DIN EN 1999-1-1:2024-11 (D)

Eurocode 9 - Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln; Deutsche Fassung EN 1999-1-1:2023

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... 10

Einleitung ... 12
0.1 Einleitung zu den Eurocodes ... 12
0.2 Einleitung zu EN 1999 (alle Teile) ... 12
0.3 Einleitung zu EN 1999-1-1 ... 13
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen ... 13
0.5 Nationaler Anhang zu EN 1999-1-1 ... 13

1 Anwendungsbereich ... 15
1.1 Anwendungsbereich von EN 1999-1-1 ... 15
1.2 Annahmen ... 15

2 Normative Verweisungen ... 15

3 Begriffe und Symbole ... 17
3.1 Begriffe ... 17
3.2 Symbole ... 20
3.3 Definition der Bauteilachsen ... 33

4 Grundlagen für die Tragwerksplanung ... 36
4.1 Allgemeine Regeln ... 36
4.1.1 Grundlegende Anforderungen ... 36
4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit ... 36
4.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit ... 36
4.2 Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen ... 37
4.3 Basisvariablen ... 37
4.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse ... 37
4.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften ... 37
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten ... 37
4.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften ... 37
4.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen ... 37
4.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit ... 38
4.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen ... 39
4.6 Anforderungen an die Bauausführung ... 39

5 Werkstoffe ... 39
5.1 Allgemeines ... 39
5.2 Aluminium für Bauteile ... 39
5.2.1 Werkstoffarten ... 39
5.2.2 Werkstoffeigenschaften von Aluminiumknet- und Aluminiumgusslegierungen ... 41
5.2.3 Werkstoffeigenschaften von Aluminiumgusslegierungen ... 48
5.2.4 Abmessungen, Gewicht und Toleranzen ... 49
5.2.5 Bemessungswerte der Werkstoffkennwerte ... 49
5.3 Verbindungsmittel ... 49
5.3.1 Allgemeines ... 49
5.3.2 Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben sowie gewindeformende Schrauben und selbstbohrende Schrauben ... 50
5.3.3 Niete ... 52
5.3.4 Schweißzusätze ... 52
5.3.5 Klebstoffe ... 53

6 Dauerhaftigkeit ... 53

7 Tragwerksberechnung ... 54
7.1 Statische Systeme ... 54
7.1.1 Grundlegende Annahmen ... 54
7.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse ... 54
7.1.3 Wechselwirkung zwischen Bauwerk und Baugrund ... 54
7.2 Untersuchung von Gesamttragwerken ... 54
7.2.1 Einflüsse der Tragwerksverformung ... 54
7.2.2 Stabilität von Tragwerken ... 55
7.3 Imperfektionen ... 56
7.3.1 Allgemeines ... 56
7.3.2 Imperfektionen für die Tragwerksberechnung ... 57
7.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme ... 63
7.3.4 Bauteilimperfektionen ... 65
7.4 Berechnungsmethoden ... 66
7.4.1 Allgemeines ... 66
7.4.2 Elastische Tragwerksberechnung ... 66
7.4.3 Plastische Tragwerksberechnung ... 67

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit von Bauteilen ... 67
8.1 Grundlage ... 67
8.1.1 Allgemeines ... 67
8.1.2 Charakteristische Festigkeitswerte ... 67
8.1.3 Teilsicherheitsbeiwerte ... 67
8.1.4 Klassifizierung von Querschnitten ... 67
8.1.5 Beulen bei Bauteilen der Klasse 4 ... 76
8.1.6 Festigkeitsreduktion in der Wärmeeinflusszone von Schweißungen ... 77
8.2 Beanspruchbarkeit der Querschnitte ... 81
8.2.1 Allgemeines ... 81
8.2.2 Querschnittswerte ... 82
8.2.3 Zugbeanspruchung ... 83
8.2.4 Druckbeanspruchung ... 84
8.2.5 Biegebeanspruchung ... 85
8.2.6 Querkraftbeanspruchung ... 88
8.2.7 Torsionsbeanspruchung ... 89
8.2.8 Beanspruchung aus Biegung und Querkraft ... 91
8.2.9 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft ... 92
8.2.10 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft ... 93
8.2.11 Stegkrüppeln ... 93
8.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile ... 93
8.3.1 Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck ... 93
8.3.2 Bauteile mit Biegung ... 100
8.3.3 Bauteile mit Biegung und zentrischem Druck ... 103
8.4 Vereinfachte Berechnung der Beanspruchbarkeit ... 108
8.5 Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile ... 110
8.5.1 Allgemeines ... 110
8.5.2 Gitterstützen ... 112
8.5.3 Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen) ... 114
8.5.4 Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung ... 115
8.6 Unausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten ... 116
8.6.1 Allgemeines ... 116
8.6.2 Beanspruchbarkeit unter gleichförmigem Druck ... 117
8.6.3 Beanspruchbarkeit bei Biegung in der Ebene ... 118
8.6.4 Beanspruchbarkeit bei in Quer- oder Längsrichtung veränderlichen Normalspannungen ... 119
8.6.5 Schubbeanspruchbarkeit ... 119
8.6.6 Beanspruchbarkeiten bei Lasten senkrecht zur Ebene ... 120
8.6.7 Beanspruchbarkeit bei kombinierten Einwirkungen ... 121

