfahren und der Verarbeitungsgüte zurückzuführen, die in keinem praktikablen Qualitätskontrollverfahren festgestellt werden können.

### 5.3.6 Berechnungsgenauigkeit

Jedes Berechnungsverfahren umfasst Näherungswerte und Vereinfachungen. Die Anwendung des Berechnungsverfahrens auf die Konstruktion muss bewusst konservativ sein.

## 5.4 Nachweis der Festigkeit und der strukturellen Stabilität

### 5.4.1 Anforderung

Durch Berechnung und/oder Prüfung ist nachzuweisen, dass unter den vorgeschriebenen Lastfällen keine signifikante bleibende Verformung und kein Bruch der gesamten Konstruktion bzw. einzelner Teile oder irgendwelche Befestigungen der Ausrüstungsgegenstände auftreten werden. Die Anforderungen müssen durch die Einhaltung von Streck- bzw. Dehngrenze nach 5.4.2 erreicht werden. Wird die Konstruktion auch durch ein Bruchlast-Versagen oder durch die Instabilitätsbedingungen nach 5.4.3 und/oder 5.4.4 eingegrenzt, müssen auch diese Bedingungen eingehalten werden. Der Validierungsprozess wird in Abschnitt 9 beschrieben.

Beim Vergleich von berechneter oder gemessener Spannung zur zulässigen Spannung muss die Auslastung der Komponente kleiner oder gleich 1 nach folgender allgemeinen Gleichung sein:

$$U = \frac{R_d S}{R_L} \leq 1$$

Dabei ist

- $U$  die Auslastung der Komponente;
- $R_d$  das ermittelte Ergebnis aus Berechnung oder Test;
- $S$  ein konstruktiver Sicherheitsfaktor (siehe 5.3);
- $R_L$  ein zulässiger Wert oder Grenzwert.

ANMERKUNG Die Gleichung wird manchmal ausgedrückt als:

$$\frac{R_L}{R_d} \geq S$$

#### 5.4.2 Streck- bzw. Dehngrenze

Wenn die Festigkeit der Konstruktion ausschließlich durch Berechnung nachgewiesen wird, muss für jeden individuellen Lastfall  $S_1 = 1,15$  sein. Wo die Auslegungslastfälle durch Tests nachgeprüft werden und/oder die Korrelation zwischen Test und Berechnung erfolgreich nachgewiesen worden ist, darf  $S_1$  mit 1,0 angenommen werden.

Nach den in 6.1 bis 6.5 festgelegten statischen Lastfällen muss die Auslastung kleiner oder gleich 1 sein, wie in der folgenden Gleichung angegeben:

$$U = \frac{\sigma_c S_1}{R} \leq 1$$

Dabei ist

- $U$  die Auslastung;
- $S_1$  der Sicherheitsfaktor für Streck- bzw. Dehngrenze;
- $R$  die Werkstoffstreckgrenze ( $R_{eH}$ ) bzw. 0,2 %-Dehngrenze ( $R_{p0.2}$ ), in  $N/mm^2$  (wie in EN 10002-1 definiert) unter Berücksichtigung aller in 5.3.3 beschriebenen relevanten Auswirkungen;
- $\sigma_c$  die berechnete Spannung, in  $N/mm^2$ .

Bei der Bestimmung der Spannungshöhen von duktilen Werkstoffen ist es nicht notwendig, dass vorstehende Kriterien bei Merkmalen, die eine lokale Spannungskonzentration erzeugen, erfüllt werden. Wenn die Berechnung dennoch lokale Spannungskonzentrationen umfasst, so darf die theoretische Spannung die Werkstoffstreck- bzw. 0,2 %-Dehngrenze übersteigen. Diese Bereiche lokaler plastischer Verformung in Verbindung mit Spannungskonzentrationen müssen so klein sein, dass sie keine signifikante bleibende Verformung hervorrufen, wenn die Belastung entfernt wird. Behandlungsmethoden für lokale Spannungskonzentrationen während der Berechnung werden in Anhang A und während Tests in 8.2.2 angegeben.

### 5.4.3 Bruchlast-Versagen

Es ist notwendig, einen Sicherheitsabstand zwischen der außergewöhnlichen Auslegungslast und der Last vorzusehen, bei welcher die Struktur versagt. Dieses wird durch die Einführung eines Sicherheitsfaktors  $S_2$  erreicht, wobei die Auslastung kleiner oder gleich 1 sein muss, wie in folgender Gleichung angegeben ist:

$$U = \frac{\sigma_c S_2}{R_m} \leq 1$$

Dabei ist

- $U$  die Auslastung;
- $S_2$  der Sicherheitsfaktor für Bruchlast-Versagen;
- $R_m$  die Zugfestigkeit des Werkstoffs in N/mm<sup>2</sup> (wie in EN 10002-1 definiert) unter Berücksichtigung aller in 5.3.3 beschriebenen relevanten Auswirkungen;
- $\sigma_c$  die berechnete Spannung in N/mm<sup>2</sup> für einen außergewöhnlichen Lastfall.

In der Regel ist  $S_2 = 1,5$ , aber ein Wert von  $S_2 = 1,3$  kann verwendet werden, wenn die Auslegungslastfälle durch Test nachgeprüft werden und/oder die Korrelation zwischen Test und Berechnung erfolgreich nachgewiesen worden ist. Der Sicherheitsfaktor  $S_2$  kann weiter verringert werden, wenn alternative Lastpfade existieren, die einen Sicherheitsfaktor von  $S_2 = 1,3$  einhalten.

Das Kriterium für Bruchlast-Versagen gilt nicht für Teile, welche derart konstruiert sind, dass die Struktur in kontrollierter Weise versagt (z. B. wie durch die EN 15227 gefordert).

Die in 5.4.2 beschriebene Behandlung von Spannungskonzentrationen findet auch für diesen Fall Anwendung. Für spröde Werkstoffe sollte jedoch die Wirkung von Spannungskonzentrationen dort eingehender berücksichtigt werden, wo plastisches Fließen als Mechanismus für Spannungsumlagerung an der Stelle mit Spannungskonzentration nicht auftritt.

### 5.4.4 Instabilität

Lokale Instabilität in Form von elastischem Beulen ist unter der Voraussetzung zugelassen, dass alternative tragende Elemente vorhanden sind und das Streck- bzw. Dehngrenzenkriterium eingehalten wird.

Die Fahrzeugkonstruktion muss eine Sicherheit gegenüber Instabilität, welche zu einem globalen Versagen unter außergewöhnlichen Belastungen führt, besitzen. Die in folgender Gleichung angegebene Auslastung muss kleiner oder gleich 1 sein, wobei die berechnete Spannung oder Belastung mit der kritischen Knick- oder Beulspannung oder Knicklast verglichen wird:

$$U = \frac{\sigma_c S_3}{\sigma_{cb}} \leq 1 \quad \text{oder} \quad U = \frac{L_c S_3}{L_{cb}} \leq 1$$

Dabei ist

- $U$  die Auslastung;
- $S_3$  der Sicherheitsfaktor für Instabilität;
- $\sigma_{cb}$  die kritische Knick- oder Beulspannung, in N/mm<sup>2</sup>;
- $\sigma_c$  die berechnete Spannung, in N/mm<sup>2</sup>;
- $L_{cb}$  die berechnete Knicklast, in N;
- $L_c$  die berechnete Belastung, in N.

Der Sicherheitsfaktor muss  $S_3 = 1,5$  betragen.

Das Instabilitätskriterium gilt nicht für Teile, welche derart konstruiert sind, dass die Struktur in kontrollierter Weise versagt (z. B. wie durch die EN 15227 gefordert).

## 5.5 Nachweis der Steifigkeit

Steifigkeitsgrenzen stellen sicher, dass der Wagenkasten innerhalb der erforderlichen Begrenzungslinie bleibt und unzulässige dynamische Reaktionen vermieden werden.

Jede besondere Anforderung und die Mittel zum Steifigkeitsnachweis müssen Teil der Spezifikation sein.

**ANMERKUNG** Die erforderliche Steifigkeit kann als maximale Verformung unter einer vorgeschriebenen Belastung oder als Mindesteigenfrequenz festgelegt werden. Die Anforderungen können für den kompletten Wagenkasten, einzelne Komponenten oder Baugruppen gelten.

## 5.6 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

### 5.6.1 Allgemeines

Ein Wagenkasten eines Schienenfahrzeugs erfährt während seiner Betriebslebensdauer eine sehr große Anzahl von dynamischen Belastungen mit wechselnder Größe.

Die Wirkung dieser Belastungen wird am Offensichtlichsten in kritischen Bereichen der Wagenkastenkonstruktion. Beispiele für solche Bereiche sind:

- a) Krafteinleitungsstellen (einschließlich Halterungen für die Ausrüstungsgegenstände);
- b) Bauteilverbindungen (z. B. Schweißnähte, Schraubverbindungen);
- c) Geometrieänderungen, die zu Spannungskonzentrationen führen (z. B. Tür- und Fensterecken).

Diese kritischen Bereiche müssen ermittelt werden. Detaillierte Untersuchungen lokaler Bereiche können notwendig sein.

Die Ermüdungsfestigkeit muss nachgewiesen werden. Eine der folgenden Methoden sollte verwendet werden:

- d) Dauerfestigkeitsnachweis (siehe 5.6.2.1);
- e) Betriebsfestigkeitsnachweis mit Schadensakkumulation (siehe 5.6.2.2).

Beide Methoden können auf vorausberechnete und/oder gemessene Spannungen, die aus Analyse bzw. Prüfung resultieren, angewendet werden. Wann angebracht können andere bewährte Verfahren zur Durchführung einer Lebensdauer-Bemessung im Konstruktions- und Validationsverfahren angewendet werden.

Die Art und Qualität der verfügbaren Daten beeinflusst die Wahl der in 5.6.2 beschriebenen Verfahren.

Sofern die untersuchten dynamischen Lastfälle in der Ermüdungsberechnung bereits Toleranzen für irgendwelche Unsicherheiten beinhalten und sofern die in 7.3 beschriebenen minimalen Werkstoffkennwerte verwendet werden, sind keine weiteren Sicherheitsfaktoren in diesen Berechnungen notwendig.

Testmethoden zum Nachweis des Ermüdungsverhaltens oder zur Überprüfung der Rechenergebnisse werden in 8.3 beschrieben.

