

# 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 $\gamma_L$ .....	32
6.3 Teilbeiwert für die Bauteil-Ermüdungsfestigkeit $\gamma_M$ .....	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	
<b>Anhang A (informativ) Verfahren zur Bestimmung der Mittelspannungsfaktoren für Grundwerkstoff und Schweißverbindungen.....</b>			<b>45</b>
A.1	Allgemeines.....	45	
A.2	Mittelspannungsempfindlichkeit.....	45	
A.2.1	Grundwerkstoff.....	45	
A.2.2	Schweißverbindungen.....	46	
A.3	Bestimmung der Mittelspannungsfaktoren .....	46	
<b>Anhang B (informativ) Spezifikationsbeispiel für zulässige volumetrische Fehler in Gussteilen aus Stahl, Eisen und Aluminium .....</b>			<b>50</b>
B.1	Allgemeines.....	50	
<b>Anhang C (informativ) Werkstofffaktoren für Grundwerkstoff.....</b>			<b>52</b>
<b>Anhang D (normativ) Fat-Klassen <math>\Delta\sigma_C</math> und <math>\Delta\tau_C</math> für Schweißverbindungen nach dem Nennspannungsverfahren.....</b>			<b>54</b>
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 $n_\tau$ .....	56	
D.1.12	Untere Grenze der Blechdicke für die Dickenkorrektur $t_{min}$ .....	56	
D.1.13	Parameter $\alpha_{bend}$ , 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	
<b>Anhang E (informativ) Dicke und Einfluss der Biegung auf Nenn- und Strukturspannungsansätze bei Schweißverbindungen .....</b>			<b>102</b>
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	
<b>Anhang F (informativ) Spannungsanpassung aufgrund der Schweißstoßgeometrie für Schweißverbindungen beim Nennspannungsverfahren.....</b>			<b>107</b>
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
<b>Anhang G (informativ) Anwendung des Strukturspannungsansatzes für Schweißverbindungen von Stahl und Aluminium .....</b>		
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
<b>Anhang H (informativ) Anwendung des Kerbspannungsansatzes für Schweißverbindungen aus Stahl und Aluminium .....</b>		
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
<b>Anhang I (informativ) Beispiel für den Betriebsfestigkeitsnachweis .....</b>		
I.1	Beschreibung .....	126
I.2	Aufgabe .....	127
I.3	Bewertung .....	127
<b>Anhang J (informativ) Flussdiagramme des Verfahrens zum Betriebsfestigkeitsnachweis .....</b>		
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

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

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

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