

Büttemeier · Kaßner · Strothmann

Schweißtechnisches Handbuch Schienenfahrzeugbau

**Auslegung, Konstruktion,
Fertigung und
Qualitätssicherung**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Geleitwort

1	Bedeutung der Schweißtechnik für den Schienenfahrzeugbau	1
1.1	Die Anfänge des Schweißens	1
1.2	Bedeutung für den Bau von Schienenfahrzeugen	2
1.3	Entwicklung der Schweißtechnik am Beispiel des Elektrolokomotivbaus	4
1.4	Waggonbau der vierziger Jahre – Schalenbauweise erspart Werkstoff	8
1.5	Einfluss auf die Werkstofftechnik	10
1.6	Stand der Schweißtechnik nach dem 2. Weltkrieg	10
1.7	Die weitere Entwicklung geschweißter Schienenfahrzeuge bei den Deutschen Bahnen	14
1.8	Bedeutung für die Sicherheit des Schienenverkehrs	18
1.9	Schrifttum	18
2	Gesetzliche Grundlagen und Regelwerke	19
2.1	Entwicklung des schweißtechnischen Regelwerks	19
2.2	Nationale und europäische gesetzliche Regelungen für Schienenfahrzeuge	21
2.3	Bundesbahngesetz, Allgemeines Eisenbahngesetz, Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung und anerkannte Regeln der Technik	22
2.3.1	Übergang vom DB-Regelwerk zur DIN-Normung	23
2.3.2	Anpassung der Normenreihe DIN 6700 an die internationale Fachgrundnormung	24
2.4	EU-Richtlinien und europäische anerkannte Regeln der Technik	25
2.4.1	Entwicklung der europäischen Normenreihe EN 15085	26
2.4.2	Einführung der Normenreihe EN 15085 in Deutschland als DIN EN 15085	27
2.4.3	Merkblatt DVS 1623	29
2.4.4	Einführung der Normenreihe DIN EN 15085 durch das EBA	29
2.5	Ergänzende Regelungen für überwachungsbedürftige Anlagen von Eisenbahnfahrzeugen und Tanks von Kesselwagen	30
2.5.1	Überwachungsbedürftige Anlagen von Schienenfahrzeugen	30
2.5.2	Tanks von Kesselwagen	31
2.6	UIC-Merkblätter	32
2.7	DVS-Richtlinien und DVS-Merkblätter	33
2.8	Anwenderregelwerk der DB AG	34
2.8.1	Mitgeltende Normen und Regelwerke	35
2.8.2	Bestellanforderungen	36
2.8.3	Konstruktion und Entwicklung	39
2.8.4	Fertigung	39
2.8.5	Anforderungen an die Schweißzusätze	40
2.8.6	Anforderungen an die Werkstoffe	40
2.8.7	Erforderliche Zeichnungsangaben	40
2.8.8	Behandlung und Umschreibung alter Zeichnungen	41
2.8.9	Beispiel zur Anpassung einer Federbockzeichnung	43