## 5.6.2 Bemessungsverfahren

### 5.6.2.1 Dauerfestigkeitsnachweis

Dieser Nachweis kann für alle Bereiche verwendet werden, wo alle dynamischen Spannungszyklen unter der Dauerfestigkeitsgrenze des Materials bleiben. Wo die geltende europäische oder nationale Norm oder eine äquivalente Datenquelle eine Dauerfestigkeit bei weniger oder gleich  $10^7$  Zyklen angibt, ist dieser Festigkeitswert für die in 6.6 bis 6.8 spezifizierte Lasten zu verwenden. Wo keine Dauerfestigkeit definiert oder diese bei mehr als  $10^7$  Zyklen angegeben wird, ist eine Verwendung der Ermüdungsfestigkeit des Materials bei  $10^7$  Zyklen als zulässige Spannung akzeptabel, wenn die in 6.6 bis 6.8 festgelegten Lasten angesetzt werden (weil sich diese Lasten auf diese Anzahl von Zyklen beziehen).

Die erforderliche Ermüdungsfestigkeit ist nachgewiesen, wenn die Spannungen aufgrund aller geeigneter Kombinationen von Ermüdungslastfällen, die in 6.6 bis 6.8 festgelegt sind, oder Messergebnisse entsprechend 8.3 c) unter der Dauerfestigkeitsgrenze bleiben.

### 5.6.2.2 Betriebsfestigkeitsnachweis mit Schadensakkumulation

Dieser Nachweis ist eine Alternative zum Dauerfestigkeitsnachweis. Jeder in 6.6 bis 6.8 definierte Lastfall muss im Hinblick auf Amplitude und Zyklenanzahl durch repräsentative Verläufe dargestellt werden. Gleichzeitig wirkende Belastungskombinationen müssen gebührend berücksichtigt werden. Die Schädigung aufgrund jedes derartigen Falles wird dann wiederum unter Verwendung eines geeigneten Werkstoff-S-N-Diagramms (Wöhlerkurve) bewertet. Die Gesamtschädigung wird in Übereinstimmung mit einer bewährten Schadensakkumulations-Hypothese (wie z. B. Palmgren-Miner) bestimmt.

Belastungsverläufe und -kombinationen dürfen unter der Voraussetzung vereinfacht werden, dass dieses die Gültigkeit der Resultate nicht beeinträchtigt.

Die geforderte Ermüdungsfestigkeit ist nachgewiesen, wenn die Gesamtschädigung in jedem kritischen Konstruktionsdetail aufgrund aller geeigneter Kombinationen von Ermüdungslastfällen unter 1,0 bleibt. Gleichmaßen muss der kumulierte Schaden in solchen Konstruktionsdetails unter 1,0 bleiben, der aus Spannungszyklen bestimmt wird, die während in 8.3 c) definierten Tests gemessen wurden. Dabei ist die Dauer der Messung zu extrapolieren, um das ganze Leben des Fahrzeugs zu repräsentieren.

**ANMERKUNG** Manche Richtlinien/Normen für Auslegung nach Ermüdungsfestigkeit empfehlen, dass eine niedrigere Grenze der kumulierten Schadenssumme verwendet werden sollte ( $< 1,0$ ). Die Verwendung eines niedrigeren Wertes sollte mit der eingesetzten Richtlinie/Norm im Einklang stehen.

## 6 Auslegungslastfälle

### 6.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt legt die Lastfälle fest, die bei der Auslegung von Wagenkästen von Schienenfahrzeugen heranzuziehen sind. Er enthält außergewöhnliche Bedingungen und Ermüdungsbedingungen entsprechend 5.1.

In den zugehörigen Tabellen sind für jeden Lastfall und jede Fahrzeugkategorie Zahlenwerte angegeben. Die in folgenden Tabellen angegebenen Belastungswerte für Güterwagen und die dazugehörige Texterläuterung sind der EN 12663-2 entnommen. Die Werte repräsentieren die Mindestanforderungen. Die zur Bestimmung der Auslegungslastfälle verwendeten Fahrzeugmassen werden in Tabelle 1 definiert.





**Tabelle 1 — Bestimmung der Auslegungsmassen**

Definition	Symbol	Beschreibung
Auslegungsmasse des Wagenkastens, betriebsbereit	$m_1$	Auslegungsmasse des betriebsbereiten Wagenkastens nach EN 15663 ohne Drehgestellmassen
Auslegungsmasse eines Drehgestells oder Fahrwerks	$m_2$	Masse der Ausrüstung unterhalb und einschließlich der Wagenkastenfederung. Die Masse der Koppel-elemente zwischen Wagenkasten und Drehgestell oder Fahrwerk wird zwischen $m_1$ und $m_2$ aufgeteilt
Normale Zuladung im Auslegungsfall	$m_3$	Die Masse der normalen Zuladung im Auslegungsfall wie in EN 15663 spezifiziert
Außergewöhnliche Zuladung	$m_4$	Die Masse der außergewöhnlichen Zuladung wie in EN 15663 spezifiziert
Zuladung im Bergungsfall	$m_5$	Die Masse der normalen Zuladung im Auslegungsfall wie in EN 15663 spezifiziert, abzüglich jeglicher Masse für Fahrgäste und Zugpersonal



ANMERKUNG Für Güterwagen ist die Auslegungsmasse der außergewöhnlichen Zuladung  $m_4$  und die Auslegungsmasse der normalen Zuladung  $m_3$  gleich (siehe EN 15663).

Wo Lastfälle über die Struktur verteilte Belastungen enthalten, müssen sie bei Analysen und Tests so angesetzt werden, dass die Lastapplikation bei den kritischen Strukturmerkmalen die tatsächlichen Lastbedingungen mit einer angemessenen Genauigkeit erzeugt.

Falls es Nachweise gibt, dass andere Auslegungslasten oder Lastfälle zutreffen als jene, die in dieser Europäischen Norm angegeben sind, dann müssen diese den hier angegebenen Werten vorgezogen werden. Falls zum Beispiel höhere Werte zur Erzielung eines sicheren Betriebs für das System für notwendig erachtet werden, ist das festzulegen. Für bestimmte Betriebsbedingungen oder Konstruktionsmerkmale ist ein niedrigerer Wert annehmbar, wenn eine technische Begründung dieses nachweist.

Zusätzlich zu den in Tabelle 2 bis Tabelle 18 festgelegten Lastfällen und allen weiteren in der Spezifikation vorgegebenen Anforderungen oder Abweichungen muss die Konstruktion allen anderen relevanten statischen oder dynamischen Belastungen standhalten (z. B. Motormoment, Bremssystemkräfte).

## 6.2 Längsgerichtete statische Belastungen des Wagenkastens

### 6.2.1 Allgemeines

Die Lasten der Tabelle 2 bis Tabelle 8 müssen in Kombination mit der Last aus der Masse  $m_1$  mit 1 g vertikaler Beschleunigung betrachtet werden.

## 6.2.2 Längskräfte in Puffern und/oder im Kupplungsbereich

**Tabelle 2 — Druckkraft auf Puffer- und/oder Kupplungsbefestigung**

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
2 000	2 000	1 500	800	400	200	2 000 <sup>a</sup>	1 200 <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Druckkraft gilt für Anschläge „c“ der Zugeinrichtung, falls diese Anschläge eingesetzt werden (siehe EN 12663-2). Bei Anwendung auf Seitenpuffer muss für jede Pufferachse der halbe Wert angesetzt werden.							

Güterwagen, die RID-Vorschriften zur Kollisionssicherheit unterliegen, müssen den höchsten in Übereinstimmung mit diesen Anforderungen erzeugten Belastungen widerstehen (siehe EN 12663-2).

**Tabelle 3 — Druckkraft unterhalb Pufferhöhe und/oder Kupplungshöhe**

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
—	—	—	—	—	—	1 500 <sup>a</sup>	900 <sup>a</sup>
<sup>a</sup> 50 mm unterhalb Puffermittenhöhe. Bei Anwendung auf Seitenpuffer muss für jede Pufferachse der halbe Wert angesetzt werden.							

**Tabelle 4 — Diagonale Druckkraft auf die Pufferbefestigung (wenn an einem oder beiden Enden eines einzelnen Fahrzeugs Seitenpuffer befestigt sind)**

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
500 <sup>a</sup>	500 <sup>a</sup>	500 <sup>a</sup>	—	—	—	400	400
<sup>a</sup> Dieser Lastfall gilt nur, wenn die Seitenpuffer im Normalbetrieb im Eingriff sind.							

Tabelle 5 — Zugkraft an der Kupplungsbefestigung

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
1 000 <sup>a</sup>	1 000 <sup>a</sup>	1 000	600 <sup>b</sup>	300 <sup>b</sup>	150 <sup>b</sup>	1 500 <sup>c</sup> 1 000 <sup>d</sup>	1 500 <sup>c</sup> 1 000 <sup>d</sup>
<sup>a</sup> Für gewisse Kupplungsarten kann eine höhere Kraft (z. B. 1 500 kN) notwendig sein. <sup>b</sup> Diese Werte können angepasst werden, sie müssen aber die höchste Kraft abdecken, die im Normalbetrieb oder im Abschleppfall entwickelt werden kann. <sup>c</sup> Zugkraft von 1 500 kN wird für Anschläge „a“ der Zugeinrichtung verwendet, wenn diese eingesetzt werden (siehe EN 12663-2). <sup>d</sup> Zugkraft von 1 000 kN wird für Anschläge „b“ der Zugeinrichtung verwendet, wenn diese eingesetzt werden sowie für andere Arten von Kupplungsanschlüssen (siehe EN 12663-2).							

### 6.2.3 Druckkräfte im Stirnwandbereich

Die in den Tabellen 6, 7 und 8 angegebene Druckkraft muss in Kupplungs- bzw. Pufferhöhe am entgegen gesetzten Ende des Wagenkastens abgestützt werden.

Falls die Struktur im Hinblick auf Kollisionssicherheit nach EN 15227 ausgelegt ist, ist es zulässig, die Lasten auf den Stirnwandbereich des Fahrzeugs entweder vor oder hinter die für den Kollaps bestimmten Bereiche aufzubringen.

Tabelle 6 — Druckkraft 150 mm über der Oberseite des Konstruktionsbodens am Kopfstück

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
400 <sup>a</sup>	400	400	–	–	–	–	–
<sup>a</sup> Nur anwendbar für Endfahrerstände.							

