

DIN EN 1993-1-9



ICS 91.010.30; 91.080.13

Einsprüche bis 2023-04-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-1-9:2010-12

Entwurf

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-9: Ermüdung;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-9:2023**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-9: Fatigue;
German and English version prEN 1993-1-9:2023

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-9: Fatigue;
Version allemande et anglaise prEN 1993-1-9:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-02-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 266 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-9:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-9:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) inhaltliche Überarbeitung des Dokuments;
- b) redaktionelle Überarbeitung des Dokuments.

– Entwurf –

März 2023

DIN EN 1993-1-9

Titel de: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten —
Teil:1-9: Ermüdung

Titel en: Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-9: Fatigue

Titel fr: Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-9: Fatigue

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	6
0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)	6
0.3 Einleitung zu EN 1993-1-9	8
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	8
0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-1-9	8
1 Anwendungsbereich	10
1.1 Anwendungsbereich	10
1.2 Annahmen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe, Definitionen und Symbole	11
3.1 Begriffe und Definitionen	11
3.1.1 Allgemeines	11
3.1.2 Ermüdungseinwirkungen	15
3.1.3 Ermüdungsbeanspruchung	17
3.1.4 Ermüdungswiderstand	20
3.1.5 Ermüdungsnachweis	24
3.2 Symbole	25
Lateinische Großbuchstaben	25
Lateinische Kleinbuchstaben	26
Griechische Großbuchstaben	27
Griechische Kleinbuchstaben	28
4 Grundlagen der Ermüdungsbemessung	28
5 Bemessungsphilosophien bei Ermüdung	29
6 Bemessungskonzepte bei Ermüdung	30
6.1 Spannungskonzepte	30
6.2 Nachweisverfahren	31
7 Ermüdungsbeanspruchung	31
7.1 Berechnung der Nennspannungen	31
7.2 Maßgebende Nennspannungen	32
7.3 Berechnung der Nennspannungsschwingbreiten	35
7.3.1 Allgemeines	35
7.3.2 Bemessungswert der Nennspannungsschwingbreite	35
7.4 Wirksame Spannungsschwingbreite	36
8 Ermüdungswiderstand	37
8.1 Ermüdungswiderstandskurven	37
8.2 Klassifizierung der Konstruktionsdetails	44
8.3 Modifizierung des Ermüdungswiderstands	45
8.3.1 Größeneinfluss	45
8.3.2 Nachbehandlung	45
9 Ermüdungsnachweis	45
9.1 Nachweis elastischen Verhaltens	45

9.2	Nachweis mittels Bezugswert	46
9.3	Nachweis mittels Dauerfestigkeit	47
9.4	Nachweis bei mehrachsiger Ermüdungsbeanspruchung	47
10	Klassifizierte Konstruktionsdetails für das Nennspannungskonzept	48
Anhang A (normativ) Nachweis mittels linearer Schadenakkumulation		94
A.1	Anwendung dieses Anhangs	94
A.2	Gegenstand und Anwendungsbereich	94
A.3	Ermüdungsbeanspruchung	94
A.3.1	Spannungen infolge Ermüdungseinwirkungen	94
A.3.2	Berechnung der Spannungsschwingbreiten	94
A.4	Ermüdungswiderstand	95
A.4.1	Ertragbare Schwingspielzahl für das Nennspannungskonzept	95
A.4.2	Ertragbare Schwingspielzahl für das Strukturspannungskonzept	97
A.4.3	Ertragbare Schwingspielzahl für das Kerbspannungskonzept	97
A.4.4	Ertragbare Schwingspielzahl geschweißter Anschlüsse mit HFMI-Behandlung	98
A.5	Ermüdungsnachweis	98
Anhang B (normativ) Strukturspannungskonzept		101
B.1	Anwendung dieses Anhangs	101
B.2	Gegenstand und Anwendungsbereich	101
B.3	Ermüdungsbeanspruchung	101
B.3.1	Spannungen infolge Ermüdungseinwirkungen	101
B.3.2	Berechnung der Spannungsschwingbreiten	103
B.4	Ermüdungswiderstand	104
B.4.1	Ermüdungswiderstandskurven	104
B.4.2	Kerbfalltabellen für das Strukturspannungskonzept	106
B.4.3	Modifizierung des Ermüdungswiderstands	109
B.5	Ermüdungsnachweis	110
Anhang C (normative) Kerbspannungskonzept		111
C.1	Anwendung dieses Anhangs	111
C.2	Gegenstand und Anwendungsbereich	111
C.3	Ermüdungsbeanspruchung	111
C.3.1	Spannungen infolge Ermüdungseinwirkungen	111
C.3.2	Berechnung der Spannungsschwingbreiten	112
C.4	Ermüdungswiderstand	113
C.4.1	Ermüdungswiderstandskurven	113
C.4.2	Kerbfalltabellen für das Kerbspannungskonzept	114
C.5	Ermüdungsnachweis	114
Anhang D (informativ) Empfehlungen für Erhöhungsfaktoren k_1 und Spannungskonzentrationsfaktoren k_t		115
D.1	Anwendung dieses Anhangs	115
D.2	Gegenstand und Anwendungsbereich	115
D.3	Sekundäre Biegemomente in Fachwerkträgern	115
D.4	Flansche von Trägern mit I-Querschnitten und Dicken- oder Breitenübergängen	116
D.5	Dickenübergänge in Blechen	118
D.6	Schalen	118
Anhang E (informativ) Empfehlungen für vorgespannte Schrauben und Gewindestangen mit Zugbeanspruchung		119
E.1	Anwendung dieses Anhangs	119
E.2	Gegenstand und Anwendungsbereich	119
E.3	Vereinfachte Berechnungsmethode	120
Anhang F (informativ) Ermüdungsbemessung geschweißter Anschlüsse mit Nachbehandlung durch höherfrequente Hämmervverfahren		123

F.1	Anwendung dieses Anhangs	123
F.2	Gültigkeits- und Anwendungsbereich.....	123
F.3	Ermüdungsbeanspruchung.....	124
F.3.1	Spannungen aus Ermüdungseinwirkungen.....	124
F.3.2	Berechnung der Spannungsschwingbreiten.....	124
F.4	Ermüdungswiderstand	125
F.4.1	Ermüdungswiderstandskurven	125
F.4.2	Kerbfalltabellen	126
F.4.3	Alternative Formeln zur Bestimmung des Kerbfalls.....	129
F.4.4	Modifizierung des Ermüdungswiderstands.....	130
F.5	Ermüdungsnachweis	130
F.6	Anforderungen zur Anwendung.....	131
F.6.1	Anforderungen an Schweißnähte vor der HFMI-Behandlung.....	131
F.6.2	Anforderungen an Schweißnähte nach der HFMI-Behandlung.....	131
F.6.3	Qualitätssicherung	132
F.7	Anwendung bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung.....	132
Anhang G (informativ) Referenzmethode mit dem Strukturspannungskonzept.....		134
G.1	Anwendung dieses Anhangs	134
G.2	Gegenstand und Anwendungsbereich	134
G.3	Ermüdungsbeanspruchungen.....	134
G.4	Ermüdungswiderstand	134
G.5	Ermüdungsnachweis	135
Literaturhinweise.....		136

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-9:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird: EN 1993-1-9:2005 und EN 1993-1-9:2005+AC:2009 ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- Neue Teile sind derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

EN 1993 (alle Teile) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Hochbauten und Ingenieurbauten aus Stahl. EN 1993 (alle Teile) entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung, enthalten sind.

EN 1993 (alle Teile) behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in folgende Teile unterteilt:

EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten* — Teil 1: *Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken*;

EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;

EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;

EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*;

EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*;

EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Paneelen*.

EN 1993-1 existiert nicht als ein physikalisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 gesonderten Teilen, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*;

EN 1993-1-3, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche*;

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlquerschnitte nach EN 10219 werden in EN 1993-1-1 behandelt.

EN 1993-1-4, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*;

EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*;

EN 1993-1-6, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*;

EN 1993-1-7, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querlasten*;

EN 1993-1-8, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*;

EN 1993-1-9, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*;

EN 1993-1-10, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*;

EN 1993-1-11, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*;

EN 1993-1-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S700*;

EN 1993-1-13, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen*;

EN 1993-1-14, *Design of Steel Structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis*.

Alle Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Bauwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche, ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen, plattenförmige Bauteile usw.

Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Bauwerksart relevant sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Tankbauwerke; Pfähle und Spundwände; Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln in EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

0.3 Einleitung zu EN 1993-1-9

EN 1993-1-9 enthält spezifische Bemessungsregeln für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Stahlkonstruktionen. Das Dokument ist für die Anwendung mit EN 1990, EN 1991 und EN 1993-1 vorgesehen. Themen, die bereits in diesen Dokumenten behandelt werden, werden nicht wiederholt. Der Schwerpunkt von EN 1993-1-9 liegt auf Bemessungsregeln, die die entsprechenden Bestimmungen in EN 1993-1 ergänzen, modifizieren oder ersetzen.

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen könnten alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-1-9

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo diese Möglichkeit ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festgelegte Parameter (NDP).

Die nationale Ausgabe von EN 1993-1-9 kann durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden, der alle nationalen Festlegungen enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauten im jeweiligen Land erforderlich sind.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder kann, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-7 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

1.1(8)	4(6)	5(4)	5(6)
6.1(3) – 3 choices	7.1(4)	8.2(1) – 2 choices	9.1(1)
9.4(3)	B.2(1)	B.2(1)	C.2(4)

C.2(5)

F.2(2)

F.2(5)

F.2(6)

F.3.2(1)

F.4.2.1(3)

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-9 zu den folgenden informativen Anhängen gestattet:

Anhang D

Anhang E

Anhang F

Anhang G

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-9 stellt Bemessungskonzepte für den Nachweis des Ermüdungswiderstands von Stahlbauten bereit.

ANMERKUNG Stahlbauten bestehen aus Bauteilen und deren Anschlüssen. Jedes Bauteil und Anschluss kann durch ein oder mehrere Konstruktionsdetails repräsentiert werden.

(2) Andere als die spannungsbasierten Bemessungskonzepte, wie z. B. das Kerbdehnungskonzept oder das Bruchmechanikkonzept, sind nicht Gegenstand von EN 1993-1-9.

(3) EN 1993-1-9 ist nur in Übereinstimmung mit den Festlegungen der Kerbfalltabellen oder Anhänge auf Tragwerke anwendbar, die aus Baustahlsorten nach EN 1993-1 (alle Teile) bestehen.

(4) EN 1993-1-9 ist nur auf Tragwerke anwendbar, deren Ausführung EN 1090-2 entspricht.

ANMERKUNG Ergänzende Ausführungsanforderungen sind aus den Kerbfalltabellen ersichtlich.

(5) EN 1993-1-9 ist auf Tragwerke anwendbar, die unter normalen atmosphärischen Bedingungen mit ausreichendem Korrosionsschutz und regelmäßiger Instandhaltung eingesetzt werden. Die Einflüsse aus Meerwasserkorrosion werden nicht erfasst.

(6) EN 1993-1-9 ist auf Tragwerke mit Feuerverzinkung nach den Festlegungen in den Kerbfalltabellen und Anhängen anwendbar.

(7) Mikrostrukturelle Schäden durch hohe Temperaturen ($> 150\text{ °C}$), die während der geplanten Nutzungsdauer auftreten, werden nicht erfasst.

(8) EN 1993-1-9 gibt Leitlinien zur Berücksichtigung von Nachbehandlungen, die auf eine Verbesserung des Ermüdungswiderstands von Konstruktionsdetails abzielen.

1.2 Annahmen

(1) Sofern nicht ausdrücklich angegeben, gelten EN 1990, EN 1991 (alle Teile) und die anderen relevanten Teile von EN 1993-1 (alle Teile).

(2) Die in EN 1993-1-9 bereitgestellten Bemessungskonzepte sind unter folgenden Bedingungen anwendbar:

- die Ausführungsqualität entspricht den Vorgaben aus EN 1090-2 und
- die verwendeten Werkstoffen und Bauprodukte entsprechen den Vorgaben der relevanten Teile von EN 1993 (alle Teile) oder den relevanten Werkstoff- und Produktspezifikationen.

(3) Die Bemessungskonzepte von EN 1993-1-9 wurden im Allgemeinen aus Ermüdungsversuchen an Konstruktionsdetails großmaßstäblicher Prüfkörper abgeleitet, die die Auswirkungen geometrischer und struktureller Imperfektionen aus Werkstoffherstellung und Ausführung (z. B. Auswirkungen von Toleranzen und Schweißeigenspannungen) berücksichtigen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt

nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind zitierte Dokumente aufgeführt, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze) und Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze) in Bezug genommenen werden.

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993-1 (alle Teile), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

3 Begriffe, Definitionen und Symbole

3.1 Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe und Definitionen aus EN 1990, EN 1991 (alle Teile), EN 1993-1-1, EN 1993-1-5, EN 1993-1-8 sowie die folgenden.

3.1.1 Allgemeines

3.1.1.1

Ermüdung

allmählich fortschreitender lokaler Schädigungsprozess eines Konstruktionsdetails innerhalb eines Tragwerks infolge Ermüdungsbeanspruchung (siehe 3.1.2.1), der zu einem Versagen durch Rissbildung und Rissfortschritt führen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Versagensart hängt von der Definition des Ermüdungswiderstands ab, siehe 3.1.4.1.

3.1.1.2

geplante Nutzungsdauer

Bezugszeitraum, der von der Art des Tragwerks abhängt, für den die Konstruktionsdetails eines Tragwerks mit einem angemessenen Zuverlässigkeitsniveau sicher funktionieren müssen, so dass ein Versagen durch Ermüdungsrissbildung ausgeschlossen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: EN 1990 enthält Bestimmungen zur geplanten Nutzungsdauer.

3.1.1.3

schwingbruchsichere Konstruktionen (safe life)

Bemessungsphilosophie, bei der ein angemessenes Zuverlässigkeitsniveau in der Bemessungssituation mit Ermüdung ohne die Notwendigkeit planmäßiger Inspektionen oder Überwachung während der geplanten Nutzungsdauer erreicht wird

3.1.1.4

schadenstolerante Konstruktionen (damage tolerance)

Bemessungsphilosophie, bei der ein angemessenes Zuverlässigkeitsniveau in der Bemessungssituation mit Ermüdung durch vorgeschriebene Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen zur Entdeckung und Beseitigung von Ermüdungsschäden erreicht wird

3.1.1.5

Konstruktionsdetail

Teil eines Bauteils oder Anschlusses, das mit einem spannungserhöhenden Einfluss behaftet ist

3.1.1.6

Hohlprofilanschluss

Anschluss, der aus kreisrunden oder rechteckigen Hohlprofilen oder aus deren Kombination besteht und der in ebenen oder räumlichen Fachwerken oder Trägern zum Beispiel als T-, Y-, X-, K-, XX- und KK-Knoten eingesetzt wird

3.1.1.7

Gewindestab

kreisrundes massives Bauteil mit Gewinde, das aus Baustahl einschließlich nichtrostendem Stahl besteht

3.1.1.8

spannungserhöhender Einfluss

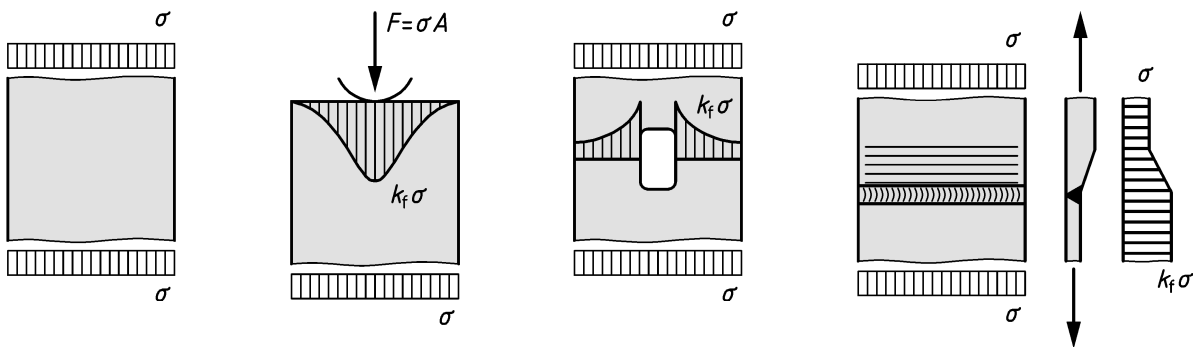
lokaler Anstieg der Spannungen, der durch eine Unstetigkeit (Diskontinuität) in der Belastung und/oder der Geometrie und/oder den Werkstoffeigenschaften hervorgerufen wird

3.1.1.9

Spannungskonzentration

berechenbarer Anteil des spannungserhöhenden Einflusses, der durch den Spannungskonzentrationsfaktor k_f ausgedrückt wird, siehe Bild 3.1

Anmerkung 1 zum Begriff: Spannungskonzentrationsfaktoren sind üblicherweise nur für die Auswirkungen konzentrierter Belastung und geometrischer Einflüsse verfügbar.



a) Bezugsgröße
ohne Spannungs-
konzentration
($k_f = 1$)

b) Einfluss aus
konzentrierter
Belastung

c) makro-
geometrischer
Einfluss aus großer
Öffnung

d) makrogeometrischer Einfluss
aus Exzentrizität (Darstellung
der maximalen Zugspannungen)

Legende

- σ Nennspannung
- k_f Spannungskonzentrationsfaktor
- A Querschnittsfläche
- F konzentrierte Einzellast

Bild 3.1 — Beispiele für Spannungskonzentrationsfaktoren k_f

3.1.1.10

Einfluss aus konzentrierter Belastung

Spannungserhöhung, die durch eine Unstetigkeit in der Belastung entsteht und durch Einzellasten hervorgerufen wird und für gewöhnlich nicht in den Kerbfalltabellen berücksichtigt wird, siehe z. B. Bild 3.1 b)

3.1.1.11

makrogeometrischer Einfluss

Spannungserhöhung, die durch Unstetigkeit in der globalen Bauteilgeometrie hervorgerufen, siehe z. B. Bild 3.1 c) und Bild 3.1 d), und die für gewöhnlich nicht in den Kerbfalltabellen berücksichtigt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Unstetigkeiten in der globalen Bauteilgeometrie sind Aussparungen, einspringende Ecken, große Öffnungen, Schubweichheit, gekrümmte Bauteile, sekundäre Biegung hervorgerufen durch Exzentrizitäten und Versätze jenseits der Grenzwerte, die in den Kerbfalltabellen berücksichtigt werden

3.1.1.12

Versatz

unbeabsichtigte gegenseitige Verschiebung oder Winkelabweichung (Winkelversatz) infolge der Anordnung oder Lage der verbundenen Bauteile, die durch den Herstellungsprozess hervorgerufen wird

3.1.1.13

Exzentrizität

beabsichtigte gegenseitige Verschiebung verbundener Bauteile

3.1.1.14

Einfluss aus Verbindungs- und Anschlussgeometrie

Spannungserhöhung, die durch Unstetigkeit in der lokalen Bauteilgeometrie als Folge von Anschlüssen oder Verbindungen hervorgerufen wird, z. B. Bild 3.2 c)

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Unstetigkeiten in der lokalen Bauteilgeometrie sind Biegespannungen in Überlagerung mit den Membranspannungen in Platten im Bereich einseitiger Anschlüsse.

3.1.1.15

Kerbwirkung

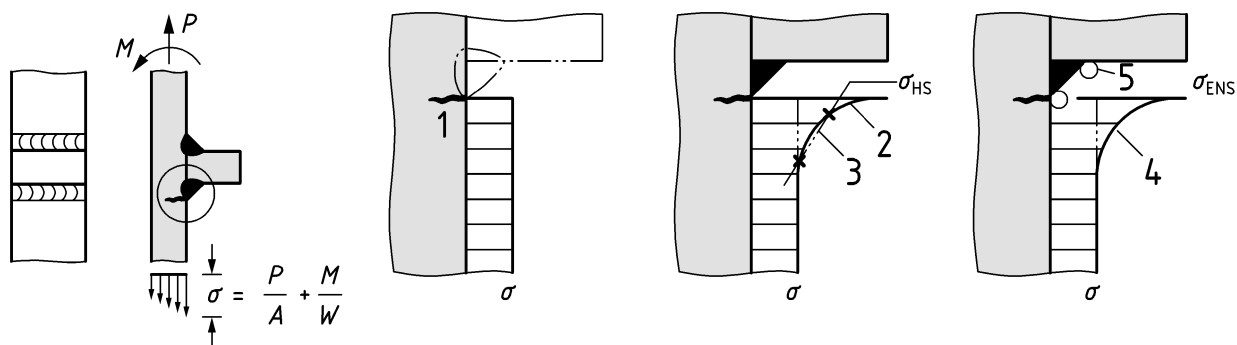
Spannungserhöhung, die durch Unstetigkeit in der lokalen Bauteilgeometrie im mikroskopischen Maßstab von einer Formkerbe (Kerbradius) hervorgerufen wird, siehe z. B. Bild 3.2 d)

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für nicht geschweißte Bauteile sind Kratzer, Rostnarben und Walzspuren. Beispiele für geschweißte Bauteile sind das Schweißnahtprofil, Nahtübergänge, Nahtwurzelpunkte, Bindefehler, Nahteinschlüsse, ungenügende Durchschweißung, Schweißgutüberlauf und Porosität.

