

DIN EN 15827

ICS 45.040

**Bahnanwendungen –
Anforderungen für Drehgestelle und Fahrwerke;
Deutsche Fassung EN 15827:2011**

Railway applications –
Requirements for bogies and running gears;
German version EN 15827:2011

Applications ferroviaires –
Exigences pour bogies et organes de roulement;
Version allemande EN 15827:2011

Gesamtumfang 87 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15827:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Arbeitsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-02 AA „Fahrwerke“ des Normenausschusses Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung. Das Ursprungsdokument wurde vom PTA „Bogie and Running Gear“ erstellt.

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen —
Anforderungen für Drehgestelle und Fahrwerke**

Railway applications —
Requirements for bogies and running gears

Applications ferroviaires —
Exigences pour bogies et organes de roulement

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 26. Februar 2011 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 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, 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, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	8
4 Technische Spezifikation und Schnittstellenmanagement	12
4.1 Allgemeine Anforderungen an das Drehgestell	12
4.2 Spezifikation von Strukturinformationen	13
4.3 Spezifikation dynamischer Informationen	14
4.4 Bauteilspezifikationen	16
4.5 Instandhaltungsspezifikation	16
5 Entwicklungsprozess	16
6 Kriterien für Bauteilfestigkeit	17
6.1 Lastdefinition	17
6.1.1 Grundsätze zur Ermittlung von Auslegungslasten	17
6.1.2 Außergewöhnliche Lasten	17
6.1.3 Grenzlaster	19
6.1.4 Ermüdungslasten.....	20
6.2 Abnahmekriterien für Bauteilfestigkeit.....	21
6.2.1 Grundsatz	21
6.2.2 Ausnutzung	22
6.2.3 Sicherheitsfaktor.....	22
6.3 Werkstofffestigkeit.....	23
6.3.1 Anforderungen	23
6.3.2 Statische Festigkeit	23
6.3.3 Bruchfestigkeit und Stabilität.....	25
6.3.4 Ermüdungsfestigkeit	25
6.3.5 Steifigkeitskriterien.....	27
6.4 Festigkeitsanforderungen für Bauteile.....	27
6.4.1 Allgemeines	27
6.4.2 Drehgestellrahmen	28
6.4.3 Verbindung Drehgestell/Wagenkasten	28
6.4.4 Radsatzlagergehäuse	28
6.4.5 Radsatzwellen	28
6.4.6 Räder	28
6.4.7 Federungselemente	29
6.4.8 Befestigungen und Verbindungen	29
6.5 Korrosionsschutz	30
7 Kriterien für das dynamische Verhalten.....	30
7.1 Einleitung.....	30
7.2 Dynamische Abnahmekriterien	31
7.2.1 Allgemeines	31
7.2.2 Entgleisungssicherheit bei niedriger Geschwindigkeit.....	31
7.2.3 Fahrsicherheit und Fahrwegbeanspruchung	32
7.2.4 Vibrationsdosis und Geräuschpegel	32
7.2.5 Lichtraumprofil.....	32
7.3 Schwingungsverhalten und Fahrkomfort	33
7.4 Anforderungen an das dynamische Verhalten von Bauteilen	33
8 Abnahmekriterien	33

9	Validierung der Konstruktion	33
9.1	Validierungsplan.....	33
9.2	Validierung der Bauteilfestigkeit	35
9.3	Validierung des dynamischen Verhaltens	36
9.4	Verwendung vorhandener Validierungsaufzeichnungen.....	36
10	Qualitätsanforderungen.....	36
11	Instandhaltungsplan	37
11.1	Ziel und Umfang des Instandhaltungsplans.....	37
11.2	Inhalt des Instandhaltungsplans	38
11.3	Kompetenzen	39
11.3.1	Qualifikationen von Ausrüstung und Systemen	39
11.3.2	Zertifizierung und Fähigkeiten des Personals	40
11.3.3	Organisation der Instandhaltung	40
11.3.4	Qualifikationen für die Durchführung von Instandhaltung	40
11.4	Aufzeichnungen und Rückverfolgbarkeit	41
11.5	Nicht geplante Instandhaltung	42
11.6	Überprüfung des Instandhaltungsplans	42
11.7	Umsetzung des Zeitplans für Instandhaltungsmaßnahmen	43
11.8	Validierung des Instandhaltungsplans	43
11.9	Instandhaltungs-Qualitätsanforderungen.....	43
11.10	Reparatur der Schäden nach Zwischenfällen/Unfällen	44
11.11	Entsorgung	44
12	Nachgewiesener Betriebsbereich.....	44
12.1	Allgemeine Anforderungen	44
12.2	Einheitliche Drehgestelle/Fahrwerke für Güterwagen.....	45
Anhang A (informativ)	Technische Spezifikation	46
Anhang B (informativ)	Anforderungen an den Entwicklungsprozess.....	49
Anhang C (informativ)	Auslegungslasten	50
Anhang D (normativ)	Bauteilbezogene Normen	51
Anhang E (informativ)	Konstruktionsentwicklung und Simulation	52
Anhang F (informativ)	Ablaufdiagramm: Abnahmeverfahren	54
Anhang G (informativ)	Validierung des dynamischen Verhaltens durch numerische Simulation.....	55
Anhang H (normativ)	Mindestanforderungen für Instandhaltungsprüfungen	70
Anhang I (informativ)	Nachgewiesener Betriebsbereich	73
Anhang J (normativ)	Einheitliche Drehgestelle/Fahrwerke für Güterwagen	77
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG	79
Literaturhinweise		84

Vorwort

Dieses Dokument (EN 15827:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ 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 September 2011, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2011 zurückgezogen werden.

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

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

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

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, 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, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Das Ziel dieser Europäischen Norm ist es, alle beschriebenen Anforderungen in Bezug auf die Konstruktion und Validierung von Drehgestellen und Fahrwerken in einem Dokument zusammenzufassen. Da Drehgestelle und Fahrwerke häufig von einer anderen Organisation als der für das allgemeine Schienenfahrzeug zuständigen Organisation hergestellt werden, wird zuerst mit der Festlegung der grundlegenden Informationen, die für die Herstellung der erforderlichen Konstruktion benötigt werden, begonnen.

Die Leistungsanforderungen für Drehgestelle und Fahrwerke gliedern sich in zwei ähnliche Bereiche, welche die Funktionalität und Sicherheit, wie in den grundlegenden Anforderungen der TSI gefordert, abdecken. Funktionalität bezieht sich auch auf solche Dinge wie Geschwindigkeit, Tragfähigkeit, Fahrverhalten und Betriebslebensdauer. Sicherheit deckt Bemessung, Bauteilfestigkeit, dynamisches Verhalten, Beständigkeit gegen Entgleisen und Instandhaltung usw. ab.

Betrachtet man die Anforderungen als Ganzes, umfassen sie drei bestimmte Bereiche und Fachgebiete. Da jeder dieser Bereiche einen anderen Teil des Entwicklungsverfahrens bildet, wurden sie in den folgenden Hauptabschnitten dieser Norm einzeln angesprochen:

- Festigkeitsanforderungen; Abschnitt 6;
- dynamische Anforderungen; Abschnitt 7;
- Instandhaltungsanforderungen; Abschnitt 11.

Diese Abschnitte liefern Einzelheiten, wie die allgemeinen Richtwerte in diesen bedeutenden spezifischen Bereichen erreicht werden. Der Aufbau dieses Dokuments ist für den Konstruktionsprozess, die Validierung und Instandhaltungsunterstützung von Drehgestellen typisch.

Ein Drehgestell oder Fahrwerk, welches in Übereinstimmung mit dieser Norm konstruiert und validiert wurde, erfüllt die grundlegenden Anforderungen der TSI Fahrzeuge.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm vereinigt alle in den TSIs für Fahrzeuge und Europäischen Normen beschriebenen Anforderungen an Drehgestelle und Fahrwerke in allgemeinen Anforderungen und einem allgemeinen Verfahren, welches sicherstellt, dass eine funktionstüchtige und sichere Konstruktion für einen bestimmten Betriebsbereich erreicht wird.

Es existieren viele Europäische Normen, in denen Konstruktionsanforderungen und zugehörige Verfahren für Bauteile und Baugruppen in Drehgestellen und Fahrwerken beschrieben werden. Außerdem liegen europäische Normen vor, die direkt vom Drehgestell oder Fahrwerk abhängige Leistungs- und Validierungsanforderungen aufführen. Das Ziel dieser Norm ist es, alle diese Bemessungsgrundlagen zu vereinen. Dazu werden die für Drehgestelle und Fahrwerke anzuwendenden Konstruktions- und Validierungsverfahren beschrieben. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die zwei wesentlichen Bereiche Fahrverhalten und Bauteilfestigkeit gelegt. Außerdem ist die Definition eines Instandhaltungsplans erforderlich, um einen sicheren Betrieb während der gesamten Fahrzeuglebensdauer sicherzustellen.