Tabelle 7 — Druckkraft in der Höhe Unterkante der Fensterausschnitte (Fensterbrüstung)

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
300 <sup>a b</sup>	300 <sup>b</sup>	300 <sup>b</sup>	300 <sup>b</sup>	–	–	–	–
<sup>a</sup> Nur anwendbar für Endfahrerstände. <sup>b</sup> Am Fahrerstand muss diese Kraft auf dem Profil unterhalb des Fensterausschnitts verteilt werden.							

Tabelle 8 — Druckkraft in der Höhe des Obergurts

Kraft in kN

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
—	300	300	150	—	—	—	—

### 6.3 Vertikale statische Belastungen des Wagenkastens

#### 6.3.1 Maximales Betriebsgewicht

Das in Tabelle 9 definierte maximale Betriebsgewicht bezieht sich auf die außergewöhnliche Zuladung des Fahrzeugs.

Tabelle 9 — Maximales Betriebsgewicht

Belastung in N

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$1,3 \times g \times m_1$	$1,3 \times g \times (m_1 + m_4)$					$1,3 \times g \times (m_1 + m_3)^a$	
a Wenn die Anwendung eine höhere Prüflast bewirkt, (z. B. aufgrund dynamischer Auswirkungen oder Beladebedingungen) muss ein höherer Wert angesetzt und in der Spezifikation definiert werden.							

#### 6.3.2 Anheben

Die Kräfte in Tabelle 10 und Tabelle 11 repräsentieren die angehobenen Massen. Die Angaben gelten für Schienenfahrzeuge mit zwei Drehgestellen. Dasselbe Prinzip muss für Schienenfahrzeuge mit anderer Konfiguration der Wagenkastenabstützung angewendet werden.

Die anzuhebende Masse basiert auf der Fahrzeugmasse ohne Zuladung (außer bei Güterwagen, die im beladenen Zustand angehoben werden). In einigen betrieblichen Fällen könnte sie die Drehgestelle nicht enthalten. In solchen Fällen muss in den folgenden Tabellen der Wert für  $m_2$  und/oder  $m_3$  auf null gesetzt oder auf einen vorgegebenen Wert verringert werden. Sollte es notwendig sein, Fahrzeuge der Kategorien P-I bis P-V samt Zuladungsmasse anzuheben, muss das Teil der Spezifikation sein.



Tabelle 10 — Anheben an einem Fahrzeugende an den festgelegten Anhebepunkten

Belastung in N

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$1,1 \times g \times (m_1 + m_2)^a$						$1,0 \times g \times (m_1 + m_2 + m_3)$	
a Für Personenfahrzeuge mit Gepäckabteilen oder Gepäckbereichen nach EN 15663 muss die Masse $m_5$ nach Tabelle 1 hinzugefügt werden, das heißt: $1,1 \times g \times (m_1 + m_2 + m_5)$							





ANMERKUNG Das andere Ende des Wagenkastens muss an den Sekundärfederauflagern abgestützt werden, eingespannt in vertikaler Richtung.



**Tabelle 11 — Anheben des ganzen Fahrzeugs an den festgelegten Anhebepunkten**

Belastung in N

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$1,1 \times g \times (m_1 + 2 \times m_2)$						$1,0 \times g \times (m_1 + 2 \times m_2 + m_3)$	

### 6.3.3 Anheben mit versetzten Anhebepunkten

Es ist der Lastfall aus Tabelle 11 zu berücksichtigen, bei dem einer der Anhebepunkte vertikal aus der Ebene der anderen drei Stützpunkte verschoben ist. Die Größe des Versatzes des vierten Anhebepunktes aus der Ebene der anderen drei Anhebepunkte muss bei der Berechnung berücksichtigt werden mit 10 mm oder dem Versatz, der ein Anheben eines der Stellen bewirkt. Falls notwendig, muss ein größerer Versatz in der Spezifikation aufgeführt werden.



### 6.3.4 Aufgleisen und Bergen

Die in EN 16404 angeführten Szenarien fürs Aufgleisen und Bergen erfordern, dass Wagenkasten und Anhebestellen ausreichende Festigkeit aufweisen, um solche Vorgänge sicher durchführen zu können. Dieses Ziel muss durch Erfüllung folgender Anforderungen erreicht werden.

Für Güterwagen liefern die Anforderungen in 6.3.2 und 6.3.3 und die Berücksichtigung der Anforderungen in 5.4 für diese Bergungsszenarien ausreichende Sicherheit.

Für Fahrzeuge der Kategorie L und P-I bis P-V kann ausreichende Festigkeit mit einem der folgenden Verfahren nachgewiesen werden:

Verfahren a)

Für mit Luftfedern ausgerüstete Fahrzeuge ist der Lastfall in Tabelle 10 an einer der beiden Anhebestellen in einem relativen Höhenabstand von 10 mm zueinander zu berücksichtigen. Für mit anderen Federtypen ausgerüstete Fahrzeuge (keine Luftfedern) liefern die Lastfälle in den Tabellen 10 und 11 und die Höhenversatzanforderung nach 6.3.3 (10 mm an den Hebezylindern beim Werkstatt-Anheben des gesamten Fahrzeugs) und die Berücksichtigung von 5.4 bereits eine ausreichende Sicherheit für diese Szenarien.

ANMERKUNG 1 Die Szenarien fürs Aufgleisen und Bergen in EN 16404 schließen die Möglichkeit des Einsinkens der Hebevorrichtung bis zu 100 mm ein. Für Fahrzeuge ohne Luftfederungen ist berücksichtigt, dass nahezu die gesamte resultierende Verwindungslast durch die Fahrzeugfederung aufgenommen wird, aber auf Grund der normalerweise hohen Steifigkeit einer drucklosen Luftfederung während der Bergung ist es notwendig, eine zusätzliche Verwindungslast zu berücksichtigen.

Ein zusätzlicher lokaler Sicherheitsfaktor von 1,5 muss für solche Anhebestellen gelten,

- die überwiegend zugbelastet sind und
- wo es einen einzigen Lastpfad gibt, dessen Versagen katastrophal wäre (z. B. Anbringen von Hebeadaptern nach EN 16404:2014, Anhang D).

Dieser zusätzliche Sicherheitsfaktor muss an den und im Bereich um die Anhebestellen herum angewendet werden, bis in der umgebenden Struktur mehrere Lastpfade vorhanden sind. Der Festigkeitsnachweis kann durch Erhöhung der erforderlichen Sicherheitsfaktoren  $S_1$  für 5.4.2 und  $S_2$  für 5.4.3 durch einen Faktor von 1,5 oder Erhöhung der aufgetragenen Lasten mittels Faktor 1,5 geführt werden.

ANMERKUNG 2 Es wird im Vergleich zu den nominellen Lasten der Anhebestellen eine erhöhte Belastung an den Anhebestellen berücksichtigt, auf Grund der in Tabelle 10 angegebenen Kombination für den dynamischen Faktor von 1,1, der vertikalen Versatzanforderung für die Anhebestellen nach 6.3.3 und 6.3.4 und dem zusätzlichen Sicherheitsfaktor an den Anhebestellen, um ein angemessenes Sicherheitsniveau gegen Versagen beim Aufgleisen und Bergen bereitzustellen.

Für jede Anhebestelle muss dessen höchste Vertikalkraft auf Grund der Lastfälle nach 6.3.2, 6.3.3 und 6.3.4 getrennt bestimmt werden. Für jede Anhebestelle muss nachgewiesen werden, dass die Konstruktion seine separat bestimmte maximale Vertikalkraft in Kombination mit der Querkraft, die 15 % dieser Vertikalkraft ausmacht, abstützen kann. Dieser Nachweis kann durch eine gut untermauerte technische Begründung erfolgen.

Verfahren b)

Als Alternative zum Vorstehenden ist es zulässig, die Bergungsszenarien 1 bis 3 der EN 16404, Abschnitt 6.3, direkt zu bewerten (durch Berechnung oder Versuch); um nachzuweisen, dass diese Szenarien kein Totalversagen des Wagenkastens verursachen und Verformungen der Anhebestellen sich nicht auf die Stabilität der Anhebeeinsätze auswirken.

In diesem Fall ist die Anforderung für die Streckgrenze nach 5.4.2 dieser Norm nicht anzuwenden und für Sicherheit gegen Bruchlast-Versagen nach 5.4.3 und Instabilität nach 5.4.4 dieser Norm werden die folgenden Werte für  $S_2$  und  $S_3$  angewendet:

- für auf Berechnung beruhende Validierung:  $S_2 = S_3 = 1,15$ ;
- für auf Versuche oder auf Berechnungen mit erfolgreicher Korrelation zwischen Versuch und Berechnung beruhende Validierung:  $S_2 = S_3 = 1,0$ .

ANMERKUNG 3 Das Verfahren nach b) ist eine alternative Methode. Diese anzuwenden ist lediglich dann nötig, wenn das Verfahren nach a) nicht angewendet worden ist.



## 6.4 Überlagerung statischer Lastfälle des Wagenkastens

Um eine ausreichende statische Festigkeit nachzuweisen, muss zumindest die in Tabelle 12 angegebene Überlagerung statischer Lastfälle berücksichtigt werden.

Jeder Teil der Struktur muss die Kriterien nach 5.4 unter der ungünstigsten Kombination von Lastfällen, wie sie in 6.2 und Tabelle 12 angegeben sind, erfüllen.

**Tabelle 12 — Überlagerung statischer Lastfälle des Wagenkastens**

Belastung in N

Überlagerungsfälle	Lokomotiven Kategorie L	Personenfahrzeuge Kategorien P-I, P-II, P-III, P-IV, P-V	Güterwagen Kategorie F-I, F-II
Druckkraft und vertikale Last	—	Tabelle 2 und $g \times (m_1 + m_4)$	Tabelle 2 und $g \times (m_1 + m_3)$
			Tabelle 3 und $g \times (m_1 + m_3)$
Zugkraft und vertikale Last	—	Tabelle 5 und $g \times (m_1 + m_4)$	Tabelle 5 und $g \times (m_1 + m_3)$

## 6.5 Statische Nachweis-Lasten an Schnittstellen

### 6.5.1 Nachweis-Lastfälle für die Verbindung von Wagenkasten zu Drehgestell

Die Verbindung von Wagenkasten zu Drehgestell muss den Lasten entsprechend 6.3.1 und 6.3.2 standhalten. Sie muss außerdem gesondert Belastungen in Kombination mit der Belastung aus 1 g vertikaler Beschleunigung für die Fahrzeugmasse  $m_1$  standhalten, die sich ergeben aus:

- der maximalen Beschleunigung des Drehgestells in x-Richtung nach entsprechender Kategorie der Tabelle 13. Im Fall von Drehgestellen mit Motor beträgt die minimale Beschleunigung 3 g für die Kategorie P-I. Im Fall von Fahrzeugen, die unter schweren Bedingungen rangiert werden (z. B. Ablaufberg), müssen höhere Werte in Betracht gezogen werden;
- der Querkraft je Drehgestell entsprechend der in EN 13749 definierten außergewöhnlichen Querkraft, oder 1 g aufgebracht auf die Drehgestell-Masse  $m_2$ , je nachdem welche Kraft größer ist.

