



V 1.0, 7. Oktober 2014

Aktenzeichen: BAV / BAV-041.4-00003/00009/00002/00004/00002

Richtlinie

Strukturnachweise Meter- und Spezialspurbahnen

Vorgehen bei der Nachweiserbringung zu

- Strukturfestigkeit Fahrzeugkasten
- Crashverhalten Fahrzeugkasten
- Strukturfestigkeit Drehgestell
- Festigkeit Radsatzwellen
- Festigkeit Räder

sowie

Vorgehen bei Nachweisen über Analogie-
schlüsse

Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Verkehr, 3003 Bern
Abteilungen Infrastruktur und Sicherheit

Autor: Thomas Schlusemann

Filename: mimeattach3565.bin
(veröffentlicht als .pdf-Datei)

Q-Plan Stufe: RL, öffentlich

QM-SI - Anbindung: QM-Doku Liste2 Zulassung von Rollmaterial

Anwendungsgebiet: BAV Prozess 42

Verteiler: Veröffentlichung auf der BAV-Internetseite

Sprachfassungen: Deutsch

Diese Richtlinie tritt am 1. November 2014 in Kraft;

Bundesamt für Verkehr
Abteilung Sicherheit

Abteilung Infrastruktur

Pieter Zeilstra, Vizedirektor

Toni Eder, Vizedirektor

Ausgaben / Änderungsgeschichte

Version	Datum	Ersteller	Änderungshinweise	Status ¹
V 1.0	7.10.2014	Thomas Schlusemann	Neufassung	in Kraft / EDT, ZEP

¹ Dokumentstatus; vorgesehen sind: in Arbeit / in Review / in Kraft (/mit Visum) / abgelöst

Inhalt

1. Zweck der Richtlinie	4
2. Nachweisverfahren Wagenkasten nach EN 12663-1	5
3. Abnahmeprogramm Wagenkasten.....	6
4. Nachweisverfahren zur passiven Sicherheit / Crashtauglichkeit.....	7
5. Festigkeitsnachweis von Drehgestellrahmen	8
6. Festigkeitsnachweis von Radsatzwellen	9
7. Festigkeitsnachweis von Rädern.....	9
8. Vorgehen bei Analogiebetrachtungen	10
ANHANG 1: Literatur.....	11

1. Zweck der Richtlinie

Zweck dieser Richtlinie ist es, Grundlagen zur Führung des Sicherheitsnachweises für Schienenfahrzeugstrukturen festzulegen.

Sie bezieht sich auf Fahrzeuge, welche auf schweizerischen Strecken mit Meter- oder Spezialspur betrieben werden sollen.

Rechtliche Grundlagen sind die Vorgaben des Eisenbahngesetzes (EBG), Stand 1. Juli 2013, die Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (EBV), Stand vom 1. Juli 2013, sowie die Ausführungsbestimmungen zur EBV (AB-EBV), Stand 1. August 2013), sowie die Richtlinie Zulassung Eisenbahnfahrzeuge in ihrer Fassung vom 1. Januar 2014.

Relevante Normen sind:

- SN EN 12663-1 „Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen“,
- SN EN 15227 „Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugkästen“,
- SN EN 13103 „Laufradsatzwellen - Konstruktions- und Berechnungsrichtlinie“,
- SN EN 13104 „Treibradsatzwellen - Konstruktionsverfahren“,
- SN EN 13260 „Radsätze – Produkthanforderungen“
- SN EN 13262 „Räder – Produkthanforderungen“
- SN EM 13749 „Festigkeitsanforderungen an Drehgestellrahmen“
- SN EN 13979-1 „Techn. Zulassungsverfahren - Geschmiedete und gewalzte Räder“
- EN 15085-1 bis 5 „Schweissen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen“
- SN EN 50126-1 „Spezifikation und Nachweis RAMS“
- UIC 510-5 „Technische Zulassung von Vollrädern“

in ihrer jeweils am 1. November 2014 gültigen Version,

Betreffend die Prüfung von Nachweisen zur Führung des Sicherheitsnachweises wird auf die Bestimmungen der Richtlinie unabhängige Prüfstellen Eisenbahn, die am 1. Juli 2013 in Kraft getreten ist, hingewiesen.

Das Vorgehen bei Änderungen an den Strukturen oder Einsatzbedingungen ist in einer separaten Richtlinie geregelt, vergl. Anhang 1.