Diese Europäische Norm gilt für Drehgestelle und Fahrwerke in solchen Fahrzeugen, die nach den Interoperabilitätsrichtlinien auf ausgewiesenen TEN-Strecken verkehren. Die Anforderungen können jedoch auch je nach Ermessen der Interessenten für andere Anwendungen genutzt werden. In diesem Dokument werden Anforderungen beschrieben, die eine zufriedenstellende Konstruktion des Drehgestells oder Fahrwerks und den Abgleich der Konstruktion mit entsprechenden Leistungs- und Sicherheitskriterien ermöglichen. Technische Anforderungen werden direkt oder unter Bezugnahme auf entsprechende Europäische Normen angegeben und beinhalten Art und Inhalt eines prüfbaren Protokolls, das beim Konstruktions- und Validierungsverfahren angefertigt werden sollte.

Die Anforderungen befassen sich nur mit der Konstruktion und Validierung von Drehgestell und Fahrwerk. Es werden keine Anforderungen für Systembauteile festgelegt, die am Drehgestell oder Fahrwerk befestigt sind, außer um sicherzustellen, dass eine akzeptable Schnittstelle vorliegt.

ANMERKUNG Drehgestell- und fahrwerksbezogene Spezifikationen können nur im Rahmen der Anwendung in einem bestimmten Fahrzeug betrachtet werden. Aus diesem Grund kann sich die sicherheitsbezogene und anderweitige Leistung nur auf die Drehgestelle und Fahrwerke als Teil eines Fahrzeugaufbaus und nicht auf individuelle Bauteile der Drehgestelle oder Fahrwerke stützen.

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 473, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung — Allgemeine Grundlagen*

EN 12080, *Bahnanwendungen — Radsatzlager — Wälzlager*

EN 12081, *Bahnanwendungen — Radsatzlager — Schmierfette*

EN 12082, *Bahnanwendungen — Radsatzlager — Prüfung des Leistungsvermögens*

EN 12299, *Bahnanwendungen — Fahrkomfort für Fahrgäste — Messung und Auswertung*

EN 12663-1, *Bahnanwendungen — Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen — Teil 1: Lokomotiven und Personenzüge (und alternatives Verfahren für Güterwagen)*

EN 12663-2, *Bahnanwendungen — Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen — Teil 2: Güterwagen*

EN 13103, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Laufradsatzwellen — Konstruktions- und Berechnungsrichtlinie*

EN 13104, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Treibradsatzwellen — Konstruktionsverfahren*

EN 13260, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Radsätze — Produktanforderungen*

EN 13261, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Radsatzwellen — Produktanforderungen*

EN 13262, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Räder — Produktanforderungen*

EN 13298, *Bahnanwendung — Federungselemente — Schraubendruckfedern aus Stahl*

EN 13597, *Bahnanwendungen — Federungselemente aus Elastomer — Membranen aus Elastomer für pneumatische Tragfedern*

EN 13715, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Räder — Radprofile*

EN 13749:2005, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Spezifikationsverfahren für Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen*

EN 13802, *Bahnanwendungen — Federungselemente — Hydraulische Dämpfer*

EN 13913, *Bahnanwendungen — Elastomer-Federungselemente — Mechanische Bauteile auf Elastomerbasis*

EN 13979-1, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Vollräder — Technische Zulassungsverfahren — Teil 1: Geschmiedete und gewalzte Räder*

EN 14200, *Bahnanwendungen — Federungselemente — Parabelfedern aus Stahl*

EN 14363, *Bahnanwendungen — Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen — Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche*

EN 14535-1, *Bahnanwendungen — Bremsscheiben für Schienenfahrzeuge — Teil 1: Wellenbremsscheiben, aufgepresst oder geschrumpft, Abmessungen und Qualitätsanforderungen*

prEN 14535-2, *Bahnanwendungen — Bremsscheiben für Schienenfahrzeuge — Teil 2: Bremsscheiben, die an einem Radreifen, einer Radscheibe oder Radnabe befestigt werden, Abmessungen und Qualitätsanforderungen*

EN 14817, *Bahnanwendungen — Federungselemente — Luftfedersteuerglieder*

EN 15049, *Bahnanwendungen — Federungselemente — Drehstabfedern aus Stahl*

EN 15085-1, *Bahnanwendungen — Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen — Teil 1: Allgemeines*

EN 15085-2, *Bahnanwendungen — Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen — Teil 2: Qualitätsanforderungen und Zertifizierung von Schweißbetrieben*

EN 15085-3, *Bahnanwendungen — Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen — Teil 3: Konstruktionsvorgaben*

EN 15085-4, *Bahnanwendungen — Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen — Teil 4: Fertigungsanforderungen*

EN 15085-5, *Bahnanwendungen — Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen — Teil 5: Prüfung und Dokumentation*

EN 15227, *Bahnanwendungen — Anforderungen für die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugkästen*

EN 15273-1, *Bahnanwendungen — Begrenzungslinien — Teil 1: Allgemeines — Gemeinsame Vorschriften für Infrastruktur und Fahrzeuge*

EN 15273-2, *Bahnanwendungen — Begrenzungslinien — Teil 2: Fahrzeugbegrenzungslinien*

EN 15313, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Radsatzinstandhaltung*

EN 15437-1, *Bahnanwendungen — Zustandsüberwachung von Radsatzlagern — Schnittstellen und Gestaltungsanforderungen — Teil 1: Heißläuferortungsanlagen und Radsatzlagergehäusegestaltung*

prEN 15437-2, *Bahnanwendungen — Zustandsüberwachung von Radsatzlagern — Leistungsanforderungen - Teil 2: Fahrzeugbasierte Systeme für Temperaturüberwachung*

EN 15528, *Bahnanwendungen — Streckenklassen zur Werkstellung der Schnittstelle zwischen Lastgrenzen der Fahrzeuge und Infrastruktur*

EN 15663, *Bahnanwendungen — Fahrzeugmassedefinitionen (Berichtigung: Definition der Fahrzeugreferenzmassen)*

EN 15686, *Bahnanwendungen — Fahrtechnische Prüfung für die Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen mit Kompensation des Überhöhungsfehlbetrags und/oder für Fahrzeuge, die mit höheren Überhöhungsfehlbeträgen betrieben werden als in EN 14363:2005, Anhang G, angegeben*

EN 15687, *Bahnanwendungen — Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Güterfahrzeugen mit statischer Radsatzlast größer als 225 kN und bis zu 250 kN*

prEN 15839, *Bahnanwendungen — Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen — Güterwagen — Prüfung der Fahrsicherheit unter Längsdruckkräften*

prEN 15892, *Bahnanwendungen — Geräuschemission — Geräuschmessung im Führerraum*

EN 50125-1, *Bahnanwendungen — Umweltbedingungen für Betriebsmittel — Teil 1: Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen*

EN 60721-3-5, *Klassifizierung von Umweltbedingungen — Teil 3: Klassen von Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 5: Einsatz an und in Landfahrzeugen (IEC 60721-3-5:1997)*

EN ISO 3095, *Bahnanwendungen — Akustik — Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3095:2005)*

EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO 6892-1:2009)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13749 und die folgenden Begriffe.

3.1

Analyse

Beurteilung der Leistung durch Berechnung, Vergleich oder Simulation, für die kein reales Produkt notwendig ist (Ergebnisse physikalischer Messungen oder Versuche können für die Analyse verwendet werden)

3.2

Tauchen

vertikale, translatorische Bewegung, senkrecht zur Achse der Laufschiene, bei der sich die beiden Enden des Fahrzeugs, Drehgestells oder Bauteils phasengleich und mit gleicher Amplitude bewegen

3.3

allgemein akzeptiertes Risiko

Risiko, das die Gesellschaft als gewöhnlich ansieht, und das dem im normalen täglichen Leben wahrgenommen Risiko entspricht und jeglicher Versuch, weitere Risiken zu reduzieren, wäre unverhältnismäßig zu den möglichen erzielten Leistungen

3.4

Koppelelement

Bauteil, das Kräfte überträgt und relative Bewegungen zwischen anderen Bauteilen ermöglicht, jedoch, obwohl nicht zwangsläufig vorgesehen in primärer Funktion als Federungselement dient und Eigenschaften aufweisen kann, welche die dynamische Bewegung beeinflussen (z. B. Buchse für Dämpfer/Lenker)

3.5

außergewöhnlicher Lastfall

extremer Lastfall, der die höchste Belastung bei einzuhaltender voller Betriebsfähigkeit darstellt und für die Beurteilung der statischen Festigkeit verwendet wird (siehe 6.3.2)

3.6

Ermüdungslastfall

sich wiederholender Lastfall zur Beurteilung der Ermüdungsfestigkeit (siehe 6.3.4)

