

Bemessungs-konzept	Bemessungsverfahren	Schadensfolgeklasse		
		CC1	CC2	CC3
		$\gamma_{Mf}^{a, b, c, d}$	$\gamma_{Mf}^{a, b, c, d}$	$\gamma_{Mf}^{a, b, c, d}$
a	Die Tabellenwerte dürfen in Übereinstimmung mit den Fußnoten a bis d verringert werden; dabei darf der sich daraus ergebende Wert für γ_{Mf} den Wert 1,0 nicht unterschreiten.			
b	Die oben angegebenen Tabellenwerte für γ_{Mf} dürfen um 0,1 verringert werden, wenn eine der folgenden Bedingungen vorliegt: — nicht geschweißte Bereiche von geschweißten Bauteilen; — Detailkategorien, bei denen $\Delta\sigma_c < 25 \text{ N/mm}^2$; — geschweißte Bauteile, bei denen die größte Spannungsschwingbreite für alle Schwingspiele angesetzt wird; — der Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung liegt bei mindestens 50 %. Für Klebeverbindungen, siehe E.2(6).			
c	Die oben angegebenen Tabellenwerte für γ_{Mf} dürfen um 0,2 verringert werden, wenn eine der folgenden Bedingungen vorliegt: — nicht geschweißte Bereiche von geschweißten Bauteilen, bei denen die größte Spannungsschwingbreite für alle Schwingspiele angesetzt wird; — Detailkategorien, bei denen $\Delta\sigma_c < 25 \text{ N/mm}^2$ und die größte Spannungsschwingbreite für alle Schwingspiele angesetzt wird; — nicht geschweißte Bauteile und Tragwerke; — der Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung liegt bei mindestens 50 % und die größte Spannungsschwingbreite wird für alle Schwingspiele angesetzt; — der Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung liegt bei 100 %.			
d	Die oben angegebenen Tabellenwerte für γ_{Mf} dürfen um 0,3 verringert werden, wenn eine der folgenden Bedingungen vorliegt: — nicht geschweißte Bauteile und Tragwerke, bei denen die größte Spannungsschwingbreite für alle Schwingspiele angesetzt wird; — der Umfang der zusätzlichen zerstörungsfreien Prüfung liegt bei 100 % und die größte Spannungsschwingbreite wird für alle Schwingspiele angesetzt.			

(4) Die Werte für das Sicherheitselement D_{lim} sollten festgelegt werden.

ANMERKUNG Die Werte für D_{lim} liegen innerhalb der Schwingbreite von Gleichung (L.6), es sei denn im Nationalen Anhang sind andere Werte angegeben:

$$\left(\frac{1}{\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}}\right)^{m_2} \leq D_{lim} \leq \left(\frac{1}{\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}}\right)^{m_1} \quad (L.6)$$

(5) Für DTD-II ist der Wert für D_{lim} größer als 1, sollte jedoch begrenzt werden.

ANMERKUNG Die Werte für D_{lim} betragen 2,0 bei geschweißten, geschraubten oder genieteten Details und 4,0 bei ebenen Teilen, es sei denn im Nationalen Anhang werden andere Werte angegeben.

L.7 Kenngrößen für die Ausführung

L.7.1 Beanspruchungskategorie

(1) Sofern die in Anhang J angegebenen Daten für den Ermüdungswiderstand angenommen werden, sollte eines der nachstehend aufgeführten Kriterien a), b) oder c) verwendet werden, um Bauteile der Beanspruchungskategorie SC1 zuzuordnen:

a) falls die größte Schwingbreite der Nennspannung $\Delta\sigma_{E,k}$ Gleichung (L.7) und Gleichung (L.8) erfüllt:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,k} \leq \frac{13,7}{\gamma_{Mf}} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{für den Grundwerkstoff (einschließlich Wärmeeinflusszonen und Stumpfnähten);} \quad (L.7)$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,k} \leq \frac{9,2}{\gamma_{Mf}} \frac{N}{mm^2} \text{ für Kehlnähte} \quad (L.8)$$

Dabei

sollten die für SLD-I angegebenen Werte verwendet werden:

$\Delta\sigma_{E,k}$ ist der charakteristische Wert der Schnittgröße (Spannungsschwingbreite).

- b) im Fall von Ermüdungslastkollektiven ($\Delta\sigma_{E,k,i}$), sofern L.7.2 zur Berechnung des Ermüdungs-Ausnutzungsgrades U angewendet wird und U den Wert 1,0 nicht übersteigt, wobei für den Ermüdungswiderstand folgende Detailkategorien angesetzt werden:
- für den Grundwerkstoff (einschließlich Wärmeeinflusszonen und Stumpfnähten): Detailkategorie 18-3,4;
 - für Kehlnähte: Detailkategorie 12-3,4.

