

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		
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		
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		
I.1	Beschreibung	126
I.2	Aufgabe	127
I.3	Bewertung	127
Anhang J (informativ) Flussdiagramme des Verfahrens zum Betriebsfestigkeitsnachweis		
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