3.7

Ermüdungsfestigkeit

Beständigkeit gegen Versagen durch zyklische Belastung

3.8

unmittelbares Risiko

Zustand, der zu einer gefährlichen Situation führt, bevor diese erkannt und Maßnahmen zur Abschwächung eingeleitet werden können

3.9

Laborversuch

Durchführung von Tests in einem Gebäude oder abgegrenzten Bereich, in dem notwendige Eingaben ermöglicht werden und entsprechende Geräte die Reaktionen überwachen und erfassen können

3.10

Querbewegung

Horizontale, translatorische Bewegung, senkrecht zur Achse der Laufschiene, bei der sich die beiden Enden des Fahrzeugs, Drehgestells oder Bauteils phasengleich und mit gleicher Amplitude bewegen

3.11

Lastfall

Lasten oder Lastkombinationen, die eine Beanspruchung darstellen, der die Konstruktion oder ein Bauteil unterliegt

3.12

Lastspektrum/Lastkollektiv

definiert die Anzahl der Zyklen für eine oder mehrere Stufen einer sich wiederholenden Last

3.13

dauerhafte Verformung

zurückbleibende plastische Verformung eines duktilen Werkstoffs, die sich beim Entfernen der aufgetragenen Last nicht zurückbildet

3.14

Nicken

Rotation um eine Querachse

3.15

nachgewiesener Betriebsbereich

Bereich eines sicheren Betriebs, der durch den Produktvalidierungsprozess festgelegt und in Form der relevanten Parameter ausgedrückt wird

3.16

Vorschriften

Anforderungen, die durch die Gesetzgebung oder Regelwerke festgelegt werden und Bedingungen, die durch die Gesetzgebung angeordnet oder von einem Infrastrukturverantwortlichen oder einer entsprechenden gewerblichen Institution oder ähnlichem vorgeschrieben werden

3.17

Rollen

Rotation um eine Längsachse, parallel zur Achse der Laufschiene

3.18

sicherheitskritisches Bauteil

Bauteil, bei dem ein Einzelfehler zu einer ernsthaften Gefahr (wie bei der Risikobewertung des Fahrzeugs identifiziert) führt, bevor das Risiko erkannt und Maßnahmen zur Abschwächung eingeleitet werden können

3.19

Sicherheitsfaktor

Faktor, der bei der Festigkeitsbeurteilung eingesetzt wird und eine Kombination aus Ungewissheiten und kritischen Sicherheitszuständen berücksichtigt

3.20

maßgebliche dauerhafte Verformung

dauerhafte Verformung in solchem Ausmaß, dass die Funktionalität der Konstruktion durch das Überschreiten der geometrischen Toleranzen beeinträchtigt wird

3.21

Simulation

numerisches Verfahren, das gewisse Parameter zur Beschreibung eines Systems (Produkt oder Bauteil) verwendet und eine repräsentative Reaktion aus einer gegebenen Anzahl von Eingaben ermöglicht

3.22

Strukturbauteil

Bauteil oder Bestandteil einer Konstruktion, das Lasten von einem Teil der Konstruktion auf ein anderes Teil überträgt

3.23

Federungselement

Drehgestellbauteil, dessen Geometrie sich unter Lasteinwirkung verändert und auf diese Art die Bewegung eines Teils in Bezug auf ein anderes (z.B. Feder, Dämpfer) steuert

3.24

Wanken

Kombination aus Quer- und Rollbewegung

ANMERKUNG Wanken wird oft durch Querkräfte hervorgerufen, die im Schwerpunkt eines Wagenkastens (aufgrund seiner Trägheit) erzeugt werden, wobei die Federungs-/Stützelemente ober- oder unterhalb liegen.

3.25

Versuch

Probe (oder Proben) eines Produkts wird (werden) speziellen Einwirkungen unterzogen und die Reaktionen werden gemessen und erfasst

3.26

Streckenversuch

Durchführung von Tests unter erwarteten Betriebsbedingungen auf der tatsächlichen Betriebsumgebung der Eisenbahninfrastruktur sowie Überwachung und Erfassung der Reaktionen

ANMERKUNG Dieser unterscheidet sich gegenüber den Streckenversuchen nach EN 14363, was für die Versuchsstrecke besondere Eigenschaften des Gleisübersichtsplans erforderlich macht und den Versuch, den geplanten Geschwindigkeitsbereich und den Überhöhungsfehlbetrag, der für das Fahrzeug zutrifft, abzudecken.

3.27

Typtest

Prüfung, bei welcher eine Probe (oder Proben) eines gekennzeichneten Produkts einer Auswahl spezieller Einwirkungen unterzogen sowie die Reaktionen gemessen und erfasst werden

3.28

Ausnutzung

in der Festigkeitsbewertung der Grad, zu dem ein Bauteil in Bezug auf den zulässigen Wert und unter Berücksichtigung eines geeigneten Sicherheitsfaktors Beanspruchungen unterliegt (siehe 6.2.2)

3.29

Validierung

Verfahren, welches durch Berechnung und/oder Versuch nachweist, dass das zur Diskussion stehende System in jeder Hinsicht die technische Spezifikation erfüllt, einschließlich der Anforderungen aufgrund von Vorschriften für dieses System

ANMERKUNG Bei Anwendung auf ein numerisches Modell sollte dieses Verfahren zeigen, dass das Systemmodell ausreichend genau wie das tatsächliche System reagiert.

3.30

Verifizierung

Verfahren, welches durch Vergleich oder Versuch nachweist, dass ein analytisches Ergebnis oder ein Schätzwert eine ausreichende Genauigkeit aufweist

3.31

Schlingern

Gieren

Rotation um eine Vertikalachse

4 Technische Spezifikation und Schnittstellenmanagement

4.1 Allgemeine Anforderungen an das Drehgestell

Die Lieferung eines Drehgestells/Fahrwerks muss auf einer umfassenden Spezifikation basieren. In dieser Spezifikation sind die Funktionsanforderungen und die Schnittstellen zu den zugehörigen Bauteilen und Baugruppen, wie nachfolgend angegeben, zu beschreiben. Sie muss auch die mit der Instandhaltung und für die Anwendung maßgeblich verbundenen Bedingungen umfassen.

Für das Entwicklungs- und Validierungsverfahren ist die Einbindung unterschiedlicher Bereiche und Fachgebiete sowie der entsprechenden Kenntnisse notwendig. Aus diesem Grund muss die Spezifikation Informationen beinhalten, durch die die vorgesehenen Betriebsbedingungen des Drehgestells oder Fahrwerks definiert werden. Sie muss mindestens Folgendes beinhalten:

- Hüllraum des Wagens;
- Hüllkurve des Drehgestells;
- Verbindungen;
- Masse des Wagenkastens, Nutzlast und Lasteinwirkungen;
- Betriebsgeschwindigkeit und Grenze des Überhöhungsfehlbetrages;
- Steifigkeiten des Fahrzeugwagenkastens und/oder Eigenfrequenzen;
- Schnittstellen und Leistung des Antriebssystems;
- Schnittstellen und Leistung des Bremssystems;
- Heißläuferortung;
- sonstige Hilfssysteme (z.B. Strecken-/Zugkommunikation);
- Fahrzeugbegrenzungslinie;
- Streckeneigenschaften;
- statische Radsatzlast, Grenzen für dynamische Radlasten;
- Betriebsumgebung (einschließlich Umweltbedingungen);
- Betriebsarten;
- Regelungen zum Lärm- und Schwingungsverhalten.

Diese Europäische Norm gilt für Drehgestelle und Fahrwerke, die aber Teil des Fahrzeugs als ein dynamisches System sind. Daher müssen die grundlegenden dynamischen Eigenschaften des Wagenkastens bereitgestellt werden.

Die Anforderungen an das Drehgestell und das Fahrwerk müssen unter Berücksichtigung der allgemeinen Fahrzeugeigenschaften (z. B. der angegebenen Fahrzeugmasse, wie in EN 15663 und der Wagenkastenstruktur, wie in EN 12663 festgelegt), den Anforderungen an das allgemeine dynamische Verhalten (z. B. nach EN 14363), Begrenzungsanforderungen nach EN 15273-1 und EN 15273-2 oder einer alternativen Norm im Hinblick auf die Infrastruktur sowie der Heißläuferortung nach EN 15437-1, bestimmt werden.

Es gibt keine allgemeinen Anforderungen für statische Radsatzlasten, dynamische Radlasten und Gleisbelastung. Die Spezifikation muss die geltenden Anforderungen an die Infrastruktur angeben.

Die Umweltbedingungen während des Betriebes müssen anhand von Parametern, wie in EN 50125-1 aufgelistet, bestimmt werden und die Einsatzhöhe, Temperatur, Luftfeuchte, Regen, Schnee und Hagel, Eis, Sonnenstrahlung und Beständigkeit gegen Verschmutzung sowie Salzwasser, entsprechend EN 60721-3-5, Klasse 5C2 abdecken. Güterwagen müssen der im Bereich von 2 000 m festgelegten Höhenklasse AX entsprechen.