Die Werte von γ_{Mf} für SLD-I sollten angewendet werden. In Fällen, in denen die größte Spannungsamplitude für alle Schwingspiele angesetzt wird, dürfen die Werte um 0,1 verringert werden.

- c) in Fällen, in denen die Grenzwerte nach den unter a) oder b) aufgeführten Kriterien überschritten werden, und sofern der Ermüdungs-Ausnutzungsgrad U nach L.7.2 den Wert 0,5 nicht übersteigt und sofern der Ermüdungswiderstand auf den niedrigsten Werten für die folgenden Fälle beruht, d. h.:
- für den Grundwerkstoff (vom Schweißen nicht beeinflusst): Detailkategorie 71-7;
 - für durchlaufende Längsschweißnähte (Spannungsrichtung parallel zur Achse der Schweißnaht): Detailkategorie 40-4,3;
 - für Stumpfnähte: Detailkategorie 36-3,4.

Die Werte von γ_{Mf} für SLD-I sollten angewendet werden. In Fällen, in denen die größte Spannungsamplitude für alle Schwingspiele angesetzt wird, dürfen die Werte um 0,1 verringert werden. In diesem Fall darf der sich daraus ergebende Wert für γ_{Mf} den Wert 1,0 nicht unterschreiten.

ANMERKUNG Andere oder zusätzliche Kriterien für die Festlegung der Beanspruchungskategorie können im Nationalen Anhang angegeben werden.

L.7.2 Berechnung des Ausnutzungsgrads

(1) Dieser Abschnitt enthält Festlegungen zur Berechnung des Ausnutzungsgrads U für ermüdungsbeanspruchte Bauteile, sofern die Ermüdungsfestigkeitsdaten nach Anhang J für die Bemessung verwendet werden, und EN 1090-3:2019, Anhang K und Anhang L, wurden in Bezug auf die Festlegung von Qualität und Inspektionsanforderungen ausgewählt. Die berechneten Werte werden verwendet, um zwischen den beiden Beanspruchungskategorien SC1 und SC2 unterscheiden zu können.

ANMERKUNG 1 Der Begriff „Beanspruchungskategorie“ ist in EN 1090-3:2019 definiert als „Kategoriebezeichnung, die die Art der Beanspruchung eines Bauteils oder eines Tragwerks charakterisiert“. Beanspruchungskategorie 1 (SC1) betrifft überwiegend statische Lasten oder seismische Duktilität DC1. Beanspruchungskategorie 2 (SC2) betrifft Ermüdung oder seismische Duktilität DC2. Siehe prEN 1999-1-1:2021, Anhang A.

ANMERKUNG 2 EN 1090-3 definiert Kriterien für die Festlegung des Umfangs der Kontrollen und die Anforderungen hinsichtlich der schweißtechnischen Bewertungsgruppen der beiden Beanspruchungskategorien sowie quantitative Kriterien für die Inspektion von Schweißnähten in Abhängigkeit von Ausführungsklasse und Ausnutzungsgrad.

(2) Der Ermüdungs-Ausnutzungsgrad für eine konstante Spannungsschwingbreite für eine begrenzte Anzahl von Schwingspielen n sollte nach Gleichung (L.9) berechnet werden:

$$U = \frac{\Delta\sigma_{E,k} \cdot \gamma_{Ff}}{\Delta\sigma_{R,k}/\gamma_M} \quad (L.9)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{E,k}$ die charakteristische Spannungsschwingbreite (für kombinierte Spannungen: die Hauptspannung) im betrachteten Querschnitt für eine angegebene Anzahl von Schwingspielen n ;

$\Delta\sigma_{R,k}$ der entsprechende Wert des Festigkeitsbereiches der maßgeblichen Ermüdungsfestigkeitskurve für die angegebene Anzahl von Schwingspielen n .

(3) Im Falle von Ermüdung, bei der alle Spannungsschwingbreiten kleiner sind als $\Delta\sigma_D$, und bei einer unbegrenzten Anzahl von Schwingspielen sollte der Ausnutzungsgrad nach Gleichung (L.10) berechnet werden:

$$U = \frac{\Delta\sigma_{E,k} \cdot \gamma_{Ff}}{\Delta\sigma_D/\gamma_M} \quad (L.10)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{E,k}$ die größte Spannungsschwingbreite;

$\Delta\sigma_D$ die Dauerfestigkeit.

(4) Beruht die Berechnung auf der äquivalenten Spannungsschwingbreite konstanter Amplitude $\Delta\sigma_{E,2e}$ sollte der Ausnutzungsgrad nach Gleichung (L.11) berechnet werden:

$$U = \frac{\gamma_{Ff}\Delta\sigma_{E,2e}}{\Delta\sigma_C/\gamma_M} \quad (L.11)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_C$ die Ermüdungsfestigkeit für 2×10^6 Schwingspiele.

