

DIN EN 17149-3:2025-05 (D)

Bahnanwendungen - Festigkeitsnachweis von Schienenfahrzeugstrukturen - Teil 3: Betriebsfestigkeitsnachweis; Deutsche Fassung EN 17149-3:2025

| Inhalt | Seite |
|---|-------|
| Europäisches Vorwort..... | 12 |
| Einleitung..... | 13 |
| 1 Anwendungsbereich..... | 14 |
| 2 Normative Verweisungen..... | 14 |
| 3 Begriffe..... | 14 |
| 4 Ermittlung der Spannung..... | 14 |
| 4.1 Allgemeines..... | 14 |
| 4.2 Grundwerkstoff..... | 15 |
| 4.3 Schweißverbindung..... | 15 |
| 4.3.1 Modifizierte Nennspannungen..... | 15 |
| 4.3.2 Strukturspannungen und Kerbspannungen..... | 15 |
| 5 Ermüdungsfestigkeit..... | 15 |
| 5.1 Grundwerkstoff..... | 15 |
| 5.1.1 Allgemeines..... | 15 |
| 5.1.2 Bauteil-Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_R$ und $\Delta\tau_R$ | 16 |
| 5.1.3 Werkstoffeigenschaften..... | 16 |
| 5.1.4 Konstruktionsparameter..... | 18 |
| 5.1.5 Ermüdungsfestigkeitsfaktoren für Normalspannungen $f_{R,\sigma}$ und für Schubspannungen $f_{R,\tau}$ | 20 |
| 5.1.6 Korrekturfaktor für Gussteile $f_{R,C}$ | 21 |
| 5.1.7 Wöhlerlinien und Methoden der Schadensakkumulationsregel..... | 22 |
| 5.2 Schweißverbindungen..... | 24 |
| 5.2.1 Allgemeines..... | 24 |
| 5.2.2 Fat-Klassen $\Delta\sigma_C$ und $\Delta\tau_C$ | 24 |
| 5.2.3 Bauteil-Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_R$ und $\Delta\tau_R$ | 25 |
| 5.2.4 Einfluss der Dicke f_{thick} und Biegung..... | 25 |
| 5.2.5 Eigenspannungsfaktor $f_{res,\sigma}$ und $f_{res,\tau}$ | 26 |
| 5.2.6 Bonusfaktor für Schweißnahtnachbehandlung f_{post} | 26 |
| 5.2.7 Bewertungsgruppenfaktor f_{QL} | 28 |
| 5.2.8 Bonusfaktor für die Schweißnahtprüfklasse f_{CT} | 28 |
| 5.2.9 Wöhlerlinien und Methoden der Schadensakkumulationsregel..... | 29 |
| 5.3 Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit von Grundwerkstoff und Schweißverbindungen durch Laborversuche..... | 30 |
| 6 Teilbeiwerte zur Abdeckung von Unsicherheiten..... | 31 |
| 6.1 Allgemeines..... | 31 |
| 6.2 Teilbeiwert für Lasten γ_L | 32 |
| 6.3 Teilbeiwert für die Bauteil-Ermüdungsfestigkeit γ_M | 32 |
| 6.3.1 Allgemeines..... | 32 |
| 6.3.2 Teilbeiwert für die Schadensfolge $\gamma_{M,S}$ | 33 |
| 6.3.3 Teilbeiwert für die Prüfung während der Wartung $\gamma_{M,I}$ | 34 |
| 6.3.4 Teilbeiwert für den Validierungsgrad $\gamma_{M,V}$ | 35 |
| 7 Verfahren des Betriebsfestigkeitsnachweises..... | 35 |
| 7.1 Allgemeines..... | 35 |
| 7.2 Spannungsermittlung..... | 36 |
| 7.3 Bestimmung des Bemessungsspannungskollektivs..... | 36 |