Die für das Fahrzeug zutreffenden Brandschutznormen müssen aufgezeigt werden.

Die Konstruktion des Drehgestells und Fahrwerks muss jede Bewegungsbeschränkung, die durch befestigte Systeme (Schienenbremsen, Antennen usw.) hervorgerufen wird, berücksichtigen. Anforderungen müssen in der Spezifikation angegeben werden.

Beinhaltet die Konstruktion des Drehgestells aktive Bauteile, müssen relevante elektrische und pneumatische Schnittstellen des Systems und zutreffende Normen aufgezeigt werden. Alle Anforderungen an elektrische Verbindungen müssen ebenfalls festgelegt werden.

Für einige Anwendungen können Systeme zur Ermittlung von Störungen erforderlich sein, die am Drehgestell oder dessen Bauteilen angebaut sind. Die Beschreibung dieser Systeme liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm, es sei denn sie müssen wie jedes andere Teil der befestigten Ausrüstung behandelt werden.

Anhang A gibt weitere Anleitungen zum allgemeinen Inhalt der Spezifikation und der Bestimmung von Verbindungen.

ANMERKUNG Beinhaltet die anfängliche Spezifikation nicht alle erforderlichen Informationen, sollte die fehlende Information zwischen dem Kunden, dem Lieferanten und allen anderen involvierten Parteien abgestimmt werden. Es sollte anerkannt werden, dass die Entwicklung ein iterativer Prozess ist und die Parameter, falls es zwecks Erfüllung der geforderten Durchführung erforderlich ist, zu überarbeiten sind; alle Änderungen müssen zwischen den involvierten Parteien abgestimmt werden.

4.2 Spezifikation von Strukturinformationen

Für die Bauteilfestigkeit sind Aspekte der Spezifikation, die sich auf die Geometrie und Beanspruchung auswirken und für die spezifische Daten bereitgestellt werden müssen, zu berücksichtigen. Dazu zählen:

- Hüllkurve des Drehgestells/Fahrwerks;
- Verbindungen des Drehgestells/Fahrwerks;
- Bauteilmassen und –befestigungen usw. des Drehgestells/Fahrwerks, usw;
- Nutzlast und Lasteinwirkungen, einschließlich Last-/Entlastungszyklen;
- Bauteile des Antriebssystems, Antriebseigenschaften und Betriebsarten, Betriebszustände einschließlich fehlerhafter Zustände (z.B. Kurzschlussdrehmoment);
- Bremsbauteile, Eigenschaften des Bremssystems und Betriebsarten.

Sind die Lasten von den Fahrzeugmassen abhängig, sind sie als Funktion der Bezugsmassen aus EN 15663 oder nach den Anforderungen in den normativen Verweisen anzugeben. Für den Zweck dieser Europäischen Norm sind für spezielle Bauteile jedoch mehr Details, als in EN 15663 definiert, notwendig.

Die Massen und Trägheiten bedeutender Bauteile, die am Drehgestell angebaut sind und nicht in die Verantwortung des Drehgestellkonstruktors fallen, müssen definiert werden. Wird Ausrüstung elastisch montiert und kann die resultierende dynamische Antwort die Unversehrtheit des Systems zu einem maßgeblichen Grad beeinträchtigen, dann müssen die effektiven Eigenschaften dynamischer Parameter (Masse, Trägheiten, Steifigkeit, Dämpfung) ebenfalls enthalten sein.

4.3 Spezifikation dynamischer Informationen

Die Spezifikation muss solche Aspekte beinhalten, die für die Konstruktion und Bewertung des dynamischen Verhaltens besonders wichtig sind. Dazu zählen:

- mechanische Verbindungen des Drehgestells mit dem Wagenkasten;
- in der Spezifikation enthaltene Massen und Trägheiten (z. B. Wagenkastenparameter);
- andere relevante Eigenschaften des Wagenkastens, die die Dynamik beeinflussen (z. B. Steifigkeit/-Biegungsart)
- Begrenzungslinie für Bezugsprofil (d. h. der zulässige Bewegungsbereich des Fahrzeugs);
- Bewegungsbereich des Drehgestells;
- Betriebsbedingungen und Gleiseigenschaften;
- Radprofile (neu bis abgenutzt) und/oder Konizitätsgrenzen, falls festgelegt.

Um Drehgestelle/Fahrwerke korrekt zu entwickeln, müssen die Betriebsbedingungen des Zuges vorgegeben werden. Diese müssen mindestens beinhalten:

- Höchstgeschwindigkeit;
- Mindestradius des Gleisbogens (einschließlich Gegenkurve);
- maximale Überhöhung;
- maximaler Überhöhungsfehlbetrag;

und die folgenden Gleiseigenschaften:

- Spurweite (einschließlich Abweichungen aufgrund von Spurerweiterungen in kleinen Bögen);
- Schienenkopfprofil (neu und abgenutzt);
- Schienenneigung;
- Gleisverwindung;
- Gleisqualität (Abweichung der Gleisgeometrie bezüglich der Streckengeschwindigkeit).

Die Parameter, einschließlich der Gleisqualität, müssen repräsentativ für die zu befahrenen Strecken sein.

ANMERKUNG 1 Die Darstellungsart dieser Daten kann sich, je nach Gewohnheit und Praxis des Schienenverkehrsunternehmens, des Infrastrukturmanagers und der vom Drehgestelllieferanten angewandten Methode, unterscheiden. Der Anhang der EN 14363, die sich mit der „Tatsächlichen Geometrie von Versuchsstrecken“ beschäftigt, gibt eine Darstellungsform an, die jedoch nicht unbedingt alle benötigten Daten enthält. EN 13803-1 und EN 13803-2 berücksichtigen Daten zur Überhöhung, Ausrichtung und Gleisbogenradien usw. und werden für neue Infrastrukturen des Transeuropäischen Eisenbahnsystems angewendet.

ANMERKUNG 2 Die Vertikalsteifigkeit des Gleises wirkt sich direkt auf die Rad/Schiene-Kontaktkräfte aus, muss aber üblicherweise bei Bewertung der Dynamik des Drehgestells/Fahrwerks nicht berücksichtigt werden. Sie kann jedoch in einigen Fällen relevant sein, z. B. wenn bei den Rad/Schiene-Kontaktkräften häufig auftretende Grenzwerte zu berücksichtigen sind. In solch einem Fall muss ein Wert für diesen Parameter in der Spezifikation enthalten sein.

Aufgrund von Einschränkungen auf Brücken und ähnlichen Konstruktionen, können Grenzwerte für statische und/oder dynamische Radlasten sowie ihre Verteilung angegeben werden. Werden dynamische Grenzen aufgeführt, müssen auch die entsprechenden Gleiseigenschaften definiert werden.

Die maximale statische Radsatzlast und die geometrische Anordnung der Radsätze am Fahrzeug müssen angegeben werden, um einen Fahrzeugbetrieb auf den nach EN 15528 unterteilten Strecken zu ermöglichen. Gegebenenfalls müssen alternative Grenzwerte festgelegt werden, die nicht den Anforderungen der Interoperabilität entsprechen.

Die Form der Radprofile wirkt sich (zusammen mit den Schienenprofilen und der Spurweite) auf die Dynamik des Drehgestells oder Fahrwerks, sowie Laufstabilität, das Fahrverhalten in Gleisbögen, den Verschleiß, Lärmerzeugung und Fahrkomfort aus. EN 13715 legt Laufflächenprofile von Rädern mit einem Durchmesser größer oder gleich 330 mm zur Erfüllung der interoperablen Anforderungen fest. Diese Profile gelten für neue Räder. Jedes Profil, das dieser Norm nicht entspricht, darf nur verwendet werden, wenn es auf der Strecke zugelassen ist.

ANMERKUNG 3 Die Spezifikation darf Einzelheiten des zu verwendenden Radprofils enthalten. Ist dies nicht der Fall, sollte ein geeignetes Radprofil ausgewählt werden, um die geforderten Leistungskriterien zu erfüllen (siehe 8.2).

ANMERKUNG 4 Die Spezifikation darf Konizitätsgrenzen zusammen mit Bezug auf Schienenprofile und Verschiebungswerte für die Berechnung der Konizität beinhalten. EN 15302 beschreibt das zu verwendende Verfahren zur Bestimmung der äquivalenten Konizität.

Die Masse und die Trägheiten des Wagenkastens sind für den betriebsfähigen Zustand sowie normale und außergewöhnliche Nutzlastbedingungen anzugeben.

