

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	Ausführungsstufe	211
A.3.3	Ausnutzungsgrad.....	212
A.4	Wahl der Ausführungsstufe	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 $\epsilon_{uni,max}$	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 Tragsmoments 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