### 6.5.2 Nachweis-Lastfälle für die Befestigungen der Ausrüstungsgegenstände

Um die wirkenden Kräfte während des Fahrzeugbetriebs auf die Befestigungen der Ausrüstungsgegenstände zu berechnen, sind die Massen der Komponenten mit den in Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15 festgelegten Beschleunigungen zu multiplizieren. Die Lastfälle müssen einzeln aufgebracht werden.

Als eine zusätzliche Mindestanforderung müssen die sich aus den Beschleunigungen der Tabelle 13, Tabelle 14 und Tabelle 15 ergebenden Belastungen jeweils einzeln in Kombination mit den höchsten Belastungen, welche die Ausrüstung selbst erzeugen kann, betrachtet werden. Die in Tabelle 13 und Tabelle 14 definierten Beschleunigungen müssen in Verbindung mit der Belastung aufgrund der Vertikalbeschleunigung von 1 g betrachtet werden. Die in Tabelle 15 definierte Last beinhaltet das Eigengewicht des Ausrüstungsgegenstandes. Falls die Masse des Ausrüstungsgegenstandes oder die Art der Befestigung Rückwirkungen auf das dynamische Verhalten des Schienenfahrzeugs ausüben, muss die Eignung der angegebenen Beschleunigungswerte untersucht werden.

Tabelle 13 — Beschleunigungen in x-Richtung

Beschleunigung in  $m/s^2$

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$\pm 3 g$	$\pm 5 g$	$\pm 3 g$	$\pm 3 g$	$\pm 2 g$	$\pm 2 g$	$\pm 5 g$	

Tabelle 14 — Beschleunigungen in y-Richtung

Beschleunigung in  $m/s^2$

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$\pm 1 g$							

**Tabelle 15 — Beschleunigungen in z-Richtung**

Beschleunigung in m/s<sup>2</sup>

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$(1 \pm c) \times g^a$							
<sup>a</sup> $c = 2$ am Fahrzeugende, linear fallend auf 0,5 in der Fahrzeugmitte.							

### 6.5.3 Nachweis-Lastfälle für Verbindungen von Gelenkseinheiten

Die Gelenksverbindung muss die höchsten Belastungen zwischen den Wagenkästen aushalten, die von längs, quer und vertikal verlaufenden und anhebenden Anforderungen herrühren. Die Lastfälle sind durch Interpretation der Lastfälle dieses Abschnittes in einer Weise herzuleiten, die der jeweiligen Art der Gelenkverbindung und der Methode der Wagenkastenabstützung entspricht. Anhang B liefert Beispiele für Prüflastfälle.

Um ausreichende statische Festigkeit der Gelenksverbindungen nachzuweisen, müssen als Minimum die Überlagerungen der statischen Lastfälle, wie sie in Tabelle 12 angegeben sind, berücksichtigt werden.

Für jeden dieser Fälle ist die schlechtere der beiden Situationen (Fahrzeuge vor und hinter dem Gelenk) zu analysieren.

Kräfte und Momente, die innerhalb der Schnittstellen-Komponenten bei Maximalausdrehung generiert werden, müssen auf das Drehgelenk und die benachbarte Fahrzeugstruktur aufgebracht werden. Die Rotation muss dem minimalen Krümmungsradius des Gleises entsprechen, der im Betrieb auftritt. Darüber hinaus muss die Rotation, die von Gefälle-Wechseln kommt, berücksichtigt werden.

### 6.5.4 Prüflastfälle für besondere Komponenten an Güterwagen

Die Prüflastfälle zur Auslegung spezieller Komponenten für Güterwagen werden in EN 12663-2 angegeben.

## 6.6 Allgemeine Ermüdungslastfälle des Wagenkastens

### 6.6.1 Lastbereiche

Alle Bereiche zyklischer Belastung, die Ermüdungsschäden verursachen können, müssen ermittelt werden.

Die folgenden spezifischen Belastungen müssen für die Bewertung der Ermüdung der Fahrzeugkonstruktion berücksichtigt werden.

### 6.6.2 Spektrum der Zuladung

Wenn die Zuladung nicht deutlich wechselt, kann für die Kategorien P-I bis P-V, F-I und F-II die normale Zuladung  $m_3$  für die gesamte Betriebszeit angesetzt werden.

Wenn die Zuladung deutlich wechselt, muss die Zuladung und der Anteil der Zeit, in der jedes Niveau der Last auftritt, in der Spezifikation festgelegt und in einer geeigneten Form für Berechnungszwecke zur Verfügung gestellt werden.

Änderungen der Zuladung kommen besonders bei S- und U-Bahnen und manchen Gütereinsätzen in Frage. Dafür kann es nötig sein, mehr als eine Zuladung für die Auslegung (auf  $m_3$  und/oder  $m_4$  basierend) zu spezifizieren, die unterschiedlichen Betriebsperioden entsprechen. Für andere Schienenfahrzeugarten reicht es üblicherweise aus, eine konstante Zuladung über die ganze Betriebsdauer anzunehmen. Zuladungsniveaus sollten als Anteile von  $m_3$  oder  $m_4$  ausgedrückt werden. Änderungen in der Verteilung der Zuladungsmasse müssen, wo notwendig, berücksichtigt werden.



### 6.6.3 Be- und Entladungszyklen

Die Be- und Entladungszyklen sollten bestimmt und in geeigneter Art und Weise für Berechnungszwecke aufbereitet werden. Ermüdungsschäden aufgrund von Be- und Entladungszyklen sind voraussichtlich dann bestimmend, wenn Schienenfahrzeuge ein hohes Verhältnis von Zuladung zu Eigengewicht besitzen und es häufige Zuladungsänderungen gibt.

### 6.6.4 Belastungen aus dem Fahrweg

Induzierte Belastungen, die aus Vertikal-, Quer- und Verwindungsunregelmäßigkeiten des Fahrwegs resultieren, können bestimmt werden aus:

- a) dynamischen Modellen (basierend auf Trassierung und Gleislagefehler);
  - b) gemessenen Daten über zu befahrende oder ähnliche Strecken;
- oder beschrieben werden durch
- c) empirische Daten (Beschleunigungen, Verschiebungen usw.).

Der Charakter der Daten wird differieren, je nachdem ob der Betriebsfestigkeits- oder Dauerfestigkeitsnachweis für den Ermüdungsnachweis eingesetzt wird.

Falls sich eine Zusammenstellung von Ermüdungslastfällen in früheren Anwendungen für eine besondere Fahrzeugart erwiesenermaßen bewährt hat, sollten diese Lastfälle als Startpunkt für eine nachfolgende Konstruktion dienen. Alternative Belastungsfälle sollten nur verwendet werden, wenn es eine klare Berechtigung für die Änderung gibt.

Tabelle 16 und Tabelle 17 beinhalten geeignete empirische vertikale und laterale Beschleunigungswerte für das Dauerfestigkeitsverfahren. Sie sind mit den herkömmlichen europäischen Betriebsbedingungen vereinbar und müssen übernommen werden, falls keine passenderen (wie vorstehend angegebene) Daten verfügbar sind. In einigen Fällen können in der Spezifikation höhere Werte definiert werden und der Effekt aus Verwindungen des Fahrwegs kann ebenfalls zu berücksichtigen sein.

**ANMERKUNG** Im Fall der Fahrzeugklassen P-IV und P-V (insbesondere in Niederflerbauweise mit begrenzter Federung) können die Ermüdungslasten, die auf den Wagenkasten wirken, erheblich von den Werten dieser Europäischen Norm abweichen. Es wird empfohlen, dass die Beschleunigungswerte und die Schnittstellenkräfte zwischen Wagenkasten und Drehgestell aus Mehrkörpersimulationen, bisherigen Erfahrungen oder Messungen für die zu erwartenden Betriebsbedingungen abgeleitet werden. Eine Verifikation der Lastannahme für die Ermüdungsbeanspruchungen mittels Betriebsprüfungen auf der Strecke nach 9.2.3.4 oder 9.3.3.4 wird für solche Fälle empfohlen.

Die äquivalente dynamische Belastung in einer Betriebsfestigkeitsrechnung kann durch die Verwendung der Beschleunigungsniveaus in den Tabellen 16 und 17 und die Annahme, dass sie  $10^7$ -mal auftreten, entsprechend dargestellt werden.

**Tabelle 16 — Beschleunigung in y-Richtung**

Beschleunigung in  $\text{m/s}^2$

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$\pm 0,2\text{ g}$	$\pm 0,15\text{ g}$					$\pm 0,2\text{ g}$ $\pm 0,4\text{ g}^a$	
<sup>a</sup> Gilt für Befestigungen der Ausrüstungsgegenstände, kann aber für ein Drehgestellfahrzeug sowie 2-Achswagen mit verbesserten Federungen verringert werden.							

**Tabelle 17 — Beschleunigung in z-Richtung**

Beschleunigung in m/s<sup>2</sup>

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$(1 \pm 0,25) \times g$	$(1 \pm 0,15) \times g$			$(1 \pm 0,15) \times g^a$		$(1 \pm 0,3) \times g^b$	
<div><div><sup>a</sup></div><div><math>(1 \pm 0,18) \times g</math> für Betrieb auf Rillenschienen.</div></div> <div><div><sup>b</sup></div><div>Für Güterfahrzeug mit 2-stufiger Federung <math>(1 \pm 0,25) \times g</math>. Falls die Anwendung einen höheren dynamischen Lastfaktor produziert (z. B. aufgrund dynamischer Auswirkungen oder Beladebedingungen) muss ein höherer Wert angesetzt und in der Spezifikation definiert werden.</div></div>							

### 6.6.5 Aerodynamische Belastung

Besondere aerodynamische Belastungen können unter folgenden Umständen entstehen:

- a) Zugbegegnungen bei hoher Geschwindigkeit;
- b) Tunnelfahrten;
- c) starker Seitenwindeinfluss.