3.1.1.16

Werkstoffeinfluss

Spannungserhöhung, die durch Unstetigkeit in den Werkstoffeigenschaften hervorgerufen wird, wie z. B. Regionen mit unterschiedlicher Fließgrenze in der Wärmeeinflusszone von Schweißnähten, und die durch die Kerbfalltabellen berücksichtigt wird



a) querlaufender Nahtübergang

b) Nennspannungsverteilung

c) Strukturspannungsverteilung

d) Verteilung der wirksamen Kerbspannungen

Legende

- 1 potentieller Riss
- 2 Spannungsverteilung auf der Oberfläche bei Berücksichtigung der Schweißnaht mit scharfkantigen Nahtübergängen
- 3 lineare Spannungsextrapolation
- 4 Spannungsverteilung an der Oberfläche bei Berücksichtigung der Schweißnaht mit ausgerundeten Nahtübergängen
- 5 fiktiver Kerbradius am Nahtübergang
- σ Nennspannung an der potentiellen Rissstelle (hier: Nahtübergang)
- σ_{HS} Hot-Spot-Spannung an der potentiellen Rissstelle (siehe 3.1.1.20)
- σ_{ENS} wirksame Kerbspannung an der potentiellen Rissstelle (siehe 3.1.1.22)

Bild 3.2 — Beispiele für unterschiedliche Arten der Normalspannungsverteilungen in der Nähe eines querlaufenden Nahtübergangs

3.1.1.17

Nennspannung

σ oder τ

elastische Spannung in einem Konstruktionsdetail am Ort des potentiellen Risses, wenn alle spannungserhöhenden Einflüsse vernachlässigt werden, Bild 3.2 b)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nennspannung nach EN 1993-1-9 kann eine Normal-, Schub- oder Hauptspannung sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einflüsse aus Verbindungs- und Anschlussgeometrie (siehe 3.1.1.14), die Kerbwirkung (siehe 3.1.1.15) und der Werkstoffeinfluss (siehe 3.1.1.16) werden durch die auf Nennspannungen basierenden Kerbfälle berücksichtigt. Siehe 3.1.1.18 für den Fall vorhandener makrogeometrischer Einflüsse und/oder Einflüsse aus konzentrierter Belastung.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für balkenartige Bauteilstrukturen mit gleichförmiger Belastung können die Nennspannungen mit der Balkentheorie ermittelt werden.

3.1.1.18

modifizierte Nennspannung

Nennspannung, die mit einem geeigneten Spannungskonzentrationsfaktor k_f multipliziert wurde, um geometrische Einflüsse und/oder Einflüsse aus konzentrierter Belastung zu berücksichtigen, siehe Bild 3.1 b) bis Bild 3.1 d)

Anmerkung 1 zum Begriff: Anstelle von Spannungskonzentrationsfaktoren können auch Faktoren k_t verwendet werden. Beispiele werden in EN 1999-1-3 gegeben.

3.1.1.19

geometrische Spannung Strukturspannung

elastische Spannung innerhalb eines geschweißten Konstruktionsdetails, die Einflüsse aus der Verbindungs- und Anschlussgeometrie (und gegebenenfalls auch makrogeometrische Einflüsse und Einflüsse aus konzentrierter Belastung) berücksichtigt und die Kerbwirkung und den Werkstoffeinfluss vernachlässigt, siehe Bild 3.2 c)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kerbwirkung (siehe 3.1.1.13) und der Werkstoffeinfluss (siehe 3.1.1.14) werden durch Tabelle B.1 erfasst.

3.1.1.20

Hot-Spot-Spannung

σ_{HS}

Spannung am Schweißnahtübergang eines betrachteten Konstruktionsdetails, die aus den geometrischen Spannungen (siehe 3.1.1.19) durch Spannungsextrapolation abgeleitet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe EN 1993-1-14 zur Ermittlung der Hot-Spot-Spannung.

3.1.1.21

Kerbspannung

elastische Spannung in einem Konstruktionsdetail, durch die alle Spannungskonzentrationen berücksichtigt werden, Bild 3.2 d)

3.1.1.22

wirksame Kerbspannung

σ_{ENS}

Spitzenwert der Kerbspannung am Ort des potentiellen Risses bei einer Modellierung mit vorgegebenem fiktiven Kerbradius, Bild 3.2 d)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe EN 1993-1-14 zur Ermittlung der wirksamen Kerbspannungen.

3.1.1.23

Eigenspannungen

dauerhaft vorhandene Spannungen in einem Bauteil oder Tragwerk in Abwesenheit äußerer Einwirkungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Eigenspannungen können durch Walz-, Schneid- oder Umformprozesse, Wärmebehandlung, Schweißnahtschrumpfen oder Passungenauigkeiten zwischen Bauteilen hervorgerufen werden. Aufgrund des Fehlens einer äußeren Einwirkung befinden sich die Eigenspannungen eines Bauteils im Gleichgewicht.

3.1.1.24

Inspektion

Untersuchung der Konformität durch Messung, Beobachtung oder Prüfung relevanter Eigenschaften

3.1.2 Ermüdungseinwirkungen

3.1.2.1

Ermüdungseinwirkung

Einwirkung auf ein Tragwerk, die sich aus Belastungsereignissen zusammensetzt, deren Häufigkeit bei der Bemessung nicht vernachlässigt werden kann, da ihre Auswirkung für das Konstruktionsdetail Ermüdung hervorrufen könnte

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Ermüdungseinwirkungen:

- Achslasten des Schwerlastverkehrs auf Straßenbrücken;
- quergerichtete Kräfte durch alternierende Wirbelablösung an Masten, Türmen und Kaminen;

- Radlasten von Kranen auf Kranbahnträgern.

Anmerkung 2 zum Begriff: EN 1990 stellt repräsentative Werte für Einwirkungen auf Tragwerke für die Bemessungssituation mit Ermüdung bereit.

3.1.2.2

Belastungsereignis

Lastzyklus

Zeitabschnitt mit einer definierten Veränderung des Betrags und/oder des Lastangriffspunkts einer Ermüdungseinwirkung, von dem ausgegangen wird, dass er sich mehrmals wiederholt

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für Belastungsereignisse sind:

- Abfolge aus Annäherung, Überfahrt und Verlassen eines LKW oder Zuges bei Betrachtung einer Brücke;
- einzelne Wirbelablösung bei Betrachtung eines Masts, Turms oder Kamines;
- Abfolge von Kranoperationen, die mit dem Anheben einer Nutzlast beginnen und enden, wenn der Kran bereit ist die nächste Nutzlast anzuheben, bei Betrachtung eines Kranbahnträgers.

3.1.2.3

Belastungsverlauf

Darstellung der erwarteten Ermüdungseinwirkung auf ein Tragwerk (unter Berücksichtigung der Vorhersageungenauigkeit) während der geplanten Nutzungsdauer durch Anordnung der Belastungsereignisse in chronologischer Abfolge

3.1.2.4

Einwirkungskollektiv

Lastkollektiv

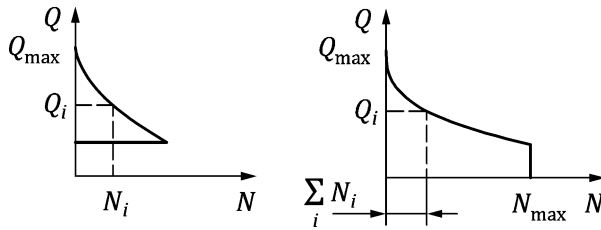
Auswertung des Belastungsverlaufs eines Tragwerks, bei der die unterschiedlichen Belastungsstufen mit ihrer zugehörigen relativen Häufigkeit in absteigender Abfolge unter Vernachlässigung von Reihenfolgeeffekten dargestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Ermüdungseinwirkung kann durch eine Einzelhäufigkeitsdarstellung (Verhältnis der Laststufen Q_i und der zugehörigen Lastzyklenanzahl N_i) oder durch eine Summenhäufigkeitsdarstellung (Verhältnis der Laststufen Q_i und der zugehörigen aufsummierten Anzahl $\sum N_i$ der Lastzyklen, für die diese Laststufe erreicht oder überschritten wird) beschrieben werden. Bild 3.3 zeigt ausgewählte Typen von Lastkollektiven, die gewöhnlich genutzt werden:

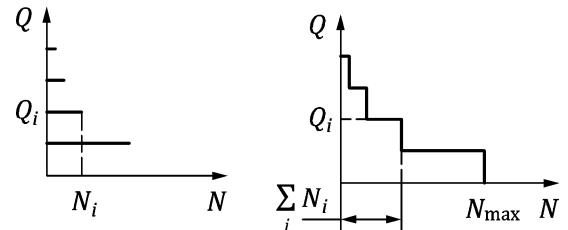
- diskretes Lastkollektiv mit unterschiedlichen Laststufen Q_i , Bild 3.3 a);
- kontinuierliches Lastkollektiv, das durch die Parameter $Q_{\max}$, $N_{\max}$ und eine standardisierte Kollektivform charakterisiert wird, Bild 3.3 b);
- äquivalentes konstantes Lastkollektiv, das durch die Parameter Q_e und $N_{\max}$ charakterisiert wird, Bild 3.3 c);
- äquivalentes konstantes Lastkollektiv, das durch den Parameter $Q_{e,2}$ und 2×10^6 Lastzyklen charakterisiert wird und ein vereinfachtes Ermüdungslastmodell in EN 1991 repräsentiert, Bild 3.3 d).

Anmerkung 2 zum Begriff: EN 1990 enthält allgemeine Festlegungen für Tragwerke, für welche EN 1991 keine Lastmodelle bereit hält.

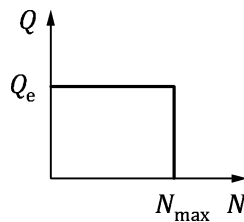
Anmerkung 3 zum Begriff: Das äquivalente konstante Lastkollektiv, das durch die Parameter $Q_{e,2}$ und 2×10^6 Lastzyklen charakterisiert wird, ersetzt ein reales diskretes oder kontinuierliches Lastkollektiv.



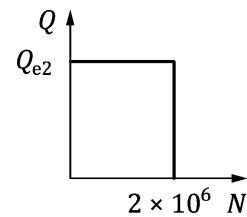
a) diskretes mehrstufiges Lastkollektiv in Einzelhäufigkeits- und korrespondierender Summenhäufigkeitsdarstellung



b) kontinuierliches mehrstufiges Lastkollektiv in Einzelhäufigkeits- und korrespondierender Summenhäufigkeitsdarstellung



c) äquivalentes einstufiges Lastkollektiv



d) äquivalentes einstufiges Lastkollektiv mit 2×10^6 Lastzyklen

Legende

N_i	Anzahl der Lastzyklen auf der Laststufe Q_i
ΣN_i	Anzahl der Lastzyklen, für welche die Laststufe Q_i erreicht oder überschritten wird
$N_{\max}$	Gesamtanzahl der Lastzyklen
Q_i	Laststufe
Q_e	Laststufe eines äquivalenten konstanten Lastkollektivs
$Q_{e,2}$	Laststufe eines äquivalenten konstanten Lastkollektivs mit 2×10^6 Lastzyklen
$Q_{\max}$	Höchstwert des Lastkollektivs

Bild 3.3 — Allgemein übliche Darstellungen von Lastkollektiven

3.1.3 Ermüdungsbeanspruchung

3.1.3.1

Ermüdungsbeanspruchung

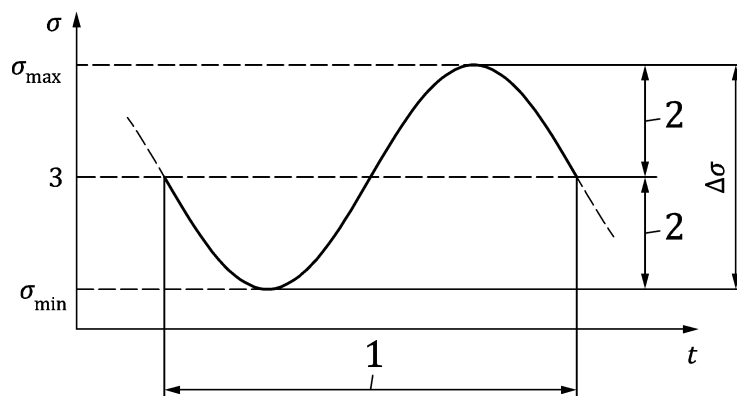
aus der Ermüdungseinwirkung resultierende Auswirkung auf ein Konstruktionsdetail in Form von Spannungen, die sich aus Spannungszyklen zusammensetzt

3.1.3.2

Spannungszyklus

Spannungsschwingspiel

Zeitraum (in Bild 3.4 mit ,1' bezeichnet) mit einer definierten Spannungsänderung zwischen einer minimalen und maximalen Spannung, der auf demselben Spannungsniveau beginnt und endet



Legende

$\sigma_{\min}$	minimale Spannung	1	Spannungszyklus (Spannungsschwingspiel)
$\sigma_{\max}$	maximale Spannung	2	Spannungsamplitude
$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite	3	Mittelspannung
t	Zeit		

Bild 3.4 — Parameter eines Spannungszyklus (auch auf Schubspannungen anwendbar)

3.1.3.3

Spannungsverlauf

Darstellung der erwarteten Ermüdungsbeanspruchung durch Anordnung der Spannungszyklen in chronologischer Reihenfolge

3.1.3.4

Spannungsschwingbreite

Differenz zwischen dem größten und kleinsten Spannungswert eines Spannungszyklus, siehe Bild 3.4

3.1.3.5

Spannungsverhältnis

Verhältnis zwischen dem kleinsten und größten Spannungswert eines bestimmten Spannungszyklus, wobei die Spannungen für die häufige Einwirkungskombination ermittelt werden und statische Lastanteile enthalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Einfluss des Spannungsverhältnisses besteht nur für nichtgeschweißte Konstruktionsdetails und geschweißte Konstruktionsdetails mit Spannungsarmglühen oder mit einer Schweißnahtnachbehandlung nach Anhang F.

3.1.3.6

Spannungsarmglühen

Reduzierung der Eigenspannungen als Ergebnis einer thermischen Behandlung (z. B. Wärmebehandlung nach dem Schweißen)

3.1.3.7

Spannungsamplitude

halbe Spannungsschwingbreite eines bestimmten Spannungszyklus, in Bild 3.4 mit '2' bezeichnet

3.1.3.8

einstufige Ermüdungsbeanspruchung

Ermüdungsbeanspruchung, bei der alle Spannungszyklen dieselbe Spannungsschwingbreite aufweisen

3.1.3.9

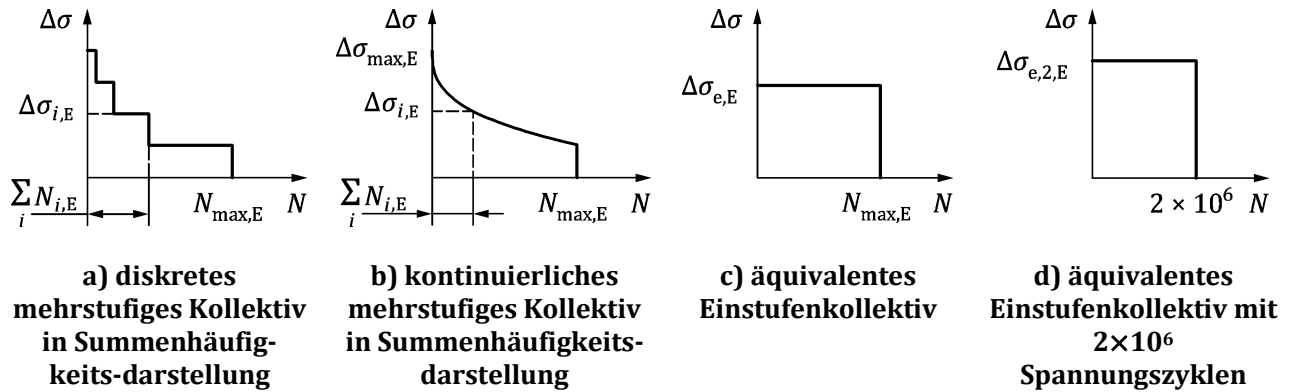
mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung

Ermüdungsbeanspruchung, bei der die Spannungsschwingbreiten zwischen den Spannungszyklen variieren

3.1.3.10

Spannungsschwingbreitenkollektiv

Auswertung des erwarteten Spannungsverlaufs zur Darstellung der unterschiedlichen Spannungsschwingbreiten mit ihrer zugehörigen relativen Häufigkeit durch Zählverfahren, wie z. B. Rainflow- oder Reservoir-Methode, die üblicherweise in absteigender Abfolge unter Vernachlässigung von Reihenfolgeeffekten dargestellt wird



Legende

- $\Delta\sigma_{i,E}$ Schwingbreite der Spannungsstufe i
- $\Delta\sigma_{\max,E}$ größte Spannungsschwingbreite
- $N_{i,E}$ Anzahl der Spannungszyklen auf der Stufe $\Delta\sigma_{i,E}$
- $\Sigma N_{i,E}$ Anzahl der Spannungszyklen, für welche die Stufe $\Delta\sigma_{i,E}$ erreicht oder übertroffen wird
- $N_{\max,E}$ Gesamtanzahl der Spannungszyklen
- $\Delta\sigma_{e,E}$ schadensäquivalente Spannungsschwingbreite
- $\Delta\sigma_{e,2,E}$ schadensäquivalente Spannungsschwingbreite mit 2×10^6 Spannungszyklen

Bild 3.5 — Allgemein übliche Darstellungen von Spannungsschwingbreitenkollektiven

Anmerkung 1 zum Begriff: Wie für die Lastkollektive in Bild 3.3 kann auch die Ermüdungsbeanspruchung durch eine Einzelhäufigkeitsdarstellung (Verhältnis der einwirkenden Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{i,E}$ oder $\Delta\tau_{i,E}$ und deren zugeordnete Anzahl $N_{i,E}$ an Spannungszyklen) oder durch eine Summenhäufigkeitsdarstellung (Verhältnis der einwirkenden Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{i,E}$ oder $\Delta\tau_{i,E}$ und deren zugeordnete Anzahl an Spannungszyklen $\Sigma N_{i,E}$, für die diese Schwingbreite erreicht bzw. überschritten wird) beschrieben werden. Die folgenden Arten von Spannungsschwingbreitenkollektiven werden für gewöhnlich genutzt:

- diskretes Kollektiv mit unterschiedlichen Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{i,E}$ oder $\Delta\tau_{i,E}$ und deren zugeordnete Anzahl an Spannungszyklen $N_{i,E}$, siehe Bild 3.5 a);
- kontinuierliches Kollektiv, das durch die größte Schwingbreite $\Delta\sigma_{\max,E}$ oder $\Delta\tau_{\max,E}$, die Gesamtanzahl an Spannungszyklen $N_{\max,E}$ und durch eine standardisierte Kollektivform charakterisiert wird, siehe Bild 3.5 b);
- äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv mit $\Delta\sigma_{e,E}$ oder $\Delta\tau_{e,E}$ und einer Gesamtanzahl an Spannungszyklen $N_{\max,E}$, siehe Bild 3.5 c);
- äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv mit $\Delta\sigma_{e,2,E}$ oder $\Delta\tau_{e,2,E}$ und 2×10^6 Spannungszyklen, siehe Bild 3.5 d).

Anmerkung 2 zum Begriff: Das äquivalente einstufige Spannungsschwingbreitenkollektiv mit $\Delta\sigma_{e,2,E}$ und 2×10^6 Spannungszyklen ist die Auswirkung eines vereinfachten Ermüdungslastmodells aus EN 1991, das durch ein äquivalentes Lastkollektiv mit $Q_{e,2}$ und 2×10^6 Lastzyklen repräsentiert wird (siehe 3.1.2.4). Das Ermüdungslastmodell verursacht eine Spannungsschwingbreite, die durch sog. λ -Beiwerte entsprechend angepasst wird, um $\Delta\sigma_{e,2,E}$ zu erhalten. Die λ -Beiwerte erfassen die Einflüsse aus dem realen Lastkollektiv und sind abhängig vom Tragwerkstyp (Brücke, Mast, Kranbahn etc.) und der Spannungsart.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für einige Anwendungsfälle kann ein Lastzyklus mehrere Spannungszyklen für das betrachtete Konstruktionsdetail verursachen. Entscheidend für die Bemessungssituation mit Ermüdung ist immer die Anzahl der Spannungszyklen (N_E) anstelle der Anzahl der Lastzyklen (N).