| | | |
|---|--|------------|
| 7.3.1 | Konditionierung..... | 36 |
| 7.3.2 | Anpassung der Spannungshistorie..... | 37 |
| 7.3.3 | Zählung..... | 37 |
| 7.3.4 | Mittelspannungsanpassung..... | 37 |
| 7.3.5 | Omission..... | 38 |
| 7.4 | Schädigungsberechnung für jede einzelne Spannungskomponente..... | 39 |
| 7.4.1 | Allgemeines..... | 39 |
| 7.4.2 | Bestimmung des Spannungskollektiv-Formfaktors A_{eq} | 40 |
| 7.4.3 | Bestimmung der zulässigen Miner-Summe D_m | 40 |
| 7.4.4 | Bestimmung der Auslastung für eine einzelne Spannungskomponente U_c | 40 |
| 7.5 | Betriebsfestigkeitsnachweis | 42 |
| 7.6 | Verfahren der kritischen Schmitzebene..... | 43 |
| Anhang A (informativ) Verfahren zur Bestimmung der Mittelspannungsfaktoren für Grundwerkstoff und Schweißverbindungen..... | | |
| | | 45 |
| A.1 | Allgemeines..... | 45 |
| A.2 | Mittelspannungsempfindlichkeit..... | 45 |
| A.2.1 | Grundwerkstoff..... | 45 |
| A.2.2 | Schweißverbindungen..... | 46 |
| A.3 | Bestimmung der Mittelspannungsfaktoren | 46 |
| Anhang B (informativ) Spezifikationsbeispiel für zulässige volumetrische Fehler in Gussteilen aus Stahl, Eisen und Aluminium | | |
| | | 50 |
| B.1 | Allgemeines..... | 50 |
| Anhang C (informativ) Werkstofffaktoren für Grundwerkstoff..... | | |
| | | 52 |
| Anhang D (normativ) Fat-Klassen $\Delta\sigma_C$ und $\Delta\tau_C$ für Schweißverbindungen nach dem Nennspannungsverfahren..... | | |
| | | 54 |
| D.1 | Erläuterung der Tabellen für Fat-Klassen..... | 54 |
| D.1.1 | Allgemeines..... | 54 |
| D.1.2 | Nummer und Kennzeichnung nach EN 15085-3:2022+A1:2023, Tabelle B.1 | 54 |
| D.1.3 | Skizze des Schweißstoßes | 54 |
| D.1.4 | Schweißstoßspezifische Anforderungen..... | 55 |
| D.1.5 | Potenzieller Rissausgangspunkt | 55 |
| D.1.6 | Durchführbarkeit der Prüfung | 55 |
| D.1.7 | Relevante Dicke für die Beurteilung einer Schweißnaht..... | 55 |
| D.1.8 | Werkstoff | 56 |
| D.1.9 | Fat-Klassen $\Delta\sigma_C$ und $\Delta\tau_C$ | 56 |
| D.1.10 | Exponent m und Zyklenzahl am Wöhlerlinien-Knickpunkt N_D | 56 |
| D.1.11 | Dickenkorrektorexponenten $n_{\sigma,\perp}$, $n_{\sigma,\parallel}$ und n_τ | 56 |
| D.1.12 | Untere Grenze der Blechdicke für die Dickenkorrektur t_{min} | 56 |
| D.1.13 | Parameter α_{bend} , der für die Bestimmung von f_{bend} verwendet wird..... | 56 |
| D.2 | Tabellen mit Fat-Klassen für Schweißverbindungen | 57 |
| D.3 | Bestimmung der Ermüdungsfestigkeit anhand von vergleichenden Kerbfallmodellen..... | 101 |
| Anhang E (informativ) Dicke und Einfluss der Biegung auf Nenn- und Strukturspannungsansätze bei Schweißverbindungen | | |
| | | 102 |
| E.1 | Allgemeines..... | 102 |
| E.2 | Einflussgrößen..... | 102 |
| E.2.1 | Dicken-Korrekturfaktor f_{thick} | 102 |
| E.2.2 | Bonusfaktor für Biegung f_{bend} | 104 |
| E.3 | Methoden zur Anwendung von f_{bend} im Nachweisvorgang | 105 |
| E.3.1 | Allgemeines..... | 105 |
| E.3.2 | Methode für allgemeines Verhältnis..... | 105 |
| E.3.3 | Methode für konstantes Verhältnis..... | 105 |
| E.3.4 | Methode für vergleichendes Kerbfallmodell | 106 |
| Anhang F (informativ) Spannungsanpassung aufgrund der Schweißstoßgeometrie für Schweißverbindungen beim Nennspannungsverfahren..... | | |
| | | 107 |
| F.1 | Allgemeines..... | 107 |