2. Nachweisverfahren Wagenkasten nach EN 12663-1

- Der Nachweis genügender Festigkeit der Kastenstruktur nach EN 12663-1 erfordert die Klärung folgender Fragen:
 - Massendefinition
 - Nachweis gegen Streckgrenze, Bruchlast und Stabilitätsversagen
 - Sicherheitsfaktoren
 - Statische Lasten
 - Ermüdungslasten
 - Zulässige Werkstoffspannungen
 - Abnahmeprogramm nach Tabelle 19 der EN 12663-1

Tabelle 19 — Zusammenfassung des Abnahmeprogramms

	Vollständige Strukturanalyse	Lokale oder globale vergleichende Strukturanalyse	Statische Tests	Ermüdungsprüfungen und/oder Prüfungen auf der Strecke
Neukonstruktion	ja	nicht zutreffend	ja	nur erforderlich, wenn andere Methoden keine ausreichende Sicherheit zeigen
Weiterentwickelte Konstruktion und/oder neue Anwendung	nein	ja	nein oder reduziertes Test- Programm	nur erforderlich, wenn andere Methoden keine ausreichende Sicherheit zeigen
Identische Konstruktion und neue Anwendung				
Weiterentwickelte Konstruktion, ähnliche Anwendung	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.				

3. Abnahmeprogramm Wagenkasten

- Die Einstufung des Wagenkastens nach Kategorie P-III, P-IV und P-V ist mit dem BAV gemäss den vorgesehenen Einsatzszenario abzustimmen.
- Auf einen statischen Test kann verzichtet werden, wenn
 - die Wagenkastenstruktur direkt aus einer bereits vorher zugelassenen Wagenkastenstruktur abgeleitet wurde (i.e., weiterentwickelte Konstruktion mit geringen geometrischen Änderungen, wie z.B. leicht verschobene Tür- und Fensterposition),
 - Bedingung: Für die vorher zugelassene Wagenkastenstruktur liegt ein abgenommener, validierter Festigkeitsnachweis vor, bei dem die Wagenkastenstruktur erfolgreich berechnet und getestet wurde und ein Abgleich zwischen Rechen- und Testresultaten erfolgreich durchgeführt wurde.
 - die Wagenkastenstruktur eine ähnliche Bauweise (z.B. Aluminiumprofilbauweise, aber geänderte Fahrzeugdimensionen oder -layout) zu einem Vorprojekt aufweist, bei dem die Wagenkastenstruktur erfolgreich validiert worden ist (d.h. ausreichend niedrige Auslastungsgrade bei Berechnung und statischem Test, erfolgreicher Abgleich zwischen Rechen- und Testresultaten). Als Vorprojekt kann auch ein Projekt aus dem Vollbahnbereich herangezogen werden,
 - Bedingungen: Für den numerischen Festigkeitsnachweis müssen dabei die gleiche Modellierungsstrategie (FE-Programm, Elementtypen und Netzfeinheit) und die gleiche Evaluationsmethodik wie beim Vorprojekt angewendet werden; bei dem die Wagenkastenstruktur erfolgreich berechnet und getestet wurde, und ein Abgleich zwischen Rechen- und Testresultaten erfolgreich durchgeführt wurde.
 - die Wagenkastenkonstruktion neu ist, aber die Anzahl der Wagenkästen aus der Serie kleiner als 10 ist.
 - Bedingungen: Für den numerischen Festigkeitsnachweis müssen dabei die gleiche Modellierungsstrategie (FE-Programm, Elementtypen und Netzfeinheit) und die gleiche Evaluationsmethodik wie beim Vorprojekt angewendet werden; bei dem die Wagenkastenstruktur erfolgreich berechnet und getestet wurde, und ein Abgleich zwischen Rechen- und Testresultaten erfolgreich durchgeführt wurde.
- Bei Verzicht auf einen statischen Versuch muss gemäss EN 12663-1 ein höherer Sicherheitsfaktor von 1,15 beim Nachweis gegenüber Streckgrenze eingehalten werden.
- Falls die Wagenkästen zusätzlich die Anforderungen an die Kollisionssicherheit in Anlehnung an EN 15227 erfüllen, genügt ein Sicherheitsfaktor von 1,0 beim Nachweis gegenüber der Streckgrenze.
- Schweißnahtkonstruktionen werden nach EN 15085 bewertet und ausgeführt (früher DIN 6700).
- Anzusetzende Zuladung:
 - Statisch nach AB-EBV
 - Ermüdungsbelastung: angelehnt an SN EN 12663-1, Kap.6.6, in Pflichtenheft definieren und gemeinsam mit Kunden und BAV abzusprechen