3.1.3.11

Zählverfahren

Vorgehensweise zur Umwandlung eines Spannungsverlaufs in ein Spannungsschwingbreitenkollektiv, wie z. B. Rainflow- und Reservoirmethode

3.1.3.12

Rainflow-Methode

besonderes Zählverfahren zur Erzeugung eines Spannungsschwingbreitenkollektivs aus einem gegebenen Spannungsverlauf

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe prEN 1990:2021 Anhang F für die mathematische Vorgehensweise.

3.1.3.13

Reservoir-Methode

besonderes Zählverfahren zur Erzeugung eines Spannungsschwingbreitenkollektivs aus einem gegebenen Spannungsverlauf

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe prEN 1990:2021 Anhang F für die mathematische Vorgehensweise.

3.1.4 Ermüdungswiderstand

3.1.4.1

Ermüdungswiderstand

Vermögen eines Konstruktionsdetails, einer Ermüdungseinwirkung ohne Ermüdungsversagen mit einem angemessenen Zuverlässigkeitsniveau zu widerstehen

3.1.4.2

Lebensdauer

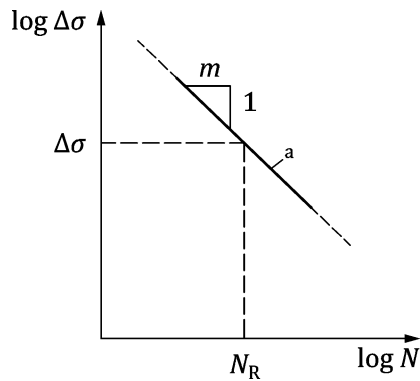
Anzahl an Spannungszyklen, denen ein Konstruktionsdetail ohne Ermüdungsversagen widerstehen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Lebensdauer hängt vom Spannungsschwingbreitenkollektiv ab. Für ein bestimmtes Tragwerk kann die Lebensdauer auch in Form eines Zeitraums ausgedrückt werden.

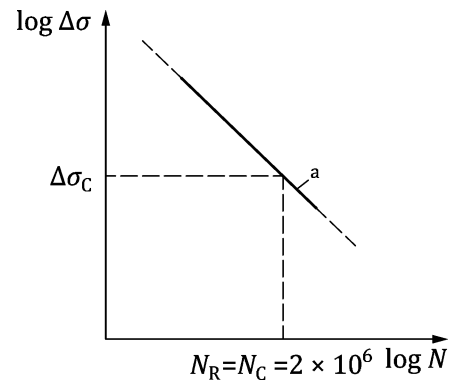
3.1.4.3

Ermüdungswiderstandskurve

Berechnungsmodell für den Ermüdungswiderstand eines Konstruktionsdetails, das einen quantitativen Zusammenhang zwischen der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ und der zugehörigen ertragbaren Schwingspielzahl N_R herstellt, siehe Bild 3.6 a)



a) ertragbare Schwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve für eine beliebige Spannungsschwingbreite



b) Bezugswert bei 2×10^6 Spannungszyklen

Legende

- a Ermüdungswiderstandskurve
- m Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve
- $\Delta \sigma$ Spannungsschwingbreite
- N Anzahl der Spannungszyklen (Schwingspiele)
- N_R zu $\Delta \sigma$ gehörige ertragbare Schwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve
- $\Delta \sigma_C$ Bezugswert bei 2×10^6 Spannungszyklen

Bild 3.6 — Definition der ertragbaren Schwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve und des Bezugswerts der Ermüdungswiderstandskurve (auch auf Schubspannungen anwendbar)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die in EN 1993-1-9 angegebenen charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven stellen untere Grenzwerte dar, die auf einer Auswertung von Ermüdungsversuchen an großmaßstäblichen Prüfkörpern basieren.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven sind auch als S-N-Kurven oder Wöhlerkurven bekannt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Zur Vereinfachung werden in diesem Dokument die charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven der Konstruktionsdetails entsprechenden Kerbfällen zugeordnet.

3.1.4.4 ertragbare Schwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve

N_R

Lebensdauer eines Konstruktionsdetails unter einer Spannungsschwingbreite $\Delta \sigma$ oder $\Delta \tau$, die der zugehörigen Ermüdungswiderstandskurve entnommen wird, siehe Bild 3.6 a)

3.1.4.5 charakteristischer Bezugswert des Ermüdungswiderstands

$\Delta \sigma_C, \Delta \tau_C$

mechanische Eigenschaft eines Konstruktionsdetails, das dessen charakteristischen Ermüdungswiderstand als Spannungsschwingbreite $\Delta \sigma_C$ oder $\Delta \tau_C$ bei einer ertragbaren Schwingspielanzahl von $N_R = N_C = 2 \times 10^6$ ausdrückt, siehe Bild 3.6 b)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der „Bezugswert des Ermüdungswiderstands“ wird häufig als Ermüdungsfestigkeit bezeichnet.

3.1.4.6 Kerbfall

charakteristischer Bezugswert $\Delta \sigma_C$ oder $\Delta \tau_C$ des Ermüdungswiderstands in N/mm^2 , der eine bestimmte Ermüdungswiderstandskurve kennzeichnet

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kerbfall, der einem bestimmten Konstruktionsdetail zugewiesen ist, kann aus der ersten Spalte der Kerbfalltabellen des jeweils ausgewählten Spannungskonzepts entnommen werden (siehe 6.1).

3.1.4.7

Neigungsparameter

m

Parameter der Ermüdungswiderstandskurve, der die Intensität der Ermüdungsschädigung ausdrückt, siehe Bild 3.6 a)

Anmerkung 1 zum Begriff: Mathematisch gesehen ist der Neigungsparameter mit dem negativen Kehrwert der Neigung der Ermüdungswiderstandskurve identisch.

3.1.4.8

Dauerfestigkeit bei einstufiger Ermüdungsbeanspruchung

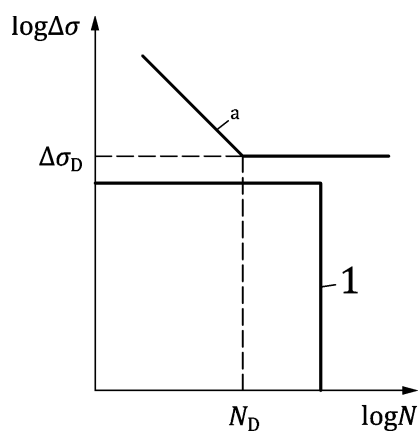
CAFL, en: constant amplitude fatigue limit

$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$

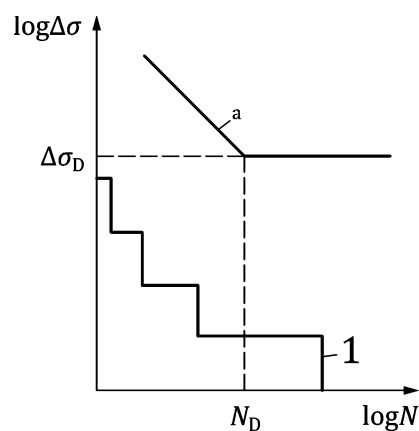
charakteristische maximale Spannungsschwingbreite bei ein- oder mehrstufigem Spannungsschwingbreitenkollektiv, für die ein Konstruktionsdetails eine unendliche Anzahl von Spannungszyklen ohne Ermüdungsversagen erträgt, siehe Bild 3.7

Anmerkung 1 zum Begriff: Bild 3.7 ist eine Vereinfachung. Der Nachweis mit Bezug auf CAFL, der Teilsicherheitsfaktoren berücksichtigt, wird in 9.3 beschrieben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Nachweis mit Bezug auf CAFL für Bemessungssituationen mit mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung ist nur dort möglich, wo die reale maximale Spannungsschwingbreite bekannt ist und unterhalb $\Delta\sigma_D$ oder $\Delta\tau_D$ bleibt, Bild 3.7 b). Die Ermüdungslastmodelle in EN 1991 geben keine Hinweise zur Ermittlung der realen maximalen Spannungsschwingbreiten. Siehe Hinweise in 9.3.



a) einstufige Ermüdungsbeanspruchung



b) mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung mit bekannter größter Spannungsschwingbreite

Legende

1 Spannungsschwingbreitenkollektiv, das nicht zur Ermüdungsschädigung beiträgt

a Ermüdungswiderstandskurve

$\Delta\sigma_D$ CAFL

N_D zu CAFL gehörige Anzahl der Spannungszyklen

Bild 3.7 — Kollektive mit Spannungsschwingbreiten unterhalb von CAFL (auch auf Schubspannungen anwendbar)

3.1.4.9

Dauerfestigkeit bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung

VAFL, en: variable amplitude fatigue limit

$\Delta\sigma_L$

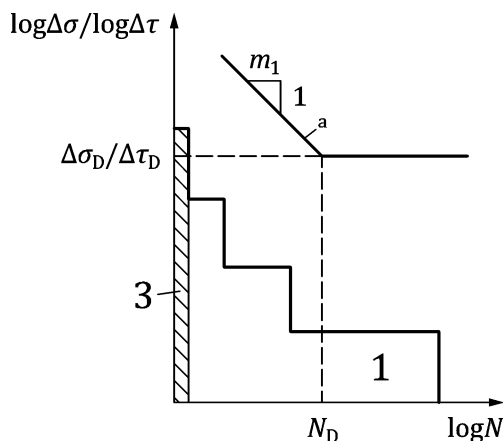
charakteristische maximale Spannungsschwingbreite für ein mehrstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv, unterhalb derer die Spannungsschwingbreiten als nicht mehr schädigend bei der Ermittlung der Ermüdungsschädigung betrachtet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Konstruktionsdetails mit einer Ermüdungswiderstandskurve, die nur über einen Neigungsparameter m_1 verfügt, ist die Größe von CAFL und VAFL identisch. Hierzu zählen:

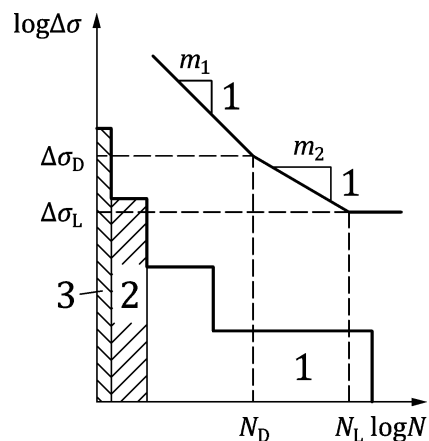
- Knoten von Fachwerkträger aus Hohlprofilen mit einer Schwingbeanspruchung durch Normalspannungen;
- alle Konstruktionsdetails mit einer Schwingbeanspruchung durch Schubspannungen.

Alle Spannungsschwingbreiten unterhalb $\Delta\sigma_D$ oder $\Delta\tau_D$ werden somit nicht bei der Ermittlung der Ermüdungsschädigung für der genannten Konstruktionsdetails betrachtet. Bild 3.8 ist eine Vereinfachung, die Teilsicherheitsfaktoren vernachlässigt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für Konstruktionsdetails mit einer Ermüdungswiderstandskurve, die über zwei Neigungsparameter m_1 und m_2 verfügt, tragen die Spannungsschwingbreiten zwischen $\Delta\sigma_D$ und $\Delta\sigma_L$ zur Ermüdungsschädigung bei, wenn das Spannungsschwingbreitenkollektiv auch über Spannungsschwingbreiten oberhalb von $\Delta\sigma_D$ verfügt.



a) Ermüdungswiderstandskurve mit identischem CAFL und VAFL



b) Ermüdungswiderstandskurve mit unterschiedlichem CAFL und VAFL

Legende

- 1 Spannungsschwingbreite ohne Beitrag zur Ermüdungsschädigung
- 2 Spannungsschwingbreite, die zur Ermüdungsschädigung mit dem Neigungsparameter m_2 beiträgt
- 3 Spannungsschwingbreite, die zur Ermüdungsschädigung mit dem Neigungsparameter m_1 beiträgt
- a Ermüdungswiderstandskurve
- $\Delta\sigma_D$ CAFL für Konstruktionsdetails mit Beanspruchung durch Normalspannungen
- $\Delta\tau_D$ CAFL für Konstruktionsdetails mit Beanspruchung durch Schubspannungen
- $\Delta\sigma_L$ VAFL für Konstruktionsdetails mit Beanspruchung durch Normalspannungen und einer Ermüdungswiderstandskurve mit zwei Neigungsparametern
- N_D zu CAFL gehörige Anzahl von Spannungszyklen
- N_L zu VAFL gehörige Anzahl von Spannungszyklen

Bild 3.8 — Kollektive mit Spannungsschwingbreiten unter- und oberhalb von CAFL

3.1.4.10

Handschweißen

Schweißen, bei dem alle Vorgänge von Hand ausgeführt werden (der Elektrodenhalter, die Schweißpistole, der Schweißbrenner wird manuell bedient)

3.1.4.11

vollmechanisches Schweißen

Schweißen, bei dem alle wichtigen Vorgänge (außer der Handhabung der Werkstücke) selbsttätig ablaufen

Anmerkung 1 zum Begriff: Nachstellen der Schweißparameter während des Schweißvorgangs von Hand ist möglich.

3.1.4.12

automatisches Schweißen

Schweißen, bei dem alle Vorgänge mechanisch ablaufen

Anmerkung 1 zum Begriff: Manuelles Nachstellen der Schweißparameter während des Schweißens ist nicht möglich.

3.1.4.13

höherfrequentes Hämmerverfahren

HFMI, en: high frequency mechanical impact treatment

kontinuierlicher Hämmerprozess, bei dem ein gehärtetes Werkzeug mit abgerundeter Kuppe entlang einer Oberfläche geführt wird, während hochfrequente Hammerschläge durch eine Maschine erzeugt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Qualifizierung wird ein vorab genehmigtes Verfahren auf eine bestimmte Schweißnahtgeometrie angewandt, die dann einer Ermüdungsprüfung unterzogen wird.

Anmerkung 2 zum Begriff: Untersuchungen in [1] zeigten, dass die folgenden HFMI-Technologien vergleichbar sind:

- HiFIT (High Frequency Impact Treatment);
- PIT (Pneumatic Impact Treatment);
- UIT (Ultrasonic Impact Treatment).

3.1.4.14

Bediener

angemessen geschulte Fachkraft, die in der Lage ist, das HFMI-Gerät sicher zu bedienen

3.1.4.15

Gerätehersteller

Unternehmen, das das HFMI-Gerät herstellt

3.1.5 Ermüdungsnachweis

3.1.5.1

Schädigung

D_i

Ermüdungsschädigung infolge einer Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,E}$ mit $N_{i,E}$ Spannungszyklen ($D_i = N_{i,E} / N_{i,R}$); das Verhältnis aus Zyklanzahl $N_{i,E}$ einer ein Konstruktionsdetail beanspruchenden Spannungsschwingbreite und der ertragbaren Schwingspielzahl $N_{i,R}$ des Konstruktionsdetails nach Ermüdungswiderstandskurve unter derselben Spannungsschwingbreite

3.1.5.2

Schädigungssumme

D

Summe der Schädigungen aller Spannungsschwingbreiten eines Kollektivs

3.1.5.3

Miner-Regel

lineare Akkumulation der Schädigungen aller Spannungszyklen eines Spannungsschwing-breitenkollektivs, basierend auf der Palmgren-Miner-Regel

3.2 Symbole

Lateinische Großbuchstaben

A	Querschnittsfläche
A_s	Spannungsquerschnitt der Schraube oder Gewindestange
CAFL	Dauerfestigkeit bei einstufiger Ermüdungsbeanspruchung
CHS	Kreishohlprofile
D	Schädigungssumme infolge unterschiedlicher Spannungsschwingbreiten ($D = \sum D_i$)
D_i	Schädigung infolge der Schwingbreite $\Delta\sigma_{i,E}$ mit $N_{i,E}$ Spannungszyklen ($D_i = N_{i,E} / N_{i,R}$)
EVM	zur Vergleichsspannung nach von Mises gehörig
F	Einzellast
F_B	Kraft in der Schraube oder Gewindestange
F_C	Reduzierung der Druckkraft im Vorspannkörper infolge F_T
F_T	äußere auf eine vorgespannte Schraube oder Gewindestange aufgebrachte Zugkraft
FEM	Finite-Element-Methode
FLM	Ermüdungslastmodell
HFMI	Zustand nach einer Behandlung mit einem höherfrequenten Hämmerverfahren
I	Trägheitsmoment
N	Anzahl der Zyklen
N_C	zum charakteristischen Bezugswert des Ermüdungswiderstands gehörende Anzahl von Spannungszyklen
N_D	zur charakteristischen Dauerfestigkeit bei einstufiger Ermüdungsbeanspruchung gehörende Anzahl von Spannungszyklen
NDT	zerstörungsfreie Prüfung
NDP	national festgelegte Parameter
N_i	Anzahl der Lastzyklen einer Ermüdungseinwirkung Q_i
$N_{i,E}$	Anzahl der Spannungszyklen einer Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,E}$

$N_{i,R}$	Anzahl der Spannungszyklen, denen ein Konstruktionsdetail unter einer aufgetragenen Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,E}$ bis zum Bruch widerstehen kann (ertragbare Spannungsschwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve)
N_L	die zur Dauerfestigkeit bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung gehörende Anzahl von Spannungszyklen
$N_{\max}$	Gesamtanzahl von Lastzyklen
$N_{\max,E}$	Gesamtanzahl von Spannungszyklen
N_R	ertragbare Spannungsschwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve
N_{Rd}	Bemessungswert der ertragbaren Spannungsschwingspielzahl nach Ermüdungswiderstandskurve
PS	Hauptspannung
Q_{fat}	Ermüdungseinwirkung
Q_e	äquivalente Einwirkung, die mit $N_{\max}$ Lastzyklen einwirkt
$Q_{e,2}$	äquivalente Einwirkung, die mit 2×10^6 Lastzyklen einwirkt
Q_i	Einwirkungsniveau, das mit N_i Lastzyklen einwirkt
$Q_{\max}$	maximales Einwirkungsniveau
R	Spannungsverhältnis ($R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$)
RHS	Rechteckhohlprofil
$S(t)$	statisches Flächenmoment
V	Querkraft in einem Querschnitt
VAFL	Dauerfestigkeit bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung
V_B	in der Schraube oder Gewindestange wirkende Querkraft pro Scherfuge
VM	nach von Mises

Lateinische Kleinbuchstaben

aw	dem Schweißzustand zugehörig
k_1	Erhöhungsfaktor für die Nennspannungsschwingbreite zur Berücksichtigung der sekundären Biegung in Fachwerken
k_f	Spannungskonzentrationsfaktoren
k_s	Abminderungsbeiwert für den Ermüdungswiderstand (in Bezug auf Spannungen) zur Berücksichtigung des Größeneinflusses

m	Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve
m_{aw}	Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve für den Schweißzustand
m_{HFMI}	Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve für den Zustand bei HFMI
t	Blechdicke

Griechische Großbuchstaben

$\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$	charakteristischer Bezugswert des Ermüdungswiderstands bei $N_C = 2 \times 10^6$ Spannungszyklen
$\Delta\sigma_{C,HFMI}$	charakteristischer Bezugswert des Ermüdungswiderstands bei $N_C = 2 \times 10^6$ Spannungszyklen für den Zustand bei HFMI
$\Delta\sigma_{C,red}$	reduzierter charakteristischer Bezugswert des Ermüdungswiderstands
$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$	charakteristische Dauerfestigkeit bei einstufiger Ermüdungsbeanspruchung bei N_D Spannungszyklen
$\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$	Ermüdungsbeanspruchung (Spannungsschwingbreite)
$\Delta\sigma_{e,2,E}, \Delta\tau_{e,2,E}$	äquivalente Spannungsschwingbreite, die mit 2×10^6 Spannungszyklen einwirkt
$\Delta\sigma_{e,E}, \Delta\tau_{e,E}$	äquivalente Spannungsschwingbreite, die mit $N_{max,E}$ Spannungszyklen einwirkt
$\Delta\sigma_{e,2,HFMI,E}$	äquivalente Spannungsschwingbreite für HFMI-nachbehandelte Anschlüsse, d. h. zur Berücksichtigung von λ_{HFMI}
$\Delta\sigma_{eq,E}$	äquivalente Spannungsschwingbreite für Verbindungen in Stegen orthotroper Fahrbahnen
$\Delta\sigma_{i,E}, \Delta\tau_{i,E}$	Spannungsschwingbreite, die mit $N_{i,E}$ Spannungszyklen einwirkt
$\Delta\sigma_L$	charakteristische Dauerfestigkeit bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung bei N_L Spannungszyklen
$\Delta\sigma_{max,Ed}, \Delta\tau_{max,Ed}$	korrespondiert mit $\max\Delta\sigma_{i,Ed}$ und $\max\Delta\tau_{i,Ed}$
$\Delta\sigma_s$	charakteristische Spannungsschwingbreite des Schnittpunkts der Ermüdungswiderstandskurven für den Schweißzustand und bei Zustand bei HFMI
ΣN_i	Summe der Lastzyklenanzahl, für die eine Ermüdungseinwirkung Q_i erreicht oder überschritten wird
$\Sigma N_{i,E}$	Summe der Spannungszyklenanzahl, für die eine Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,E}$ oder $\Delta\tau_{i,E}$ erreicht oder überschritten wird

Griechische Kleinbuchstaben

γ_{FF}	Teilsicherheitsbeiwert der aufgetragenen Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert des Ermüdungswiderstands
λ_{HFMI}	ergänzender Schadensäquivalenzfaktor zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses eines Kollektivs im Falle einer HFMI-Behandlung
λ_i	Schadensäquivalenzfaktor, der z. B. von der Lastsituation und den Tragwerkeigenschaften abhängt
σ	Nenn-Normalspannungen
σ_{ENS}	wirksame Kerbspannungen
σ_{HS}	Hot-Spot-Spannung
τ	Nenn-Schubspannung

4 Grundlagen der Ermüdungsbemessung

(1) Die Ermüdungsbemessung von Stahltragwerken muss entsprechend den allgemeinen Regeln von EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) und den besonderen Bemessungsregeln für Stahltragwerke der anderen relevanten Teile von EN 1993-1 (alle Teile) erfolgen.