Die Bedeutung solcher Belastungen ist zu beachten und wenn nötig muss eine geeignete Darstellung der Effekte für Berechnungszwecke entwickelt werden.

### 6.6.6 Traktion und Bremsen

Im Allgemeinen muss die Anzahl und Größe der Lastwechsel aufgrund von Anfahrten und Bremsungen in der Spezifikation festgelegt werden. Außerplanmäßige Stopps müssen in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Wenn keine spezifischen Daten zur Verfügung stehen, müssen die Beschleunigungsniveaus in Tabelle 18 mit  $10^7$  Zyklen verwendet werden.

Bei mit magnetischen Schienenbremsen ausgestatteten Fahrzeugen müssen die maximalen Verzögerungswerte, die im Fall einer Notbremsung zum Einsatz kommen, als Nachweis-Lastfall betrachtet werden.

Das Vorhandensein von Längsbeschleunigungen aufgrund dynamischer Fahrzeugwechselwirkungen muss bewertet und deren Wirkungen eingearbeitet werden, falls hierdurch signifikante Belastungen erzeugt werden.

**Tabelle 18 — Beschleunigung in x-Richtung**

Beschleunigung in m/s<sup>2</sup>

Lokomotiven	Personenfahrzeuge					Güterwagen	
Kategorie L	Kategorie P-I	Kategorie P-II	Kategorie P-III	Kategorie P-IV	Kategorie P-V	Kategorie F-I	Kategorie F-II
$\pm 0,15\ g$	$\pm 0,15\ g$			$\pm 0,15\ g^a$	$\pm 0,2\ g$	$\pm 0,3\ g^b$	
a Wenn Fahrzeuge im Straßenverkehr betrieben werden, müssen sie für $\pm 0,2\ g$ ausgelegt werden.							
b Nur gültig für Befestigungen der Ausrüstungsgegenstände.							

## 6.7 Ermüdungslasten an Schnittstellen

### 6.7.1 Allgemeine Anforderungen

Es ist sicherzustellen, dass alle maßgeblichen Belastungen in einer aussagefähigen Art und Weise, einschließlich der zugehörigen Zyklenanzahl, berücksichtigt werden. Die folgenden Abschnitte legen die wichtigsten Schnittstellenbelastungen fest.

### 6.7.2 Verbindung von Wagenkasten zu Drehgestell

Die Hauptermüdungslasten entstehen aus Traktion und Bremsung sowie aus den dynamischen Fahrzeugwechselwirkungen. Die Belastungen müssen unter Anwendung der Verfahren aus 6.6.4 und der Funktionscharakteristik der Fahrwerkskomponenten (z. B. Dämpfer, Wankstabilisator usw.) bestimmt werden.

### 6.7.3 Befestigung der Ausrüstungsgegenstände

Die Befestigung der Ausrüstungsgegenstände muss den Belastungen, verursacht durch die Beschleunigungen aufgrund der Fahrzeugdynamik plus jeglicher zusätzlichen Belastung aus dem Betrieb des Ausrüstungsgegenstands selber, standhalten. Die Beschleunigungswerte dürfen wie in 6.6.4 beschrieben bestimmt werden. Für normale europäische Betriebsbedingungen sind empirische Beschleunigungswerte für Ausrüstungsteile, die der Bewegung des Wagenkastens folgen, in den Tabellen 16, 17 und 18 angegeben. Die Zahl der Lastzyklen muss jeweils  $10^7$  sein.

### 6.7.4 Kupplungen

Zyklische Belastungen bei der Kupplungsbefestigung, die aus spezifizierten Betriebsanforderungen resultieren, müssen bewertet werden, wenn Ermüdungsschäden auftreten können.

### 6.7.5 Ermüdungslastfälle für Verbindungen von Gelenkseinheiten

Um ausreichende Ermüdungsfestigkeit von Gelenkverbindungen zwischen Wagenkästen nachzuweisen, müssen zumindest alle in 6.6 und 6.8 angegebenen Ermüdungslastfälle für die Wagenkastenstruktur berücksichtigt werden.

Zusätzlich zu den oben definierten Lasten müssen die Kräfte und Momente, die innerhalb der Schnittstellenkomponenten bei Ausdrehungen zwischen den benachbarten Fahrzeugen generiert werden, aufgebracht werden.

**ANMERKUNG** Im Fall der Durchführung einer Schadensakkumulation für die typischen Betriebsbedingungen kann das Bewegungsspektrum aus Messungen, die an ähnlichen Fahrzeugen und Strecken gemacht wurden, dynamischen Simulationen oder Bewertungen anderer relevanter Daten erhalten werden.

## 6.8 Kombination von Ermüdungslastfällen

Die maßgeblichen Kombinationen der Ermüdungslastfälle sind zu ermitteln und es ist sicherzustellen, dass in diesen Fällen die Auslegungskriterien erreicht werden. In einigen Anwendungen kann es notwendig sein, Gesamtbelastungen aufgrund von Traktions- und Bremszyklen (siehe 6.6.6) und andere Belastungen aufgrund von Längsbeschleunigungen (x-Richtung) mit solchen, die in vertikaler (z-Richtung) und lateraler Richtung (y-Richtung) wirken, einzuschließen.

Ein Dauerfestigkeitsnachweis muss Lastfälle enthalten, die realistische Kombinationen individueller Belastungen nach 6.6 und 6.7 darstellen. Die Größe der individuellen Belastungen kann gegenüber den angegebenen Größen der Tabellen 16 bis 18 reduziert werden, wenn die Lastfälle in Kombinationen berücksichtigt werden.

**ANMERKUNG** Methoden zur Bestimmung von geeigneten Lastkombinationen sind eventuell auch in nationalen oder Industrienormen angegeben (Beispielsweise [4] für U-Bahnen und Straßenbahnen (Kategorien P-IV und P-V)).

## 6.9 Schwingungsmoden

### 6.9.1 Wagenkasten

Die Eigenschwingungsmoden des vollständig ausgerüsteten Wagenkastens in betriebsbereitem Zustand (siehe Tabelle 1) sollten ausreichend von den Fahrwerksfrequenzen getrennt oder entkoppelt werden, um das Auftreten unerwünschter Strukturantworten zu vermeiden und akzeptablen Fahrkomfort zu erreichen.

### 6.9.2 Ausrüstung

Die Grundmoden der Schwingung von Ausrüstungsgegenständen, die auf ihren Befestigungen lagern, sollten während aller Betriebsbedingungen ausreichend von den Eigenfrequenzen der Wagenkastenstruktur und des Fahrwerks getrennt oder entkoppelt werden, um unerwünschte Strukturantworten zu vermeiden.

## 7 Zulässige Werkstoffspannungen

### 7.1 Interpretation von Spannungen

Die Bestimmung von Spannungen für den Vergleich mit Auslegungsstandards muss mit den Daten, die in europäischen oder nationalen Materialstandards zu finden sind, konsistent sein. Gebührende Beachtung ist der Art zu widmen, in welcher Spannungen, die mit Finite-Elemente-Methoden oder Dehnungsmessungen bestimmt werden, ausgewertet werden (z. B. Nenn- oder geometrische „Hot-Spot“-Spannungen).

### 7.2 Statische Festigkeit

Die begrenzenden statischen Werkstoffkennwerte müssen den minimalen Dehngrenzen/Streckgrenzen und Zugfestigkeiten der Werkstoff-Spezifikationen entsprechen. Die verwendeten Werte sollten den entsprechenden europäischen, internationalen oder nationalen Normen entnommen werden. Sind solche Normen nicht vorhanden, müssen die am besten geeigneten alternativen Datenquellen verwendet werden.

### 7.3 Ermüdungsfestigkeit

Falls verfügbar, müssen die Daten über das Festigkeitsverhalten der Werkstoffe unter Ermüdungsbelastung auf aktuellen europäischen, internationalen oder nationalen Normen oder alternativen Quellen mit äquivalenter Geltung beruhen. Es ist nach abgesicherten Werkstoffdaten zu suchen. Falls nicht verfügbar, sind solche Daten durch geeignete Versuche zu ermitteln.

Die Ermüdungsfestigkeit muss durch Verwendung von S-N-Kurven (Wöhler-Linien) ermittelt werden in Übereinstimmung mit Folgendem:

- eine Überlebenswahrscheinlichkeit von mindestens 97,5 %;
- Klassifizierung von Details unter Berücksichtigung der Geometrie des Bauteils oder der Verbindung (einschließlich Spannungskonzentration);
- Interpretation der Grenzwerte, die an kleinen Proben gewonnen wurden, durch den Einsatz von Prüf-Techniken und Erfahrung, um die Übertragbarkeit auf reale Bauteile sicherzustellen.

Die Herstellungs- und Qualitätssicherungsverfahren müssen Produktqualitäten hervorbringen, die den Konstruktionsdaten entsprechen.

## 8 Anforderungen an Tests zum experimentellen Festigkeitsnachweis

### 8.1 Ziele

Es müssen Tests durchgeführt werden, wie es die Spezifikation erfordert, um einen Nachweis der Festigkeit und Stabilität gemäß Anforderungen in 5.1 zu führen. Es ist nicht notwendig, Tests durchzuführen, wenn geeignete Nachweisdaten aus früheren Tests an einer ähnlichen Struktur zur Verfügung stehen und aufgezeigt werden kann, dass diese noch anwendbar sind oder die Korrelation zwischen Test und Berechnung erfolgreich nachgewiesen worden ist.

Die spezifischen Ziele der Tests sind:

- die Festigkeit der Konstruktion nachzuweisen, wenn diese maximaler Belastung ausgesetzt ist;
- nachzuweisen, dass nach Entfernung der maximalen Belastung keine signifikante bleibende Verformung vorhanden ist;
- die Festigkeit der Konstruktion unter solchen Belastungen zu bestimmen, die Betriebslastfällen entsprechen;
- die Steifigkeit der Konstruktion zu bestimmen.

Soweit erforderlich müssen die Versuche umfassen:

- statische Simulation ausgewählter Auslegungs-Lastfälle;
- Messung von Dehnungen/Spannungen mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen oder sonstigen geeigneten Verfahren;
- Messung der strukturellen Verformung unter Belastung.

### 8.2 Statische Lastfälle

#### 8.2.1 Aufgebrachte Lasten

Für eine Neukonstruktion eines Fahrzeugs müssen zumindest die folgenden Tests durchgeführt werden, um zu prüfen, dass keine bleibende Verformung des Wagenkastens oder einzelner Bauelemente bezüglich der folgenden Nachweislastfälle entsteht:

- a) Druckbelastungen nach Tabelle 2;
- b) Zugbelastungen nach Tabelle 5;
- c) vertikale Belastungen nach Tabelle 9;
- d) Anhebe-Belastungen nach den Tabellen 10 und 11;
- e) die ungünstigste Kombination der nach Tabelle 12 bestimmten Belastungsfälle.

Es ist gestattet, diese Lastfälle durch Kombination der Ergebnisse geeigneter individueller Fälle zu verifizieren.

Jede Forderung nach weiteren Tests muss Teil der Spezifikation sein.

Für die anderen Lastfälle kann die Validierung durch Analyse oder Test oder durch eine Kombination von beiden durchgeführt werden.

### 8.2.2 Testablauf

Anforderungen an die statischen Tests:

- die Tests sind in einem Versuchsstand durchzuführen, der ein Aufbringen der Prüfkraft an den Punkten erlaubt, an denen sie während des Betriebs auftreten;
- der Wagenkasten ist an allen hoch beanspruchten Punkten mit Dehnmesseinrichtungen zu versehen, insbesondere in Bereichen von Spannungskonzentrationen;
- die Positionierung der Dehnmessstreifen muss mit der Methode der Spannungsbewertung (z. B. Nennspannung oder „Hot-Spot“-Spannung) konsistent sein.

Folgendes muss in Vorversuchen und während der eigentlichen Tests gemessen werden:

- die Dehnungen an kritischen Punkten, wie zum Beispiel Längsträger, Obergurt, Ecken der Einstiegstüren- und Fensterausschnitte;
- die Durchbiegung zwischen den Auflagestellen;
- jede mögliche bleibende Durchbiegung;
- jede mögliche bleibende Dehnung.

Es wird empfohlen, den Wagenkasten vorzubelasten, um die gesamte Struktur zu stabilisieren, so dass die maximale Kraft mindestens zweimal schrittweise aufgebracht wird und die Messgeräteausrüstung ist vor der Endprüfung auf null zurückzusetzen. Die Ergebnisse des letzten Versuchs sind für die Validierung zu berücksichtigen.

Das Spannungsdehnungsverhalten im Messpunkt muss lineares Verhalten zeigen. Dazu müssen die gemessenen Restdehnungen  $\varepsilon_{\text{res}}$  nach der Entlastung folgende Kriterien erfüllen:

$$\varepsilon_{\text{res}} \leq 0,05 \cdot \frac{R}{E}$$

Dabei ist

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| $\varepsilon_{\text{res}}$ | die Restdehnung;   |
| $R$                        | die Werkstoffstreckgrenze ( $R_{\text{eH}}$ ) bzw. 0,2 %-Dehngrenze ( $R_{\text{p0.2}}$ ), in N/mm <sup>2</sup> (wie in EN 10002-1 definiert) unter Berücksichtigung aller in 5.3.3 beschriebenen relevanten Auswirkungen; |
| $E$                        | der Elastizitätsmodul.   |

In Bereichen örtlicher Spannungskonzentrationen darf die von der höchsten gemessenen Dehnung stammende Spannung größer als  $R$  sein, falls das Verhalten linear bleibt.

In einigen Fällen ist es unpraktisch, die komplette Auslegungslast aufzubringen. Dann werden Korrekturen für die Testergebnisse gebraucht, um die wahren Werte anzugeben. Das muss durch Multiplizierung der Testwerte mit dem Verhältnis zwischen Lastwert des Auslegungsfalles und dem tatsächlich aufgebrachtem Lastwert oder einem äquivalenten Prozess erreicht werden.

Im vorstehenden Fall und in Fällen, wo die Testergebnisse aus Kombinationen einzelner Testlastfälle herühren, müssen die Einhaltung des Streckgrenzen- und der Instabilitätskriterien nachgewiesen werden.

### 8.3 Tests unter Betriebs- oder Ermüdungsbeanspruchung

Ermüdungsprüfungen sollten am Wagenkasten oder an Strukturteilen, die dynamischen Belastungen ausgesetzt sind, durchgeführt werden, falls die Berechnung kritische Unsicherheiten beinhaltet oder für dieses Detail keine Daten über die strukturelle Leistungsfähigkeit existieren. Die folgenden Prüfarten können verwendet werden:

- a) Labor-Ermüdungsprüfungen, in denen geeignete Belastungsverläufe für die gesamte Lebensdauer auf den Wagenkasten, den kritischen Komponenten oder Details aufgebracht werden. Die dazugehörige Belastungshistorie muss Lastfaktoren einfügen und/oder zu vermehrten Belastungszyklen erweitert werden, um statistische Abweichungen zur mittleren Ermüdungsfestigkeit sowie Einflüsse der getesteten Probenanzahl und der Abnahme-/Durchfallkriterien zu berücksichtigen. Es dürfen keine Risse auftreten, welche die Sicherheit der Konstruktion nachteilig beeinflussen würden;
- b) Dehnungsmessungen mit nachfolgender Ermüdungsbewertung unter Verwendung der Daten aus den Nachweistests oder anderen statischen Tests;
- c) Ermüdungsbewertung aus Dehnungsmessungen auf der Strecke, die unter repräsentativen Betriebsbedingungen durchgeführt werden.

Bewertungen nach b) und c) müssen Anforderungen nach 5.6 erfüllen.

### 8.4 Auflaufversuche

Diese Versuche dienen zum Nachweis der vollen Betriebsfähigkeit für Schienenfahrzeuge bei normalen Rangierstößen. Die Versuche sind optional und müssen bei Bedarf in der Spezifikation enthalten sein.

## 9 Abnahmeprogramm

### 9.1 Ziel

Das Ziel des Abnahmeprogramms ist es nachzuweisen, dass die Konstruktion der Wagenkastenstruktur den, im Einklang mit den Betriebsanforderungen stehenden, maximalen Lasten standhält, und die geforderte Lebensdauer unter normalen Betriebsbedingungen mit einer angemessenen Überlebenswahrscheinlichkeit erreicht. Durch Berechnung oder Test oder eine Kombination von beiden ist nachzuweisen, dass unter den vorgeschriebenen Lastfällen weder signifikante bleibende Verformung noch Bruch der gesamten Konstruktion oder einzelner Teile auftreten wird. Der Inhalt des Abnahmeprogramms hängt vom Neuheitsgrad der Konstruktion und von Änderungen ihrer Anwendung ab. Tabelle 19 fasst das Abnahmeprogramm, wie nachstehend beschrieben, zusammen.

**Tabelle 19 — Zusammenfassung des Abnahmeprogramms**

	<b>Vollständige Strukturanalyse</b>	<b>Lokale oder globale vergleichende Strukturanalyse</b>	<b>Statische Tests</b>	<b>Ermüdungsprüfungen und/oder Prüfungen auf der Strecke</b>
<b>Neukonstruktion</b>	ja	nicht zutreffend	ja	nur erforderlich, wenn andere Methoden keine ausreichende Sicherheit zeigen
<b>Weiterentwickelte Konstruktion und/oder neue Anwendung</b>	nein	ja	nein oder reduziertes Test- Programm	nur erforderlich, wenn andere Methoden keine ausreichende Sicherheit zeigen
<b>Identische Konstruktion und neue Anwendung</b>				
<b>Weiterentwickelte Konstruktion, ähnliche Anwendung</b>	nein	ja	nein oder reduziertes Test- Programm	nein
ANMERKUNG Eine Neukonstruktion ist ein Produkt (Fahrzeug oder Teilkomponente), das neu erzeugt ist und keine direkte Verbindung mit irgendeinem bestehenden ähnlichen Produkt hat. Eine weiterentwickelte Konstruktion ist ein Produkt, das auf ein bestehendes ähnliches Produkt basiert und direkte Verbindung mit diesem bestehenden Produkt hat.				

## 9.2 Abnahmeprogramm für Neukonstruktion von Wagenkastenstrukturen

### 9.2.1 Allgemeines

Zwei große Schritte sind maßgebend, um die strukturelle Gebrauchstauglichkeit einer neu konstruierten Wagenkastenstruktur nachzuweisen:

- a) Strukturanalysen;
- b) Tests.

### 9.2.2 Strukturanalysen

Numerische Methoden, so wie Finite-Elemente-Berechnungen, müssen angewendet werden und können, soweit notwendig, durch händische Berechnungen ergänzt werden. Die durchgeführten Berechnungen müssen auf den Lastfällen beruhen, die in dieser Europäischen Norm verlangt werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Festigkeitsberechnungen darf das Schienenfahrzeug für statische Prüfungen, Ermüdungsprüfungen oder Prüfungen auf der Strecke freigegeben werden. Es ist akzeptabel, dass die Ergebnisse der Strukturanalysen für Bereiche der Struktur nicht die Anforderungen dieser Europäischen Norm erfüllen, wenn durch die nachfolgenden Prüfungen gezeigt wird, dass die Anforderungen dieser Europäischen Norm unter repräsentativen Betriebsbedingungen in diesen Bereichen erfüllt werden.



### 9.2.3 Prüfung

#### 9.2.3.1 Allgemeines

Prüfungen müssen für alle neu konstruierten Wagenkastenstrukturen durchgeführt werden, wie in 8.1 definiert.

#### 9.2.3.2 Statische Prüfung

Die charakteristischen Wagenkastenstrukturen des Schienenfahrzeugs müssen unter den quasi-statischen Lastfällen, die in dieser Europäischen Norm definiert sind (siehe 8.2.1), geprüft werden. Dehnungsmessstreifen müssen an signifikanten Stellen der Struktur und in allen nach den Ergebnissen der Strukturberechnungen kritischen Bereichen angebracht werden. Die Prüfergebnisse für die Nachweislastfälle müssen die Anforderungen dieser Europäischen Norm erfüllen.

#### 9.2.3.3 Ermüdungsprüfungen

Es gehört nicht zur normalen Praxis, dynamische Labor-Ermüdungsprüfungen an kompletten Wagenkastenstrukturen durchzuführen, aber unter gewissen Umständen kann dieses geeignet sein. Ermüdungsprüfungen können an speziellen Strukturdetails ausgeführt werden, um Übereinstimmung mit den Anforderungen dieser Europäischen Norm aufzuzeigen.