3	Werkstoffe, Schweißverfahren, Zeichnungen und Planungsunterlagen sowie Schweißnahtgüteklassen	45
3.1	Metallische Grundwerkstoffe	45
3.1.1	Auswahl nach DIN 6700	45
3.1.2	Auswahl nach DIN EN 15085	47
3.2	Schweißzusätze	50
3.2.1	Entwicklung der Qualifizierung der Schweißzusätze	50
3.2.2	Ü-Zeichenregelung nach DIN 6700	50
3.2.3	Anforderungen nach DIN EN 15085	51
3.2.4	Auswahl der Schweißzusätze	53
3.3	Schweißverfahren im Schienenfahrzeugbau	55
3.3.1	Allgemeines	55
3.3.2	Schweißverfahren für Stahlwerkstoffe	57
3.3.3	Schweißverfahren für Aluminiumwerkstoffe	57
3.3.4	Einführung neuer Schweißverfahren	58
3.4	Zeichnungen und schweißtechnische Planungsunterlagen	59
3.4.1	Allgemeines	59
3.4.2	Zeichnungen und Stückliste	59
3.4.2.1	Anforderungen nach DIN 6700	59
3.4.2.2	Anforderungen nach DIN EN 15085	60
3.4.2.3	Beispiel einer Zeichnung für einen Federbock nach DIN EN 15085	61
3.4.3	Schweißtechnische Planungsunterlagen	62
3.5	Schweißnahtgüteklassen	63
3.5.1	Güteanforderungen nach dem DB-Regelwerk	63
3.5.2	Güteanforderungen im Bereich der Deutschen Reichsbahn der DDR	64
3.5.3	Güteanforderungen nach DIN 6700	64
3.5.4	Güteanforderungen nach DIN EN 15085	66
3.6	Umschlüsselung der Schweißnahtgüteklassen von DIN 6700 in DIN EN 15085 für den Neubau von Schweißbaugruppen	69
3.6.1	Allgemeines	69
3.6.2	Durchführung der Umschlüsselung	70
3.6.2.1	Umschlüsselung nach den Definitionen von DIN EN 15085	71
3.6.2.2	Umschlüsselung nach Merkblatt DVS 1623	72
3.6.3	Umgang mit Sonderfällen	76
3.6.4	Weitere Hinweise zur Umschlüsselung	77
3.6.5	Beispiel für die Angabe der Schweißnahtgüteklasse	77
3.6.6	Beispiel für die Umschlüsselung der Schweißnahtgüteklasse	78
3.6.7	Bestandsschutz für vorhandene Schweißkonstruktionen nach Merkblatt DVS 1623	79
4	Auslegung und Konstruktion von Schweißverbindungen im Schienenfahrzeugbau	80
4.1	Grundlagen der Festigkeitsberechnung und Normungssituation	80
4.1.1	Nachweisarten der Ermüdungsfestigkeit	80
4.1.2	Übersicht über Schwingfestigkeitsangaben für Schweißverbindungen in Normen und Richtlinien	81
4.2	Berücksichtigung von DIN EN 15085 bei der Festigkeitsauslegung	83
4.2.1	Schweißnahtgüteklasse in Abhängigkeit vom Beanspruchungszustand und Sicherheitsbedürfnis	83
4.2.2	Festlegung des Sicherheitsbedürfnisses nach DIN EN 15085	84
4.2.3	Einschätzung der Zuordnung von Beanspruchbarkeit, Sicherheitsbedürfnis und Schweißnahtgüteklasse in DIN EN 15085	86