ANMERKUNG EN 1991 (alle Teile) trifft Festlegungen zu den Ermüdungseinwirkungen besonderer Tragwerkstypen wie Brücken, Maste, Türme, Kamine und Kranunterstützungen, die diese Anforderungen erfüllen. Siehe Definitionen in 3.1.2.

(2) Stahltragwerke, die nach diesem Dokument bemessen werden, müssen nach EN 1090-2 ausgeführt werden.

(3) Die Nachweisverfahren für die Bemessungssituation mit Ermüdung in Abschnitt 6 sollten den Grundsätzen für eine Nachweisführung mit Teilsicherheitsbeiwerten durch einen Vergleich von Ermüdungsbeanspruchungen und Ermüdungswiderständen entsprechen.

(4) Ermüdungsrisse sollten entweder durch ein besonderes Inspektionsprogramm überwacht oder mit besonderer Sorgfalt repariert werden, damit sich keine ungünstigeren Spannungserhöhungen einstellen.

ANMERKUNG Die zu treffenden Maßnahmen richten sich nach den zu erwartenden Schadensfolgen, siehe Abschnitt 5.

(5) Ermüdungsversuche an Prüfkörpern dürfen durchgeführt werden, um folgende Kenngrößen zu bestimmen:

- den Ermüdungswiderstand von Konstruktionsdetails, die nicht in diesem Dokument enthalten sind;
- die Lebensdauer von Prototypen einer Serienproduktion.

ANMERKUNG Die Prüfung von Prototypen durch die Betrachtung des geplanten Lastkollektivs in Verbindung mit einer statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse nach prEN 1990:2021, Anhang D kann für die Ermittlung der charakteristischen Lebensdauer der geprüften Bauteile genutzt werden. Der tatsächliche charakteristische Ermüdungswiderstand ($\Delta\sigma_c$) der Konstruktionsdetails der getesteten Bauteile bleibt dabei unbekannt.

(6) Die statistische Auswertung der Ermüdungsversuche sollte nach EN 1990 erfolgen.

ANMERKUNG 1 Anmerkung 2 zu 8.2 (1) enthält detaillierte Informationen zur Auswertung von Ermüdungsversuchen.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Anforderungen an die Ermittlung des Ermüdungswiderstands aus Versuchen stellen.

5 Bemessungsphilosophien bei Ermüdung

(1) Die Bemessungssituation mit Ermüdung sollte unter Verwendung einer der folgenden Bemessungsphilosophien nachgewiesen werden:

- a) schwingbruchsichere Konstruktionsweise (safe life);
- b) schadenstolerante Konstruktionsweise (damage tolerance).

(2) Die schwingbruchsichere Konstruktionsweise sollte mit einem angemessenen Zuverlässigkeitsniveau sicherstellen, dass das Verhalten eines Tragwerks während der geplanten Nutzungsdauer nicht beeinträchtigt wird, ohne dass es hierfür regelmäßige Inspektions- oder Überwachungsmaßnahmen mit Blick auf Ermüdungsschäden bedarf.

(3) Die schwingbruchsichere Konstruktionsweise sollte in Fällen angewendet werden, bei denen die lokale Schädigung durch Rissbildung in einem Bauteilbereich schnell zu einem Versagen des Bauteils oder Tragwerk führen könnte.

(4) Die schadenstolerante Konstruktionsweise sollte mit einem angemessenen Zuverlässigkeitsniveau sicherstellen, dass das Verhalten eines Tragwerks während der geplanten Nutzungsdauer nicht beeinträchtigt wird, unter der Voraussetzung, dass leicht inspizierbare Konstruktionsdetails vorgesehen und vorgeschriebene Inspektion- und Instandhaltungsmaßnahmen zur Entdeckung und Vorbeugung von Ermüdungsrissen durchgeführt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Festlegungen hinsichtlich der Inspektions- und Instandhaltungsmaßnahmen treffen. Die Inspektionsintervalle und -methoden können auf Grundlage von Rissfortschrittsberechnungen, durch Erfahrung, durch Überwachung oder aufgrund früherer Inspektionsergebnisse festgelegt werden und können sich am Ausmaß der Schadensfolgen orientieren. Die Instandhaltungsmaßnahmen können den Austausch von Bauteilkomponenten in vorgegebenen Zeitabständen beinhalten. Der Nationale Anhang kann außerdem Festlegungen für eine Anpassung der Inspektionsintervalle und -methoden treffen, für den Fall, dass bereits entdeckte Ermüdungsrisse zu überwachen sind oder nach der Reparatur solcher Risse.

(5) Konstruktionsdetails, Werkstoffe und Beanspruchungsniveau sollten die Auswahl der entsprechenden Bemessungsphilosophie bestimmen, damit ein angemessenes Zuverlässigkeitsniveau nach EN 1990, mindestens in der Höhe der Zuverlässigkeit, die für den Grenzzustand der Tragfähigkeit gefordert wird, zu folgenden Zeitpunkten erreicht wird:

- a) schwingbruchsichere Konstruktionsweise:
 - am Ende der geplanten Nutzungsdauer;
- b) schadenstolerante Konstruktionsweise:
 - am Ende eines jeden Inspektionsintervalls innerhalb der geplanten Nutzungsdauer, unter der Voraussetzung, dass im Falle der Rissbildung einer oder alle der folgenden Sicherheitsmechanismen greifen:
 - geringe Risswachstumsrate und leicht auffindbare Risse, bevor es zum Versagen kommt;

- Möglichkeit zur Lastumlagerung;
- rissstoppende Konstruktionsdetails, die ein Fortschreiten der Schädigung verhindern.

ANMERKUNG Der Nachweis in der Bemessungssituation mit Ermüdung beinhaltet langfristige Unsicherheiten in Bezug auf die Ermüdungseinwirkungen und die Ermüdungswiderstände, so dass das Auftreten eines Ermüdungsrissses nicht komplett ausgeschlossen, sondern nur auf eine akzeptable Auftretenswahrscheinlichkeit reduziert werden kann.

(6) Für einen Nachweis der Bemessungssituation mit Ermüdung nach diesem Dokument sollte durch Anpassung des Teilsicherheitsbeiwerts für den Ermüdungswiderstand γ_{Mf} unter Berücksichtigung der Schadensfolgen und der genutzten Bemessungsphilosophie ein angemessenes Zuverlässigkeitsniveau erreicht werden.

ANMERKUNG 1 Die Höhe der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} wird durch Tabelle 5.1 (NDP) festgelegt, solange der Nationale Anhang keine abweichenden Werte vorgibt.

ANMERKUNG 2 Die Teilsicherheitsbeiwerte in Tabelle 5.1 (NDP) für geringe Schadensfolgen genügen der Zuverlässigkeitsanforderung der Klasse CC1 nach EN 1990, die für mittlere Schadensfolgen der Klasse CC2 und die für hohe Schadensfolgen der Klasse CC3.

ANMERKUNG 3 Die Teilsicherheitsbeiwerte in Tabelle 5.1 (NDP) setzen die Möglichkeit zur Durchführung von Sichtprüfungen voraus.

Tabelle 5.1 (NDP) — Empfohlene Werte des Teilsicherheitsbeiwerts für den Ermüdungswiderstand γ_{Mf}

Bemessungsphilosophie	Schadensfolgen		
	gering	mittel	hoch
Schwingbruchsichere Konstruktionsweise	1,15	1,25	1,35
Schadenstolerante Konstruktionsweise	1,00	1,15	1,25

6 Bemessungskonzepte bei Ermüdung

6.1 Spannungskonzepte

(1) Alle relevanten spannungserhöhenden Einflüsse müssen beim Nachweis der Bemessungssituation mit Ermüdung unabhängig vom gewählten Spannungskonzept berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Zu den Spannungskonzepten zählen das Nennspannungskonzept, das Strukturspannungskonzept und das Kerbspannungskonzept.

(2) Die spannungserhöhenden Einflüsse sollten bei den Ermüdungswiderständen berücksichtigt werden, wenn sie nicht in den Ermüdungsbeanspruchungen des gewählten Spannungskonzepts enthalten sind.

ANMERKUNG Die unterschiedlichen Arten der spannungserhöhenden Einflüsse werden in 3.1.1.7 erläutert.

(3) Die durch (1) und (2) formulierten Anforderungen dürfen für den Nachweis der Bemessungssituation mit Ermüdung nach Abschnitt 9 als erfüllt betrachtet werden, bei dem die Ermüdungsbeanspruchungen auf Nennspannungen bzw. modifizierten Nennspannungen nach Abschnitt 7 basieren und die Ermüdungswiderstände nach Abschnitt 8 genutzt werden.

ANMERKUNG 1 Anhang B enthält Festlegungen zur Bestimmung der entsprechenden Ermüdungsbeanspruchungen und korrespondierender Ermüdungswiderstände für das Strukturspannungskonzept, solange der Nationale Anhang nichts anderes festlegt.

ANMERKUNG 2 Anhang C enthält Festlegungen zur Bestimmung der entsprechender Ermüdungsbeanspruchungen und korrespondierender Ermüdungswiderstände für das Kerbspannungskonzept, solange der Nationale Anhang nichts anderes festlegt.

ANMERKUNG 3 Anhang F enthält Leitlinien für die Bestimmung der entsprechender Ermüdungsbeanspruchungen und korrespondierender Ermüdungswiderstände für Konstruktionsdetails, die mit HFM nachbehandelt werden, solange der Nationale Anhang nichts anderes festlegt.

6.2 Nachweisverfahren

(1) Das Nachweisverfahren muss auf Berechnungsmodellen basieren, die für die Bemessungssituation mit Ermüdung geeignet sind.

(2) Das Nachweisverfahren nach Abschnitt 9 sollte für Bemessungssituationen mit Ermüdung verwendet werden, in denen die Ermüdungsbeanspruchung als äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv mit $\Delta\sigma_{e,Ed}$ und 2×10^6 Spannungszyklen definiert ist.

ANMERKUNG Siehe 3.1.3.9 zum äquivalenten einstufigen Spannungsschwingbreitenkollektiv. Ein äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv basiert für gewöhnlich auf einem vereinfachten Ermüdungslastmodell aus EN 1991 mit entsprechenden λ_i -Beiwerten.

(3) Für Bemessungssituationen mit jeder anderen Art von Spannungsschwingbreitenkollektiv sollte das Nachweisverfahren in Anhang A verwendet werden.

ANMERKUNG Beispiele für solche Kollektive sind einstufige Kollektive mit mehr oder weniger als 2×10^6 Spannungszyklen, siehe Bild 3.5 a) and Bild 3.5 b).

7 Ermüdungsbeanspruchung

7.1 Berechnung der Nennspannungen

(1) Die Nennspannungen infolge der Ermüdungseinwirkungen sollten mittels einer linear-elastischen Berechnung nach EN 1993-1-1 bestimmt werden.

ANMERKUNG EN 1993-1-1:2022 enthält Regeln für:

- Querschnittswerte des Nettoquerschnitts in 8.2.2.2;
- Einflüsse aus Schubverformungen in 8.2.2.3;
- elastische Spannungen infolge Querkraftschub in 8.2.6(4);
- elastische Spannungen infolge Torsion in 8.2.7(3).

(2) Für Konstruktionsdetails von Stahlbauteilen, die Teil einer Verbundkonstruktion sind, sollten die Nennspannungen unter Berücksichtigung aller Effekte berechnet werden, die durch die anderen Werkstoffe in der Bemessungssituation mit Ermüdung hervorgerufen werden.

ANMERKUNG Für Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen kann die Rissbildung des Betons unter üblichen Nutzungsbedingungen die Nennspannungen der Stahlbauteile beeinflussen. In diesen Fällen können Einwirkungen wie die ständigen Einwirkungen, veränderliche Einwirkungen, Schwinden oder Kriechen einen Einfluss auf die Nennspannungen haben.

(3) Modifizierte Nennspannungen sollten im Nachweis dort verwendet werden, wo Spannungskonzentrationen infolge makrogeometrischer Einflüsse und/oder infolge von Einflüssen aus konzentrierter Belastung in der Nähe der potentiellen Rissstelle in den Zeichnungen der Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12

auftreten und wo diese Einflüsse nicht in den Kerbfällen des betrachteten Konstruktionsdetails nach der Detailbeschreibung in den Tabellen enthalten sind.

(4) Querschnitte der Klasse 4 dürfen bei Ermüdung als Querschnitte der Klasse 3 behandelt werden, wenn deren Breiten-Dicken-Verhältnis geringer ist als das Grenzverhältnis der Klasse 3 nach EN 1993-1-1, wenn ε mit $\sqrt{f_{y,k} \cdot \gamma_{m0} / \sigma_{\text{com},f}}$ multipliziert wird, wobei $\sigma_{\text{com},f}$ die maximale Bemessungsdruckspannung im betrachteten Querschnittsteil unter der Einwirkungskombination mit Ermüdung nach EN 1990 ist.

(5) Die Nennspannungen in Querschnitten, die bei Ermüdung als Klasse 4 eingestuft werden, sollten durch den Abminderungsbeiwert für Beulen nach der Methode der reduzierten Spannungen nach EN 1993-1-5 geteilt werden, wobei die Plattenschlankheit mit der maximalen Bemessungsdruckspannung im betrachteten Querschnittsteil am effektiven Querschnitt bestimmt werden darf.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Grenzen für Querschnitt der Klasse 4, die durch Ermüdungseinwirkungen beansprucht werden, festlegen.

7.2 Maßgebende Nennspannungen

(1) Alle Nennspannungen, die für das Konstruktionsdetail maßgebend sind, müssen im Nachweis der Bemessungssituation mit Ermüdung berücksichtigt werden.

(2) Für jede maßgebende Nennspannung sollte der entsprechende Kerbfall mittels Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 unter Berücksichtigung des Konstruktionsdetails, der Spannungsart (σ oder τ) und der Spannungskomponente bestimmt werden. Die ergänzenden Anforderungen des Kerbfalls hinsichtlich der Spannungsberechnung sollten zusätzlich zu den Festlegungen von 7.1 berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Beispielsweise kann der Kerbfall die Spannungsberechnung an einem bestimmten Standort des Konstruktionsdetails erfordern oder er kann in EN 1993-1-1 erlaubte Vereinfachungen untersagen.

(3) Für ungeschweißte Konstruktionsdetails und für geschweißte Konstruktionsdetails mit Nahtübergangsversagen sollten folgende Nennspannungen maßgebend sein:

- Nenn-Normalspannungen σ im Grundwerkstoff und
- Nenn-Schubspannungen τ im Grundwerkstoff.

(4) Für Nahtwurzelsversagen lasttragender nicht durchgeschweißter Stumpfnähte oder Kehlnähte, sollten die pro Längeneinheit der Naht übertragenen Kräfte in Komponenten zerlegt werden, die quer und parallel zur Längsachse der Naht gerichtet sind.

(5) Als maßgebende Nennspannungen in der Naht sollten betrachtet werden, siehe Bild 7.1:

- Normalspannungen σ_{wf} quer zur Längsachse der Naht und
- Schubspannungen τ_{wf} parallel zur Längsachse der Naht.

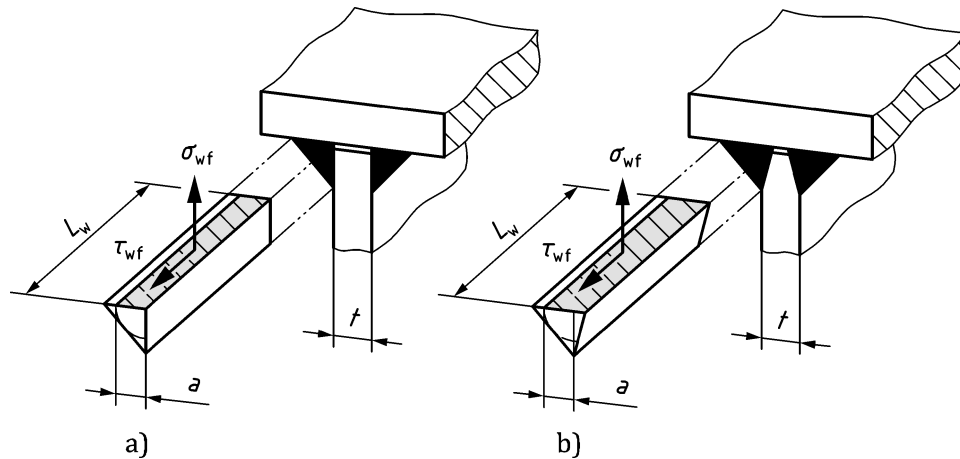


Bild 7.1 — Maßgebende Spannungen in (a) Kehlnähten und (b) nicht durchgeschweißten Stumpfnähten

(6) Zur Ermittlung der Nennspannungen σ_{wf} und τ_{wf} sollten die pro Längeneinheit der Naht zu übertragenden maßgebenden Kraftkomponenten durch die Nahtdicke a geteilt werden, siehe Bild 7.1.

(7) Die Spannungskomponenten $\sigma_{\perp}$ und $\tau_{\perp}$ im Nahtquerschnitt (siehe Bild 7.2), die nach des richtungsbezogenen Verfahrens nach EN 1993-1-8 infolge einer Kraft F quer zur Längsachse der Naht bestimmt werden, dürfen wie folgt in die Nennspannungskomponente σ_{wf} der Schweißnaht überführt werden:

$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2} \quad (7.1)$$

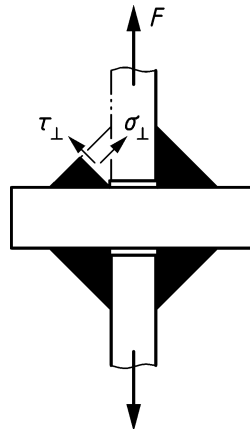


Bild 7.2 — Spannung im Nahtquerschnitt einer Doppelnaht nach EN 1993-1-8

(8) Die Spannungskomponente $\tau_{\parallel}$ im Nahtquerschnitt, die mit dem richtungsbezogenen Verfahren nach EN 1993-1-8 als Folge einer Schubkraft parallel zur Längsachse der Naht bestimmt wird, sollte als Nennspannungskomponente τ_{wf} der Schweißnaht betrachtet werden.

(9) Die Spannungskomponente $\sigma_{\parallel}$ parallel zur Längsachse der Naht darf bei Nahtwurzelsversagen vernachlässigt werden.

(10) Die maßgebende Schweißnahtspannung einer Doppelkehlnaht infolge Querbiegung des angeschlossenen Blechs darf wie folgt berechnet werden:

$$\sigma_{wf} = \frac{M}{a L_w (a + t)} \quad (7.2)$$

Dabei ist

t die Dicke der angeschlossenen Blechs mit Biegung;

a die wirksame Nahtdicke;

M das Biegemoment;

L_w die Nahtlänge nach Bild 7.3.