#### 9.2.3.4 Prüfungen auf der Strecke

Um die Ermüdungsfestigkeit zu bewerten, können Betriebsprüfungen auf der Strecke verwendet werden, um die Betriebsspannungen direkt zu messen und die Gebrauchstauglichkeit zu überprüfen, wenn Berechnung und statische Prüfungen die Übereinstimmung mit dieser Europäischen Norm nicht gezeigt haben oder es eine Unsicherheit in verwendeten dynamischen Eingaben gibt. Dehnungsmessstreifen müssen an signifikanten Stellen der Struktur des voll ausgerüsteten Schienenfahrzeugs (mit normaler Zuladung  $m_3$ ) angebracht werden, um die Strukturantwort für repräsentative Betriebsbedingungen zu erhalten. Diese Positionen müssen alle kritischen Bereiche entsprechend der Strukturberechnungen und/oder statischen Prüfungen abdecken.

Auf diesen Messungen aufbauend muss eine Bewertung der Ermüdungsfestigkeit an den signifikanten Messstellen und kritischen Bereichen entsprechend 5.6 als letzter Schritt des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit durchgeführt werden.

### 9.3 Abnahmeprogramm für weiterentwickelte Konstruktion von Wagenkastenstrukturen

#### 9.3.1 Allgemeines

Wenn eine neue Wagenkastenstruktur aus einer bewährten Konstruktion entwickelt wird, gilt das gleiche allgemeine Verfahren, aber mit den nachstehend angegebenen Modifikationen.

#### 9.3.2 Strukturanalysen

Wo ein Wagenkasten eine Entwicklung aus einer früheren Konstruktion ist, für die die Sicherheit nachgewiesen worden ist und ähnliche Betriebsbedingungen zutreffen, können frühere Daten verwendet werden, unterstützt durch vergleichenden Nachweis. Bereiche mit signifikanten Änderungen müssen neu analysiert werden. Wenn der globale Lastpfad gleich bleibt und die Spannungen unter den zulässigen Grenzen bleiben, ist es ausreichend, die Zulässigkeit der Änderungen nur durch Analyse nachzuweisen.

Es ist akzeptabel, dass die Ergebnisse der Strukturanalyse für einige Bereiche der Struktur die Anforderungen dieser Europäischen Norm nicht erfüllen, wenn durch Prüfungen gezeigt wird, dass in diesen Bereichen unter repräsentativen Betriebsbedingungen ausreichende Sicherheit gegeben ist.

### **9.3.3 Prüfung**

#### **9.3.3.1 Allgemeines**

Prüfungen müssen durchgeführt werden, wenn es nicht möglich war, die Konstruktion nach den Angaben von 9.3.2 zu validieren.

#### **9.3.3.2 Statische Prüfung**

Ein statisches Prüfprogramm, welches die Bereiche der Strukturänderungen und die dazugehörigen Lasten berücksichtigt, muss durchgeführt werden.

#### **9.3.3.3 Ermüdungsprüfungen**

Ermüdungsprüfungen können wie in 9.2.3.3 angegeben ausgeführt werden.

#### **9.3.3.4 Prüfungen auf der Strecke**

Wenn die Analyse oder statische Prüfung keine Übereinstimmung mit dieser Norm zeigen konnten, und wenn der Einsatz auf einem neuen Fahrweg signifikant unterschiedliche Lastverhältnisse mit sich bringt, können Betriebsprüfungen auf der Strecke genutzt werden, um die Spannungen im Betrieb zu messen und die Gebrauchstauglichkeit zu überprüfen. Die Anzahl der Dehnungsmessstreifen darf gegenüber den Messungen an der Originalkonstruktion reduziert werden.

Auf diesen Messungen aufbauend muss eine Bewertung der Ermüdungsfestigkeit an den signifikanten Messstellen und kritischen Bereichen entsprechend 5.6 als letzter Schritt des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit durchgeführt werden.

## Anhang A (informativ)

### Behandlung lokaler Spannungskonzentrationen bei Berechnungen

Die Zulässigkeit kann auf einer der folgenden Methoden basieren:

#### a) Linear-elastische Berechnung

Für duktile Werkstoffe zeigt eine linear-elastische Rechnung, dass das folgende Kriterium für die Spannungsschwingbreite jeder lokalen Spannungskonzentration erfüllt ist:

$$|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}| \leq 2 \cdot \frac{R}{S_1}$$

Dabei ist

$\sigma_{\max}$  die maximale berechnete Spannung aller statischen Belastungsfälle;

$\sigma_{\min}$  die minimale berechnete Spannung aller statischen Belastungsfälle;

$\sigma_{\max}$  und  $\sigma_{\min}$  sind in gleicher Richtung orientiert;

$R$  die Werkstoffstreckgrenze ( $R_{eH}$ ) bzw. 0,2 %-Dehngrenze ( $R_{p02}$ ), in N/mm<sup>2</sup> (wie in EN 10002-1 definiert) unter Berücksichtigung aller in 5.3.3 beschriebenen relevanten Auswirkungen;

$S_1$  der Sicherheitsfaktor, wie in 5.4.2 definiert.

Für spröde Werkstoffe muss die maximale lokale Spannung  $\sigma_{c,loc}$  das folgende auf dem Gesetz von Neuber begründete Kriterium erfüllen:

$$\sigma_{c,loc} \leq \frac{(R \cdot E \cdot \varepsilon_{end})^{1/2}}{S_1}$$

Dabei ist

$R$  die Werkstoffstreckgrenze ( $R_{eH}$ ) bzw. 0,2 %-Dehngrenze ( $R_{p02}$ ), in N/mm<sup>2</sup> (wie in EN 10002-1 definiert) unter Berücksichtigung aller in 5.3.3 beschriebenen relevanten Auswirkungen;

$E$  der Elastizitätsmodul;

$\varepsilon_{end}$  die ertragbare Gesamtdehnung;

$S_1$  der Sicherheitsfaktor, wie in 5.4.2 definiert.

Die ertragbare Gesamtdehnung  $\varepsilon_{end}$  hängt von der Bruchdehnung  $A$  (wie in EN 10002-1 definiert) ab und wird folgendermaßen bestimmt:

$$\varepsilon_{end} = 0,667 \cdot A - 0,033 \quad \text{für} \quad A < 12,5 \, \%$$

$$\varepsilon_{end} = 0,05 \quad \text{für} \quad A \geq 12,5 \, \%$$

#### b) Nichtlineare elastisch-plastische Berechnung

Eine nichtlineare elastisch-plastische Berechnung, die die aufeinanderfolgende Anwendung der zwei für die lokale Spannungskonzentration maßgeblichen außergewöhnlichen durch einen Sicherheitsfaktor  $S_1$  erhöhten statischen Lastfälle darstellt, zeigt: Es entsteht keine wechselnde plastische Verformung und die Restdehnungen liegen nicht über den in 8.2.2 angegebenen Werten.

## Anhang B (informativ)

### Beispiele für Prüfbelastungsfälle bei Gelenksverbindungen

Wenn den Anforderungen aus 6.5.3 entsprochen wird, sind die folgenden Belastungsfälle Beispiele, die für eine einfache Drehgelenksverbindung geeignet sein dürften:

- a) Die Längsbelastung  $F_x$ , die folgendermaßen bestimmt wird:

$$F_x = a_x (m_1 + n m_2)$$

Dabei ist

$a_x$  die Beschleunigung in x-Richtung nach Tabelle 13;

$m_1$  die Auslegungsmasse des betriebsbereiten Wagenkastens des betrachteten Fahrzeugs;

$n$  die Anzahl der mit dem Wagenkasten  $m_1$  verbundenen Drehgestelle;

$m_2$  die Auslegungsmasse des mit dem Wagenkasten  $m_1$  verbundenen Drehgestells oder Fahrwerks.

- b) Die Querbelastung  $F_y$ , die folgendermaßen bestimmt wird:

$$F_y = a_y p^2 m_1 + \frac{\dot{\omega} J_{zz}}{l}$$

Dabei ist

$a_y$  die außergewöhnliche Querbeschleunigung auf die Gelenkverbindung wirkend, typischerweise angenommen mit 1 g;

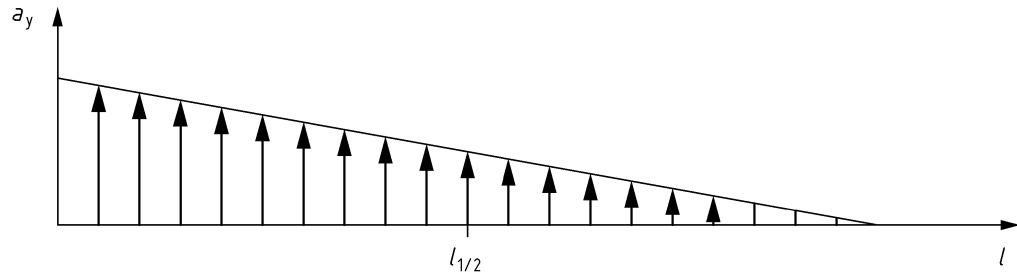
$p$  der Anteil der Masse  $m_1$  welche tatsächlich an der Gelenksverbindung unterstützt wird;

$m_1$  die Auslegungsmasse des betriebsbereiten Wagenkastens des betrachteten Fahrzeugs;

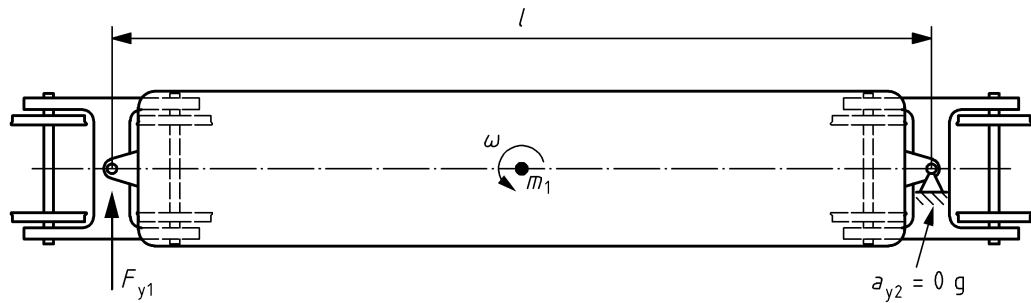
$\dot{\omega}$  die Winkelbeschleunigung, die mit der Annahme berechnet werden sollte, dass die Querschleunigung am Gelenk  $a_y$  ist und 0 g an der nächsten Querunterstützung (Drehgestell oder Gelenksverbindung) in der Entfernung  $l$  beträgt (siehe Bild B.1);

$J_{zz}$  die Massenträgheit um die z-Achse (Massenträgheit der Gierbewegung);

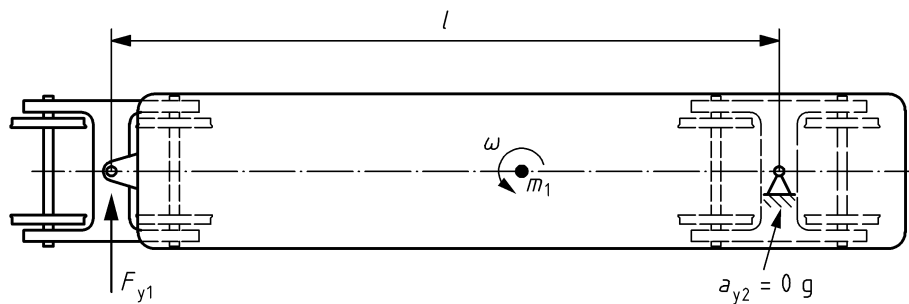
$l$  der Abstand von der Gelenksverbindung zur nächsten seitlichen Unterstützung (Drehgestell oder Gelenksverbindung).



a) Beispiel 1: Konstruktion mit zwei Gelenksverbindungen



b) Beispiel 2: Konstruktion mit Gelenksverbindung und Drehgestell



c) Beispiel 3

### Legende

- $a_y$  Längsbeschleunigung
- $F_y$  Querkraft
- $l$  Abstand zwischen Gelenksverbindungen
- $\omega$  Rotationsgeschwindigkeit
- $m_1$  betroffene Masse

### Bild B.1 — Bestimmung der Querbelastung

- c) Die vertikale Belastung  $F_z$ , die folgendermaßen bestimmt wird:

$$F_z = 1,3 g (m_1 + m_4)$$

Dabei ist

- $m_1$  die Auslegungsmasse des betriebsbereiten Wagenkastens des betrachteten Fahrzeugs;
- $m_4$  die Auslegungsmasse bei außergewöhnlicher Zuladung.

Der schlechteste Fall kann sein, wenn der zweite angelenkte Wagenkasten als leer angenommen wird.

- d) Die vertikale Anhebebelastung: Falls es erforderlich wird, den Wagen mit Drehgestellen und dem dazugehörigen Anteil des angrenzenden Wagenkastens nach 6.3.2 anzuheben.

## Anhang ZA (informativ)

### Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 2008/57/EG

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen eines Mandates, das dem CEN/CENELEC/ETSI von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde, erarbeitet, um ein Mittel zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2008/57/EG<sup>1)</sup> bereitzustellen.

Sobald diese Norm im Amtsblatt der Europäischen Union im Rahmen der betreffenden Richtlinie in Bezug genommen und in mindestens einem der Mitgliedstaaten als nationale Norm umgesetzt worden ist, berechtigt die Übereinstimmung mit den in Tabelle ZA.1 für die Hochgeschwindigkeitseisenbahn, Tabelle ZA.2 für Güterwagen, Tabelle ZA.3 für Lokomotiven und Personenfahrzeuge sowie Tabelle ZA.4 bezüglich mobilitätseingeschränkter Personen angegebenen Abschnitten dieser Norm innerhalb der Grenzen ihres Anwendungsbereichs zur Annahme, dass eine Übereinstimmung mit den entsprechenden grundlegenden Anforderungen der Richtlinie und der zugehörigen EFTA-Vorschriften gegeben ist.

**Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI für Hochgeschwindigkeit vom Juni 2006, angenommen am 21. Februar 2008, und der Richtlinie 2008/57/EG**

Abschnitte/ Unterabschnitte dieser Europäischen Norm	Kapitel/Paragraph der TSI	Textübereinstimmung, Artikel/Paragraph/Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG	Erläuterungen
Norm ist insgesamt anwendbar	4 Merkmale des Teilsystems 4.2.2.3.3 Spezifikationen (Fälle einfacher Belastung und Kollisionsszenarien), § a Anhang A Passive Sicherheit – Kollisionsgerechtigkeit A.1.1 Detaillierte mechanische Grenzwerte für die statische Festigkeit A.3.4 Schutz vor niedrigen Hindernissen	Anhang III, Grundlegende Anforderungen 1 Allgemeine Anforderungen 1.1 Sicherheit Abschnitte 1.1.1, 1.1.3 1.2 Zuverlässigkeit und Betriebsbereitschaft 2 Besondere Anforderungen an jedes Teilsystem 2.4 Fahrzeuge 2.4.3 Technische Kompatibilität § 3	Die Paragraphen § 5.2, § 6.2, § 6.3 und § 6.4 für Kategorie P-II sind die Übernahme der verbindlichen Abschnitte aus EN 12663:2000, die in der TSI erwähnt werden, in diese EN 12663-1.

1) Die Richtlinie 2008/57/EG vom 17. Juni 2008 ist eine Neufassung der früheren Richtlinie 96/48/EG über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der Richtlinie 2001/16/EG über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems und ihrer Revision durch Richtlinie 2004/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004.

**Tabelle ZA.2 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI zum Teilsystem „Fahrzeuge – Güterwagen“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems vom Juli 2006, veröffentlicht im Amtsblatt am 8. Dezember 2006, und ihrer zwischenzeitlichen Revision, angenommen durch das Eisenbahninteroperabilitäts- und Sicherheitskomitee am 26. November 2008, und der Richtlinie 2008/57/EG**

Abschnitte/ Unterabschnitte dieser Europäischen Norm	Kapitel/Paragraph der TSI	Textübereinstimmung, Artikel/Paragraph/Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG	Erläuterungen
Norm ist insgesamt anwendbar	<p>4.2.2.3 Festigkeit der Fahrzeugstruktur und Ladungssicherung</p> <p>Anhang ZZ Strukturen und mechanische Teile Zulässige Beanspruchung auf der Grundlage von Dehnungskriterien</p> <p>Anhang Z Strukturen und mechanische Teile Auflaufversuch</p> <p>Anhang YY Fahrzeugstrukturen und Anbauteile Festigkeitsanforderungen an bestimmte Arten von Wagenbauteilen</p> <p>Anhang N Fahrzeugstruktur und Anbauteile Zulässige Spannungen bei statischen Versuchsmethoden</p> <p>Anhang CC Fahrzeugstruktur und Anbauteile Belastungsquellen</p>	<p>Anhang III, Grundlegende Anforderungen, Allgemeine Anforderungen – Abschnitte 1.1.1, 1.1.3</p> <p>Anhang III, Grundlegende Anforderungen, Allgemeine Anforderungen – Abschnitt 1.2 Zuverlässigkeit und Betriebsbereitschaft</p> <p>Anhang III, Grundlegende Anforderungen, Besondere Anforderungen für Teilsystem Fahrzeuge</p> <p>Abschnitt 2.4.3 Technische Kompatibilität § 3</p>	<p>Die verbindlichen Paragraphen der EN 12663: 2000, § 3, § 4, § 5 and § 6 sind in die EN 12663-2 übernommen worden. Diese EN 12663-1 liefert eine alternative Methode zur Bestimmung der Festigkeitsanforderungen für Wagenkästen von Güterwagen.</p> <p>Die betreffenden Anhänge der TSI werden in EN 12663-2 abgedeckt.</p>

**Tabelle ZA.3 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI für konventionelle Eisenbahn/Teilsystem Lokomotiven und Personenzüge (Vorläufiger Entwurf Rev 2.0 vom 14. November 2008) und der Richtlinie 2008/57/EG**

Abschnitte/ Unterabschnitte dieser Europäischen Norm	Kapitel/Paragraph der TSI	Textübereinstimmung, Artikel/Paragraph/Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG	Erläuterungen
Norm ist insgesamt anwendbar	4 Merkmale des Teilsystems  4.2.2.4 Festigkeit der Fahrzeugstruktur	Anhang III, Grundlegende Anforderungen  1 Allgemeine Anforderungen  1.1 Sicherheit Abschnitte 1.1.1, 1.1.3  1.2 Zuverlässigkeit und Betriebsbereitschaft  2 Besondere Anforderun- gen an jedes Teilsystem  2.4 Fahrzeuge  2.4.3 Technische Kompa- tibilität § 3	Die gesamte Norm ist erwähnt und deshalb verbindlich.  Die TSI für Lokomo- tiven und Personen- fahrzeuge des konventionellen Eisenbahnsystems ist noch Entwurfs- gegenstand, der sich ohne Hinweis ändern kann.

**Tabelle ZA.4 — Übereinstimmung zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI bezüglich „eingeschränkt mobiler Personen“ (PRM) im Hochgeschwindigkeitsbahnsystem, veröffentlicht im Amtsblatt am 7. März 2008, und der Richtlinie 2008/57/EG**

Abschnitte/ Unterabschnitte dieser Europäischen Norm	Kapitel/Paragraph der TSI	Textübereinstimmung, Artikel/Paragraph/Anhänge der Richtlinie 2008/57/EG	Erläuterungen
Norm ist insgesamt anwendbar	7.3 Anwendung dieser TSI auf bestehende Infrastruktur/Fahrzeuge  7.3.2 Fahrzeuge  7.3.2.1 Allgemeines	Anhang III, Grundlegende Anforderungen  1 Allgemeine Anforde- rungen  1.1 Sicherheit Abschnitte 1.1.1, 1.1.3  1.2 Zuverlässigkeit und Betriebsbereitschaft  2 Besondere Anforderungen an jedes Teilsystem  2.4 Fahrzeuge 2.4.1 Sicherheit 2.4.3 Technische Kompa- tibilität (§ 3)	EN 12663:2000 ist in der TSI erwähnt, aber ohne genaue Anfor- derungen.

**WARNHINWEIS** — Für Produkte, die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, können weitere Anforderungen und weitere EG-Richtlinien anwendbar sein.



## Literaturhinweise

- [1] EN 12663-2, *Bahnanwendungen — Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen — Teil 2: Güterwagen*
- [2] EN 15227, *Bahnanwendungen — Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugkästen*
- [3] BOStrab, *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung* <sup>2)</sup>
- [4] VDV-Schriften 152, *Empfehlungen für die Festigkeitsauslegung von Personenzugfahrzeugen nach BOStrab* <sup>3)</sup>

---

2) Zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

3) Zu beziehen bei: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Kamekestr. 37-39, 50672 Köln.