4.2.3.1	Festlegen der Schweißnahtgüteklasse	86
4.2.3.2	Berücksichtigung des Sicherheitsbedürfnisses in DIN EN 15085	87
4.2.4	Vereinfachte Festlegung der Schweißnahtgüte während der Schwingfestigkeitsauslegung unter Beachtung von DIN EN 15085	88
4.2.4.1	Bei Dauerfestigkeitsauslegung mit Nennspannungen nach DVS 1612 und DVS 1608 ..	88
4.2.4.2	Dauer- oder Betriebsfestigkeitsauslegung nach internationalen Richtlinien oder Regelwerken	89
4.3	Dauerfestigkeitsauslegung von geschweißten Verbindungen aus Stahl nach Richtlinie DVS 1612	90
4.3.1	Grundlage der Neufassung von Richtlinie DVS 1612	91
4.3.2	Nachweis der Dauerfestigkeit	92
4.3.3	Dauerfestigkeitswerte in Richtlinie DVS 1612	93
4.3.3.1	Normalspannungen im Zugschwell- und Zug-Wechselbereich mit $1 > R_\sigma = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} \geq -1$ (Mittelspannung ≥ 0)	93
4.3.3.2	Normalspannungen im Druckschwell- und Druckwechselbereich mit $1 > \kappa = \sigma_u/\sigma_o > -1$ (Mittelspannung < 0)	94
4.3.3.3	Schubspannungen im Schwell- und Wechselbereich mit $1 > R_\tau = \tau_{\min}/\tau_{\max} \geq -1$	94
4.3.4	Kerbfälltabellen und Berücksichtigung von Nahtqualität und Sicherheitsbedürfnis in Richtlinie DVS 1612	96
4.4	Festigkeitsauslegung von geschweißten Verbindungen an Aluminiumlegierungen mit Richtlinie DVS 1608	99
4.4.1	Festigkeitsnachweis bei statischer Belastung mit Nennspannungen	99
4.4.2	Ermüdungsfestigkeitsnachweis	100
4.4.2.1	Dauerfestigkeitsnachweis mit Nennspannungen	101
4.4.2.2	Dauerfestigkeitsnachweis mit Kerbspannungen	105
4.4.2.3	Betriebsfestigkeitsnachweis mit Nenn- und Kerbspannungen	105
4.4.3	Berücksichtigung von Nahtqualität und Sicherheitsbedürfnis beim Ermüdungsfestigkeitsnachweis	106
4.5	Ermüdungsfeste Auslegung von geschweißten Verbindungen nach internationalen Regelwerken und Richtlinien	106
4.5.1	Richtlinien ERRI B 12/RP 17 und ERRI B 12/RP 60	106
4.5.2	IIW-Empfehlungen	107
4.6	Vergleich von Schwingfestigkeitsangaben maßgebender Regelwerke und Richtlinien	110
4.6.1	Schweißverbindungen an Stahl	111
4.6.2	Schweißverbindungen an Aluminiumlegierungen	114
4.7	Wirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten der IIW-Empfehlungen zur ermüdungsfesten Auslegung geschweißter Bauteile im Schienenfahrzeugbau	115
4.7.1	Berücksichtigung von Mittel- und Eigenspannungseinfluss	116
4.7.2	Neigung und Lage des Abknickpunktes von Wöhlerlinien	117
4.7.3	Einfluss der Fertigungsqualität – Schwingfestigkeit industriell gefertigter Stumpf- und Kreuzstoßproben	118
4.7.3.1	Schweißnahtqualität der Versuchsproben und Schwingfestigkeitsuntersuchungen	118
4.7.3.2	Untersuchungsergebnisse im Vergleich mit relevanten Regelwerken und Richtlinien ..	121
4.8	Betriebsfestigkeitsnachweis	122
4.9	Nennspannungsbestimmung in Finite-Elemente-Berechnungen und Anwendungsbeispiele	124
4.9.1	T-Stoßverbindung – Nennspannungsermittlung bei FE-Berechnungen und Dauerfestigkeitsbewertung nach DVS 1612	125
4.9.2	Anwendungsbeispiel – Dauerfestigkeitsnachweis einer Schweißverbindung an einem Drehgestellrahmen	126