4. Nachweisverfahren zur passiven Sicherheit / Crashtauglichkeit

- Der Nachweis erfolgt nach Stand der Technik in Anlehnung an SN EN 15227, CSM-RA, EN 50126 sowie nach dem BAV-Handbuch Risikobeurteilung (vergl. Anhang 1) unter Einbezug der betroffenen Eisenbahnverkehrsunternehmen.
- Ändern sich die Einsatzbedingungen mit Einfluss auf das Kollisionsrisiko, so ist die Risikobeurteilung zu aktualisieren. Das weitere Vorgehen folgt der Richtlinie technische Änderungen (vergl. Anhang 1).
- Einsatzkategorien:
 - Vollbahnen (verkehrend auf SBB/BLS Netz): C-I
 - Meterspurfahrzeuge und Zahnradbahnen: C-III
 - Strassenbahnen: C-IV
- Durchführung einer Risikobeurteilung für die Einsatzstrecken gemäss Einsatzszenario mit Berücksichtigung der Kompatibilität zu bestehenden Fahrzeugen.
- Die Risikobeurteilung umfasst die Schritte Risikoanalyse (Identifizieren der Gefährdung und Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit), Festlegen von Massnahmen, Beurteilung der risikomindernden Wirkung, Analyse und Beurteilung des verbleibenden (Rest-) Risikos.
- Die Risikobeurteilung berücksichtigt z.B. :
 - denkbare Kollisionsgegner und Begegnungswahrscheinlichkeit
 - Anzahl der Bahnübergänge
 - Sicherung der Bahnübergänge
 - Einsehbarkeit der Bahnübergänge
 - Zugsicherung (z.B. Linienzugbeeinflussung)
 - Bremsvermögen
- Darauf basierend können dem BAV Anpassungen vorgeschlagen werden:
 - Anpassung der Kollisionsgeschwindigkeiten
 - Anpassung bzw. Wegfall / Ergänzung von Kollisionsszenarien
- Erforderlich:
 - Besprechung der Risikobeurteilung mit dem BAV
 - Freigabe des Nachweisprogramms durch BAV
- Es werden in der Regel keine dynamischen Full-Scale-Tests von Crashfronten durchgeführt, höchstens Komponentenversuche (z.B. Crashmodul), wobei bei ähnlichen Bauweisen im Sinne der EN 15227 auf frühere Versuchsergebnisse zurückgegriffen werden darf.
- Bei einem Kollisionsnachweis ohne dynamischen Versuch müssen die gleiche Modellierungsstrategie (FE-Programm, Elementtypen und Netzfeinheit) sowie die gleiche Evaluationsmethodik wie bei einem validierten Vorprojekt angewendet werden, bei dem die Crashstruktur erfolgreich berechnet und getestet wurde und ein Abgleich zwischen Rechen- und Testresultaten erfolgreich durchgeführt wurde.
- Der Abgleich zu einem Crashkomponentenversuch ist in der Regel ausreichend, um auch die Tauglichkeit der Modellierung der gesamten Wagenkastenstruktur für den Kollisionsfall nachzuweisen.