Die Massen, Trägheiten und Einbauorte am Drehgestell/Fahrwerk befestigter Bauteile, die das dynamische Verhalten in einem offensichtlichen Ausmaß beeinflussen (z. B. Triebmotoren, Getriebe, Bauteile von Bremssystemen) und nicht in die Verantwortung des Drehgestellkonstruktors fallen, sind zu definieren. Wird solche Ausrüstung am Wagenkasten oder Drehgestell elastisch montiert, müssen die zusätzlichen dynamischen Parameter (Steifigkeit, Dämpfung) ebenfalls festgelegt werden.

Um die Durchführung einer dynamischen und/oder quasistatischen Analyse zu ermöglichen, sind die relevanten Wagenkasteneigenschaften zu definieren. In Abhängigkeit der Analyseart muss dies mindestens beinhalten:

- Torsionssteifigkeit des Wagenkastens;
- vertikale Biegesteifigkeit des Wagenkastens;
- Eigenfrequenzen und entsprechende Schwingungsformen der oben angegebenen Steifigkeiten;
- Steifigkeitseigenschaften der Anbaupunkte von Federungselementen (z. B. Anbauten des Schlingerdämpfers).

Die verwendeten Wagenkasteneigenschaften müssen mit denen konsistent sein, die bei Einhaltung der Anforderungen zur Bauteilfestigkeit nach Abschnitt 6 erreicht wurden.

Die Begrenzungslinie für das Bezugsprofil und dessen zugehöriger Satz von Regeln und die vorgeschlagenen Querschnittsmaße des Wagenkastens sind aufzuführen unter Berücksichtigung der Analysemethodik, die die Abnahme zulässt nach EN 15273 (Normenreihe) oder einer alternativen Norm, die einen TSI- Sonderfall oder eine andere vorgegebene Änderung entspricht.

4.4 Bauteilspezifikationen

Sobald die allgemeinen Eigenschaften des Drehgestells oder Fahrwerks ermittelt wurden, müssen sie auf die geforderte dynamische Leistung, Bauteilfestigkeit und andere zugehörige Eigenschaften einzelner Teile übertragen werden.

Alle funktionalen Bauteile müssen eine Spezifikation haben, welche ihre entscheidenden Verhaltenseigenschaften festlegt. Beispiele hierfür sind:

- Federn: Steifigkeit, Länge im ungespanntem Zustand, komprimierte Länge, minimale und maximale Last, usw.;
- Dämpfer: Dämpfungsrate, Hub, Ablasswert, Augensteifigkeit usw.

Im Allgemeinen geben die einzelnen Europäischen Normen für Bauteile, auf die in dieser Norm Bezug genommen wird, die entsprechenden zugehörigen Spezifikationsparameter, die Entwicklungsanforderungen und den Prozess zur Validierung des Verhaltens an. Falls in einer Bauteilnorm keine Anforderungen angegeben werden, sind die folgenden Grundsätze einzuhalten.

Alle Teile des Drehgestells und Fahrwerks müssen die zugehörigen Betriebslasten tragen. Die hauptsächliche Funktion einiger Bauteile wie z. B. Drehgestellrahmen oder Radsatzlager, ist die Lastübertragung von einem zum anderen Punkt; Federn, Dämpfer usw. sind jedoch ebenfalls inhärente lasttragende Bauteile. Abschnitt 6 legt allgemein fest, wie die Bauteilfestigkeit erreicht und dargestellt werden muss. Für einige Bauteile (z. B. Radsätze) sind die Entwicklungsregeln in der Bauteilnorm eine Vereinfachung der allgemeinen Regeln, möglich gemacht, weil die Bauteileigenschaften und/oder die Konstruktion durch einen besonderen Lastfall dominiert werden. In solchen Fällen ist das vereinfachte Verfahren anzuwenden.

Die Konstruktion von Anbaukonsolen, Verbindungselementen usw. muss mit denen von angefügten Bauteilen konsistent sein.

4.5 Instandhaltungsspezifikation

Die Instandhaltungsanforderungen werden durch den Entwicklungsprozess und die sicheren Betriebsgrenzen der Bauteile in der Anwendung bestimmt.

Hat jedoch ein Schienenverkehrsunternehmen oder ein Kunde Einschränkungen oder stellt besondere Anforderungen an die Instandhaltung und in Bezug auf entsprechende Parameter, ist dies ebenfalls in der Spezifikation zu berücksichtigen.

In der Spezifikation müssen alle Instandhaltungsanforderungen des Drehgestells/Fahrwerks sowie die Schnittstellen zu entsprechenden Bauteilen und Baugruppen, die mit einem sicheren Betrieb und der Instandhaltung des Fahrzeugs vereinbar sein müssen, beschrieben werden.

5 Entwicklungsprozess

Drehgestelle und Fahrwerke müssen mittels eines konsistenten (widerspruchsfreien) Entwicklungsprozesses, der alle Anforderungen dieser Norm berücksichtigt, entwickelt und validiert werden. Dieser Prozess muss ein Qualitätsmanagementsystem beinhalten, das die Nachweisbarkeit von Entscheidungsfindungen überwacht und erbringt. Hinweise zum Inhalt des Prozesses werden in Anhang B gegeben.

ANMERKUNG Ein Prozess im Einklang mit EN ISO 9001 würde die oben genannten Anforderungen erfüllen.

6 Kriterien für Bauteilfestigkeit

6.1 Lastdefinition

6.1.1 Grundsätze zur Ermittlung von Auslegungslasten

Die Bauteilfestigkeit der Drehgestelle und Fahrwerke muss auf einer vollständigen Definition der zu tragenden Lasten basieren. Eine entsprechende Auswertung dieser Lasten ermöglicht das Aufstellen von Auslegungslastfällen. Diese Lastfälle bestimmen dann die Belastung für jedes Strukturbauteil.

Alle zu untersuchenden Lasten müssen für die betrachtete Drehgestell-/Fahrwerkskonstruktion realistisch und repräsentativ sein. Federungseigenschaften, Gleisbedingungen sowie Fahrzeugladeprofile sind zu berücksichtigen. Die Lasten umfassen sowohl äußere, durch das Gleis oder den Wagenkasten hervorgerufene Belastungen, als auch Lasten, die sich aus dem Betrieb der Drehgestelle/Fahrwerke und der an ihnen befestigten Ausrüstung ergeben. Anhang C enthält eine Reihe von Faktoren, die zu berücksichtigen sind, um eine vollständige Anzahl an Auslegungslastfällen aufzustellen.

Aufgrund der Vielzahl von Drehgestell/Fahrwerkskonstruktionen, Konfigurationen und dem Grad des Zusammenspiels mit dem Fahrzeug als ein mechanisches System ist es unmöglich eine allgemeine vollständige Anzahl an Auslegungslastfällen festzulegen. Die Anforderung dieser Norm ist es einen Prozess einzuführen, der die grundlegenden Aspekte abdeckt und der derzeitigen Entwicklungs konstruktion, Konfiguration und Anwendung entspricht. Werden Auslegungslasten im normativen Text bestehender Europäischer Normen für Bauteile festgelegt, müssen diese verwendet werden (siehe 6.4).

Die folgenden Abschnitte legen in Begriffen und dem zugehörigen Kontext eine Reihe von Auslegungslastfällen fest, die angewandt werden müssen. Alle Lastfälle, die keine vertikale Last darstellen, müssen in Zusammenhang mit Auswirkungen von Lasten aufgrund ihrer Schwerkraft (z. B. ein 1 g vertikaler Lastfall) und jeder anderen inhärent vorhandenen Last berücksichtigt werden.

Alle als Grundlage für die Beurteilung der Festigkeit von Strukturbauteilen von Drehgestellen verwendeten Lasten müssen notwendige Zugaben enthalten, die Unsicherheiten der Werte berücksichtigen. Solche Zugaben können auch durch Anpassung des Sicherheitsfaktors, der in den Abnahmekriterien nach 6.2 verwendet wird, hinzugezählt werden.

ANMERKUNG Liegen keine besonderen Informationen vor, die für die Anwendung von Bedeutung sind, werden Hinweise auf Lastfälle aufgrund von Auswirkungen der Trägheit auf befestigte Bauteile in EN 13749 angegeben.

6.1.2 Außergewöhnliche Lasten

6.1.2.1 Grundlage für außergewöhnliche Lasten

Sonderlastfälle für das Drehgestell werden von den Grenz-Betriebsbedingungen abgeleitet, unter denen das Fahrzeug vollständig funktionsfähig bleiben muss. In jedem Fall muss mindestens einer der folgenden außergewöhnlichen Lastfälle für das gesamte Drehgestell/Fahrwerk angewandt werden. Falls ihre Anwendung oder Spezifikation es erfordert, müssen ebenfalls die anderen Sonderfälle angewandt werden. Für unterschiedliche Bauteile des Drehgestells können unterschiedliche Lastfälle die relevantesten sein. Zusätzliche Sonderlastfälle entstehen durch aktive Systeme (Antrieb, Bremsung, Neigung usw.), die vom Drehgestell/Fahrwerk getragen werden.