4.9.2.1	Nennspannungsnachweis des ausgewählten Verbindungsdetails nach Richtlinie DVS 1612	128
4.9.2.2	Strukturspannungsnachweis des ausgewählten Verbindungsdetails nach IIW-Empfehlungen	129
4.10	Schwingfestigkeitsverbesserung durch Oberflächenbehandlung	130
4.11	Örtliche Konzepte	131
4.11.1	Strukturspannungskonzepte	132
4.11.1.1	Strukturspannungskonzepte für Grobbleche	133
4.11.1.2	Strukturspannungskonzept für Feibleche	135
4.11.2	Kerbspannungskonzepte	136
4.11.2.1	Hinweise zur FE-Modellierung	138
4.11.2.2	Zulässige Spannungen bei der Anwendung der Kerbspannungskonzepte	139
4.11.3	Anwendungen örtlicher Konzepte	140
4.11.3.1	Untersuchungsergebnisse	143
4.11.3.2	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die Anwendung der verschiedenen Konzepte	146
4.12	Hinweise zur Festigkeitsbewertung von strahl- und rührreibgeschweißten Verbindungen sowie von Widerstandspunktschweißungen	147
4.12.1	Strahl- und rührreibgeschweißte Verbindungen	147
4.12.1.1	Laserstrahlschweißverbindungen	148
4.12.1.2	Rührreischweißverbindungen	148
4.12.1.3	Zusammenfassende Einschätzung der Schwingfestigkeit von strahl- und rührreibgeschweißten Verbindungen	149
4.12.2	Widerstandspunktschweißverbindungen	149
4.13	Gestaltung der Schweißverbindungen	152
4.13.1	Grundsätzliche Anforderungen	152
4.13.2	Konstruktionsanforderungen nach DIN EN 15085	153
4.14	Schrifttum	154
5	Qualifizierung der Schweißbetriebe	160
5.1	Historie zur Qualifizierung von Schweißbetrieben	160
5.1.1	Zulassung zum Schweißen vor dem 2. Weltkrieg	160
5.1.2	Qualifizierung zum Schweißen nach dem 2. Weltkrieg	160
5.2	Qualifizierung der Schweißbetriebe nach DIN 6700-2	163
5.2.1	Einteilung der Komponenten und Bauteile in Bauteilklassen	164
5.2.2	Anforderungen an den Schweißbetrieb	166
5.2.3	Anerkennungsverfahren nach DIN 6700-2	168
5.2.3.1	Anerkannte Stellen	169
5.2.3.2	KoA „Schienenfahrzeuge“	169
5.3	Zertifizierung der Schweißbetriebe nach DIN EN 15085-2	170
5.3.1	Einführung der DIN EN 15085 durch das EBA und Übergangsregelungen	171
5.3.2	Zuordnung der Bauteile zu den Zertifizierungsstufen	172
5.3.3	Vergleich der Bauteilklassen zu den Zertifizierungsstufen	174
5.3.4	Anforderungen an den Schweißbetrieb	176
5.3.5	Zertifizierung nach DIN EN 15085-2	178
5.3.5.1	Zertifizierungsverfahren	178
5.3.5.2	Zertifikat	178
5.3.5.3	Gültigkeit der Zertifizierung	178
5.3.5.4	Hersteller-Zertifizierungsstellen	179
5.3.5.5	Ergänzende Regelungen nach der Richtlinie DVS 1619	180
5.3.5.6	Online-Register Schienenfahrzeuge	182

6	Aufgaben und Tätigkeiten der Schweißaufsicht im Schienenfahrzeugbau	183
6.1	Qualifizierung der Schweißaufsicht	183
6.2	Aufgaben der Schweißaufsicht	184
6.2.1	Überprüfung der Anforderungen	186
6.2.2	Technische Überprüfung	187
6.2.3	Zeichnungserstellung	187
6.2.4	Prüfung der Zeichnungen und Stücklisten	188
6.2.5	Untervergabe	189
6.2.6	Schweißtechnisches Personal	189
6.2.7	Einrichtungen und Vorrichtungen	190
6.2.8	Fertigungsplanung	190
6.2.9	Qualifizierung von Schweißverfahren	191
6.2.10	Schweißanweisungen	191
6.2.11	Arbeitsanweisungen	193
6.2.12	Schweißzusätze	193
6.2.13	Grundwerkstoffe	194
6.2.14	Prüfung vor dem Schweißen	194
6.2.15	Prüfung während des Schweißens	195
6.2.16	Prüfung nach dem Schweißen	196
6.2.17	Nichtkonformität und Korrekturmaßnahmen	196
6.2.18	Kalibrierung und Validierung von Mess-, Überwachungs- und Prüfeinrichtungen	197
6.2.19	Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit	197
6.2.20	Qualitätsberichte	198
6.3	Auditierung von Unterlieferanten	198
6.4	Schweißtechnische Prüfung nach Merkblatt DVS 1620	202
7	Nachweis der Schweißnahtgüte	203
7.1	Einführung	203
7.2	Schweißnahtprüfklassen	203
7.2.1	Allgemeines	203
7.2.2	Anwendung der Schweißnahtprüfklasse	203
7.3	Arbeitsproben	204
7.3.1	Bedeutung und Zweck der Arbeitsproben	204
7.3.2	Arbeitsproben zur Überprüfung und Absicherung der Konstruktion	205
7.3.3	Arbeitsproben zur Sicherung des Schweißverfahrens	206
7.3.4	Arbeitsproben zum Nachweis der Qualifikation des Schweißpersonals	207
7.3.5	Arbeitsproben zum Nachweis der Schweißnahtgüte	208
7.3.6	Beispiele für die Anwendung von Arbeitsproben	208
7.3.7	Beispiele für die Dokumentation von Arbeitsproben	209
7.3.8	Arbeitsproben in der Instandsetzung	209
7.4	Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung	210
7.4.1	Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung nach DIN EN 15085	210
7.4.2	Sichtprüfung (VT)	211
7.4.3	Eindringprüfung (PT)	212
7.4.4	Magnetpulverprüfung (MT)	213
7.4.5	Durchstrahlungsprüfung (RT)	213
7.4.6	Ultraschallprüfung (UT)	214
7.5	Schrifttum	215

8	Schweißtechnische Fertigung von Schienenfahrzeugen	216
8.1	Einführung	216
8.2	Einsatz der Schweißtechnik im Schienenfahrzeugbau	216
8.2.1	Schienenfahrzeuge zur Personenbeförderung	216
8.2.1.1	Aluminiumrohbauten	216
8.2.1.2	Stahlrohbauten	218
8.2.1.3	Vor- und Nachteile der Stahl- und Aluminiumbauweise	219
8.2.2	Güterwagen	220
8.2.3	Lokomotiven	221
8.2.4	Drehgestellrahmen	222
8.2.5	Andere geschweißte Komponenten von Schienenfahrzeugen	223
8.3	Qualifizierung der Schweißverfahren	224
8.4	Planung der Schweißtechnik im Schienenfahrzeugbau	224
8.5	Schweißtechnische Details in der Fertigung	227
8.5.1	Schweißnahtvorbereitung	227
8.5.2	Schweißvorrichtungen	229
8.6	Prüfung und Umgang mit Nicht-Konformitäten	230
8.6.1	Prüfung der Schweißnähte	230
8.6.2	Umgang mit nicht-konformen Schweißnähten und deren Reparatur	231
8.7	Richten im Schienenfahrzeugbau	232
8.7.1	Allgemeines	232
8.7.2	Mechanisches Richten	232
8.7.3	Thermisches Richten	233
8.7.4	Hinweise zum Umgang mit unterschiedlichen Werkstoffen	234
8.8	Schrifttum	235
9	Instandsetzung von Eisenbahnfahrzeugen	236
9.1	Übergang vom Instandhaltungsregelwerk der DB AG zur Normenreihe DIN 27201	236
9.2	Schweißtechnische Instandsetzung nach DIN 27201-6	237
9.2.1	Geltungsbereich	237
9.2.2	Allgemeine Regeln, Schweißverbote und Einschränkungen	238
9.2.3	Zertifizierung der Fahrzeugwerkstätten und Anforderungen an das Personal	238
9.2.3.1	Schweißaufsicht	240
9.2.3.2	Schweißer	240
9.2.3.3	Prüfpersonal	241
9.2.4	Schweißanweisungen und Arbeitsproben	241
9.2.5	Werkstoffe und Schweißzusätze	242
9.2.6	Regeln für die schweißtechnische Instandsetzung	243
9.2.7	Schweißen außerhalb der zugelassenen Werkstatt	245
9.3	Instandhaltungsregelwerk der DB AG	247
9.4	Beispiele	252
9.4.1	Beispiele zur Zeichnungsanpassung	252
9.4.2	Beispiele Federbockzeichnung und Stückliste	253
9.4.3	Beispiel für eine schweißtechnische Instandsetzung	256
10	Gesetze, EG-Richtlinien, Normen und Regelwerke	260
10.1	Einführung	260
10.2	Gesetze und EG-Richtlinien	260
10.3	Europäische und internationale Normen	261
10.4	Nationale Normen	266
10.5	DVS-Richtlinien und -Merkblätter sowie Anwenderregelwerke	267