5. Festigkeitsnachweis von Drehgestellrahmen

- Der Festigkeitsnachweis gegen statische Beanspruchung und Ermüdung baut auf den Lastannahmen auf. Die Annahmen werden aus dem Einsatzszenario des Fahrzeuges abgeleitet, welches der Besteller des Fahrzeuges definiert hat.
- Zuladung für Touristikbahnen (nicht im S-Bahnverkehr eingesetzt) - Statischer Nachweis: nach AB-EBV
- Zuladung für Touristikbahnen (nicht im S-Bahnverkehr eingesetzt) – Ermüdungsbelastung:
 - Immer 100% der Sitzplätze inkl. Klappsitze belegt,
 - Stehplatzflächen werden so belegt, dass insgesamt (Sitzplätze plus Stehplätze) 50% der Zuladungsmasse nach AB-EBV erreicht wird
 - ggf. mehr, falls der vorgesehene Einsatz dies nahelegt
- Es sind Festigkeitsnormen nach dem Stand der Technik anzuwenden (wie z.B. FKM-Richtlinie, IIV Empfehlungen, Eurocode 3, DVS1612 (aktuelle Version), DVS1608:2010, ...).
- Die konstruktiven Lösungen der Verbindungstechnik folgen dem aktuellen Stand der Technik.
- Es wird dringend empfohlen, im Zulassungsverfahren die Lastannahmen sowie das gesamte Nachweiskonzept frühzeitig mit dem BAV abzustimmen.
- Neben dem rechnerischen Festigkeitsnachweis wird auch ein Streckenversuch mit nachfolgendem Betriebsfestigkeitsnachweis (Miner-Regel) durchgeführt.
- Auf einen statischen Versuch oder einen Dauerversuch des Drehgestellrahmens wird verzichtet.
- Bei der Streckenmessung sind pro Drehgestellrahmen etwa 20 Dehnmessstreifenpositionen an hoch beanspruchten Stellen vorzusehen. Die vorgesehenen Einsatzstrecken werden zweimal mit Ermüdungsbelastung abgefahren. Die Messresultate werden rainflowklassiert, auf die vorgesehene Gesamtlebensdauer umgerechnet und bewertet. Ein Messunsicherheitsfaktor von 1,05 ist auf die Messwerte anzuwenden. Für jeden Messpunkt wird die Gesamtschädigung bestimmt.
- Ein Sicherheitsfaktor von 1,0 ist dann für den rechnerischen Nachweis und die Streckenversuche mit nachfolgendem Betriebsfestigkeitsnachweis ausreichend.
- Der rechnerische Festigkeitsnachweis alleine ist ausreichend, wenn die Drehgestellstruktur direkt mit nur geringen konstruktiven Änderungen, wie z.B. andere Bremskonsolen, aus einem bereits vorher zugelassenen Drehgestell abgeleitet wurde, und wenn validierte Modellierungs- und Evaluationsmethoden eingesetzt werden, mit denen ausreichend niedrige Auslastungsgrade nachgewiesen werden.
- Bedingungen:
 - Für das vorher zugelassene bauähnliche Drehgestell liegt ein abgenommener, validierter Festigkeitsnachweis nach EN13749 vor (mindestens zweistufiges Nachweisverfahren).
 - Für den rechnerischen Festigkeitsnachweis muss dabei die gleiche Modellierungsstrategie (FE-Programm, Elementtypen und Netzfeinheit) wie beim Vorprojekt angewendet werden.
 - Die angewendete Festigkeitsnorm muss dem Stand der Technik entsprechen.

6. Festigkeitsnachweis von Radsatzwellen

- Anpassung auf die tatsächlich im Betrieb auftretenden bzw. zu erwartenden Belastungen auf Basis der jährlichen Laufleistung:
- Abminderungsfaktoren der Lasten aus EN13104/EN13103 in Abhängigkeit von der tatsächlichen Jahreslaufleistung bei Touristikbahnen (bei Annahme eines Wöhlerlinienexponenten von $k = 7$):
- Basis für EN13103/EN13104 Lasten: 200.000 km pro Jahr

Jahreslaufleistung:	Abminderungsfaktor „f“
bis 40000 km	0,79
50000 km	0.82
60000 km	0.84
70000 km	0.86
80000 km	0.88
100000 km	0.91
140000 km	0.95
150000 km	0.96
ab 200 000 km	1.00

- Die Radsatzwellen sind beim Wechseln der Räder, mindestens jedoch alle 6 Jahre, zerstörungsfrei auf Risse zu prüfen.
- Bei reinen Zahnradbahnen sind wegen der geringen Zahl der gefahrenen Kilometer die Radsatzwellen bei Getrieberevisionen, mindestens jedoch alle 12 Jahre, zerstörungsfrei auf Risse zu prüfen.

7. Festigkeitsnachweis von Rädern

- Nachweis nach EN13979-1 und UIC510-5:2007
- Bei hinreichend niedrigen Auslastungsgraden im rechnerischen Nachweis sind keine Versuche erforderlich
- Konformitätserklärung zu EN13260 und EN13262
- Bei bereiften Rädern oder Rädern mit Gummielementen ist nach Abstimmung mit dem BAV in Anlehnung an die genannten Normen vorzugehen.

8. Vorgehen bei Analogiebetrachtungen

Dabei werden Aussagen über nachzuweisende Strukturen aus der Betrachtung vergleichbarer Strukturen abgeleitet.

Zweck dieses Vorgehens ist es, den Aufwand zur Führung der Festigkeitsnachweise zu begrenzen, ohne Kompromisse hinsichtlich der Sicherheit der Struktur zu machen.

Grundsätzlich müssen die nachzuweisenden Strukturen dem jeweils aktuellen Stand des gesetzlichen Regelwerk und der Normen genügen.

Betriebserfahrung kann als experimentell erbrachter Nachweis zur Beurteilung der aktuellen Struktur herangezogen werden. Das Vorgehen beruht auf dem Vergleich der Belastungskollektive, es ist in jedem Falle mit dem BAV vorgängig abzustimmen.

Für Kastenstrukturen wird auf das Vorgehen gemäss Tabelle 19, SN EN 12663-1, im vorliegenden Dokument auf Seite 5, verwiesen.