ANMERKUNG Die nachfolgend angegebenen Lastfälle sind mit den Lastfällen für den Wagenkasten, festgelegt in EN 12663, kompatibel. Es kann sein, dass die für Wagenkastenlasten verwendeten Lastfaktoren für die Konstruktion des Drehgestells/Fahrwerks nicht angemessen sind.

6.1.2.2 Vertikale außergewöhnliche Lasten

Es müssen folgende außergewöhnliche Lastfälle gelten:

- außergewöhnliche dynamische Antwort auf Gleisanregung.

Falls Anwendung oder Spezifikation es erfordert, müssen die folgenden Lastfälle ebenfalls berücksichtigt werden:

- Entgleisung mit geringer Geschwindigkeit (aus der Schiene ins Gleisbett);
- plötzliche Aufbringung von Großlasten (Güterfahrzeuge).

6.1.2.3 Seitliche außergewöhnliche Lasten

Einer der folgenden Sonderlastfälle muss angewendet werden:

- Fahrzeug am Punkt des Kippens (hier gibt es zugehörige Vertikallasten und Wankmomente);
- Prud'homme-Kriterium multipliziert mit Anzahl der Radsätze.

Falls Anwendung oder Spezifikation es erfordert, muss der folgende Lastfall ebenfalls berücksichtigt werden:

- Kräfte aufgrund der Masse des Drehgestells, wenn das Fahrzeug gekippt ist und während einer Bergung auf der Seite liegend angehoben werden muss.

6.1.2.4 Längslaufende außergewöhnliche Lasten

Es muss folgender Sonderlastfall angewendet werden:

- außergewöhnliche Beschleunigung infolge harter Rangierstöße.

6.1.2.5 Verwindungslast

Es muss folgender Sonderlastfall gelten:

- Last aufgrund maximaler Gleisverwindung.

Falls Anwendung oder Spezifikation es erfordert, muss der folgende Lastfall ebenfalls berücksichtigt werden:

- starke (fast vollständige) Radentlastung.

6.1.2.6 Lasten durch Wendemomente

Es muss folgender Sonderlastfall gelten:

- maximale Schubkräfte durch Radsatzsteuerung (Wendemomente an den Radsätzen), die quer über das Drehgestell wirken.

6.1.2.7 Abhebe- und Anhebelasten

Die Situationen müssen, wie durch das Betriebshandbuch/Instandhaltungsverfahren gefordert, festgelegt werden.

Es sind die folgenden außergewöhnlichen Lastfälle anzuwenden:

- Abheben/Anheben des gesamten Fahrzeugs an dafür vorgesehenen Punkten am Drehgestell.

Falls Anwendung oder Spezifikation es erfordert, müssen die folgenden Lastfälle ebenfalls berücksichtigt werden:

- Direktes Anheben des Drehgestells;
- Anheben des Drehgestells durch den Wagenkasten.

Die spezifischen Festigkeits- und Sicherheitsanforderungen jedes fest angebauten Abhebezubehörs und dessen dortigen Anbauteils muss berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Gibt es spezielle Anforderungen für das Abheben, Transportieren oder Lagern von Drehgestellen, sollten diese in der technischen Spezifikation enthalten sein.

6.1.2.8 Außergewöhnliche Bauteillasten

Außergewöhnliche Lastfälle für Drehgestell/Fahrwerk müssen anschaulich dargelegt werden, um außergewöhnliche Auslegungslasten für jedes Bauteil und dessen Befestigung darzulegen. Lastfälle die kleine Auswirkungen auf die allgemeine Festigkeit des Drehgestells/Fahrwerks haben, können die Festigkeitsanforderungen bestimmter Bauteile festlegen. So kann z. B. der außergewöhnliche Lastfall für einen Primärdämpfer, in einigen Fällen das Gewicht des Radsatzes und jede Restkraft der Primärfederung sein, wenn das Drehgestell abgehoben ist.

Außergewöhnliche Lasten durch aktive Bauteile müssen mögliche Ausfallarten berücksichtigen.

6.1.3 Grenzlasten

In speziellen Fällen (z. B. Unfallszenarien) kann es aus Sicherheitsgründen notwendig sein, den Bruch sowie ein allgemein instabiles Verhalten der Konstruktion zu unterbinden, bei Überschreitung der Sonderlastfälle jedoch eine dauerhafte Verformung zuzulassen (siehe 6.3.3).

Der Grenzlastfall für Befestigungen des Wagenkastens/Drehgestells wird durch maximale durchschnittliche Beschleunigungen - gemäß den Szenarien der Kollisionssicherheit nach EN 15227 - festgelegt.

ANMERKUNG In den meisten Fällen, in denen duktile Werkstoffe verwendet werden, ist die Bewertung von außergewöhnlichen Lastfällen gegenüber der Deformation ausreichend, um ebenfalls mögliche Risiken durch Bruch und Instabilität, durch die große Spanne zwischen Beginn des Fließens und endgültigem Strukturversagen von Bauteilen abzudecken.

6.1.4 Ermüdungslasten

6.1.4.1 Grundlage für Ermüdungslastfälle

Die Auslegungs-Ermüdungslastfälle für Drehgestelle müssen für die Betriebsbedingungen, die das Fahrzeug während seiner betrieblichen Lebensdauer regelmäßig erfährt, repräsentativ sein. Die Ermüdungslastfälle müssen auf den Fahrzeugmassen basieren, die in EN 15663 angegeben sind. Allerdings ist es für einige Anwendungen und Bewertungsmethoden erforderlich, zusätzliche Lastzustände des Fahrzeugs (ausgedrückt als Funktionen der Fälle in EN 15663) zu verwenden, um eine genaue Beschreibung des Spektrums der Fahrzeugnutzlasten für Entwicklungszwecke zu erlangen.

Die konstruktive Ermüdungsbelastung muss in einer Reihe von Lastfällen, bestehend aus Lastzyklen, die in Größe und Anzahl angegeben sind, bestimmt werden. Überlagerungen von Lasten müssen ebenfalls berücksichtigt und in einer Form wiedergegeben werden, die der Art der Ermüdungsanalyse entspricht.

Die zu verwendenden Lastfälle als Grundlage für die Entwicklung müssen entsprechend der Anwendung überprüft werden. Dies kann durch Verwendung von Daten aus Normen, Ergebnissen von Simulationen/Berechnungen, Prüfungen oder bisherigen Erfahrungen im Einklang mit bewährten Verfahren gemacht werden. Steuert die Trägheit des Bauteils bedeutend zur Belastung bei, müssen die resultierenden Lasten in den Auslegungslastfällen enthalten sein.

Die Angabe von Lastfällen und die Definition der zulässigen Werte für die Werkstoffe (siehe 6.3.4) müssen konsistent (widerspruchsfrei) sein.

ANMERKUNG 1 Angabe und Anwendung der Lasten hängen von der Definition der zulässigen Beanspruchungen ab. Dies ist insbesondere in der Ermüdungsanalyse von Bedeutung. Bei der Dauerfestigkeitsmethode sollte die durch die schlechtesten Kombinationen der Betriebslast hervorgerufene Beanspruchung betrachtet werden, wohingegen bei der Schadensakkumulation das effektive Beanspruchungsspektrum aufgrund der kombinierten Wirkung der Lastszenarien benötigt wird.

ANMERKUNG 2 In Normen beschriebene Versuchsanforderungen, die die Dauerfestigkeit von Drehgestellkomponenten oder von am Drehgestell montierter Ausrüstung in einer Vibrationsumgebung darlegen, sind nicht in jedem Fall für die festigkeitstechnische Auslegung bestimmt und sollten nur dann als Basis für die festigkeitstechnische Auslegung verwendet werden, wenn sie als geeignet dargelegt werden.

Werden Festigkeitsbeurteilungen mit Hilfe von Ermüdungslasten durchgeführt, die aus Simulationen oder Versuchen abgeleitet werden, muss die Analyse einen geeigneten Faktor enthalten, der die Unsicherheit in der Auslegungslast widerspiegelt.

Es müssen mindestens die folgenden Ermüdungslastfälle für das Drehgestell/Fahrwerk berücksichtigt werden. Zusätzliche Ermüdungslastfälle treten durch aktive Systeme (Antrieb, Bremsung usw.) auf, die durch das Drehgestell/Fahrwerk getragen werden, und ebenfalls zu berücksichtigen sind.

6.1.4.2 Vertikale Ermüdungslast

Ein vertikaler Ermüdungslastfall muss festgelegt werden, darstellend für die vertikale dynamische Antwort auf die Gleisanregung.