(5) Beruht der Ausnutzungsgrad U auf der Berechnung der Ermüdungsschadenswerte nach der linearen Schadensakkumulation, darf er für die Anwendungszwecke dieses Anhangs nach Gleichung (L.12) berechnet werden:

$$U = \sqrt[m_1]{D_{L,d}} \quad (L.12)$$

Dabei ist

$D_{L,d}$ nach 4.3.1 und 8.2.1 berechnet.

Literaturhinweise

Als Information enthaltene Verweisungen (z. B. durch „kann“-Sätze):

- [1] EN ISO 4287, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit*
- [2] EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*
- [3] EN ISO 10042:2018, *Schweißen — Lichtbogenschweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten*
- [4] EN ISO 25239-5, *Rührreibschweißen — Aluminium — Teil 5: Qualitäts- und Prüfungsanforderungen*
- [5] EN 1999-1-2, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*
- [6] EN 1999-1-4, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-4: Kaltgeformte Profiltafeln*
- [7] EN 1999-1-5, *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-5: Schalenträgerwerke*

English Version

Eurocode 9: Design of aluminium structures - Part 1-3: Structures susceptible to fatigue

Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium -
Partie 1-3 : Structures sensibles à la fatigue

Eurocode 9 - Bemessungen und Konstruktion von
Aluminiumtragwerken - Teil 1-3:
Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke

This draft European Standard is submitted to CEN members for enquiry. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/TC 250.

If this draft becomes a European Standard, CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

This draft European Standard was established by CEN in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

Warning : This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without notice and shall not be referred to as a European Standard.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

Contents	Page
European foreword.....	7
Introduction	8
1 Scope	11
1.1 Scope of EN 1999-1-3	11
1.2 Assumptions.....	11
2 Normative references.....	11
3 Terms, definitions and symbols.....	11
3.1 Terms and definitions	11
3.2 Symbols.....	15
4 Basis of design	17
4.1 Basic rules.....	17
4.2 Methods of fatigue design	18
4.2.1 Safe life design (SLD)	18
4.2.2 Damage tolerant design (DTD)	18
4.2.3 Design assisted by testing	19
4.3 Fatigue loading.....	19
4.3.1 Sources of fatigue loading	19
4.3.2 Derivation of fatigue loading	19
4.3.3 Equivalent fatigue loading.....	20
4.4 Partial factors for fatigue loads.....	20
4.5 Execution requirements	20
4.5.1 General.....	20
4.5.2 Execution classes.....	21
4.5.3 Execution specification	21
4.5.4 Operation manual	21
4.5.5 Inspection and maintenance manual.....	21
5 Materials, constituent products and connecting devices	21
6 Durability	22
7 Structural analysis.....	22
7.1 Global analysis	22
7.1.1 General.....	22
7.1.2 Use of beam elements.....	24
7.1.3 Use of membrane, shell and solid elements	24
7.2 Types of stresses	24
7.2.1 General.....	24
7.2.2 Nominal stresses	25
7.2.3 Modified nominal stresses.....	25
7.2.4 Hot spot stresses.....	25
7.3 Derivation of stresses.....	27
7.3.1 Derivation of nominal stresses	27
7.3.2 Derivation of modified nominal stresses	27
7.3.3 Derivation of hot spot stresses.....	28
7.3.4 Stress orientation.....	28
7.4 Stress ranges for specific initiation sites.....	29
7.4.1 Parent material, welds, and mechanically fastened joints.....	29

7.4.2	Fillet and partial penetration butt welds.....	29
7.5	Adhesive bonds	30
7.6	Castings	30
7.7	Stress spectra	30
7.8	Calculation of equivalent stress range for standardized fatigue load models	30
7.8.1	General	30
7.8.2	Design value of stress range	31
8	Fatigue resistance and detail categories.....	31
8.1	Detail categories	31
8.1.1	General	31
8.1.2	Factors affecting detail category	31
8.1.3	Constructional details.....	32
8.2	Fatigue strength data	32
8.2.1	Classified constructional details	32
8.2.2	Unclassified details.....	35
8.2.3	Adhesively bonded joints.....	35
8.2.4	Determination of the reference hot spot strength values.....	35
8.3	Effect of mean stress.....	35
8.3.1	General	35
8.3.2	Plain material and mechanically fastened joints	35
8.3.3	Welded joints	35
8.3.4	Adhesive joints	36
8.3.5	Low endurance range.....	36
8.3.6	Cycle counting for R-ratio calculations	36
8.4	Effect of exposure conditions.....	36
8.5	Improvement techniques.....	37
	Annex A (normative) Basis for calculation of fatigue resistance.....	38
A.1	Use of this annex	38
A.2	Scope and field of application	38
A.3	General	38
A.3.1	Influence of fatigue on design	38
A.3.2	Mechanism of failure	38
A.3.3	Potential sites for fatigue cracking.....	39
A.3.4	Conditions for fatigue susceptibility.....	39
A.4	Safe life design	40
A.4.1	General	40
A.4.2	Prerequisites for safe life design	41
A.4.3	Design approach	41
A.4.4	Cycle counting.....	43
A.4.5	Derivation of stress spectrum.....	44
A.5	Damage tolerant design	45
A.5.1	Prerequisites for damage tolerant design.....	45
A.5.2	Structural layout and detailing.....	46
A.5.3	Determination of inspection strategy for damage tolerant design	46