8.7 Ausgesteifte, in ihrer Ebene belastete Platten ... 122
8.7.1 Allgemeines ... 122
8.7.2 Ausgesteifte Platten unter gleichförmigem Druck ... 123
8.7.3 Ausgesteifte Platten unter Biegung in ihrer Ebene ... 125
8.7.4 Gleichförmig versteifte Platten mit in Längsrichtung veränderlichen Spannungen ... 126
8.7.5 Gleichförmig versteifte Platten unter Schubbeanspruchung ... 126
8.7.6 Beullasten orthotroper Platten ... 127
8.7.7 Belastung senkrecht zur Plattenebene ... 130
8.7.8 Beanspruchbarkeit bei kombinierter Belastung ... 132
8.8 Vollwandträger ... 133
8.8.1 Allgemeines ... 133
8.8.2 Beanspruchbarkeit von Vollwandträgern bei Biegung in der Trägerebene ... 134
8.8.3 Vollwandträger mit Längssteifen am Steg ... 135
8.8.4 Schubbeanspruchbarkeit/Querkrafttragfähigkeit ... 137
8.8.5 Beanspruchbarkeit unter Querlasten ... 142
8.8.6 Interaktion ... 146
8.8.7 Flanschinduziertes Stegblechbeulen ... 147
8.8.8 Stegblechsteifen ... 148
8.9 Bauteile mit Trapezblechstegen ... 149
8.9.1 Allgemeines ... 149
8.9.2 Biegemomententragfähigkeit ... 150
8.9.3 Querkrafttragfähigkeit ... 150

9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit ... 151
9.1 Allgemeines ... 151
9.2 Verformungen und dynamische Einflüsse bei Gebäuden ... 152

10 Bemessung von Anschlüssen ... 153
10.1 Bemessungsgrundlagen ... 153
10.1.1 Einleitung ... 153
10.1.2 Schnittgrößen ... 153
10.1.3 Beanspruchbarkeit von Anschlüssen ... 154
10.1.4 Bemessungsannahmen ... 154
10.1.5 Herstellung und Ausführung ... 154
10.2 Schnittpunkte in geschraubten, genieteten und geschweißten Anschlüssen ... 155
10.3 Schubbeanspruchte Anschlüsse mit Stoßbeanspruchung, Schwingungsbeanspruchung und/oder Lastumkehr ... 155
10.4 Klassifizierung von Anschlüssen ... 155
10.5 Schrauben-, Niet- und Bolzenverbindungen ... 155
10.5.1 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Niete ... 155
10.5.2 Lochabminderungen ... 158
10.5.3 Kategorien von Schraubenverbindungen ... 160
10.5.4 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Schrauben ... 163
10.5.5 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Nieten ... 165
10.5.6 Senkschrauben und Senkniete ... 166
10.5.7 Gewindeformende Schrauben, selbstbohrende Schrauben und Blindniete ... 166
10.5.8 Schrauben in gleitfesten Verbindungen ... 166
10.5.9 Lange Anschlüsse ... 169
10.5.10 Einschnittige Verbindungen von Flachmaterial mit nur einer Reihe von Verbindungsmitteln ... 169
10.5.11 Verbindungsmittel durch Futterbleche ... 170
10.5.12 Bolzenverbindungen ... 170
10.5.13 Verbindungsmittel aus Aluminium ... 172
10.6 Schweißverbindungen ... 173
10.6.1 Allgemeines ... 173
10.6.2 Bemessung von Schweißverbindungen ... 174
10.7 Bemessung von Rührreibschweißungen ... 188
10.8 Hybride Verbindungen ... 189
10.9 Spezielle Anschlüsse ... 189