| | | |
|--|---|------------|
| F.2 | Methoden zur Spannungsanpassung | 107 |
| F.2.1 | Allgemeines | 107 |
| F.2.2 | Modellierungstechniken für Schweißverbindungen | 108 |
| F.2.3 | Anpassung bei der Spannungsbewertung | 109 |
| Anhang G (informativ) Anwendung des Strukturspannungsansatzes für Schweißverbindungen von Stahl und Aluminium | | 114 |
| G.1 | Allgemeines zur Ermittlung der Ermüdungsspannung am Nahtübergang | 114 |
| G.2 | Ermüdungsspannungsermittlung mit der Finite-Elemente-Methode | 115 |
| G.2.1 | Ermüdungsspannungsermittlung am Nahtübergang | 115 |
| G.2.2 | Ermüdungsspannungsermittlung an der Nahtwurzel | 116 |
| G.3 | Betriebsfestigkeitsnachweis mit Strukturspannungen | 116 |
| Anhang H (informativ) Anwendung des Kerbspannungsansatzes für Schweißverbindungen aus Stahl und Aluminium | | 119 |
| H.1 | Allgemein | 119 |
| H.2 | Berechnung der Kerbspannungen | 119 |
| H.2.1 | Allgemeines | 119 |
| H.2.2 | Bezugskerbradius r_{ref} für die Modellierung von Schweißkerben | 120 |
| H.2.3 | Modellierung von Schweißnaht-Nennquerschnitten | 120 |
| H.2.4 | Methoden zur Kerbspannungsberechnung | 122 |
| H.3 | Wöhlerlinien | 123 |
| H.3.1 | Normalspannung senkrecht zur Schweißnaht | 123 |
| H.3.2 | Normalspannung längs der Schweißnaht | 124 |
| H.3.3 | Schubspannung | 125 |
| H.3.4 | Kennwerte in Abhängigkeit von der Dickenwirkung | 125 |
| Anhang I (informativ) Beispiel für den Betriebsfestigkeitsnachweis | | 126 |
| I.1 | Beschreibung | 126 |
| I.2 | Aufgabe | 127 |
| I.3 | Bewertung | 127 |
| Anhang J (informativ) Flussdiagramme des Verfahrens zum Betriebsfestigkeitsnachweis | | 133 |
| Literaturhinweise | | 139 |

Bilder

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| Bild 1 | — Wöhlerlinien für Grundwerkstoff für Normalspannungen: a) Verfahren Miner modifiziert; b) Verfahren Miner konsequent für ferritischen Stahl, Stahlguss und Gusseisen mit Kugelgraphit; c) Verfahren Miner konsequent für austenitischen Stahl und Aluminium | 23 |
| Bild 2 | — Wöhlerlinien für Schweißverbindungen für Normalspannungen: a) Verfahren Miner modifiziert; b) Verfahren Miner konsequent | 30 |
| Bild 3 | — Beispiel eines Spannungskollektivs zum Nachweis der Ermüdungsfestigkeit und Wöhlerlinie bezogen auf das Verfahren Miner modifiziert | 39 |
| Bild 4 | — Beispiel für den ursprünglichen und skalierten Zustand des Spannungskollektivs für den Betriebsfestigkeitsnachweis und die Wöhlerlinie bezogen auf das Verfahren Miner modifiziert | 42 |
| Bild A.1 | — Haigh-Diagramm für Normalspannungen | 48 |
| Bild A.2 | — Beispiel eines Spannungsdiagramms für Normalspannungen | 48 |
| Bild A.3 | — Haigh-Diagramm für Schubspannungen | 49 |

| | |
|---|-----|
| Bild E.1 — Dickenkorrekturfaktor in Bezug auf t für Stahl..... | 103 |
| Bild E.2 — Dickenkorrekturfaktor in Bezug auf t für Aluminium..... | 104 |
| Bild F.1 — Optionen für Modellierungstechniken für Schweißverbindungen | 108 |
| Bild G.1 — Definition der Strukturspannungen für T-Stoß..... | 114 |
| Bild G.2 — Lage des Auswertungspunktes bei Stumpfstößen..... | 115 |
| Bild G.3 — Lage des Auswertungspunktes bei T- oder Doppel-T-Stößen..... | 115 |
| Bild G.4 — Spannungsverteilung auf der Blechoberfläche und über die Blechdicke am Nahtübergang | 116 |
| Bild G.5 — Spannungsverteilung im Schweißschenkelbereich und innere Kraft und Moment in Schweißverbindungen | 116 |
| Bild H.1 — Fiktive Abrundung von Nahtübergängen und Nahtwurzeln | 119 |
| Bild H.2 — Empfehlungen für Bezugsradien zur fiktiven Abrundung von Kerben für die Kerbspannungsberechnung..... | 120 |
| Bild H.3 — Querschnittsbeispiele..... | 121 |
| Bild H.4 — Idealisierung von Schweißverbindungen | 122 |
| Bild H.5 — Abrundung von Nahtwurzeln..... | 122 |
| Bild J.1 — Legende der Flussdiagrammkästen..... | 133 |
| Bild J.2 — Überblick über den Betriebsfestigkeitsnachweis | 134 |
| Bild J.3 — Betriebsfestigkeitsnachweis einer Spannungskomponente | 135 |
| Bild J.4 — Bestimmung der Bauteil-Festigkeit..... | 136 |
| Bild J.5 — Vorverarbeitung der Daten | 137 |
| Bild J.6 — Schadens- und Auslastungsberechnung..... | 138 |

Tabellen

| | |
|--|----|
| Tabelle 1 — Anisotropiefaktor f_A für Stahl und Aluminium | 17 |
| Tabelle 2 — Faktoren $a_{R\sigma}$ und b_R für Stahl und Aluminium | 18 |
| Tabelle 3 — Übliche Werte für R_Z , R_a , $f_{SR,edge}$ | 19 |
| Tabelle 4 — Ermüdungsfestigkeitsfaktoren für Normal- und Schubspannungen bezogen auf $N_C = 10^6$ Zyklen | 20 |
| Tabelle 5 — Korrekturfaktor für Guss $f_{R,C}$ | 21 |
| Tabelle 6 — Parameter für Wöhlerlinien | 22 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 7 — Werkstoffbezogene Werte für Wöhlerlinienparameter | 24 |
| Tabelle 8 — Bonusfaktor für Schweißnahtnachbehandlung f_{post} | 27 |
| Tabelle 9 — Bewertungsgruppenfaktor f_{QL} | 28 |
| Tabelle 10 — Bonusfaktor für die Schweißnahtprüfklasse f_{CT} | 28 |
| Tabelle 11 — Exponent m und Zyklenzahlen am Wöhlerlinien-Knickpunkt N_D für Schweißverbindungen..... | 29 |
| Tabelle 12 — Exponent jenseits des Wöhlerlinien-Knickpunktes, Cut-Off-Limit und Grenze der Miner-Summe..... | 30 |
| Tabelle 13 — Teilbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit γ_M | 33 |
| Tabelle 14 — Teilbeiwert für die Schadensfolge $\gamma_{M,S}$ | 34 |
| Tabelle 15 — Teilbeiwert für die Prüfung während der Wartung $\gamma_{M,I}$ | 34 |
| Tabelle 16 — Teilbeiwert für den Validierungsgrad $\gamma_{M,V}$ | 35 |
| Tabelle A.1 — Mittelspannungsempfindlichkeitsparameter a_m und b_m | 46 |
| Tabelle A.2 — Mittelspannungsempfindlichkeit für Schweißnähte..... | 46 |
| Tabelle B.1 — Relevante ASTM-Dokumente | 50 |
| Tabelle B.2 — Definition von Qualitätsklassenstufen auf der Grundlage von Fehlerkategorien nach den in Tabelle B.1 referenzierten ASTM-Dokumenten..... | 50 |
| Tabelle C.1 — Zusammenfassung der Werkstofffaktoren für den Grundwerkstoff..... | 52 |
| Tabelle D.1 — Übersicht über Schweißstoßtypen und zugehörige Nummern nach EN 15085-3:2022+A1:2023, Tabelle B.1 | 57 |
| Tabelle D.2 — Schweißstoßtyp 11..... | 61 |
| Tabelle D.3 — Schweißstoßtyp 12..... | 62 |
| Tabelle D.4 — Schweißstoßtyp 13..... | 63 |
| Tabelle D.5 — Schweißstoßtyp 14..... | 64 |
| Tabelle D.6 — Schweißstoßtyp 15..... | 65 |
| Tabelle D.7 — Schweißstoßtyp 17..... | 66 |
| Tabelle D.8 — Schweißstoßtyp 18..... | 67 |
| Tabelle D.9 — Schweißstoßtyp 21..... | 69 |
| Tabelle D.10 — Schweißstoßtyp 24..... | 70 |
| Tabelle D.11 — Schweißstoßtyp 25..... | 71 |
| Tabelle D.12 — Schweißstoßtyp 26..... | 73 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle D.13 — Schweißstoßtyp 28..... | 75 |
| Tabelle D.14 — Schweißstoßtyp 29..... | 76 |
| Tabelle D.15 — Schweißstoßtyp 31..... | 77 |
| Tabelle D.16 — Schweißstoßtyp 34..... | 78 |
| Tabelle D.17 — Schweißstoßtyp 35..... | 79 |
| Tabelle D.18 — Schweißstoßtyp 36..... | 80 |
| Tabelle D.19 — Schweißstoßtyp 38..... | 81 |
| Tabelle D.20 — Schweißstoßtyp 39..... | 82 |
| Tabelle D.21 — Schweißstoßtyp 41..... | 83 |
| Tabelle D.22 — Schweißstoßtyp 46..... | 84 |
| Tabelle D.23 — Schweißstoßtyp 47..... | 85 |
| Tabelle D.24 — Schweißstoßtyp 48..... | 86 |
| Tabelle D.25 — Schweißstoßtyp 51..... | 87 |
| Tabelle D.26 — Schweißstoßtyp 56..... | 88 |
| Tabelle D.27 — Schweißstoßtyp 57..... | 89 |
| Tabelle D.28 — Schweißstoßtyp 61..... | 90 |
| Tabelle D.29 — Schweißstoßtyp 62..... | 92 |
| Tabelle D.30 — Schweißstoßtyp 63..... | 94 |
| Tabelle D.31 — Schweißstoßtyp 64..... | 96 |
| Tabelle D.32 — Schweißstoßtyp 65..... | 97 |
| Tabelle D.33 — Schweißstoßtyp 71..... | 99 |
| Tabelle D.34 — Schweißstoßtyp 72..... | 100 |
| Tabelle F.1 — Werte für den Exzentrizitätsfaktor für Membranspannungen f_e | 109 |
| Tabelle F.2 — Parameter für den Nachweis von Option A..... | 111 |
| Tabelle F.3 — Parameter für den Nachweis von Option B..... | 112 |
| Tabelle H.1 — Empfohlene Elementlängen (entlang und normal zur Kerbfläche)..... | 123 |
| Tabelle H.2 — Fat-Klasse $\Delta\sigma_{C,e}$ und $\Delta\tau_{C,e}$ für Stahl — bezogen auf das Spannungsverhältnis $R = 0,5$.. | 124 |
| Tabelle H.3 — Fat-Klasse $\Delta\sigma_{C,e}$ und $\Delta\tau_{C,e}$ für Aluminium — bezogen auf das Spannungsverhältnis $R = 0,5$ | 124 |
| Tabelle I.1 — Parameter..... | 126 |

| | |
|--|------------|
| Tabelle I.2 — Spannungskollektiv | 127 |
| Tabelle I.3 — Mittelspannungskorrektur | 128 |
| Tabelle I.4 — Spannungskollektiv für die Schadensakkumulation | 129 |
| Tabelle I.5 — Berechnung der akkumulierten Miner-Summe mit $x_{it} = 1,0$ | 130 |
| Tabelle I.6 — Akkumulierte Miner-Summenberechnung mit $x_{it} = x_{Dm} = 2,129$..... | 131 |