

Ersetzt Ausgabe August 2009

Diese Richtlinie ist die überarbeitete Fassung des Merkblattes 1612 von 1984. Die Überarbeitung erfolgte mit dem Ziel, die in DIN 6700 bzw. der jetzt gültigen Normenreihe DIN EN 15085 enthaltenen Anforderungen zur Festlegung von Schweißnahtgüteklassen unter Berücksichtigung von Festigkeits- und Sicherheitsanforderungen bei Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau zu konkretisieren. Dabei wurde auf die Vorschrift DV 952, Anhang II von 1977 der Deutschen Bahn (DB) Bezug genommen. Die darin enthaltenen Festigkeitswerte für Stahl sind in überarbeiteter Form in die vorliegende Richtlinie übernommen worden, die somit auch die DB-Vorschrift DV 952, Anhang II von 1977 ersetzt.

Die Geltung dieser Richtlinie ist zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu vereinbaren.

Die Richtlinie wurde durch Vertreter der Schienenfahrzeugindustrie, der DB AG und des Eisenbahn-Bundesamtes sowie durch Mitarbeiter von IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden erstellt.

**Inhalt:**

- 1 Allgemeines
  - 2 Geltungsbereich
  - 3 Schweißtechnische Fertigung und Qualitätssicherung
  - 4 Gestaltung und Auslegung der Schweißverbindungen
    - 4.1 Gestaltungsgrundsätze
    - 4.2 Grundlagen der Auslegung
    - 4.3 Nachweis der Dauerfestigkeit
    - 4.4 Dauerfestigkeitswerte auf Basis von DV 952
    - 4.5 Zuordnung von Dauerfestigkeit, Schweißnahtgüteklasse und Sicherheitsbedürfnis
  - 5 Erläuterungen zum Bauformen-Katalog
  - 6 Schrifttum
- Anhang A: Richtlinien und Normen mit Festlegungen für den Dauerfestigkeitsnachweis von Schweißverbindungen  
Anhang B: Bauformen-Katalog

**1 Allgemeines**

Die Richtlinie enthält Hinweise zur Gestaltung und Vorgaben zur Auslegung von Schweißkonstruktionen sowie eine Zusammenstellung von für den Schienenfahrzeugbau wesentlichen Schweißkonstruktionsdetails (Bauformen) aus Stahl, die sich bezüglich Sicherheit, Funktionsfähigkeit, Leichtbau, wirtschaftlicher Fertigung und Instandhaltung bewährt haben. Die im Bauformen-Katalog erfassten Verbindungsdetails sind den Schweißnahtgüteklassen CP C A bis CP C 2 nach DIN EN 15085-3 und den Kerbfalllinien bzw. Dauerfestigkeitswerten zugeordnet, die durch die Überarbeitung der DV 952, Anhang II entstanden und ebenfalls Bestandteil dieser Richtlinie sind. Zusammen mit der Berücksichtigung von unterschiedlichem Sicherheitsbedürfnis werden damit die Anforderungen der DIN EN 15085 erfüllt.

Die Dauerfestigkeitswerte des Bauformen-Kataloges beziehen sich auf geschweißte Bauteilverbindungen im Schienenfahrzeugbau und die hier geltenden Festsetzungen. Das ist zu beachten, wenn die Dauerfestigkeitswerte auch in anderen Bereichen angewendet werden.

Der Bauformen-Katalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Richtlinie dient Erhebungsingenieuren und Konstrukteuren dazu, Schweißverbindungen beanspruchungsgerecht auszuführen, und unterstützt Schweißfach- und Abnahmeingenieure bei der Lösung von Qualitätssicherungs- und Fertigungsaufgaben.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

**2 Geltungsbereich**

Diese Richtlinie gilt für die Gestaltung und Auslegung auf Dauerfestigkeit von Lichtbogen-Schweißverbindungen von im Schienenfahrzeugbau eingesetzten Stählen. Sie ist für Schweißkonstruktionen mit Blechdicken  $\geq 3$  mm und für einige Verbindungsformen auch mit Blechdicken  $\geq 1,5$  mm anzuwenden.

Die in dieser Richtlinie angeführte direkte Zuordnung von Dauerfestigkeit und Schweißnahtgüteklasse sowie von Dauerfestigkeit und Sicherheitsbedürfnis mit den Erweiterungen zur Einordnung von unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen erfüllt die Anforderungen in den Tabellen 1 und 2 der DIN EN 15085-3 zur Festlegung der maßgebenden Schweißnahtgüteklasse. Für schwingenbeanspruchung kommen nur die Schweißnahtgüteklassen CP A, CP B, CP C1 und CP C2 nach DIN EN 15085-3 infrage. Wird die Schweißnahtgüteklasse nach dieser Richtlinie unter Berücksichtigung aller hier aufgeführten Angaben festgelegt, entfällt die Anwendung der Tabelle 2 der DIN EN 15085-3. Darüber hinausgehende Festlegungen in DIN EN 15085-3 sind einzuhalten.

Die in dieser Richtlinie enthaltenen Dauerfestigkeitswerte können auch für die Auslegung von laser- und elektronenstrahlgeschweißten Verbindungen herangezogen werden. Da erforderliche Schweißungen bei Instandhaltungs- oder Reparaturarbeiten i.d.R. mit dem Lichtbogenschweißverfahren erfolgen, ist eine eventuell höhere Schwingfestigkeit von laser- oder elektronenstrahlgeschweißten Verbindungen nicht zu berücksichtigen.

**3 Schweißtechnische Fertigung und Qualitätssicherung**

Bei der Gestaltung der Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau sind die Anforderungen der DIN EN 15085-3 zu beachten. Die Konstruktionszeichnungen sind unter Beachtung der DIN EN 15085-3 und dem Merkblatt DVS 1610 aufzustellen.

Entsprechend der Normenreihe DIN EN 15085 muss für eine Schweißkonstruktion im Schienenfahrzeugbau die Schweißbarkeit nach DIN 8528-1 gewährleistet sein. Im einzelnen gilt:

- Die Schweißseignung der Werkstoffe ist gewährleistet, wenn die Werkstoffe die Anforderungen der DIN EN 15085-3, Abschnitt 6.1, erfüllen.
- Die Schweißseignung der Schweißzusätze ist gewährleistet, wenn die Schweißzusätze für den jeweiligen Werkstoff entsprechend DIN EN 15085-4, Abschnitt 5.3, ausgewählt und qualifiziert sind.

- Die Schweißsicherheit der Konstruktion ist gewährleistet, wenn die Konstruktion den Beanspruchungen unter Berücksichtigung des Werkstoffverhaltens standhält. DIN EN 15085-3 und DIN EN 15085-4 sind zu beachten.
- Die Schweißmöglichkeit in der Fertigung ist gewährleistet, wenn die Konstruktion unter Beachtung der Bauteilklasse und der im Betrieb möglichen Schweißverfahren herzustellen ist.

**Hinweis:** Ist die Schweißbarkeit nicht in allen Punkten gewährleistet, wird zur Absicherung der Fertigung die Erhöhung der Schweißnahtprüfklasse, bei gleichbleibender Schweißnahtgüteklasse, empfohlen (z. B. bei bedingt schweißgeeigneten Werkstoffen: CP C2 - CT 2).

Neben der Schweißbarkeit der Konstruktion ist sicherzustellen, dass die Konstruktion prüfgerecht (vorgegebene zerstörungsfreie Prüfungen müssen möglich sein) und entsprechend DIN 27201-6 instandhaltungsgerecht ist (siehe auch Merkblatt DVS 1620, DIN EN 15085-3, Abschnitt 4.6, und Abschnitt 4.1 dieser Richtlinie).

Für die Zuordnung der Komponenten und Bauteile zu den Zertifizierungsstufen gelten die Vorgaben der DIN EN 15085-2, Anhang A. Für die Einstufung der Schweißverbindungen in die Schweißnahtgüteklassen enthält der Abschnitt 4.5 dieser Richtlinie vereinfachende Festlegungen, mit denen die Vorgaben der DIN EN 15085-3, Tabellen 2 erfüllt werden. Des Weiteren sind in diesem Abschnitt zur Festlegung des maßgebenden Sicherheitsbedürfnisses Angaben aufgeführt, die inhaltlich dem Anhang G in DIN EN 15085-3 entsprechen.

**Hinweis:** Es ist ganz besonders darauf zu achten, dass mit der Festlegung der Schweißnahtgüteklasse auch die Zuordnung der Komponenten und Bauteile zu den Zertifizierungsstufen erfolgt, da nach DIN EN 15085-2 die Zertifizierungsstufe primär von der Schweißnahtgüteklasse abhängig ist.

Schweißkonstruktionen im Schienenfahrzeugbau nach der Normreihe DIN EN 15085 sind einer schweißtechnischen Prüfung entsprechend Merkblatt DVS 1620 zu unterziehen.

## 4 Gestaltung und Auslegung der Schweißverbindungen

### 4.1 Gestaltungsgrundsätze

Bei der konstruktiven Ausbildung von Schweißverbindungen ist darauf zu achten, dass diese

- beanspruchungsgerecht,
- fertigungsgerecht,
- werkstoffgerecht,
- prüfgerecht,
- verzugs- bzw. verwerfungsarm,
- korrosionsschutzgerecht,
- wirtschaftlich,
- instandhaltungsgerecht,
- mechanisierungs- und automatisierungsgerecht

ausgeführt werden.

Beanspruchungsgerechtes Konstruieren bedeutet z. B.:

- Steifigkeitssprünge gering halten,
- Querschnittsübergänge in Abhängigkeit von der Beanspruchungsart festlegen (z. B. Unterschiede zwischen Zug/Druck-, Biege- und Torsionsbeanspruchung),
- Nahtanhäufungen und Nahtkreuzungen vermeiden,
- einseitig, nicht durchgeschweißte T-Stoßverbindungen gestützt ausbilden wie z. B. bei Kastenträgern.

Fertigungsgerechtes Gestalten setzt voraus, dass für den Schweißvorgang eine ausreichende Zugänglichkeit vorgesehen wird. Werkstoffgerechtes Konstruieren bedeutet, dass mögliche Werkstoffveränderungen wie Seigerungszone bei Profilstählen und nicht metallische Einschlüsse in gewalzten Blechen sowie kaltumgeformte Bereiche hinsichtlich der Ausführung von sicheren Schweißungen beachtet werden. Durch prüfgerechtes Gestalten wird sichergestellt, dass für das einzusetzende Prüfverfahren eine ausreichende Zugänglichkeit besteht.

Darüber hinaus sind die in DIN EN 15085-3 enthaltenen Konstruktionsregeln anzuwenden und allgemeine, in der Fachliteratur aufgeführte Hinweise zur Gestaltung von Schweißverbindungen zu beachten (z. B. Fachbücher von A. Neumann und J. Ruppel, Bd. III sowie DVS-Fachbuchreihe Bd. 12, siehe Schrifttum).

### 4.2 Grundlagen der Auslegung

Für die Auslegung von Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau sind verschiedene Normen mit unterschiedlichen Anforderungen zu beachten. Die Festigkeit von Wagenkästen ist in DIN EN 12663 und von Drehgestellrahmen in DIN EN 13749 geregelt. Diese Normen enthalten auch Anforderungen an die Auslegung von Schweißverbindungen, aber keine konkreten Festigkeitswerte. Nach diesen Normen sind Schweißverbindungen für die im Betrieb auftretenden dynamischen Belastungen nach Möglichkeit auf Dauerfestigkeit auszulegen. Für hierfür heranzuziehenden Werkstoffdaten sollten folgende Anforderungen erfüllen:

- Überlebenswahrscheinlichkeit  $p_0 = 7,5\%$  (mindestens 95%),
- Mindestanzahl von  $2 \times 10^7$  Zyklen für Stahl bei konstanter Lastamplitude,
- Klassifizierung der Bauteile in Bezug auf Kerbfälle,
- Überprüfen der Übertragbarkeit von Kleinprobenwerten auf reale Bauteile.

Mit der Anwendung dieser Richtlinie werden die vorgenannten Bedingungen erfüllt. Einzelheiten für den Dauerfestigkeitsnachweis enthält der Abschnitt 4.3, und Dauerfestigkeitswerte sind im Abschnitt 4.4 aufgeführt. Im Anhang A sind weitere Richtlinien bzw. Normen mit für den Schienenfahrzeugbau geeigneten Dauerfestigkeitswerten aufgeführt. Zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber ist zu vereinbaren, nach welcher Norm bzw. Richtlinie der Dauerfestigkeitsnachweis geführt wird.

Die in dieser Richtlinie enthaltenen Dauerfestigkeitswerte sind wie in der Vorgängerrichtlinie DV 952 mittelspannungsabhängig und gelten für geschweißte nicht spannungsarmgeglühte Bauteile. Das bedeutet, dass fertigungsbedingte Zugeigenspannungen, die bis zur Werkstoffstreckgrenze bzw. Fließgrenze gehen können, sich nicht auf Dauerfestigkeitswerte auswirken. Dies gilt sowohl für schweißbedingte Zugeigenspannungen als auch für Zugeigenspannungen, die durch anschließendes Flammrichten entstehen können. Grundsätzlich ist bei den im Schienenfahrzeugbau eingesetzten Stählen, die eine zum S355 kleinere oder vergleichbar hohe Zugfestigkeit aufweisen, davon auszugehen, dass durch den Schweißprozess und anschließendes Flammrichten Zugeigenspannungen in vergleichbarer Größe wie beim Schweißprozess ohne anschließendes Flammrichten auftreten. Die Zugeigenspannungen werden einerseits durch das Reinigungsstrahlen und andererseits durch die Überlagerung mit äußeren Belastungen reduziert. Die dadurch entstehende Entspannung ist jedoch nicht so erheblich, dass sich damit relevante maßliche Veränderungen von Drehgestellrahmen oder Wagenkästen ergeben würden.

### 4.3 Nachweis der Dauerfestigkeit

Der Dauerfestigkeitsnachweis für Schweißverbindungen erfolgt hier mit Nennspannungen. Die durch die Bau- und Schweißnahtform verursachte Spannungserhöhung wird mit kerbfallabhängigen Dauerfestigkeitswerten berücksichtigt. Im Anhang B sind typische Schweißverbindungen des Schienenfahrzeugbaus als Bauformen-Katalog zusammengestellt. Die zugeordneten Dauerfestigkeitswerte sind in den MKJ-Diagrammen des Abschnittes 4.4 dargestellt.

Die maßgebenden Nennspannungen ergeben sich aus den Schnittgrößen, bezogen auf den Verbindungsquerschnitt, der an der höchstbeanspruchten Stelle bzw. am möglichen Anrissort vorliegt. Bei der Spannungsbestimmung mit numerischen Berechnungsverfahren, z. B. mit der Finiten Elemente Methode (FEM) oder durch Messung mit Dehnungsmessstreifen (DMS) haben die maßgebenden Nennspannungen in der Regel einen bestimmten Abstand zur Schweißnaht, der bei FE-Berechnungen auch von der vorgenommenen Modellierung (Aufbau der Geometriestruktur) und der Netzgenerierung (u. a. Elementtyp und