Für Pendlerverkehre mit hohen Stehplatzdichten und einige Arten von Güterfahrzeugen ist es ebenfalls erforderlich, einen Ermüdungslastfall wegen der Lade-/Entladezyklen zu berücksichtigen.

6.1.4.3 Seitliche Ermüdungslast

Ein seitlicher Ermüdungslastfall muss festgelegt werden, der die seitliche dynamische Antwort auf Gleisanregung darstellt (einschließlich Kurvenkräfte). Bei aktiven Federungen oder Fahrzeugen mit Neigetechnik müssen die Lasten aufgrund des Betriebs der Systeme ebenso wie eventuell höhere Kurvenkräfte berücksichtigt werden.

6.1.4.4 Andere Ermüdungslastfälle

Abhängig von der Anwendung können die folgenden zusätzlichen Ermüdungslastfälle bedeutend sein und müssen berücksichtigt werden, falls relevant:

- Belastungszustand in Längsrichtung (bezogen auf die Trägheit des Fahrzeugs und die erwartete Anzahl von Starts/Stopps und berücksichtigt dazugehörige Antriebs-/Bremseinrichtungskräfte);
- Führungskräfte (Wendemomente an den Radsätzen), einschließlich derer, die quer durch den Drehgestellrahmen Schub erzeugen;
- Auswirkungen von Gleisverwindungen.

6.1.4.5 Ermüdungslastfälle von Bauteilen

Es sind die Anforderungen der entsprechenden normativen Verweise zu verwenden (siehe 6.4). Gibt es keinen entsprechenden normativen Verweis, müssen die Ermüdungslastfälle von Bauteilen anhand der Lasten von Drehgestell/Fahrwerk, wie vorstehend beschrieben, bestimmt werden

6.2 Abnahmekriterien für Bauteilfestigkeit

6.2.1 Grundsatz

Die in diesem Abschnitt abgedeckte Anforderung für Drehgestelle und Fahrwerk ist die Darstellung der Bauteilfestigkeit. Die Bauteilfestigkeit ist grundlegend für sicheren Betrieb und Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen der Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) und gilt für alle Bauteile. Daher müssen der dazugehörige Entwicklungs- und Validierungsprozess einem konsistenten (widerspruchsfreien) und sorgfältigen Verfahren folgen. Das in den folgenden Abschnitten festgelegte Verfahren erfüllt diese Anforderungen und ist ebenfalls mit den in EN 12663 festgeschriebenen Anforderungen für Wagenkästen kompatibel (der andere bedeutende Teil eines Fahrzeugs, bei dem die Bauteilfestigkeit führend ist). Die Darstellung der Bauteilfestigkeit basiert auf einer Kombination von statischer Festigkeit und Beurteilung der Lebensdauer, unter Verwendung numerischer Berechnungen und/oder Versuchen.

Sind in Normen für Drehgestellbauteile (z. B. für Radsätze) spezielle festigkeitsbezogene Zulassungskriterien aufgeführt, so sind diese einzuhalten. Diese Kriterien stehen nicht im Widerspruch zu den nachfolgend angegebenen Anforderungen, stellen aber durch die Eigenschaft der Bauteile und der vorherrschenden Belastung eine Vereinfachung der allgemeinen Entwicklungskriterien dar. Sind keine Kriterien angegeben, sind die nachfolgend beschriebenen Abnahmebedingungen anzuwenden.

Die Zuverlässigkeit der Eingangsdaten (d. h. Lasten/Geometrie) und die Bewertungsmethode müssen zusammen mit der Ausnutzung als Grundlage verwendet werden, um den Umfang der Versuche (für Labor- und Streckenversuche) und die Anforderungen zur Prüfung der Fertigungsqualität zu definieren.

Abnahmekriterien für Versuche müssen zusätzliche Kriterien berücksichtigen (z. B. statistische Abweichungen, erforderliche Vereinfachungen für die Versuchsanordnung).

Können die analytischen Abnahmekriterien nicht für die gesamte Konstruktion erfüllt werden (z. B. wenn die Zulassungskriterien im analytischen Verfahren örtlich überschritten wurden), ist es zulässig, einen Versuch durchzuführen, der den Auslegungslastfall oder die realen Betriebsbedingungen abbildet. Erfüllt das Versuchsergebnis die Abnahmekriterien (welche wie vorstehend angegeben abgestimmt werden müssen), kann die Anforderung als nachgewiesen angesehen werden.

ANMERKUNG Die Strategie für die Abnahme kann Variationen beinhalten wie die Verwendung eines hohen Sicherheitsfaktors mit minimalen Typtests (minimalem Aufwand für Typtests) oder einem niedrigen Sicherheitsfaktor und ausführlichen Typtests beinhalten.

6.2.2 Ausnutzung

Die Ausnutzung des Bauteils muss nach der folgenden allgemeinen Gleichung kleiner oder gleich 1 sein:

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

Dabei ist

- U Ausnutzung des Bauteils;
- R_d ermitteltes lokales Beanspruchungs-Ergebnis aus Berechnung oder Versuch;
- S (Entwicklungs-)Sicherheitsfaktor (siehe 6.2.3);
- R_C physikalischer Grenzwert des Werkstoffs (einschließlich aller dazugehörigen lokalen Einflüsse, wie z. B. Oberflächenbeschaffenheit, Dicke usw.)

ANMERKUNG In einigen Konstruktionsrichtlinien wird der Sicherheitsfaktor nicht explizit definiert, aber in der Last berücksichtigt, oder durch eine Verminderung des zulässigen Beanspruchungswertes oder eine Kombination dieser beiden Verfahren implementiert.

6.2.3 Sicherheitsfaktor

Der Sicherheitsfaktor muss die folgenden Unsicherheiten beim Entwicklungs-, Fertigungs- und Validierungsprozess abdecken:

a) Maßtoleranzen

Es ist zulässig, Berechnungen auf Grundlage nomineller Bauteilmaße durchzuführen. Mindestmaße sind nur zu berücksichtigen, wenn große Toleranzen bezüglich der Dicke (z. B. bei Gussteilen) auftreten, eine nachträgliche Bearbeitung erfolgt oder das Bauteil durch beträchtliche Verminderung der Dicke (aufgrund von Abnutzung usw.) während des Betriebs gekennzeichnet ist. Ein angemessener Schutz gegen Korrosion ist Bestandteil der Fahrzeugspezifikation. Der dadurch hervorgerufene Werkstoffverlust kann üblicherweise vernachlässigt werden.

b) Fertigungsprozess

Die Leistungsmerkmale von Werkstoffen in den eigentlichen Bauteilen können von den an Prüfkörpern aufgezeigten abweichen. Solche Unterschiede liegen in Änderungen des Fertigungsprozesses und der Arbeitsausführung begründet, die durch keine realisierbare Qualitätskontrolle aufgedeckt werden können.

ANMERKUNG Die Abweichung im Fertigungsprozess bezüglich der Schweißqualität kann durch eine nach EN 15085 definierte, geeignete Prüfhäufigkeit ohne weitere Zugaben berücksichtigt werden.

c) analytische Genauigkeit

Jedes analytische Verfahren beinhaltet Näherungen und Vereinfachungen. Es liegt in der Verantwortung des Lieferanten, bei analytischen Verfahren geeignete Annahmen für den Entwicklungs- und Validierungsprozess anzuwenden.

Der Wert des Sicherheitsfaktors muss bezüglich der Kritikalität des Bauteilausfalls folgende Aspekte berücksichtigen:

- Folgen des Ausfalls;
- Redundanz;

- Zugänglichkeit für Prüfzwecke;
- Grad/Häufigkeit der Qualitätskontrolle;
- Erkennung des Bauteilausfalls;
- Instandhaltungsintervall.

Der mit $S (\geq 1,0)$ bezeichnete Sicherheitsfaktor ist bei Bestimmung der Ausnutzung anzuwenden. Er muss in Übereinstimmung mit dem eingesetzten Bewertungsverfahren sein.

Werden bewährte Analyseverfahren eingesetzt, die in der Vergangenheit zu sicheren Konstruktionen geführt haben (beispielsweise Lasten aus EN 13749 in Kombination mit FE- Berechnungen und statischen/dynamischen Versuchen, die in EN 13749 beschrieben sind), kann der Sicherheitsfaktor auf diesen Erfahrungen basieren. Handelt es sich um konservative Verfahren (d. h. Lasten der EN 13749), kann der Sicherheitsfaktor Bestandteil des Verfahrens sein und S als 1,0 angenommen werden.

6.3 Werkstofffestigkeit

6.3.1 Anforderungen

Die Bauteilfestigkeit muss für alle Bauteile nachgewiesen werden in Bezug auf:

- Statische Festigkeit — d. h. Bewertung gegen Instabilität, Bruch und dauerhafte Verformung, welche die Funktionsweise des Bauteils beeinträchtigt;
- Ermüdungsfestigkeit — d. h. Bewertung gegen Ermüdungsbruch (Risseinleitung) aufgrund zyklischer Belastung.