Annex B (informative) Guidance on assessment of crack growth by fracture mechanics.....	49
B.1 Use of this Informative Annex	49
B.2 Scope and field of application.....	49
B.3 Principles	49
B.3.1 Flaw dimensions.....	49
B.3.2 Crack growth relationship	50
B.4 Crack growth data A and m	51
B.5 Geometry function y	52
B.6 Integration of crack growth.....	52
B.7 Assessment of maximum crack size a_2	53
Annex C (informative) Testing for fatigue design.....	62
C.1 Use of this Informative Annex	62
C.2 Scope and field of application.....	62
C.3 Derivation of action loading data	62
C.3.1 Fixed structures subject to mechanical action	62
C.3.2 Fixed structures subject to actions due to exposure conditions.....	63
C.3.3 Moving structures	63
C.4 Derivation of stress data	63
C.4.1 Component test data	63
C.4.2 Structure test data	64
C.4.3 Verification of stress history	64
C.5 Derivation of endurance data.....	64
C.5.1 Component testing.....	64
C.5.2 Full scale testing.....	65
C.5.3 Acceptance.....	65
C.6 Crack growth data	68
C.7 Reporting	68
Annex D (informative) Stress analysis	70
D.1 Use of this Informative Annex	70
D.2 Scope and field of application.....	70
D.3 Use of finite elements for fatigue analysis	70
D.3.1 Element types	70
D.3.2 Further guidance on use of finite elements	71
D.4 Stress concentration factors	71
D.5 Limitation of fatigue induced by repeated local buckling.....	73
Annex E (informative) Adhesively bonded joints.....	74

E.1	Use of this Informative Annex.....	74
E.2	Scope and field of application	74
Annex F (informative)	Low cycle fatigue range	77
F.1	Use of this Informative Annex.....	77
F.2	Scope and field of application	77
F.3	Modification to fatigue strength curves.....	77
F.4	Test data.....	77
Annex G (informative)	Influence of applied stress ratio R	79
G.1	Use of this Informative Annex.....	79
G.2	Scope and field of application	79
G.3	Enhancement of fatigue strength.....	79
G.4	Enhancement cases.....	79
G.4.1	Case 1	79
G.4.2	Case 2	80
G.4.3	Case 3	81
Annex H (informative)	Fatigue strength improvement of welds.....	82
H.1	Use of this Informative Annex.....	82
H.2	Scope and field of application	82
H.3	Machining or grinding.....	83
H.4	Dressing by TIG or plasma.....	83
H.5	Peening.....	84
Annex I (informative)	Castings	85
I.1	Use of this Informative Annex.....	85
I.2	Scope and field of application	85
I.3	Fatigue strength data	85
I.3.1	Plain castings.....	85
I.3.2	Welded material.....	85
I.3.3	Mechanically joined castings.....	86
I.3.4	Adhesively bonded castings.....	86
I.4	Quality requirements.....	86
Annex J (informative)	Detail category tables.....	87
J.1	Use of this Informative Annex.....	87
J.2	Scope and field of application	87
Annex K (informative)	Hot spot reference detail method	116
K.1	Use of this Informative Annex.....	116
K.2	Scope and field of application	116

K.3	Hot spot reference detail method	116
Annex L (informative) Guidance on use of design methods, selection of partial factors, limits for damage values, inspection intervals and execution parameters if Annex J is adopted		
L.1	Use of this Informative Annex	117
L.2	Scope and field of application.....	117
L.3	Safe life design approach.....	117
L.3.1	General.....	117
L.3.2	SLD-I.....	117
L.3.3	SLD-II	118
L.4	Damage tolerant design approach.....	118
L.4.1	General.....	118
L.4.2	DTD-I.....	118
L.4.3	DTD-II	119
L.5	Start of inspection and inspection intervals	119
L.6	Partial factors γ_{Mf} and the values of D_{Lim}	120
L.7	Parameters for execution.....	122
L.7.1	Service category.....	122
L.7.2	Calculation of utilization grade.....	123
Bibliography		125