10.9.1 Allgemeines ... 189
10.9.2 T-Nutanschlüsse ... 190
10.9.3 Offene und geschlossene Schraubkanäle ... 193
10.10 Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung ... 193
10.10.1 Allgemeines ... 193
10.10.2 Abstützkräfte in einer typischen T-Stummel-Einzelverbindung ... 194
10.10.3 Allgemeine Regeln für die Bestimmung der Tragfähigkeit ... 196
10.10.4 Geometrische Grenzwerte ... 204
10.11 Stützensteg mit Beanspruchung durch Querzug und Querdruck ... 204
10.11.1 Allgemeines ... 204
10.11.2 Stützensteg mit Beanspruchung durch Querzug ... 205
10.11.3 Stützensteg mit Beanspruchung durch Querdruck ... 208
10.12 Geklebte Anschlüsse ... 210
10.13 Andere Verbindungsverfahren ... 210

Anhang A (normativ) Qualitätsanforderungen an die Ausführung ... 211
A.1 Anwendung dieses Anhangs ... 211
A.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 211
A.3 Allgemeines ... 211
A.3.1 Grundlegende Anforderungen ... 211
A.3.2 Ausführungsklasse ... 211
A.3.3 Ausnutzungsgrad ... 212
A.4 Wahl der Ausführungsklasse ... 212
A.5 Berechnung von Ausnutzungsgraden ... 214

Anhang B (informativ) Berechnungen mit Finite-Elemente-Methoden (FEM) ... 215
B.1 Anwendung dieses Anhangs ... 215
B.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 215
B.3 Anwendung von FE-Methoden zu Bemessungszwecken ... 216
B.4 Modellierung ... 216
B.5 Wahl des Programms und Dokumentation ... 216
B.6 Ansatz von Imperfektionen ... 217
B.7 Werkstoffeigenschaften ... 218
B.8 Belastungen ... 219
B.9 Kriterien für den Grenzzustand ... 219
B.10 Teilsicherheitsbeiwerte ... 219

Anhang C (informativ) Werkstoffauswahl ... 222
C.1 Anwendung dieses Anhangs ... 222
C.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 222
C.3 Allgemeines ... 222
C.4 Knethalbzeuge ... 222
C.4.1 Aushärtbare Knetlegierungen ... 222
C.4.2 Nichtaushärtbare Knetlegierungen ... 225
C.5 Gussprodukte ... 226
C.5.1 Allgemeines ... 226
C.5.2 Aushärtbare Gusslegierungen EN AC-42100, EN AC-42200, EN AC-43000 und EN AC-43300 ... 227
C.5.3 Nichtaushärtbare Gusslegierungen EN AC-44200 und EN AC-51300 ... 227

Anhang D (informativ) Korrosion und Oberflächenschutz ... 228
D.1 Anwendung dieses Anhangs ... 228
D.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 228
D.3 Korrosion von Aluminium unter verschiedenen Umgebungsbedingungen ... 228
D.4 Beständigkeitsklassen von Aluminiumlegierungen ... 231
D.5 Korrosionsschutz ... 232
D.5.1 Allgemeines ... 232
D.5.2 Korrosionsschutz von Aluminiumbauteilen ... 233
D.5.3 Aluminium bei Kontakt mit Aluminium und anderen Metallen ... 233
D.5.4 Aluminiumoberflächen in Kontakt mit Nichtmetallen ... 234

Anhang E (normativ) Gussstücke 239
E.1 Anwendung dieses Anhangs 239
E.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 239
E.3 Allgemeine Vorschriften für die Bemessung von Gussstücken 239
E.3.1 Allgemeine Vorschriften für die Bemessung 239
E.3.2 Qualitätsanforderungen, Prüfungen und Dokumentation der Qualität 240

Anhang F (informativ) Analytische Modelle für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung 242
F.1 Anwendung dieses Anhangs 242
F.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 242
F.3 Analytische Modelle 242
F.3.1 Allgemeines 242
F.3.2 Abschnittsweise lineare Modelle 242
F.3.3 Kontinuierliche Modelle 246
F.4 Näherungsweise Ermittlung von $\varepsilon_{uni,max}$ 250

Anhang G (informativ) Geometrische Eigenschaften von Querschnitten 251
G.1 Anwendung dieses Anhangs 251
G.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 251
G.3 Torsionsträgheitsmoment I_t 251
G.4 Torsionswiderstandsmoment W_t 252
G.5 Lage des Schubmittelpunkts S 252
G.6 Wölbwiderstand I_w 252
G.7 Querschnittswerte offener dünnwandiger Querschnitte 255
G.8 Torsionsträgheitsmoment von Querschnitten mit geschlossener Zelle 258
G.9 Schubfläche 259
G.10 Plastisches Widerstandsmoment und Interaktionsgleichung 260
G.10.1 Plastisches Widerstandsmoment 260
G.10.2 Plastische Interaktionsgleichung 261

Anhang H (informativ) Tragverhalten von Querschnitten oberhalb der Elastizitätsgrenze 262
H.1 Anwendung dieses Anhangs 262
H.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 262
H.3 Definition der Querschnittsgrenzzustände 262
H.4 Klassifizierung von Querschnitten nach Grenzzuständen 263
H.5 Grenzwerte der Traglast unter Normalkraft 264
H.6 Grenzwerte der Momententragfähigkeit 265
H.7 Tragfähigkeit 266

Anhang I (informativ) Biegedrillknicken von Trägern sowie Drillknicken und Biegedrillknicken von gedrückten Bauteilen 267
I.1 Anwendung dieses Anhangs 267
I.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 267
I.3 Ideales Biegedrillknickmoment und Schlankheitsgrad 267
I.3.1 Grundlage 267
I.3.2 Allgemeine Gleichungen für Träger mit konstantem zur Neben- oder Hauptachse symmetrischem Querschnitt 268
I.3.3 Träger mit konstantem Querschnitt, der zur Hauptachse symmetrisch, zentralsymmetrisch oder doppeltsymmetrisch ist 274
I.3.4 Kragträger mit konstantem, zur Nebenachse symmetrischem Querschnitt 275
I.4 Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken ohne Normalkraft 278
I.5 Ideale Drillknicklast und Biegedrillknicklast bei Axialbelastung 280
I.6 Schlankheitsgrad für Drillknicken und Biegedrillknicken mit Normalkraft 281

Anhang J (informativ) Mittragende Breite bei der Bauteilbemessung 286
J.1 Anwendung dieses Anhangs 286
J.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 286
J.3 Als wirksam anzusetzende mittragende Breiten 286
J.3.1 Beiwert für die mittragende Breite 286

J.3.2 Spannungsverteilung im Falle der mittragenden Breite 288
J.3.3 Lasteinleitung in der Scheibenebene 289
J.4 Mittragende Breite bei Grenzzuständen der Tragfähigkeit 290

Anhang K (informativ) Fließgelenkverfahren bei Durchlaufträgern 291
K.1 Anwendung dieses Anhangs 291
K.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 291
K.3 Ermittlung des Tragmoments M_u 292

Anhang L (informativ) Duktilität und Rotationskapazität im Querschnitt 294
L.1 Anwendung dieses Anhangs 294
L.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 294
L.3 Momenten-Krümmungs-Berechnung des Querschnitts 295
L.4 Bestimmung der Rotationskapazität 300
L.5 Empirische Beziehungen der Tragfähigkeit 301
L.6 Empirische Beziehungen für die Rotationskapazität 302

Anhang M (informativ) Klassifizierung von Anschlüssen 303
M.1 Anwendung dieses Anhangs 303
M.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 303
M.3 Allgemeines 303
M.4 Voll wirksame Anschlüsse 304
M.5 Teilweise wirksame Anschlüsse 304
M.6 Klassifizierung nach der Steifigkeit 304
M.7 Klassifizierung nach der Tragfähigkeit 305
M.8 Klassifizierung nach der Duktilität 305
M.9 Allgemeine Bemessungsanforderungen für Anschlüsse 306
M.10 Anforderungen an Anschlüsse in Rahmentragwerken 307
M.10.1 Allgemeines 307
M.10.2 Gelenkige Anschlüsse 307
M.10.3 Anschlüsse zwischen tragenden Bauteilen 309

Anhang N (informativ) Anwendung des Bauteilverfahrens für Anschlüsse 311
N.1 Anwendung dieses Anhangs 311
N.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 311

Anhang O (informativ) Offene und geschlossene Schraubkanäle 312
O.1 Anwendung dieses Anhangs 312
O.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 312
O.3 Zugtragfähigkeit 313
O.4 Schubbeanspruchbarkeit 315

Anhang P (informativ) Geklebte Anschlüsse 318
P.1 Anwendung dieses Anhangs 318
P.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 318
P.3 Allgemeines 318
P.4 Klebstoffe 318
P.5 Bemessung geklebter Anschlüsse 319
P.5.1 Allgemeines 319
P.5.2 Charakteristische Festigkeit von Klebstoffen 320
P.5.3 Bemessungswert der Scherspannung 321
P.6 Versuche 321

Anhang Q (informativ) Bestimmen der Ausdehnung der WEZ mithilfe von Härteprüfungen 322
Q.1 Anwendung dieses Anhangs 322
Q.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 322
Q.3 Bestimmen der Ausdehnung der WEZ mithilfe von Härteprüfungen 322

Anhang R (informativ) Schweißbolzen, die mittels Lichtbogenbolzenschweißung mit Spitzenzündung angeschlossen werden 324
R.1 Anwendung dieses Anhangs 324
R.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 324

R.3 Konstruktion ... 325
R.4 Bemessung ... 325

Anhang S (normativ) Aluminiumbrücken ... 327
S.1 Anwendung dieses Anhangs ... 327
S.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 327
S.3 Begriffe und Symbole ... 327
S.4 Bemessungsgrundlagen ... 327
S.4.1 Allgemeine Regeln ... 327
S.5 Werkstoffe ... 328
S.5.1 Brückenkomponenten außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm ... 328
S.6 Dauerhaftigkeit ... 329
S.7 Tragwerksberechnung ... 329
S.7.1 Tragwerksmodelle von Aluminiumbrücken ... 329
S.7.2 Imperfektionen ... 329
S.8 Grenzzustände der Tragfähigkeit ... 330
S.8.1 Grundlage ... 330
S.8.2 Beanspruchbarkeit der Querschnitte ... 330
S.8.3 Stabilität von Bauteilen ... 330
S.9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit ... 331
S.9.1 Allgemeines ... 331
S.9.2 Leistungsanforderungen ... 331
S.10 Ermüdung ... 332
S.10.1 Allgemeines ... 332
S.10.2 Ermüdungsbeanspruchung ... 332
S.10.3 Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Ermüdungssicherheit ... 333
S.10.4 Schädigungsäquivalente Beiwerte ... 333
S.10.5 Ermüdungsfestigkeit ... 333
S.10.6 Wärmenachbehandlung der Schweißnaht ... 333
S.11 Durchbildung ... 333
S.11.1 Allgemeines ... 333
S.11.2 Fahrbahnplatten von Straßen- und Fußgängerbrücken ... 334
S.11.3 Aluminium-Vollwandträger ... 343

Anhang T (informativ) Räumliche Gitterdachtragwerke ... 346
T.1 Anwendung dieses Anhangs ... 346
T.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 346
T.3 Allgemeine Anforderungen ... 346
T.4 Zweischichtige Gitterstrukturen ... 346
T.4.1 Allgemeines ... 346
T.4.2 Klassifizierung der Verbindungen entsprechend ihrer axialen Steifigkeit ... 347
T.4.3 Klassifizierung der Verbindungen entsprechend ihrer Festigkeit in axialer Richtung ... 349
T.4.4 Scher-Lochleibungsverbindungen mit Schrauben ... 350
T.4.5 Versuchsgestützte Bemessung von Verbindungen ... 351
T.5 Einschichtige Gitterstrukturen ... 354
T.5.1 Stabilitätsnachweise ... 354
T.5.2 Knicklänge von Bauteilen mit Knotenblechanschlüssen ... 355
T.5.3 Klassifizierung der Verbindungen für Bauteile unter Normalkraft- und Biegebeanspruchung ... 357
T.5.4 Modellierung von Knotenblechverbindungen unter Normalkraft- und Biegebeanspruchung ... 357

Anhang U (informativ) Verbundträger aus Aluminium und Beton ... 362
U.1 Anwendung dieses Anhangs ... 362
U.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen ... 362
U.3 Allgemeine und grundlegende Aspekte ... 362
U.4 Schnittgrößenermittlung ... 363
U.4.1 Methoden für die Berechnung des Gesamttragwerks ... 363
U.4.2 Linear-elastische Berechnung ... 364

U.4.3 Elastische Tragwerksberechnung mit Schnittgrößenumlagerung 364
U.4.4 Globale nichtlineare und starr-plastische Berechnung 364
U.5 Grenzzustände der Tragfähigkeit 364
U.5.1 Allgemeines 364
U.5.2 Biegetragfähigkeit 365
U.6 Verbundsicherung 370
U.6.1 Allgemeine Regeln 370
U.6.2 Herkömmliche Verbundmittel 370
U.6.3 Innovative Verbundmittel 371

Anhang V (normativ) Modifizierte Knickbedingungen 373
V.1 Anwendung dieses Anhangs 373
V.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen 373
V.3 Bemessung auf Biegeknicken mit Vorkrümmungen von $L/500$ 373

Literaturhinweise 375