Die zulässigen Werkstoffkennwerte müssen auf normativen Verweisen, aktuellen Europäischen, Nationalen oder Internationalen Normen oder alternativen Quellen gleicher Bedeutung basieren. Sind in Normen keine angemessenen Daten zu finden, können andere Daten genutzt werden, vorausgesetzt, sie stützen sich auf ein geeignetes Qualitätskontrollverfahren (ähnlich dem in den Werkstoffnormen angewandten). Damit muss sichergestellt werden, dass die bei der Bewertung des Werkstoffs verwendeten Festigkeitswerte den Mindestanforderungen entsprechen. Die Werkstoffeigenschaften müssen mit dem eingesetzten Bewertungsverfahren und den Betriebsbedingungen, wie in der Spezifikation festgelegt, vereinbar sein (z. B. Anwendung unter extrem niedrigen Temperaturen).

Die in den nachfolgend beschriebenen Prozessen angewandten Verfahren und Kriterien basieren auf anerkannten industriellen Verfahren und dem neuesten Stand der Technik und entsprechendem Wissen. Die gleichen Kriterien müssen für Entwicklung und Validierungsversuche anwendbar sein.

Die in diesem Abschnitt beschriebene Vorgehensweise ist auf Eisenwerkstoffe und die meisten anderen metallischen Werkstoffe vollständig anwendbar. Für andere Werkstoffarten kann es notwendig sein, diesen Ansatz anzupassen und gleichwertige angemessene Bewertungsmethoden und Kriterien anzuwenden, die auf den gleichen Prinzipien beruhen.

6.3.2 Statische Festigkeit

6.3.2.1 Anforderungen

Die Anforderungen an die statische Festigkeit entsprechen den außergewöhnlichen Lastbedingungen (siehe 6.1.2), unter denen das Drehgestell/Fahrwerk voll funktionsfähig bleiben muss. Es ist durch Berechnung und/oder Versuche zu zeigen, dass die außergewöhnlichen Lastbedingungen zu keiner maßgeblichen dauerhaften Verformung, keiner Instabilität und keinem Bruch der Konstruktion oder eines Einzelteils führen.

Werden statische Festigkeitseigenschaften für einen Werkstoffgütegrad durch einen Wertbereich festgelegt, müssen die unteren Grenzwerte für Konstruktionszwecke verwendet werden.

6.3.2.2 Dauerhafte Verformung

Als Abnahmekriterium zur Vermeidung der dauerhaften Verformung wird üblicherweise die Streckgrenze oder Dehngrenze (R_{eH} oder $R_{p0,2}$ nach EN ISO 6892-1) verwendet. Ein Sicherheitsfaktor S_1 , wie in 6.2.3 definiert, ist beim Vergleich der zulässigen mit der festgelegten Beanspruchung einzubeziehen.

Für den Fall einer linearen statischen Beanspruchungsberechnung gilt folgendes:

$$U = \frac{\sigma_c S_1}{R_{eH}} \leq 1$$

Dabei ist

R_{eH} Streckgrenze oder Dehngrenze des Werkstoffs in N/mm². Ist R_{eH} nicht verfügbar, ist $R_{p0,2}$, die 0,2 Dehngrenze einzusetzen;

σ_c ermittelte Beanspruchung in N/mm²;

S_1 Sicherheitsfaktor nach 6.2.3.

In Abhängigkeit der Werkstoffart ist für die Ermittlung der Beanspruchung (σ_c) ein geeignetes Bruchkriterium zu wählen. Für einen verformbaren Werkstoff werden zum Beispiel üblicherweise die Von Mises- Kriterien eingesetzt, wohingegen für hochfeste, spröde Werkstoffe Hauptnormalspannungskriterien verwendet werden. Die für die entsprechende Bruchart auszuwählenden Kriterien müssen auf der Werkstoffduktilität und den Risseinleitungsmechanismen basieren.

Für den Fall lokaler plastischer Verformungen ist zu zeigen, dass Funktionsweise und Ermüdungsfestigkeit der Konstruktion unter Sonderlastbedingungen nicht beeinträchtigt werden. Bei der Bestimmung des Spannungsniveaus in verformbaren Werkstoffen mit Hilfe einer linearen Berechnung bedeutet das Auftreten von Spannungen oberhalb der Streckgrenze nicht automatisch, dass die Funktion der Konstruktion beeinträchtigt ist. Zeigt die Analyse lokale Spannungskonzentrationen auf, kann die theoretische Spannung die Streckgrenze oder 0,2 % Dehngrenze übersteigen. Die Bereiche lokaler plastischer Verformung mit Spannungskonzentrationen müssen ausreichend klein sein, damit beim Entfernen der Last keine maßgebliche dauerhafte Verformung (siehe Definition) stattfindet. Die Vermeidung einer maßgeblichen dauerhaften Verformung kann, soweit erforderlich, durch die folgenden Verfahren nachgewiesen werden:

- Analytische Überprüfung, die aufzeigt, dass die Größe des betroffenen Bereichs klein genug ist und maßgebliche dauerhafte Verformungen vermieden werden können;
- Verwendung einer plastischen Stützzahl, um zu zeigen, dass keine vollständige plastische Verformung des Querschnitts stattfand; dieser Faktor kann durch analytische Verfahren, nichtlineare numerische Simulationen oder Versuche mit Überlast bis zur zerstörenden Prüfung ermittelt werden;
- Verwendung eines realistischen oder vereinfachten nichtlinearen Werkstoffverhaltens, um zu zeigen, dass die gesamte maximale Dehnung des entsprechenden Werkstoffs nicht überschritten wird und die dauerhafte Verformung nach Entfernung der Last zulässig ist, d. h. noch innerhalb der geometrischen Toleranzen liegt;
- Versuch, der zeigt, dass nach mehreren Lastaufbringungen das Spannungsverhalten in den Messpositionen ein lineares Verhalten aufweist und die dauerhafte Verformung nach Entfernung der Last (d. h. noch innerhalb der geometrischen Toleranzen) zulässig ist.

ANMERKUNG Die Bestimmung zulässiger Werte für die größte Gesamtdehnung und zulässige Restverformung sollte auf der Anleitung durch technische Literatur, unter Berücksichtigung des Werkstofftyps und der Anwendung, basieren.

6.3.3 Bruchfestigkeit und Stabilität

Zwischen der maximalen Auslegungslast und der Traglast ist ein Sicherheitsbereich zu berücksichtigen. Dies kann durch die Einführung eines Sicherheitsfaktors S_2 erreicht werden. Das Verhältnis zwischen Werkstoffbruchfestigkeit und berechneter Beanspruchung muss nach folgender Gleichung größer oder gleich S_2 sein:

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

Dabei ist

R_m Werkstoffbruchfestigkeit, in N/mm²;

σ_c ermittelte Beanspruchung, in N/mm²;

S_2 Sicherheitsfaktor für Bruchfestigkeit.

Für die meisten Anwendungen ist $S_2 = 1,5$ ein angemessener Wert, welcher in besonderen Fällen angepasst werden kann.

Als Alternative zu einer linearen Berechnung mit der oben angegebenen Gleichung, kann eine nichtlineare Berechnung mit einem realistischen oder vereinfachten Stoffgesetz erfolgen oder ein (zerstörender) Versuch durchgeführt werden. In diesem Fall ist der Sicherheitsfaktor nach folgender Gleichung anzuwenden:

$$U = \frac{L_E S_2}{L_C} \leq 1$$

Dabei ist

L_E maximale Konstruktionssonderlast;

L_C durch Berechnung oder Versuch bestimmte Traglast (d. h. der Beginn von Bruch oder Instabilität);

S_2 Sicherheitsfaktor für Sonderlasten.

Es können auch interne Lastwirkungen auftreten (z. B. Presspassungen, Schraubenvorspannungen, Vorspannungen aufgrund statischer Massen usw.), die bei Betrachtung der einwirkenden Lasten der Sonderlastfälle konstant bleiben müssen.

6.3.4 Ermüdungsfestigkeit

6.3.4.1 Allgemeine Anforderungen

Das Werkstoffverhalten unter Ermüdungsbelastung muss auf aktuellen Europäischen oder nationalen Normen bzw. alternativen Quellen gleicher Bedeutung basieren, wenn solche Quellen zur Verfügung stehen. Für die Bewertung der Konstruktion sind überprüfte Daten zu verwenden. Liegen solche Daten nicht vor, müssen sie durch angemessene Prüfungen entsprechend der Anwendung bestimmt werden.

Die Ermüdungsfestigkeit ist durch S-N-Kurven zu beurteilen. Diese ergeben sich aus der Berücksichtigung der folgenden Punkte: