

Einsprüche bis 30. Juni 2010

Vorgesehen als Ersatz für Ausgabe Mai 1983

Dieser Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Ergänzungs- oder Änderungsvorschläge werden erbeten an den DVS e.V., Postfach 10 19 65, 40010 Düsseldorf.

Diese Richtlinie ist die überarbeitete Fassung des Merkblattes 1608 von Mai 1983. Die Überarbeitung erfolgte mit dem Ziel, die in der Normenreihe DIN EN 15085 (früher DIN 6700) enthaltenen Anforderungen zur Festlegung von Schweißnahtgüteklassen unter Berücksichtigung von Festigkeits- und Sicherheitsanforderungen bei Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau umzusetzen. Zusätzlich zum Nennspannungskonzept wurde das Kerbspannungskonzept als Bewertungsmethodik aufgenommen. Auch das Vorgehen beim statischen Nachweis wurde berücksichtigt.

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:**

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Allgemeines</li> <li>2 Geltungsbereich</li> <li>3 Schweißtechnische Fertigung und Qualitätssicherung</li> <li>3.1 Schweißplanung und konstruktive Hinweise</li> <li>3.2 Anforderungen an die Fertigungseinrichtungen</li> <li>3.3 Bearbeitungswerkzeuge und Vorrichtungen</li> <li>3.4 Reinigen und Entfetten</li> <li>3.5 Nahtvorbereitung</li> <li>3.6 Heftschweißen</li> <li>3.7 Vorwärmen</li> <li>3.8 Schweißverfahren, Schweißzusätze und Schutzgase</li> <li>3.9 Wärmebehandlung nach dem Schweißen</li> <li>3.10 Richten geschweißter Bauteile</li> <li>3.11 Angaben zu Schweißverbotszonen</li> <li>3.12 Instandsetzungsarbeiten</li> <li>3.13 Prüfen nach dem Schweißen</li> <li>4 Gestaltung der Schweißverbindungen</li> <li>5 Grundlagen der Auslegung</li> <li>5.1 Festigkeitsanforderungen</li> <li>5.2 Anforderungen an Festigkeitswerte:</li> <li>5.3 Empfehlungen zur Bewertung von Finite-Elemente-Resultaten</li> <li>5.4 Nennspannungskonzept</li> <li>5.5 Kerbspannungskonzept</li> <li>5.6 Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen</li> <li>6 Nachweis der statischen Festigkeit</li> <li>6.1 Durchgeschweißte Stumpfnähte</li> <li>6.2 Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte</li> <li>6.3 Durchgeschweißte T-Stoßverbindungen</li> <li>6.4 Nicht durchgeschweißte T-Stoßverbindungen</li> <li>6.5 Kehlnähte</li> <li>6.6 Werkstoffkennwerte</li> <li>7 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit</li> <li>7.1 Grundlagen</li> <li>7.1.1 Mittelspannungsempfindlichkeit geschweißter Bauteile</li> <li>7.1.2 Maßnahmen zur Steigerung der Ermüdungsfestigkeit geschweißter Bauteile</li> <li>7.1.3 Dickeneinfluss geschweißter Bauteile</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>7.1.4 Bewertung mehrachsiger Beanspruchungen im Grundwerkstoff</li> <li>7.1.5 Bewertung mehrachsiger Beanspruchungen geschweißter Bauteile</li> <li>7.2 Dauerfestigkeitsnachweis nach dem Nennspannungskonzept</li> <li>7.2.1 Dauerfestigkeitswerte für Grundwerkstoff nach dem Nennspannungskonzept</li> <li>7.2.2 Dauerfestigkeitswerte für Schweißnähte nach dem Nennspannungskonzept</li> <li>7.2.3 Erläuterungen zum Kerbfalkatalog in Anhang C</li> <li>7.3 Dauerfestigkeitsnachweis nach dem Kerbspannungskonzept</li> <li>7.4 Betriebsfestigkeitsnachweis</li> <li>7.4.1 Definition der Wöhlerlinie</li> <li>7.4.2 Vorgehen beim Betriebsfestigkeitsnachweis</li> <li>8 Zuordnung von Ermüdungsfestigkeit, Schweißnahtgüteklasse und Sicherheitsbedürfnis</li> <li>8.1 Ermüdungsfestigkeitsauslegung auf Basis von Nennspannungen</li> <li>8.2 Ermüdungsfestigkeitsauslegung nach Kerbspannungskonzept bzw. nach anderen Richtlinien oder Regelwerken</li> <li>8.3 Vorgaben für die Umstellung der Schweißnahtgüteklasse von DIN 6700 auf DIN EN 15085</li> <li>9 Schrifttum</li> <li>9.1 Normen und technische Regeln</li> <li>9.2 Literaturangaben</li> <li>Anhang A:<br/>Werkstoffbezeichnungen</li> <li>Anhang B:<br/>Richtlinien und Normen mit Festlegungen für den Ermüdungsfestigkeitsnachweis von Schweißverbindungen</li> <li>Anhang C:<br/>Dauerschwingfestigkeitswerte (Ermüdungsfestigkeitswerte für 10 Millionen Lastwechsel) für geschweißte Verbindungen aus Al-Legierungen</li> <li>Anhang D:<br/>Beispiel für die Anwendung der Miner Elementar Methode mit „Cut off“-Regel zur Schadensakkumulation</li> </ul> |
|---|--|

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.

## 1 Allgemeines

Diese Richtlinie enthält Hinweise zur Gestaltung und Vorgaben zur Auslegung von Schweißkonstruktionen aus Aluminiumlegierungen sowie eine Zusammenstellung von für den Schienenfahrzeugbau wesentlichen Schweißkonstruktionsdetails (Kerbfälle), die sich bezüglich Sicherheit, Funktionsfähigkeit, Leichtbau, wirtschaftlicher Fertigung und Instandhaltung bewährt haben.

Das Vorgehen sowohl beim Nachweis der statischen Festigkeit als auch beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Grundwerkstoff und Schweißverbindungen wird beschrieben.

Für den Dauerfestigkeitsnachweis durch das Nennspannungskonzept ist ein Kerbfalkatalog zusammengestellt, in dem Verbindungsdetails den Schweißnahtgüteklassen nach DIN EN 15085-3 (früher DIN 6700-3) und den Kerfallinien bzw. Dauerfestigkeitswerten zugeordnet sind, die durch die Überarbeitung der Richtlinie DVS 1608:1983 entstanden und ebenfalls Bestandteil dieser Richtlinie sind. Zusammen mit der Berücksichtigung von unterschiedlichen Sicherheitsbedürfnissen werden damit die Anforderungen der Normenreihe DIN EN 15085 erfüllt.

Die Dauerfestigkeitswerte des Kerbfalkatalogs beziehen sich auf den Grundwerkstoff sowie auf geschweißte Bauteilverbindungen im Schienenfahrzeugbau und die hier geltenden Lastannahmen und Fertigungsbedingungen. Das ist zu beachten, wenn diese Dauerfestigkeitswerte auch in anderen Bereichen angewendet werden. Der Katalog für Schweißverbindungen in Anhang C erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Zusätzlich zum Nennspannungskonzept wird das Kerbspannungskonzept als Bewertungsmethodik vorgeschlagen.

Für den Betriebsfestigkeitsnachweis sind Wöhlerlinien für das Nennspannungskonzept als auch für das Kerbspannungskonzept angegeben. Dadurch ist eine Bewertung der Betriebsfestigkeit bzw. eine Lebensdauerbewertung durch Schadensakkumulation möglich.

Die Richtlinie dient Berechnungsingenieuren und Konstrukteuren dazu, Schweißverbindungen beanspruchungsgerecht auszulegen, und unterstützt Schweißfach- und Abnahmeingenieure bei der Lösung von Qualitätssicherungs- und Fertigungsaufgaben.

## 2 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für die Gestaltung und Auslegung auf statische Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit von Grundwerkstoff und Lichtbogenschweißverbindungen von im Schienenfahrzeugbau eingesetzten Aluminiumlegierungen, die in der Normenreihe DIN 5513 bzw. Merkblatt DVS 1623 aufgeführt sind. Sie ist für Konstruktionen mit Wanddicken  $t \geq 1,5$  mm anzuwenden.

Folgende Legierungen werden für den Einsatz bei Schienenfahrzeugen empfohlen:

- Strangpressprofile:  
EN AW-6005A, EN AW-6082, EN AW-6060, EN AW-6106
- Bänder, Bleche und Platten:  
EN AW-5083, EN AW-5454, EN AW-5754, EN AW-6082
- Aluminiumguss:  
EN AC 21000, EN AC 42000, EN AC 43300, EN AC 51200
- Schmiedeteile:  
EN AW-5754, EN AW-5083, EN AW-6005A, EN AW-6082.

Die Legierung EN AW 7020 (AlZn4,5Mg1) sollte nur mit großer Vorsicht im Schienenfahrzeugbau eingesetzt werden, da diese Legierung einerseits stark kerbempfindlich ist und andererseits Untersuchungen zeigten, dass die Ermüdungsfestigkeit dieser Legierung einem starken alterungsbedingten Abfall unterliegt. Bei Neuprojekten wird vom Einsatz der Legierung EN AW 7020 prinzipiell abgeraten.

## 3 Schweißtechnische Fertigung und Qualitätssicherung

Bei der Gestaltung der Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau sind die Anforderungen der Normenreihe DIN EN 15085 zu beachten.

Die Konstruktionszeichnungen sind unter Beachtung der DIN EN 15085-3 und des Merkblatts DVS 1610 aufzustellen.

Entsprechend der Normenreihe DIN EN 15085 muss für eine Schweißkonstruktion im Schienenfahrzeugbau die Schweißbarkeit nach ISO/TR 581 gewährleistet sein. Im Einzelnen gilt:

- Die Schweißseignung der Werkstoffe ist gewährleistet, wenn die Werkstoffe die Anforderungen der DIN EN 15085-3, Abs. 6.1, erfüllen.
- Die Schweißseignung der Schweißzusätze ist gewährleistet, wenn die Schweißzusätze für den jeweiligen Werkstoff entsprechend DIN EN 15085-4, Abs. 5.3, ausgewählt und qualifiziert sind.
- Die Schweißsicherheit der Konstruktion ist gewährleistet, wenn die Konstruktion den Beanspruchungen unter Berücksichtigung des Werkstoffverhaltens standhält. Die Vorgaben der 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 Zertifizierungsstufe und der im Betrieb möglichen Schweißverfahren herzustellen ist.

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).

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 8 dieser Richtlinie vereinfachende Festlegungen, mit denen die Vorgaben der DIN EN 15085-3, Tabelle 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 Normenreihe DIN EN 15085 sind einer schweißtechnischen Prüfung entsprechend Merkblatt DVS 1620 zu unterziehen.

### 3.1 Schweißplanung und konstruktive Hinweise

Beim Entwurf geschweißter Schienenfahrzeuge ist die Fertigbarkeit der Schweißnähte gemeinsam mit dem Schweißfachingenieur zu prüfen.

Bei schwierigen Konstruktionen sind Schweißfolgepläne aufzustellen (siehe hierzu Merkblatt DVS 1610).

Die Schweißnahtformen sowie die Anforderungen an die Schweißnahtgüte und der Prüfaufwand sind gemeinsam zwischen Konstrukteur, Schweißfachingenieur und Berechnungsingenieur festzulegen.

### 3.2 Anforderungen an die Fertigungseinrichtungen

Die Werkstätten, in denen Aluminium verarbeitet wird, sind räumlich von solchen zu trennen, in denen Staub, Gase oder Dämpfe entstehen, welche die Korrosionsbeständigkeit von Aluminium oder die Schweißnahtqualität nachteilig beeinflussen. Bei schweißtechnischen Instandsetzungsmaßnahmen am tragenden Fahrzeugkörper sind geeignete Spannvorrichtungen zu verwenden.

### 3.3 Bearbeitungswerkzeuge und Vorrichtungen

Die Bearbeitungswerkzeuge sind ausschließlich für Aluminiumwerkstoffe zu verwenden oder vor der Verwendung sorgfältig zu reinigen (frei von Rückständen anderer Metalle).

Vorrichtungen und Spannwerkzeuge aus unlegierten Stählen sollen an den Auflage- und Spannflächen sauber und frei von Rost oder mit geeigneten Zwischenlagen versehen sein, beispielsweise

se mit solchen aus Aluminium, nichtrostendem Stahl oder Kunststoff. Auf Kupferfreiheit ist zu achten.

Transportbehälter und Lagerregale müssen rostgeschützt, beispielsweise verzinkt, oder mit chlorfreiem Papier bzw. trockenem Holz ausgelegt sein. Reinigungsbürsten müssen Borsten aus nichtrostendem Chrom-Nickel-Stahl haben, sauber und fettfrei sein.

### 3.4 Reinigen und Entfetten

Die zu schweißenden Teile sind vor dem Schweißen mechanisch oder mit geeigneten chemischen Mitteln (beispielsweise Aceton) von Fett, Staub und Beschichtungsstoffen zu reinigen.

### 3.5 Nahtvorbereitung

Die Nahtvorbereitung ist vorzugsweise durch mechanische Bearbeitung (z. B. Fräsen) herzustellen. Für das Ausarbeiten der Wurzel sind Formfräser zu bevorzugen. Das Verwenden kunststoffgebundener Schleifscheiben kann zu Porosität in der Schweißnaht führen, wenn Kunststoffabrieb an den Fugenflanken verbleibt. Die Fugenformen sind in DIN EN ISO 9692-3 enthalten, Empfehlungen für die Fugenformen enthält DIN EN 15085-3.

### 3.6 Heftschweißen

In der Naht verbleibende Heftschweißungen sind so auszuführen, dass sie die Qualitätsanforderungen an die fertige Schweißnaht erfüllen. In hochbeanspruchten Bereichen sollen Heftschweißnähte vermieden bzw. wieder sorgfältig entfernt werden. Dies ist gegebenenfalls in Heftplänen bzw. Heftfolgeplänen anzugeben.

### 3.7 Vorwärmen

In Abhängigkeit von der Werkstückabmessung und vom Schweißverfahren kann im Bereich des Schweißbeginns ein Vorwärmen erforderlich sein. Das Vorwärmen soll mit möglichst niedrigem gleichmäßigem Energieeintrag erfolgen (weiche Flamme mit Propan/Butan Gas und Brause Anwärmeinsatz). Die Vorwärmtemperatur muss mit Temperaturmessgeräten überwacht werden. Die Vorwärmtemperatur soll üblicherweise nicht höher als 150°C sein.

### 3.8 Schweißverfahren, Schweißzusätze und Schutzgase

Im Schienenfahrzeugaufbau werden bevorzugt Schutzgasschweißverfahren, wie WIG-, MIG-Schweißen und deren Varianten, angewendet. Vor Beginn oder Wiederbeginn des Schweißens sind Fugenflanken, Nahtbereich, Heftstellen oder Zwischenlagen sorgfältig zu reinigen. Endkraterisse, Bindefehler und gerissene Heftschweißungen sind sorgfältig auszuarbeiten.

Beim MIG-Schweißen können Bindefehler und Endkraterisse am Anfang und Ende der Naht durch An- oder Auslaufbleche vermieden werden. Falls dies nicht möglich ist, sollte der Lichtbogen auf einem neben der Naht liegenden Blech gezündet werden. Am Nahtende ist der Lichtbogen auf der Naht zurückzuführen, und das Schweißen ist auf der Naht zu beenden. Bei Unterbrechung der Schweißarbeiten ist die Schweißgeschwindigkeit zu erhöhen, damit sich der Nahtauslauf keilförmig verjüngt. Beim WIG-Schweißen kann zum Beispiel unter Absenken des Schweißstromes der Endkrater gefüllt werden.

Prinzipiell sind neben den Schutzgasschweißverfahren auch andere Schweißverfahren wie Laserschweißen oder Rührreißschweißen zugelassen, allerdings ist die Auslegung dieser höherfesten Schweißnähte trotzdem mit den zulässigen Werten des Schutzgasschweißverfahrens durchzuführen, wenn im Betrieb Instandsetzungsmaßnahmen nach Unfällen oder Umbauten mit Schutzgasschweißverfahren durchgeführt werden. Dies ist bereits bei der Grundausslegung zu berücksichtigen.

Es dürfen nur geeignete Schweißzusätze verwendet werden: Der Schweißzusatzwerkstoff S-AlMg5 oder vergleichbare Zusatzwerkstoffe, wie in Merkblatt DVS 1623 aufgeführt, sind zu bevorzugen. Der Schweißzusatzwerkstoff S-AlSi5 darf nur in Ausnahmefällen und nur nach Abklärung mit der Schweißaufsicht eingesetzt werden. Die Mindestwerte für Festigkeit von Aluminium-Schweißzusätzen sind in Tabelle 2 angegeben.

Als Schutzgase werden im Allgemeinen Argon, Helium und Helium-Argon-Gemische nach DIN EN ISO 14175 verwendet.

Hinweise über die Zuordnung der Schweißzusätze für ausgewählte Aluminium und Aluminiumlegierungen werden in Merkblatt DVS 1623, Beiblatt 1, gegeben.

### 3.9 Wärmebehandlung nach dem Schweißen

Eine Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist im Allgemeinen nicht erforderlich.

Bei aushärtbaren Legierungen können durch Warmauslagern nach dem Schweißen bestimmte Werkstoffeigenschaften verbessert werden, zum Beispiel Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

### 3.10 Richten geschweißter Bauteile

Geschweißte Konstruktionen können kalt oder warm gerichtet werden; hierbei dürfen keine Risse (strukturelle Schädigungen) auftreten.

Beim Warmrichten ist das Aufbringen von Richtschweißnähten zu bevorzugen, die auf bereits bestehende Schweißnähte oder im unmittelbaren Stegbereich von Profilen aufgebracht werden. Richtschweißbereiche sind mit den entsprechenden Festigkeitswerten der Schweißnähte zu beurteilen. Bei statischen Analysen sind die Festigkeitswerte der Wärmeeinflusszone, bei Ermüdungsuntersuchungen die Festigkeitswerte des entsprechenden Kerbfalls heranzuziehen.

Auf Flammrichten von Aluminiumkonstruktionen sollte möglichst verzichtet werden, da die Wärmeeinbringung in der Praxis kaum genau genug kontrolliert werden kann. Eine lokale Temperaturerhöhung von 150°C kann bei bestimmten Aluminiumlegierungen bereits zu sehr nachteiligen Festigkeitsreduzierungen führen.

Falls Flammrichten dennoch angewendet wird, so soll die Temperatur mit Messgeräten überwacht werden. Weiter müssen die flammgerichteten Bereiche strukturell mit den entsprechend verminderten Festigkeitswerten (Wärmeeinflusszone) bewertet werden (Flammrichten darf nur in den erlaubten Richtzonen durchgeführt werden).

In Flammrichtbereichen dürfen nur dann höhere Festigkeitswerte als die der Wärmeeinflusszone angewendet werden, wenn diese Festigkeitswerte nachgewiesen werden. Die möglichen Richtzonen sind strukturell zu bewerten und durch den Fahrzeughersteller anzugeben.

Für das Flammrichten ist das Merkblatt DVS 1614 zu beachten.

### 3.11 Angaben zu Schweißverbotszonen

Schweißverbotszonen sind jene Bereiche, in denen ohne Rücksprache mit dem Berechnungsingenieur keine zusätzlichen Schweißnähte, wie für Richtschweißnähte, Halter, Erdungsaugen, angewendet werden dürfen. Es ist empfehlenswert, alle Schweißverbotszonen zu definieren.

In Schweißverbotszonen dürfen die Erdungsklemmen beim Schweißen nicht befestigt werden.

Die Festlegungen der Schweißverbotszonen können auch für spätere Instandsetzungsarbeiten nach Unfällen bzw. im Rahmen von Unterhaltsarbeiten herangezogen werden.

### 3.12 Instandsetzungsarbeiten

Für Instandsetzungsschweißen an Eisenbahnfahrzeugen ist DIN 27201-6, Zustand Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen und Fertigungstechnologien – Teil 6: Schweißen, anzuwenden.

Die Instandsetzung ist strukturell durch einen Berechnungsingenieur zu bewerten. Es ist eine Instandsetzungsanweisung zu erstellen, die von der Schweißaufsicht freizugeben ist.

Erforderliche Instandsetzungsarbeiten werden meist mit dem MIG- bzw. WIG-Schweißverfahren durchgeführt. Dabei ist sicherzustellen, dass der gleiche Schweißzusatztyp wie bei der Neufertigung verwendet wird. Zur Feststellung des ursprünglich verwendeten Schweißzusatzes kann die Tüpfelprobe mit 20%iger