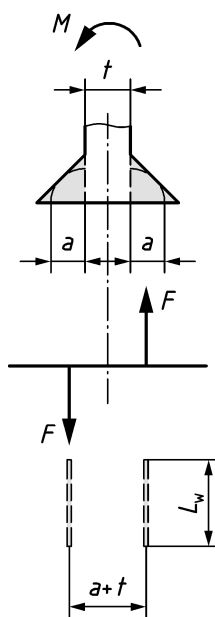


Bild 7.3 — Maßgebende Spannungen einer Doppelkehlnaht infolge Blechbiegung

(11) Für geschraubte Anschlüsse und für Anschlüsse mit Gewindestangen und gerolltem oder geschnittenem Gewinde sollten folgende Nennspannungen maßgebend sein:

— Nenn-Normalspannung
$$\sigma = \frac{F_B}{A_s} \quad (7.3)$$

— Nenn-Schubspannung im Schaft
$$\tau = \frac{V_B}{A} \quad (7.4)$$

Dabei ist

A die Fläche des Schaftquerschnitts der Schraube oder Gewindestange;

A_s die Fläche des Spannungsquerschnitts der Schraube oder Gewindestange;

F_B die in der Schraube oder Gewindestange wirkende Kraft;

V_B die Querkraft je Scherfläche in der Schraube oder Gewindestange.

ANMERKUNG Für Anschlüsse mit vorgespannten Schrauben oder Gewindestangen:

— F_B kann nach Anhang E bestimmt werden;

— V_B kann unberücksichtigt bleiben.

(12) Auswirkungen aus Abstützkräften und/oder Biegung in geschraubten Anschlüssen oder Anschlüssen mit Gewindestangen sollten bei der Bestimmung der Kraft F_B berücksichtigt werden. Einflüsse aus Imperfektionen der Schraube oder Gewindestange dürfen vernachlässigt werden.

(13) Auswirkungen aus Abstützkräften und/oder Biegung auf die Spannungen in der Schraube dürfen bei einfachen und symmetrischen Anschlüssen mit vorgespannten Schrauben wie dem T-Stummel in prEN 1993-1-8:2021, Tabelle 6.2 vernachlässigt werden, wenn entweder die verbundenen Bleche vollen Kontakt und ausreichende Steifigkeit aufweisen oder keine Abstützwirkung nach der Montage auftritt.

7.3 Berechnung der Nennspannungsschwingbreiten

7.3.1 Allgemeines

(1) Die Nennspannungsschwingbreiten in den maßgebenden Teilen der Konstruktionsdetails sollten für die in Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 gekennzeichneten potentiellen Rissstellen bestimmt werden.

(2) Wirksame Nennspannungsschwingbreiten dürfen beim Nachweis nicht geschweißter oder spannungsarmgeglühter geschweißter Konstruktionsdetails, deren Schwingbeanspruchung teilweise oder ganz im Druckbereich liegt, und für andere Konstruktionsdetails mit einer Beanspruchung teilweise oder ganz im Druckbereich bei entsprechender Bestätigung durch Berechnungen oder Messungen, betrachtet werden.

ANMERKUNG Siehe 7.4 zu wirksamen Nennspannungsschwingbreiten.

7.3.2 Bemessungswert der Nennspannungsschwingbreite

(1) Für Bemessungssituationen mit Ermüdung, in denen die Ermüdungsbeanspruchung als äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv definiert ist, sollte der Bemessungswert der Nennspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ und $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{e,2,Ed} &= \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\sigma_E(\gamma_{Ff} Q_{fat}) \\ \Delta\tau_{e,2,Ed} &= \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\tau_E(\gamma_{Ff} Q_{fat})\end{aligned}\tag{7.5}$$

Dabei sind

λ_i die Schadensäquivalenzbeiwerte, die vom betrachteten Bauteil und seiner Beanspruchung abhängig sind.

(2) Für Bemessungssituationen mit Ermüdung, in denen die Ermüdungsbeanspruchung als äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv definiert ist und makrogeometrische Einflüsse und/oder Einflüsse aus konzentrierter Belastung auftreten, sollte der Bemessungswert der modifizierten Nennspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ und $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{e,2,Ed} &= k_f \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\sigma_E(\gamma_{Ff} Q_{fat}) \\ \Delta\tau_{e,2,Ed} &= k_f \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\tau_E(\gamma_{Ff} Q_{fat})\end{aligned}\tag{7.6}$$

Dabei ist

k_f der Spannungskonzentrationsfaktor, um makrogeometrische Einflüsse und/oder Einflüsse aus konzentrierter Belastung zu berücksichtigen, die nicht im Kerbfall enthalten sind.

ANMERKUNG 1 Siehe Bild 3.1 zu Beispielen für Spannungskonzentrationen.

ANMERKUNG 2 Spannungskonzentrationsfaktoren k_f können aus Handbüchern oder aus Finite-Element-Berechnungen bezogen werden. Anhang D stellt Spannungskonzentrationsfaktoren k_f für bestimmte Anwendungsfälle bereit.

(3) Für geschweißte Hohlprofilanschlüsse in Fachwerkträgern sollte der Bemessungswert der modifizierten Nennspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ mittels des vereinfachten Modells nach D.3 wie folgt bestimmt werden, wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird:

$$\Delta\sigma_{e,2,Ed} = k_1 \Delta\sigma_{e,2,Ed}^{**} \quad (7.7)$$

Dabei ist

k_1 der Spannungskonzentrationsfaktor nach Tabelle D.1 und Tabelle D.2;

$\Delta\sigma_{e,2,Ed}^{**}$ der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite, der als Folge eines Ermüdungslastmodells nach EN 1991 an einem vereinfachten Fachwerkmodell mit durchlaufenden Gurten und gelenkig angeschlossenen Streben berechnet wird.

(4) Für andere Ermüdungslastmodelle, die nicht ein äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv ergeben, sollte der Bemessungswert der Schwingbreiten $\Delta\sigma_{i,E}$ and $\Delta\tau_{i,E}$ mit Hilfe von Anhang A ermittelt werden.

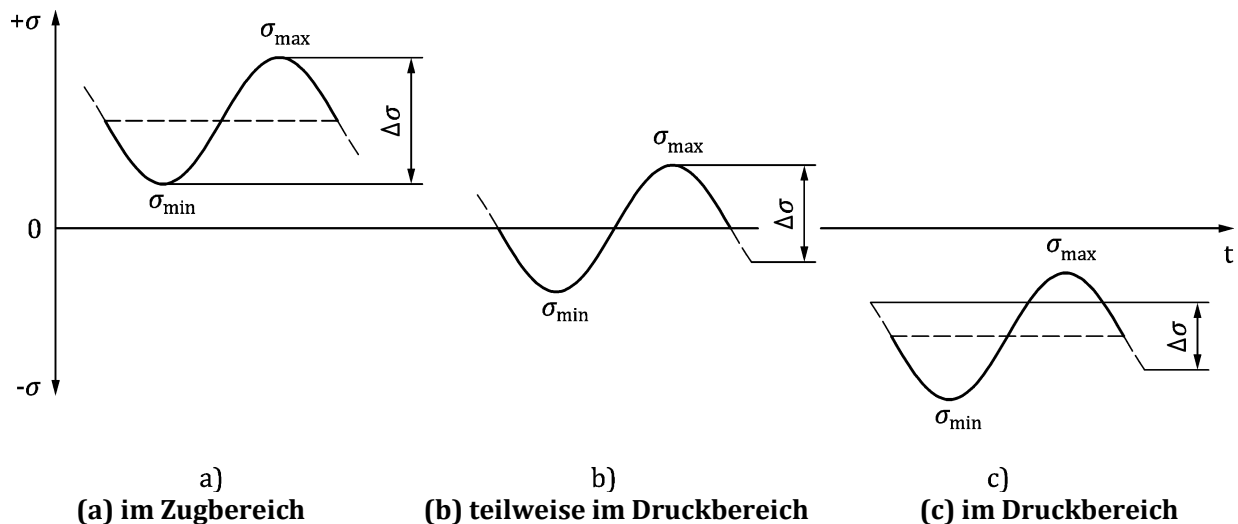
7.4 Wirksame Spannungsschwingbreite

(1) Bei nicht geschweißten Konstruktionsdetails oder bei geschweißten Konstruktionsdetails, die nach Abschluss aller Schweißarbeiten spannungsarmgeglüht werden, darf der Mittelspannungseinfluss auf die Lebensdauer durch eine Reduzierung der Spannungsschwingbreite aller Spannungszyklen berücksichtigt werden, die ganz oder teilweise im Druckbereich liegen.

(2) Das Mittelspannungsniveau nach (1) sollte durch Berechnung oder Messung unter Einbeziehung der Spannungen infolge ständiger Einwirkungen (ohne Teilsicherheitsfaktoren) und der größten Zugspannungen infolge der Ermüdungseinwirkung bestätigt werden.

(3) Die wirksame Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ darf berechnet werden, indem der ggf. vorhandene Zuganteil der Spannungsschwingbreite und 60 % des ggf. vorhandenen Druckanteils der Spannungsschwingbreite betragsmäßig wie folgt addiert werden, siehe Bild 7.4:

- wenn die gesamte Spannungsschwingbreite im Zugbereich wie in Bild 7.4 a) liegt: $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$
- wenn ein Teil der Spannungsschwingbreite wie in Bild 7.4 b) im Druckbereich liegt: $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - 0,6 \sigma_{\min}$ (7.9)
- wenn die gesamte Spannungsschwingbreite wie in Bild 7.4 c) im Druckbereich liegt: $\Delta\sigma = 0,6 \sigma_{\max} - 0,6 \sigma_{\min}$



ANMERKUNG Zugspannungen sind positiv.

Bild 7.4 — Wirksame Spannungsschwingbreiten nicht geschweißter oder spannungsarmgeglühter Konstruktionsdetails

8 Ermüdungswiderstand

8.1 Ermüdungswiderstandskurven

(1) Der Ermüdungswiderstand der Konstruktionsdetails sollte auf der Grundlage geeigneter Ermüdungswiderstandskurven berechnet werden.

ANMERKUNG 1 Der charakteristische Ermüdungswiderstand wird durch eine Reihe paralleler und äquidistanter Ermüdungswiderstandskurven repräsentiert, die die Anzahl N_R ertragbaren Spannungsschwingspiele definiert, denen eine Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ oder $\Delta\tau$ standgehalten werden kann, bis es zum Versagen kommt, wie in Bild 8.1 bis Bild 8.4 gezeigt.

ANMERKUNG 2 Den Ermüdungswiderstandskurven sind Kerbfälle zugeordnet. Jeder Kerbfall ist durch einen Zahlenwert gekennzeichnet, der den charakteristischen Bezugswert $\Delta\sigma_c$ oder $\Delta\tau_c$ in N/mm^2 für den Ermüdungswiderstand bei $N_c = 2 \times 10^6$ Spannungszyklen repräsentiert.

ANMERKUNG 3 Bei einstufiger Ermüdungsbeanspruchung besitzt die Ermüdungswiderstandskurve bei logarithmischer Achsenteilung einen Zeitfestigkeitsbereich, der durch eine lineare Beziehung mit Neigungsparameter m_1 ausgedrückt wird, und einen Dauerfestigkeitsbereich, der durch eine konstante Beziehung ausgedrückt wird. Der Übergang zwischen beiden Bereichen ist als Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$ oder $\Delta\tau_D$ bei einstufiger Ermüdungsbeanspruchung definiert.

ANMERKUNG 4 Bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung durch Normalspannungen wird der Zeitfestigkeitsbereich der Ermüdungswiderstandskurven bei logarithmischer Achsenteilung unterhalb von $\Delta\sigma_D$ bis zur Dauerfestigkeit bei mehrstufiger Belastung $\Delta\sigma_L$ durch eine lineare Beziehung mit Neigungsparameter m_2 verlängert.

(2) Die Ermüdungswiderstandskurven nach Bild 8.1a sollten für nicht geschweißte Konstruktionsdetails mit geringer Kerbschärfe Anwendung finden, die durch $\Delta\sigma$ beansprucht werden, einschließlich:

- ungeschweißte Bauteile in Tabelle 10.1;
- geschraubtes Konstruktionsdetail in Tabelle 10.2 mit gebohrten oder aufgeriebenen Löchern.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 8.1.

(3) Die Ermüdungswiderstandskurven nach Bild 8.1 b (sollten für nicht geschweißte Konstruktionsdetails mit hoher Kerbschärfe Anwendung finden, die durch $\Delta\sigma$ beansprucht werden, einschließlich:

- geschraubtes Konstruktionsdetail in Tabelle 10.2 mit thermisch geschnittenen oder gestanzten Löchern ohne nachfolgendes Aufreiben;
- Schraubendetail ⑥ in Tabelle 10.2.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 8.1.

(4) Die Ermüdungswiderstandskurven nach Bild 8.2 sollten für geschweißte Konstruktionsdetails mit hoher Kerbschärfe Anwendung finden, die durch $\Delta\sigma$ beansprucht werden, einschließlich Tabelle 10.3 bis Tabelle 10.11 mit Ausnahme von Tabelle 10.8.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 8.1.

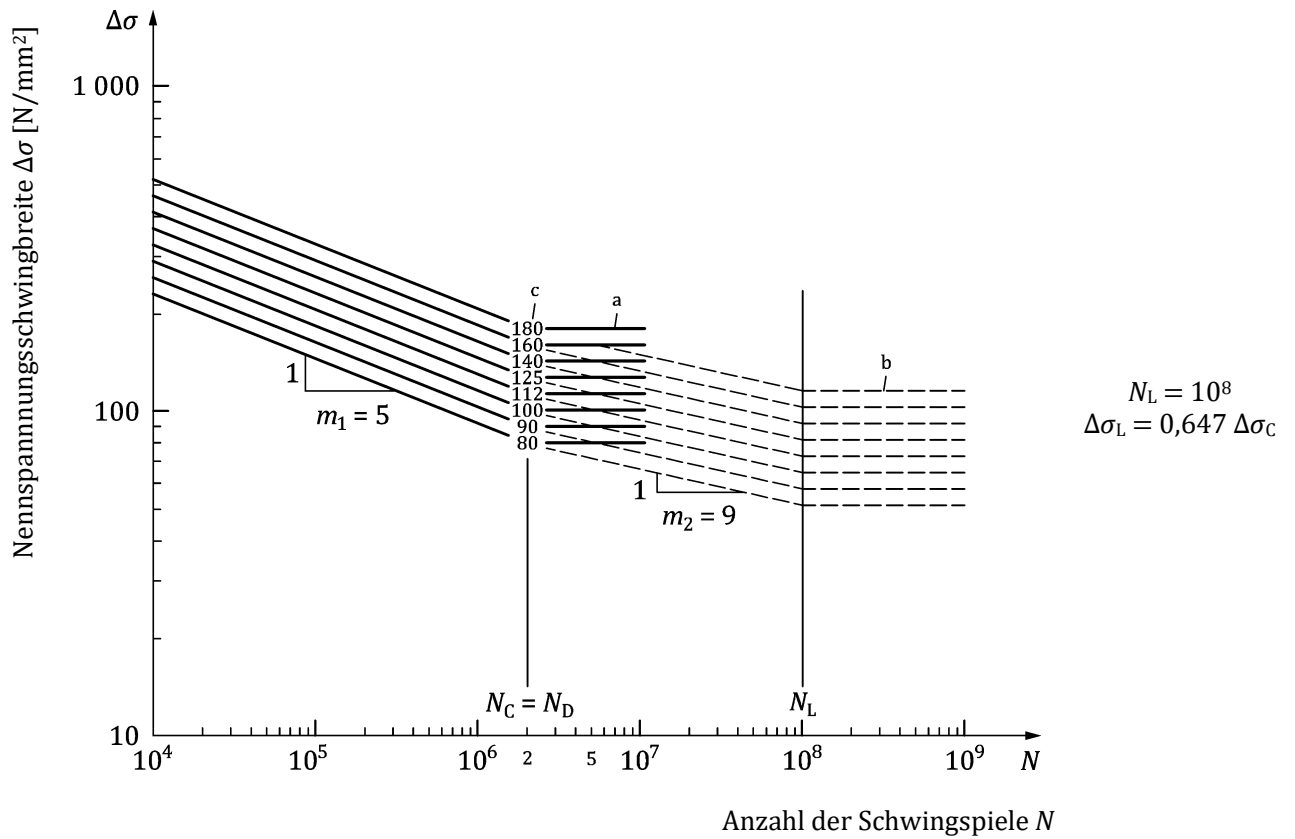
(5) Die Ermüdungswiderstandskurven nach Bild 8.3 sollten für Konstruktionsdetails in Hohlprofilanschlüssen nach Tabelle 10.8 Anwendung finden, die durch $\Delta\sigma$ beansprucht werden.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 8.1.

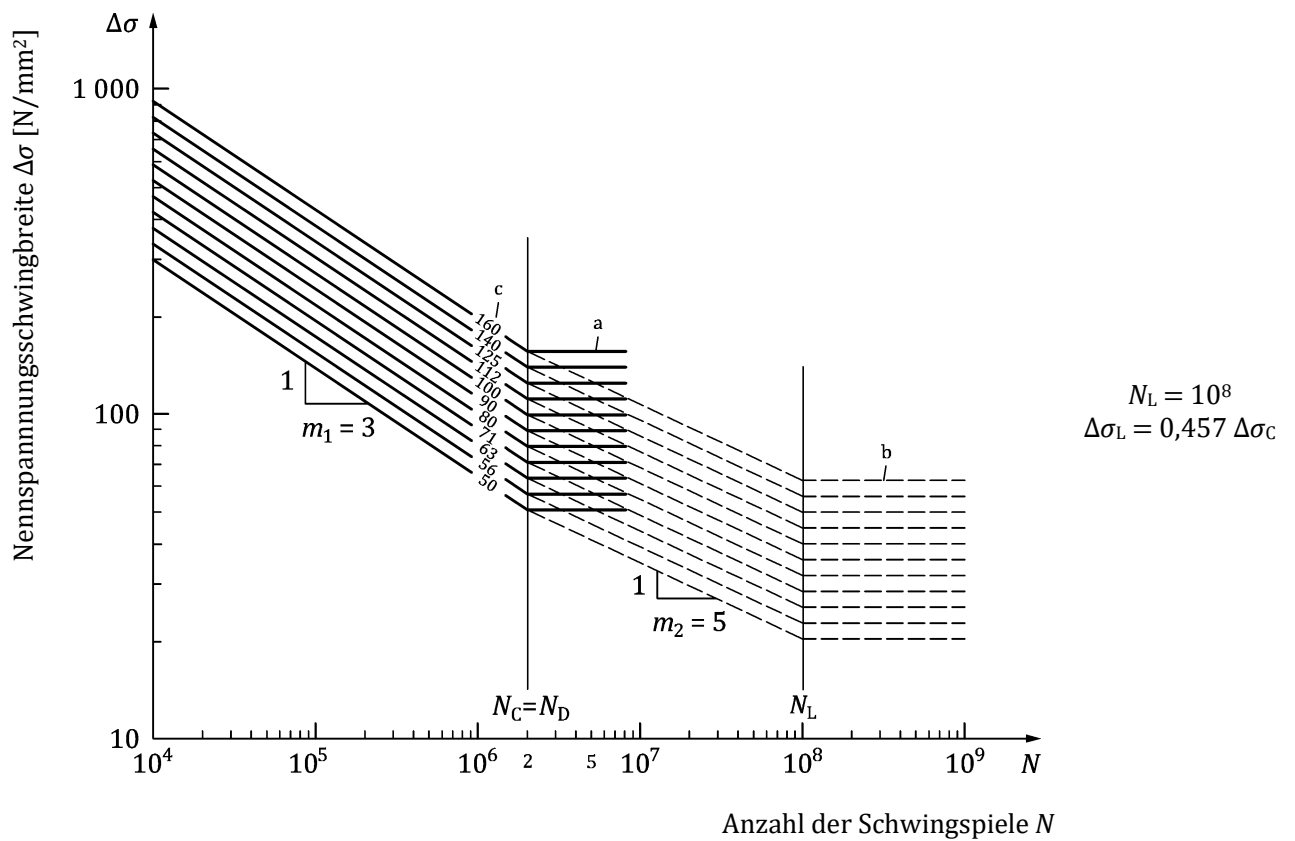
(6) Die Ermüdungswiderstandskurven nach Bild 8.4 sollten für Konstruktionsdetails Anwendung finden, die durch $\Delta\tau$ beansprucht werden, einschließlich:

- nicht geschweißte Konstruktionsdetails ⑥, ⑦, ⑧ in Tabelle 10.1;
- Schraubendetail ⑦ in Tabelle 10.2;
- geschweißtes Konstruktionsdetail ⑩ in Tabelle 10.6.

ANMERKUNG Siehe auch Tabelle 8.2.



(a) geringe Kerbwirkung

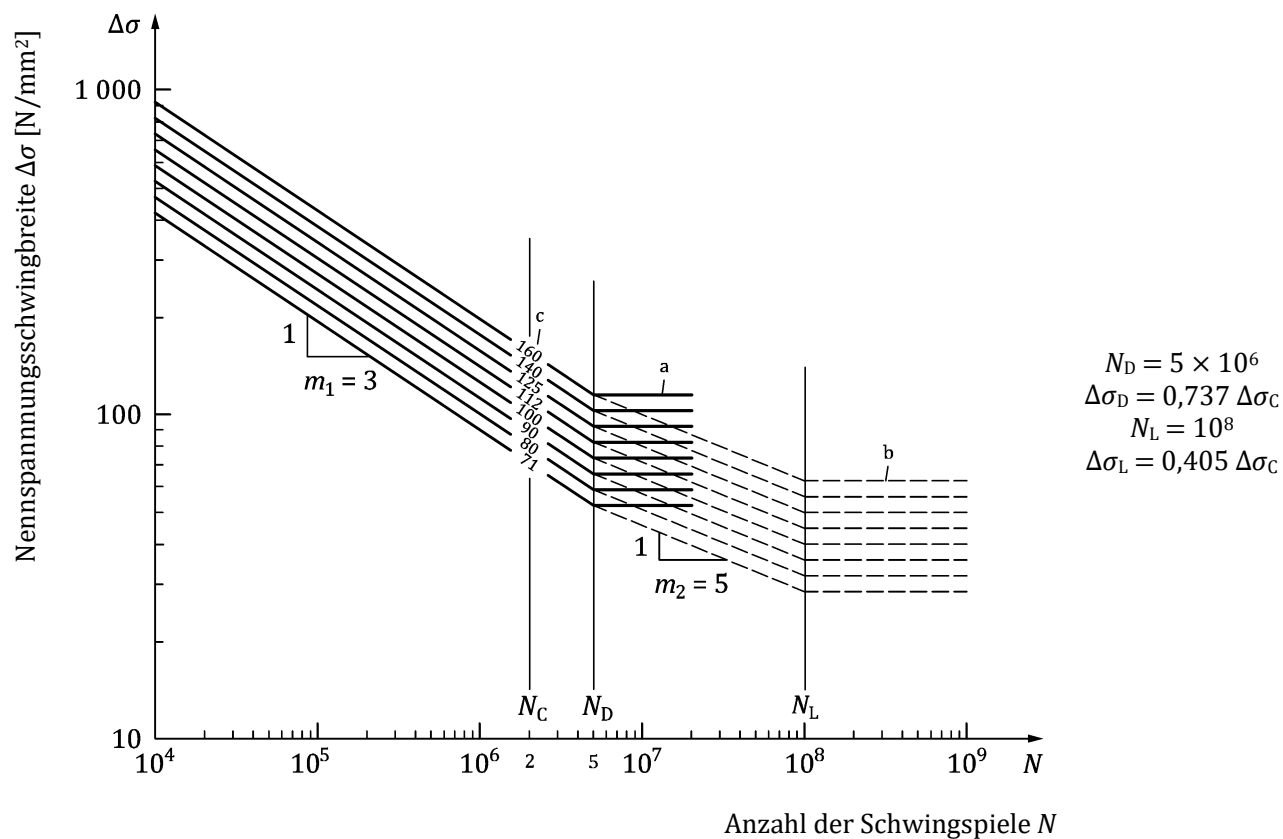


(b) hohe Kerbwirkung

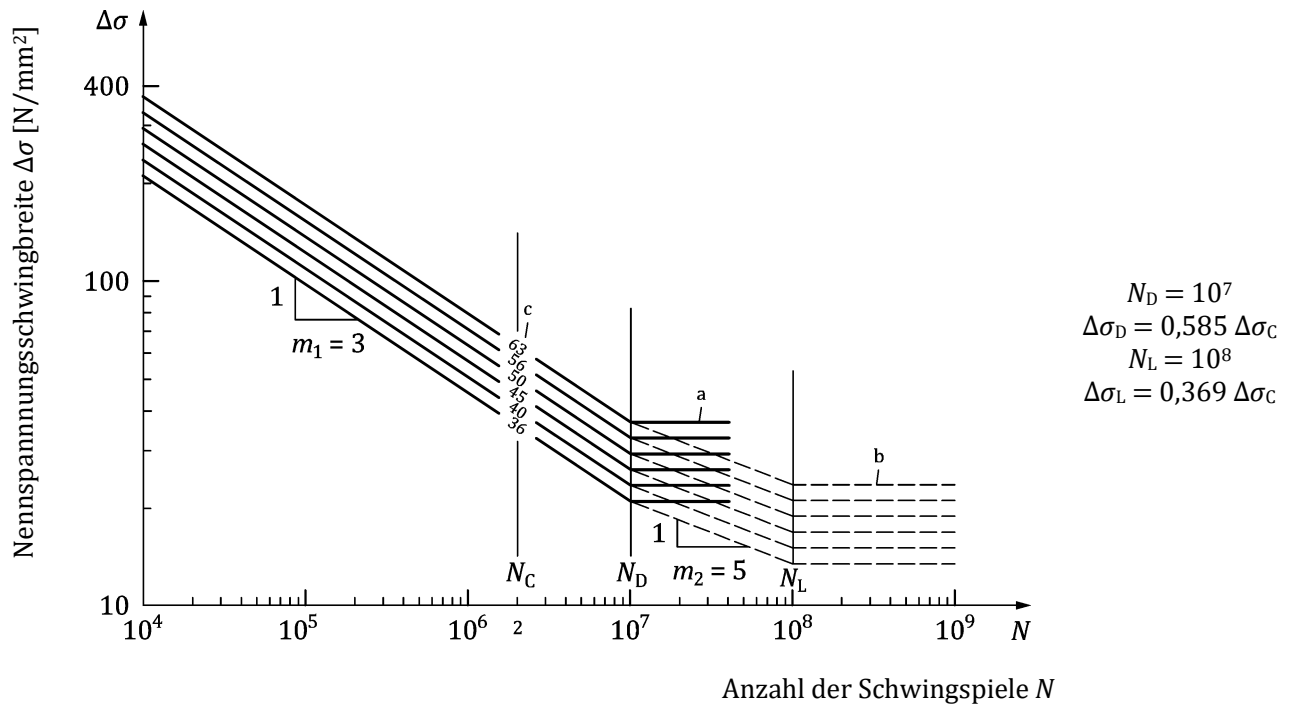
Legende

- a Ermüdungswiderstandskurve für einstufige Ermüdungsbeanspruchung
- b erweiterte Ermüdungswiderstandskurve für mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung
- c Kerbfall

Bild 8.1 — Charakteristische Ermüdungswiderstandskurven für nicht geschweißte Konstruktionsdetails mit Schwingbeanspruchung durch Nenn-Normalspannungen



(a) Kerbfall 71 und höher



(b) Kerbfall unterhalb 71

Legende

- a Ermüdungswiderstandskurve für einstufige Ermüdungsbeanspruchung
- b erweiterte Ermüdungswiderstandskurve für mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung
- c Kerbfall

ANMERKUNG Siehe Erläuterungen und Symbole in Bild 8.1.

Bild 8.2 — Charakteristische Ermüdungswiderstandskurven für geschweißte Konstruktionsdetails mit hoher Kerbwirkung und Schwingbeanspruchung durch Nenn-Normalspannungen



ANMERKUNG Siehe Erläuterungen und Symbole in Bild 8.1.

Bild 8.4 — Charakteristische Ermüdungswiderstandskurven für Konstruktionsdetails mit Schwingbeanspruchung durch Nenn-Schubspannungen

Tabelle 8.1 — Charakteristische Ermüdungswiderstandswerte in N/mm² der Kurven in Bild 8.1 bis Bild 8.3

Bild	Kerbfall	Neigungsparameter		$\Delta\sigma_D$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_L$ [N/mm ²]
		m_1	m_2		
8.1 a)	180	5	9	180	117
	160			160	104
	140			140	90,6
	125			125	80,9
	112			112	72,5
	100			100	64,7
	90			90,0	58,2
	80			80,0	51,8
8.1 b)	112	3	5	112	51,2
	100			100	45,7
	90			90,0	41,1
	80			80,0	36,6
	71			71,0	32,4
	63			63,0	28,8
	56			56,0	25,6
	50			50,0	22,9
8.2 a)	160	3	5	118	64,8
	140			103	56,7
	125			92,1	50,6
	112			82,5	45,4
	100			73,7	40,5
	90			66,3	36,5
	80			59,0	32,4
	71			52,3	28,8
8.2 b)	63	3	5	36,9	23,2
	56			32,8	20,7
	50			29,3	18,5
	45			26,3	16,6
	40			23,4	14,8
	36			21,1	13,3
8.3	90	5	9	65,3	50,5
	71			51,5	39,8
	56			40,6	31,4
	50			36,3	28,1
	45			32,6	25,2
	36			26,1	20,2

Tabelle 8.2 — Charakteristische Ermüdungswiderstandswerte in N/mm² der Kurven in Bild 8.4

Bild	Kerbfall	Neigungsparameter		$\Delta\tau_D$ [N/mm ²]	$\Delta\tau_L$ [N/mm ²]
8.4	100	5	—	45,7	45,7
	80			36,6	36,6

8.2 Klassifizierung der Konstruktionsdetails

(1) Für das Nennspannungskonzept sollten die Kerbfälle $\Delta\sigma_C$ und $\Delta\tau_C$ entsprechend Abschnitt 10 verwendet werden:

- Tabelle 10.1 für ungeschweißte Bauteile;
- Tabelle 10.2 für geschraubte Anschlüsse;
- Tabelle 10.3 für geschweißte zusammengesetzte Querschnitte und Längsnähte;
- Tabelle 10.4 für quer laufende Stumpfstöße (voll durchgeschweißt);
- Tabelle 10.5 für angeschweißte Anschlussteile und Steifen;
- Tabelle 10.6 für lasttragende geschweißte Anschlüsse;
- Tabelle 10.7 für Hohlprofilquerschnitte;
- Tabelle 10.8 für Fachwerkknoten aus Hohlprofilquerschnitten;
- Tabelle 10.9 für orthotrope Fahrbahnen – geschlossene Längssteifen;
- Tabelle 10.10 für orthotrope Fahrbahnen – offene Längssteifen;
- Tabelle 10.11 für Konstruktionsdetails von Kranbahnträgern;
- Tabelle 10.12 für Konstruktionsdetails von Türmen, Masten und Schornsteinen.

ANMERKUNG 1 Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 beschreiben die Konstruktionsdetails zusammen mit ihrer Spannungsverteilung in der Umgebung der potentiellen Rissstelle, die mit dem Kerbfall korrespondieren.

ANMERKUNG 2 Falls Versuchsdaten für die Bestimmung des Kerbfalls eines bestimmten Konstruktionsdetails genutzt wurden, wurde die Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_C$ oder $\Delta\tau_C$, die mit $N_C = 2 \times 10^6$ Spannungszyklen korrespondiert, als untere Vorhersagegrenze bei einer Überlebenswahrscheinlichkeit für $\log N$ von 95 % unter Berücksichtigung der Standardabweichung und des Stichprobenumfangs ermittelt. Die Anzahl der Versuchsdaten (nicht weniger als 12) wurde durch die statistische Auswertung berücksichtigt. Bei Berücksichtigung von Vorinformationen zum Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurven ist die beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung von $\Delta\sigma_C$ oder $\Delta\tau_C$ mit der Herangehensweise von prEN 1990:2021, Anhang D bezüglich der statistischen Bestimmung einer einzelnen Eigenschaft identisch.

ANMERKUNG 3 Die Versuchsdaten, die zur Ermittlung des Kerbfalls genutzt wurden, beinhalten detailspezifische Eigenschaften wie zum Beispiel den Einfluss der Eigenspannungen.

ANMERKUNG 4 Der Nationale Anhang kann die Bestimmung eines zutreffenderen Kerbfalls für eine bestimmte Anwendung auf der Grundlage von Versuchen nach 4(5) und (6) erlauben, unter der Voraussetzung dass die Versuchsdaten statistisch in Übereinstimmung mit Anmerkung 2 ausgewertet werden.

ANMERKUNG 5 Der Nationale Anhang kann Kerbfälle $\Delta\sigma_C$ oder $\Delta\tau_C$ für Konstruktionsdetails zur Verfügung stellen, die nicht nach den Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 klassifiziert sind.

(2) Für die Anwendung von Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 und der Anhang B, Anhang C und Anhang F sollte die Bewertungsgruppe B für die Qualität der Schweißnähte nach EN ISO 5817 (unter der Annahme einer Ausführungsklasse EXC3 oder höher), der Einsatz von qualifiziertem Personal und ein Umfang an zerstörungsfreier Prüfung nach EN 1090-2 vorgesehen werden. Darüber hinaus sollten die ergänzenden Anforderungen der Kerbfalltabellen in Abschnitt 10 erfüllt werden.

ANMERKUNG Für Tragwerke und Bauteile der Ausführungsklasse EXC2 kann die Bewertungsgruppe C ausreichend sein.

8.3 Modifizierung des Ermüdungswiderstands

8.3.1 Größeneinfluss

(1) Der Dickeneinfluss oder der Einfluss anderer Abmessungen sollte, wie in den Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 angegeben, berücksichtigt werden. Der Ermüdungswiderstand unter Berücksichtigung des Größeneinflusses sollte wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_C = k_s \Delta\sigma_{C,Table} \quad (8.1)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{C,Table}$ der Wert des betrachteten Kerbfalls wie in der ersten Spalte der Tabellen von Abschnitt 10 ausgewiesen;

k_s der Größeneinflussparameter wie in den Tabellen von Abschnitt 10 angegeben.

ANMERKUNG Für einige Konstruktionsdetails wird der Größeneinfluss bereits durch die Angabe unterschiedlicher Kerbfälle erfasst.

(2) Für den Fall, dass für geschweißte Konstruktionsdetails $\Delta\sigma_C$ nach (1) kleiner als 71 N/mm², aber $\Delta\sigma_{C,Table}$ größer als 71 N/mm² ist, muss $\Delta\sigma_D$ zu 0,585 $\Delta\sigma_C$ gesetzt werden.

8.3.2 Nachbehandlung

(1) Der Einfluss einer Nachbehandlung auf den Ermüdungswiderstand darf berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Festlegungen zu Nachbehandlungen einschließlich Schweißnahtnachbehandlungen wie Beschleifen der Nahtübergänge, WIG-Aufschmelzen der Nahtübergangsbereiche, Hämmerverfahren, HFMI-Behandlung und Kugelstrahlen treffen.

ANMERKUNG 2 Leitlinien werden in Anhang F hinsichtlich der Ermüdungsbemessung von geschweißten Anschlüssen gegeben, die durch höherfrequente Hämmerverfahren (HFMI) behandelt werden.

(2) Der Effekt einer Nachbehandlung mit Ausnahme von Beschleifen sollte nicht mit der günstigen Wirkung des Spannungsarmglühens nach 7.4(3) kombiniert in Ansatz gebracht werden.

9 Ermüdungsnachweis

9.1 Nachweis elastischen Verhaltens

(1) Die Nennspannungen σ_{Ed} und τ_{Ed} , die sich aus der Einwirkungskombination nach EN 1990, 8.3.4.5 ergeben, gegebenenfalls unter Berücksichtigung makrogeometrischer Einflüsse und/oder Einflüsse aus konzentrierter Belastung, sollten wie folgt begrenzt werden:

$$\sigma_{Ed} \leq f_y / \gamma_{M,ser} \quad (9.1)$$

und

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser} \sqrt{3}} \quad (9.2)$$

ANMERKUNG 1 Elastisches Verhalten ist eine notwendige Voraussetzung für alle spannungsbasierten Nachweisverfahren dieses Dokuments einschließlich Anhang A, Anhang B, Anhang C und Anhang F.

ANMERKUNG 2 Der Wert von $\gamma_{M,ser}$ ist 1,0, solange der Nationale Anhang keinen anderen Wert enthält.

(2) Um Kurzzeitermüdung (low-cycle fatigue) zu vermeiden, sollten die maximalen Nennspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{max,Ed}$ und $\Delta\tau_{max,Ed}$, die nach Abschnitt 7 berechnet werden, gegebenenfalls unter Berücksichtigung makrogeometrischer Einflüsse und/oder Einflüsse aus konzentrierter Belastung, wie folgt begrenzt werden:

$$\Delta\sigma_{max,Ed} \leq 1,5 f_y / \gamma_{Mf} \quad (9.3)$$

und

$$\Delta\tau_{max,Ed} \leq 1,5 \frac{f_y}{\gamma_{Mf} \sqrt{3}} \quad (9.4)$$

ANMERKUNG Hohe Nennspannungsschwingbreiten können zu plastischen Verformungen an den Stellen mit Spannungskonzentration führen. In der Folge können bei Belastungen mit wechselndem Vorzeichen Wechselformierungen hervorgerufen werden, die in ihrer Größe begrenzt werden müssen, um Kurzzeitermüdung zu vermeiden.

(3) Die Anforderung nach (2) darf als erfüllt angenommen werden, wenn das tatsächliche Spannungsschwingbreitenkollektiv durch ein äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ oder $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ ersetzt wird, das mittels eines vereinfachten Ermüdungslastmodell nach EN 1991 bestimmt wurde.

9.2 Nachweis mittels Bezugswert

(1) Dieser Nachweis sollte für Bemessungssituationen bei unbekannter maximaler Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{max,Ed}$ oder $\Delta\tau_{max,Ed}$ durchgeführt werden.

ANMERKUNG Bemessungssituationen mit unbekannter maximaler Spannungsschwingbreite können sein:

- Ein mehrstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv wird durch ein äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ oder $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ ersetzt.
- Ein mehrstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv wird mittels eines vereinfachten Ermüdungslastmodells nach EN 1991 ermittelt, das die größten Lastzyklen mit einer geringen Häufigkeit vernachlässigt.

(2) Die Normal- und Schubspannungsschwingbreiten für das Konstruktionsdetail sollten folgende Beziehungen erfüllen:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,Ed}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.5)$$

und

$$\frac{\Delta\tau_{e,2,Ed}}{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.6)$$

ANMERKUNG Die für ein bestimmtes Konstruktionsdetail zu betrachtenden Spannungskomponenten, siehe 7.2, werden in Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 angezeigt. Siehe auch 7.3.

9.3 Nachweis mittels Dauerfestigkeit

(1) Dieser Nachweis darf für Bemessungssituationen bei bekannter maximaler Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\max,Ed}$ oder $\Delta\tau_{\max,Ed}$ durchgeführt werden.

ANMERKUNG Siehe auch Anmerkung zu 9.2(1).

(2) Eine unendliche Lebensdauer für ein Konstruktionsdetail darf angenommen werden, wenn die maximale Spannungsschwingbreite des einwirkenden Normal- oder Schubspannungskollektivs folgende Beziehungen erfüllt:

$$\frac{\Delta\sigma_{\max,Ed}}{\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}} \leq 1,0 \quad (9.7)$$

oder

$$\frac{\Delta\tau_{\max,Ed}}{\Delta\tau_D/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.8)$$

9.4 Nachweis bei mehrachsiger Ermüdungsbeanspruchung

(1) Wenn die betrachtete Stelle eines Konstruktionsdetails (siehe die in Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 dargestellten Risse) durch eine Kombination aus Normal- und Schubspannungen beansprucht wird, sollte der Ermüdungsnachweis die Wirkung der kombinierten Beanspruchung wie folgt berücksichtigen:

- a) Wenn die Normal- und Schubspannungen gleichzeitig während jedes Belastungsereignisses auftreten, sollten die Hauptspannungen betrachtet und die korrespondierenden Spannungsschwingbreiten mit Gleichung (9.5) nachgewiesen werden;
- c) Wenn die Normal- und Schubspannungen nicht gleichzeitig während jedes Belastungsereignisses auftreten, sollte die Summe der Schädigungen nach der Miner-Regel gebildet werden:

— Für Versagen im Grundwerkstoff (einschließlich Rissbeginn am Schweißnahtübergang) bei Beanspruchung durch Nenn-Normalspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$ und Nenn-Schubspannungsschwingbreiten $\Delta\tau_{xy}$, $\Delta\tau_{xz}$, $\Delta\tau_{yz}$:

$$\sum_{j=x,y,z} \left(\frac{\Delta\sigma_{j,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{j,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \sum_{k=xy,xz,yz} \left(\frac{\Delta\tau_{k,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{k,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (9.9)$$

— für Schweißnahtversagen (Rissbeginn an der Nahtwurzel) infolge der Schweißnahtspannungen nach 7.2(5):

$$\left(\frac{\Delta\sigma_{wf,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{wf,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \left(\frac{\Delta\tau_{wf,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{wf,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (9.10)$$

Dabei ist

m_σ der erste Neigungsparameter m_1 der Ermüdungswiderstandskurve für das betrachtete Konstruktionsdetail bei Beanspruchung durch Normalspannungen;

m_τ der erste Neigungsparameter m_1 der Ermüdungswiderstandskurve für das betrachtete Konstruktionsdetail bei Beanspruchung durch Schubspannungen.

(2) Wenn die Normal- und Schubspannungen zur Bildung von Ermüdungsrissen an unterschiedlichen Stellen führen, sollten für beide Stellen ein separater Ermüdungsnachweis durchgeführt werden.

(3) Liegen keine Informationen zu $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ oder $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ vor, dann darf das Nachweisverfahren nach Anhang A genutzt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Informationen zur Anwendung von Anhang A enthalten.

10 Klassifizierte Konstruktionsdetails für das Nennspannungskonzept

(1) Die Klassifizierung in Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 sollte nur für das Nennspannungskonzept bzw. bei Verwendung von modifizierten Nennspannungen verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Die Schweißsymbole, die in Tabelle 10.3 bis Tabelle 10.12 genutzt werden, werden in Tabelle 10.13 erläutert.

ANMERKUNG 2 Die letzte Spalte in Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.11 kann ergänzende Anforderungen enthalten, die über die Festlegungen von EN 1090-2, EN 1993-1-1 und EN 1993-1-8 hinaus gehen.

(2) In Situationen, in denen eine nicht gleichförmige Spannungsverteilung durch globale und/oder lokale Biegung hervorgerufen wird, sollten die Gesamtspannungen einschließlich der Biegespannungen an der Stelle des potentiellen Risses betrachtet werden.

ANMERKUNG Die Darstellungen der Konstruktionsdetails mit Beanspruchung durch Normalspannungen zeigen im Allgemeinen die Verteilung der Spannung σ in der Mittelebene der Bauteile als Ergebnis von Normalkräften.

(3) Die Klassifizierung von kehlnahtgeschweißten Konstruktionsdetails darf für konvexe, konkave und flache Kehl Nähte angewendet werden, auch wenn die Darstellungen nur beispielhaft ein Nahtprofil zeigen.

(4) Für Bemessungssituationen mit $N < 2 \times 10^6$ sollte der Ermüdungswiderstand des Tragwerks in unmittelbarer Nähe zum betrachteten Konstruktionsdetail zusätzlich überprüft werden.

ANMERKUNG Konstruktionsdetails in ungeschweißten Bauteilen und geschraubten Anschlüssen können einen niedrigeren Ermüdungswiderstand als geschweißte Bauteile für $N < 2 \times 10^6$ als Folge der unterschiedlichen Neigungsparameter aufweisen (Überschneidung der Ermüdungswiderstandskurven).

(5) Für Tragwerke mit Feuerverzinkung sollten die besonderen Festlegungen in den Tabelle 10.1, Tabelle 10.2, Tabelle 10.4, Tabelle 10.6, Tabelle 10.9 und Tabelle 10.11 gelten.

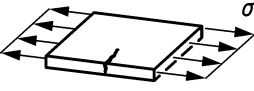
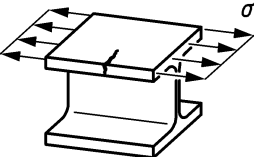
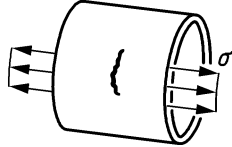
ANMERKUNG 1 Siehe 8.1(2), 8.1(3) and 8.1(6) in Bezug auf den nächst niedrigeren Kerbfall, der in den Fußnoten der Tabelle 10.1 Tabelle 10.2, Tabelle 10.4, Tabelle 10.6, Tabelle 10.9 und Tabelle 10.11 erwähnt wird.

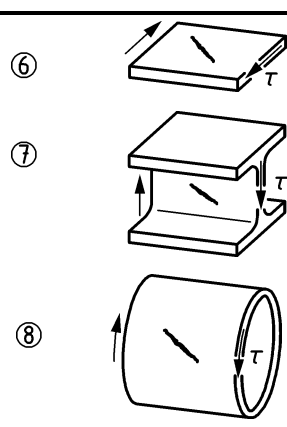
ANMERKUNG 2 Diese Festlegungen gelten nicht für thermisch gespritzte Zinc/Aluminium Konstruktionsdetails.

(6) Für Tragwerke aus wetterfestem Stahl sollten die besonderen Festlegungen in Tabelle 10.1 und Tabelle 10.2 gelten.

ANMERKUNG Siehe 8.1(2) und 8.1(3) in Bezug auf den nächst niedrigeren Kerbfall, der in den Fußnoten der Tabelle 10.1 und Tabelle 10.2 erwähnt wird.

Tabelle 10.1 — Ungeschweißte Bauteile

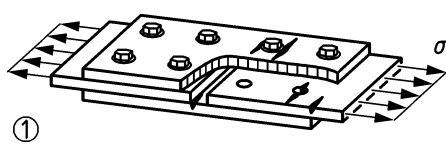
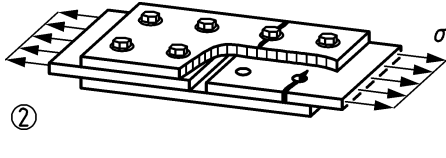
Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
180 $m_1 = 5$	① 	Gewalzte oder gepresste Erzeugnisse unter Normalspannung: ① Bleche und Flachstähle mit gewalzten Kanten; ② Walzprofile mit gewalzten Kanten; ③ Nahtlose rechteckige oder runde Hohlprofile	①, ③: Scharfe Kanten, Oberflächen- und Walzfehler sollten durch Schleifen beseitigt werden, bis ein weicher Übergang mit mittlerer Rautiefe in der Größenordnung der Walzhaut ($R_z \leq 200 \mu\text{m}$) erreicht ist. Reparaturen durch Schweißen nicht erlaubt; folgende technische Lieferbedingungen sind erforderlich: ①: Klasse A3 nach EN 10163-2; ③: Option 1.5 nach EN 10210.
160 $m_1 = 5$	② 		①, ②, ③: Scharfe Kanten, Oberflächen- und Walzfehler sollten durch Schleifen beseitigt werden, bis ein weicher Übergang erreicht ist. Reparaturen durch Schweißen nicht erlaubt; folgende technische Lieferbedingungen sind erforderlich: ①: Klasse A3 nach EN 10163-2; ②: Klasse C3 nach EN 10163-3; ③: Option 1.5 nach EN 10210.
125 $m_1 = 5$	③ 		①, ②, ③: Scharfe Kanten, Oberflächen- und Walzfehler sollten durch Schleifen beseitigt werden, bis ein weicher Übergang erreicht ist. Nach der Reparatur durch Schweißen sollte bis zum Erreichen eines weichen Übergangs geschliffen werden.
160 $m_1 = 5$	④ 	Gescherte oder brenn-geschnittene Bleche unter Normalspannung: ④ mit nachträglichem Schleifen; ⑤ mit nachträglichem Entgraten	Spannungskonzentrationen aufgrund von makrogeometrischen Einflüssen sollten berücksichtigt werden. $\Delta\sigma$ sollte am Nettoquerschnitt einschließlich geeigneter Spannungskonzentrationsfaktoren berechnet werden.
125 $m_1 = 5$	⑤ 		④ Mittlere Rautiefe der Oberfläche nach dem Schleifen in der Größenordnung der Walzhaut ($R_z \leq 200 \mu\text{m}$). Reparatur durch Schweißen nicht erlaubt. ⑤ Thermische Schnittqualität nach EN 9013 mit mittlerem Oberflächenprofil im Bereich 2. Nach der Reparatur durch Schweißen sollte bis zum Erreichen eines weichen Übergangs geschliffen werden.

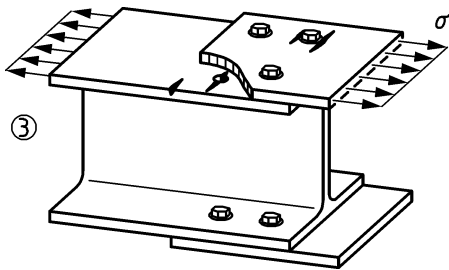
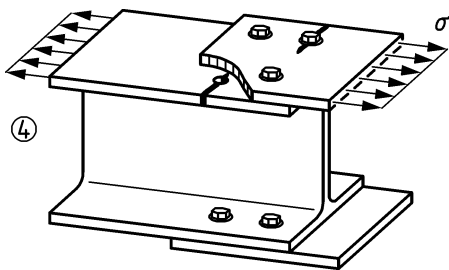
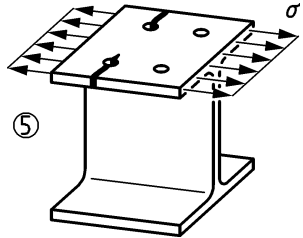
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
100 $m_1 = 5$		Gewalzte oder gepresste Erzeugnisse unter Schubspannung: ⑥ bis ⑧ gleiche Beschreibung wie für ① bis ③.	Bei Querkraftbeanspruchung von Stegen sollte Gleichung (8.25) von EN 1993-1-1 zur Berechnung von $\Delta\tau$ unabhängig von der Querschnittsklasse verwendet werden. ⑥, ⑦ und ⑧: Anforderungen wie für ① bis ③ im Kerbfall 125.

Für ① bis ⑧ aus wetterfestem Stahl sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.1 verwendet werden, aber nicht höher als Kerbfall 140.

Für ① bis ⑧ mit Feuerverzinkung sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.1 verwendet werden, aber nicht höher als Kerbfall 140.

Tabelle 10.2 — Geschraubte Anschlüsse

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
112 $m_1 = 5$		① Symmetrischer zweiseitiger Anschluss unter Normalspannung mit vorgespannten hochfesten Schrauben oder vorgespannten Injektionsschrauben	$\Delta\sigma$ sollte für alle Bauteile, die eine potenzielle Rissstelle enthalten, am Bruttoquerschnitt berechnet werden.
90 $m_1 = 5$		② Symmetrischer zweiseitiger Anschluss unter Normalspannung	Für alle Bauteile, die eine potenzielle Rissstelle enthalten, sollte $\Delta\sigma$ wie folgt berechnet werden:
		mit vorgespannten Schrauben oder nicht vorgespannten Injektionsschrauben	$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{\text{net}} \left[a + \left(b - c \frac{d_0}{w} \right)^3 \right]$ σ_{net} = Spannung im Nettoquerschnitt
		mit nicht vorgespannten Schrauben mit normalem Lochspiel ohne Lastumkehr	Für Passschrauben und nicht vorgespannte Injektionsschrauben in Abhängigkeit der Schraubenreihenanzahl:
71 $m_1 = 3$		mit vorgespannten Schrauben oder nicht vorgespannten Injektionsschrauben	1 Reihe: $a = 1; b = 1,6; c = 2,7$ 2 Reihen: $a = 1; b = 1,3; c = 2,2$ ≥ 3 Reihen: $a = 1; b = 1,1; c = 1,8$
		mit nicht vorgespannten	Für nicht vorgespannte Schrauben mit normalem Lochspiel:

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung		Anforderungen
		Schrauben mit normalem Lochspiel ohne Lastumkehr		$a = 1; b = 1,6; c = 2,7$ Siehe Hinweis am Tabellenende zu den Abmessungen d_0 und w . Schrauben sollten mit ⑦ überprüft werden.
100 $m_1 = 5$		③ Gestützter, einschnittiger Anschluss unter Normalspannung mit vorgespannten hochfesten Schrauben oder vorgespannten Injektionsschrauben		$\Delta\sigma$ sollte für alle Bauteile, die eine potentielle Rissstelle enthalten, am Bruttoquerschnitt berechnet werden. Nichtgestützte, einschnittige Anschlüsse sollten vermieden werden, oder die Auswirkung der Exzentrizität sollte bei der Spannungsberechnung berücksichtigt werden.
80 $m_1 = 5$		④ Gestützter, einschnittiger Anschluss unter Normalspannung		$\Delta\sigma$ sollte für alle Bauteile, die eine potenzielle Rissstelle enthalten, wie für ② berechnet werden. Schrauben sollten mit ⑦ überprüft werden. Nichtgestützte, einschnittige Anschlüsse sollten vermieden werden, oder die Auswirkung der Exzentrizität sollte bei der Spannungsberechnung berücksichtigt werden.
		mit vorgespannten Schrauben oder nicht vorgespannten Injektionsschrauben	gebohrte oder aufgeriebene Löcher	
		mit nicht vorgespannten Schrauben mit normalem Lochspiel ohne Lastumkehr		
		mit vorgespannten Schrauben oder nicht vorgespannten Injektionsschrauben	Thermisch geschnittene oder gestanzte Löcher	
		mit nicht vorgespannten Schrauben mit normalem Lochspiel ohne Lastumkehr		
56 $m_1 = 3$				
90 $m_1 = 5$		⑤ Bauteile unter Normalspannung mit gebohrten oder aufgeriebenen runden Löchern		$\Delta\sigma$ sollte am Nettoquerschnitt berechnet werden.
50 $m_1 = 3$		wie zuvor, jedoch mit thermisch geschnittenen oder gestanzten runden Löchern		

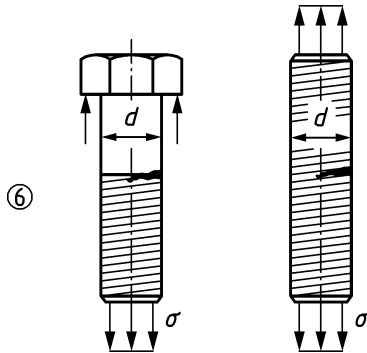
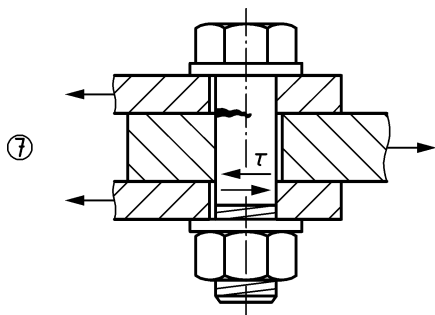
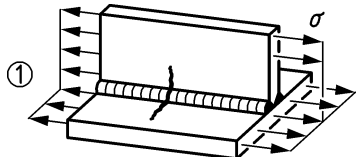
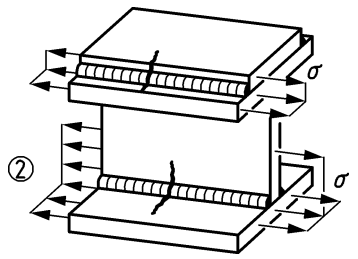
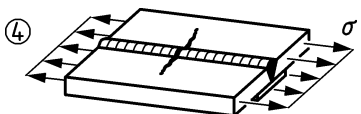
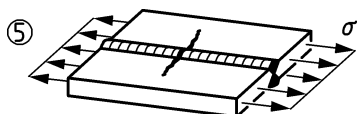
Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung	Anforderungen
71 $m_1 = 3$	Größeneinfluss für $d > 30$ mm. $k_s = (30/d)^{0,25}$, dabei ist d der Nennwert des Schraubendurchmessers, in mm.		⑥ Rohe Schrauben und Gewindestangen unter Normalspannung mit normalem metrischen Gewinde, nach der Wärmebehandlung gewalzt	$\Delta\sigma$ sollte am Spannungsquerschnitt der Schraube oder der Gewindestange nach EN 1993-1-8, siehe 5.7, berechnet werden. Siehe Anhang E für vorgespannte Schrauben und Gewindestangen.
56 $m_1 = 3$			wie zuvor, jedoch vor der Wärmebehandlung gewalzt	
50 $m_1 = 3$			wie zuvor, jedoch nach dem Walzen feuer- oder elektrolytisch verzinkt	
50 $m_1 = 3$			wie zuvor, jedoch mit geschnittenem Gewinde	
100 $m_1 = 5$		⑦ Passschrauben in ein- oder zweischneittigen Verbindungen unter Scherbeanspruchung.	Schrauben aus Kohlenstoffstahl sollten die Güteklasse 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 oder 10.9 nach EN 1993-1-8 aufweisen.	
		Wie zuvor, jedoch mit normalen Schrauben und normalem Lochspiel ohne Lastumkehr.	Schrauben aus nichtrostendem Stahl sollten Nennwerte für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit aufweisen, die mindestens den Werten der Güteklasse 70 nach EN 1993-1-4 entsprechen. Das Gewinde sollte nicht in der Scherfuge liegen. $\Delta\tau$ sollte am Schaftquerschnitt der Schraube berechnet werden.	
ANMERKUNG Es gilt $w = \max(p_2; 2e_2)$. Siehe EN 1993-1-8 für die Definition von d_0 , p_2 und e_2 .				
Für ⑤ aus wetterfestem Stahl sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.1 verwendet werden.				
Für Details ②, ④ und ⑤ mit Feuerverzinkung und mit thermisch geschnittenen oder gestanzten Löchern sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.1 verwendet werden.				

Tabelle 10.3 — Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte und Längsnähte

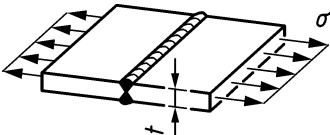
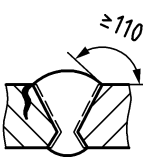
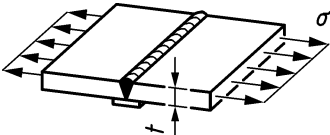
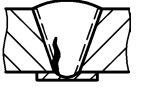
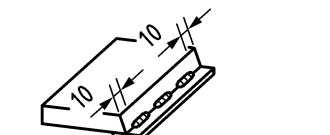
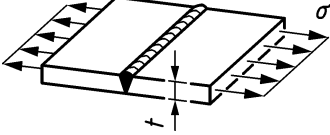
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
125			① Automatisch oder vollmechanisch geschweißte Stumpfnähte, beidseitig geschweißt, ohne Nahtansatzstellen	Keine.
112			wie zuvor, jedoch mit Nahtansatzstellen	
125			② Automatisch oder vollmechanisch geschweißte Doppelkehlnähte ohne Nahtansatzstellen	Für aufgeschweißte Gurtplatten sind zwei parallele einzelne Kehlnähte erforderlich. Die Enden der aufgeschweißten Gurtplatten sollten mit Kerbfall ⑥, ⑦ oder ⑧ aus Tabelle 10.6 überprüft werden.
112			wie zuvor, jedoch mit Nahtansatzstellen	
100	③ Handschweißung	siehe oben	③ Details ① und ② manuell geschweißt	Keine.
112			④ Automatisch oder vollmechanisch geschweißte Stumpfnähte, einseitig geschweißt, mit Badsicherung, ohne Nahtansatzstellen	Im Falle einer dauerhaften Badsicherung sollte diese durch Heftnähte innerhalb der Nahtvorbereitung angebracht werden.
100			wie zuvor, jedoch mit Nahtansatzstellen oder manuell geschweißte Stumpfnähte	
125			⑤ Stumpfnähte, beidseitig geschweißt, in Spannungsrichtung blecheben geschliffen, ohne Nahtansatzstellen	Umfang der zerstörungsfreien Prüfung nach EN 1090-2: 100 %.
112			wie zuvor, jedoch ohne Schleifen	Keine.
90			wie zuvor, jedoch ohne Schleifen und mit Nahtansatzstellen	Keine.
100	⑥ Reparaturschweißung	siehe oben	⑥ Reparierte automatisch oder vollmechanisch oder manuell geschweißte Kehl- oder Stumpfnähte für ① bis ④	Keine.
90			wie zuvor, jedoch für ⑤	
ursprünglicher Kerbfall			wie zuvor, jedoch mit Schleifen oder kerbfreien Nahtübergängen für ① bis ⑤	

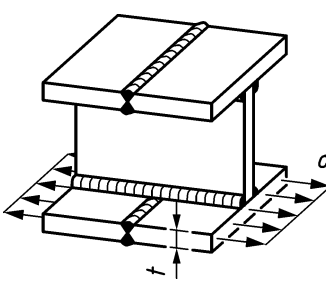
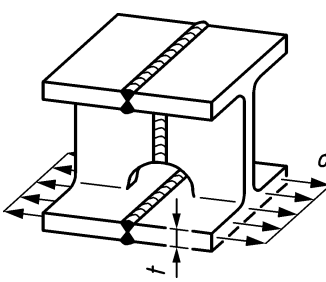
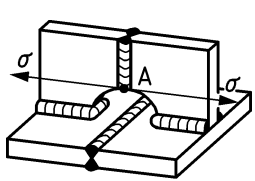
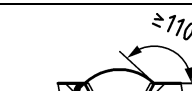
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80			⑦ Parallel oder versetzt angeordnete unterbrochene Kehlnähte mit $g / h \leq 2,5$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Grundwerkstoff unter der Annahme, dass die Schweißnaht durchgängig ist, berechnet werden.
71			⑧ Stumpf-, Kehl- oder unterbrochene Schweißnähte mit halbkreisförmigen Freischnitt von einer Höhe ≤ 60 mm. Siehe ① in Tabelle 10.5 für Freischnitte mit einer Höhe > 60 mm. ANMERKUNG EN 1993-1-5 kann strengere Festlegungen für Freischnitte enthalten.	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Grundwerkstoff unter der Annahme, dass die Schweißnaht durchgängig ist, berechnet werden. Die Längsnaht wird im Freischnitt umlaufend ausgeführt. Die querlaufende Naht sollte mit Tabelle 10.4 überprüft werden.
100			⑨ Automatisch oder vollmechanisch oder manuell geschweißte Stumpf- oder Kehlnähte in Kastenträgern, einseitig geschweißt	Keine.
140			⑩ Automatisch oder vollmechanisch geschweißte Längsnähte in Hohlprofilen nach EN 10210 oder EN 10219 (ohne Nahtansatzstellen, da in einem kontinuierlichen Prozess hergestellt)	Wanddicke $t \leq 12,5$ mm
125				Wanddicke $t > 12,5$ mm
90			⑪ Automatisch oder vollmechanisch geschweißte Längsnähte in Hohlprofilen mit Nahtansatzstellen	Keine.

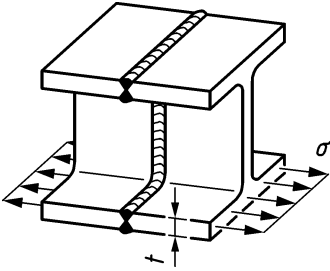
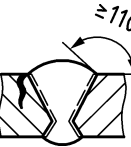
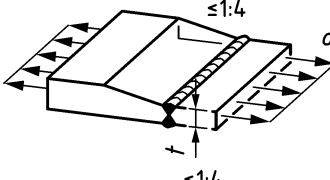
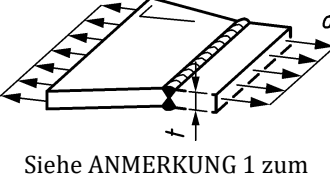
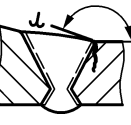
ANMERKUNG 1 Mit Ausnahme automatischer und vollmechanischer Schweißung sollten alle Schweißverfahren als Handschweißung behandelt werden.

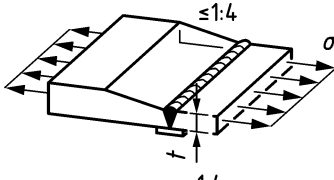
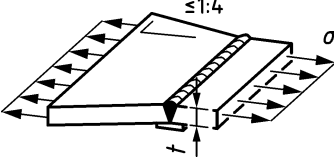
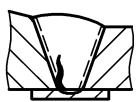
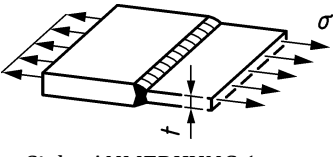
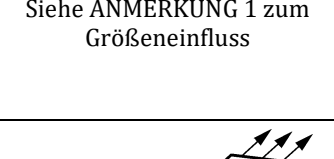
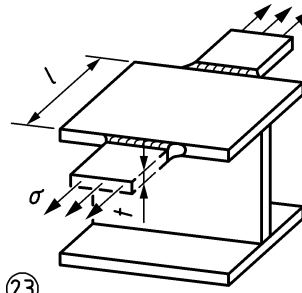
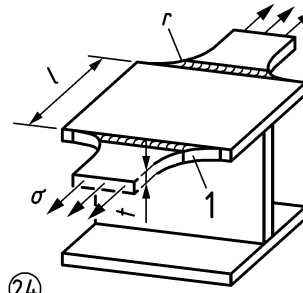
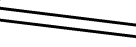
ANMERKUNG 2 Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve $m_1 = 3$, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.

Tabelle 10.4 — Quer laufende Stumpfstoße (durchgeschweißt)

Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
112		① 	① Stumpfstoße in Blechen und Flachstählen gleicher Dicke, beidseitig geschweißt, blecheben geschliffen	Schweißnaht allseitig blecheben in Spannungsrichtung geschliffen. Kantenversatz $\leq 5\%$ der Blech-dicke, siehe ANMERKUNG 2.
90	Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss.	② 	② wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$	②: Geschweißt in Schweißposition PA nach EN ISO 6947
80		③ 	③ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 110^\circ$	②③: Schweißnaht an den Blechkanten in Spannungs-richtung blecheben geschliffen, ggf. nach Entfernung der Auslaufbleche. Kantenversatz $\leq 5\%$ der Blechdicke, siehe ANMERKUNG 2.
71		④ ⑤ 	④ Stumpfstoße in Blechen und Flachstählen gleicher Dicke, einseitig geschweißt mit dauerhafter Badsicherung, Heftnähte mindestens 10 mm vor Blechrand endend	Siehe ② und ③. Heftnähte für die Badsicherung sollten innerhalb der Nahtvor-bereitung angebracht werden.
50			⑤ wie zuvor, jedoch Heftnähte weniger als 10 mm vor Blechrand endend und/oder wenn gute Passung nicht gewährleistet werden kann	
71		⑥ 	⑥ Stumpfstoße in Blechen und Flachstählen gleicher Dicke, einseitig geschweißt ohne Badsicherung	Siehe ② und ③. Prüfung der vollständigen Durchschweißung durch geeignete ZFP.
36	Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss des Kerbfalls 71.			Keine.

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
112	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss.		⑦ Flansch- und Stegstöße in Blechträgern, beidseitig geschweißt, blecheben geschliffen	⑦ ⑧ ⑨: Keine Stumpfstöße des gesamten Querschnitts. Stöße werden vor der Montage des Trägers geschweißt. Die Längsnaht sollte mit Tabelle 10.3 nachgewiesen werden. ⑦: Siehe ①. ⑧: Siehe ②. ⑨: Siehe ③.
90			⑧ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$	
80			⑨ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 110^\circ$	
90	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss.		⑩ Flanschstöße von Stößen ganzer Walzquerschnitte gleicher Abmessungen ohne Toleranzunterschiede, blecheben geschliffen, mit halbkreisförmigen Freischnitten	Walzprofile zugeschnitten und wieder verschweißt. Siehe ①.
80			⑪ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$ oder bei Toleranzunterschieden	Siehe ②.
112	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss.		⑫ Stegstöße von Stößen ganzer Querschnitte mit Freischnitten, beidseitig geschweißt, blecheben geschliffen	$\Delta\sigma$ sollte mit der modifizierten Nennspannung im Steg an der Stelle A unter Berücksichtigung des spannungs-erhöhenden Einflusses des Freischnitts berechnet werden.
90			⑬ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$	
80			⑭ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 110^\circ$	

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
112	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss des Kerbfalls 63		⑮ Stumpfnähte von Stößen ganzer Walzquerschnitte gleicher Abmessungen ohne Toleranzunterschiede, blecheben geschliffen, ohne Freischnitt	Walzprofile zugeschnitten und wiederver-schweißt. Siehe ①.
90			⑯ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$ und mit Toleranzunterschieden	Siehe ②.
80			⑰ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 110^\circ$ und mit Toleranzunterschieden	Siehe ③.
63		wie für ⑮ bis ⑰		Siehe ① bis ③.
112		 Blechdickenverjüngung	⑱ Stumpfstöße in Blechen und Flachstählen mit Verjüngung in der Breite oder Blechdicke mit Schräge $\leq 1:4$, beidseitig geschweißt, blecheben geschliffen	Siehe ①. $\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im dünneren Blech oder Flachstahl berechnet werden. Siehe ANMERKUNG 3.
90	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss	 Blechdickenverjüngung	⑲ wie zuvor, jedoch im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$	Siehe ② Nahtübergänge kerbfrei bearbeitet. Siehe ANMERKUNG 3.

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Symbol	Beschreibung	Anforderungen
71				②① Stumpfstöße in Blechen und Flachstählen mit Verjüngung in der Breite oder Blechdicke mit Schräge $\leq 1:4$, einseitig geschweißt; mit dauerhafter Badsicherung, mit Heftnähten wie bei ④	Siehe ④. $\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im dünneren Blech oder Flachstahl berechnet werden. Siehe ANMERKUNG 3.
50	Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss		②① Blechdickenverjüngung	②① wie zuvor, jedoch mit Heftnähten wie bei ⑤	Siehe ⑤. $\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im dünneren Blech oder Flachstahl berechnet werden. Siehe ANMERKUNG 3.
71				②② Stumpfstöße in Blechen und Flachstählen unterschiedlicher Dicke mit Übergang in der Naht, Zentrierung der Mittelebenen	Kantenversatz $\leq 5\%$ der dünneren Blechdicke, siehe ANMERKUNG 2. Nahtübergänge kerbfrei bearbeitet. $\Delta\sigma$ sollte mit Normalspannung im dünneren Blech oder Flachstahl berechnet werden. Siehe ANMERKUNG 3.
Wie ② in Tabelle 10.6				②③ Quer laufenden Stumpfnähte kreuzender Flansche wie ④ oder ⑤ in Tabelle 10.5 ②④ wie zuvor, jedoch mit Übergangsradius r nach ⑥ in Tabelle 10.5	Durchgehende Flansche sollte mit ④ oder ⑤ oder ⑥ aus Tabelle 10.5 nachgewiesen werden.

1 – beschliffen

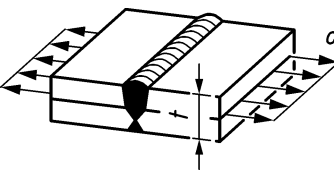
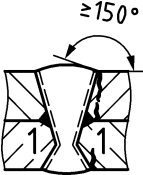
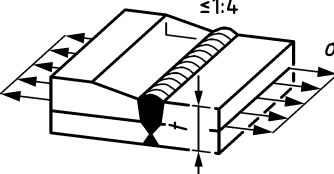
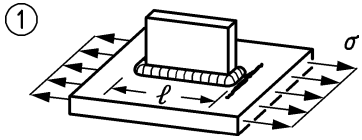
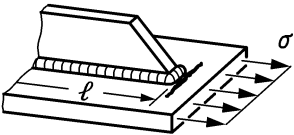
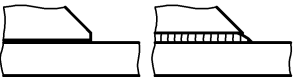
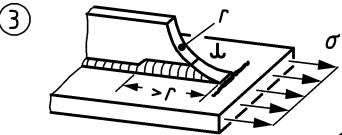
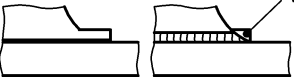
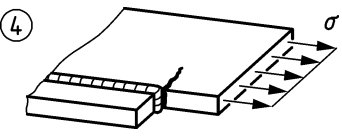
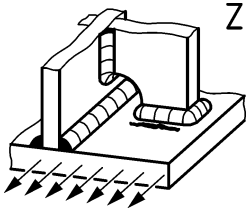
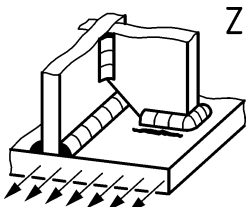
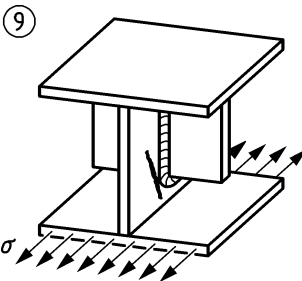
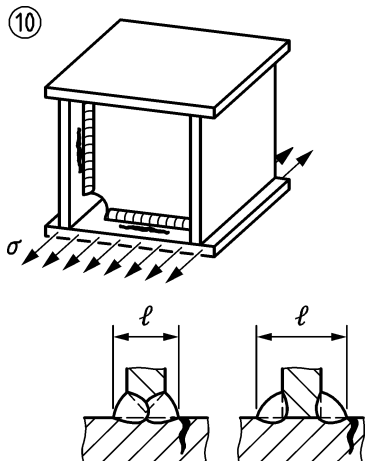
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
90	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss	 1 – Stirnfugennaht	②⑤ Stöße von Blechpaketen im Schweißzustand mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$	Siehe ② Beim Schweißen der Stumpf-naht sollte die Stirnfugennaht nicht aufgeschmolzen werden. Die Nahtwurzel der Stumpf-naht sollte in der Mitte eines der Bleche liegen.
	 Siehe ANMERKUNG 1 zum Größeneinfluss	 1 – Stirnfugennaht	②⑥ wie zuvor, jedoch mit Dickensprung mit Schräge $\leq 1 : 4$	Siehe ②①. Nahtübergänge kerbfrei bearbeitet. Siehe ANMERKUNG 3.
ANMERKUNG 1 Der Größeneinfluss für $t > 25$ mm wird durch Spannungsmodifikation mit $k_s = (25/t)^{0,2}$ für geschweißte und $k_s = (25/t)^{0,1}$ für blecheben geschliffene Details berücksichtigt, wobei t die dünnere Blechdicke in mm ist, für die die Spannungsschwingbreite berechnet wird. ANMERKUNG 2 Herstellungsbedingter Kantenversatz ≤ 5 % der Blechdicke. Eine Exzentrizität wird durch eine entsprechende Modifikation der Nennspannung berücksichtigt, siehe D.5. ANMERKUNG 3 Für ⑮ bis ②② und ②⑥ als Teile von biegebeanspruchten Trägerflanschen werden die Schwingbreiten der modifizierten Nennspannungen verwendet. Empfohlene Spannungskonzentrationsfaktoren k_t werden in Anhang D angegeben. ANMERKUNG 4 Neigungsparameter $m_1 = 3$ der Ermüdungswiderstandskurve, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.				
Für ①, ⑦, ⑫, ⑮ und ⑮ bei Feuerverzinkung sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.2 verwendet werden.				

Tabelle 10.5 — Angeschweißte Anschlussteile und Steifen

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80	 ① λ = Abstand der Schweißnähtübergänge		① Bleche und Trägerflansche unter Normalspannung mit längs zur Krafrichtung verbundenem Anschlussstück auf ihren Oberflächen, im Schweißzustand, $\ell \leq 50$ mm	Anschlussstück vollständig umschweißt. Die Dicke des Anschlussstücks ist geringer als dessen Höhe. Siehe ansonsten ⑤ oder ⑥ in Tabelle 10.6. $\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Grundwerkstoff unter Vernachlässigung des Anschlussstücks berechnet werden.
71			wie zuvor, jedoch $50 < \ell \leq 200$ mm	
63			wie zuvor, jedoch $\ell > 200$ mm	
Wie ①	  ② Vor und nach dem Schweißen		② wie zuvor, jedoch mit abgeschrägten Enden des Anschlussstücks, im Schweißzustand	Siehe ①.
80	  ③ Vor und nach dem Schweißen (1 – beschliffen)		③ Bleche und Trägerflansche unter Normalspannung mit längs zur Krafrichtung verbundenem Anschlussstück auf ihren Oberflächen, mit Übergangsradius $r \geq 150$ mm und verstärkten (vollständige Durchschweißung) Endnähten	Siehe ①. Übergang des angeschlossenen Blechs durch maschinelle Bearbeitung oder Brennschneiden vor dem Schweißen, Endnähte kerbfrei durch Beschleifen in Spannungsrichtung nach dem Schweißen
56	 ④		④ Bleche und Trägerflansche unter Normalspannung mit längs zur Krafrichtung verbundenem Anschlussstück an ihren Kanten im Schweißzustand	Anschlussstück vollständig umschweißt. $\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Grundwerkstoff unter Vernachlässigung des Anschlussstücks berechnet werden.

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Sym-bol	Beschreibung	Anforderungen
Wie ④	⑤		⑤ wie zuvor, jedoch mit abgeschrägten Enden im Schweißzustand	Siehe ④.
71	⑥	End-naht; restliche Naht 	⑥ Bleche oder Trägerflansche unter Normalspannung mit längs zur Krafrichtung verbundenem Anschluss teil an ihren Kanten mit Übergangsradius $r \geq 150 \text{ mm}$	Siehe ④. Übergang des Anschluss-teils durch maschinelle Bearbeitung oder Brennschneiden vor dem Schweißen, Endnähte kerbfrei durch Beschleifen in Spannungsrichtung nach dem Schweißen
80	⑦		⑦ Bleche und Trägerflansche unter Normalspannung mit quer zur Krafrichtung verbundenem Anschluss teil auf ihren Oberflächen, im Schweißzustand:	$\Delta \sigma$ sollte mit der Normalspannung im Grundwerkstoff unter Vernachlässigung des Anschluss teils berechnet werden. Die Enden der Nähte sollten beschliffen werden, um ggf. Einbrandkerben zu entfernen.
71			$\ell \leq 50 \text{ mm}$ $50 < \ell \leq 80 \text{ mm}$	
Wie ⑦	⑧		⑧ Flansche und Stege von Walzprofilen unter Normalspannung mit eingepasster Quersteife auf ihren Oberflächen, umlaufend angeschweißt, im Schweißzustand	Siehe ⑦. Ggf. vorhandene Längs-nähte sollten mit Tabelle 10.3 nachgewiesen werden.
Wie ⑦			wie zuvor, jedoch von Blechquerschnitten (Schweißkreuzung)	

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Symbol	Beschreibung	Anforderungen
Wie ⑦				wie zuvor, jedoch mit Freischnitten umlaufend angeschweißt	
Wie ⑦				wie zuvor, jedoch nicht umlaufend angeschweißt	
Wie ⑦				⑨ Stege unter kombinierten Normal- und Schubspannungen mit Quersteife, die im Steg endet, umlaufend angeschweißt im Schweißzustand	$\Delta\sigma$ sollte mit der Hauptspannung im Steg bei Vernachlässigung der Steife berechnet werden. Die Enden der Nähte sollten beschliffen werden, um ggf. Einbrandkerben zu entfernen.
Wie ⑦				⑩ Kastenquerschnitte mit an Flanschen und/oder Stegen angeschweißten Querschotten unter Normalspannung	Siehe ⑦.

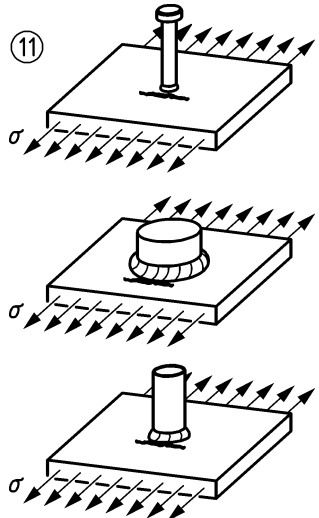
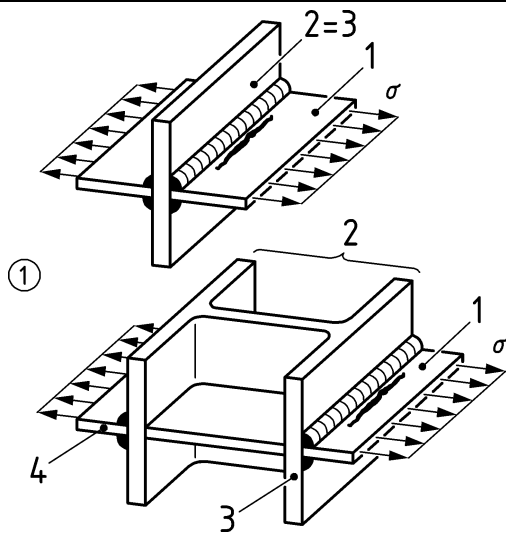
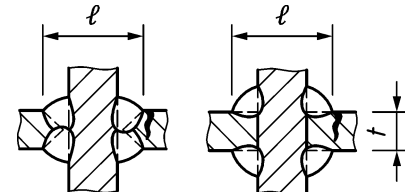
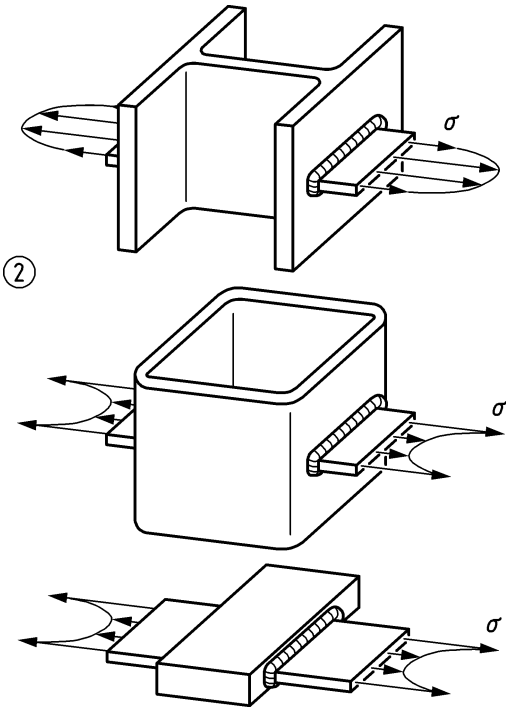
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Sym bol	Beschreibung	Anforderungen
80			⑪ Bleche, Flansche oder Stege unter Normalspannung mit kleinem Anschlussstiel (wie z. B. angeschweißte Kopfbolzen, Hülsen etc.) von beliebigem Querschnitt auf ihren Oberflächen Hinweis: Es gilt $\ell \leq 50$ mm für kleine Anschluss-teile. Siehe ⑦ für die Definition von ℓ.	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normal-spannung im Grundwerkstoff bei Vernachlässigung des kleinen An-schluss-teils berechnet werden.
ANMERKUNG Neigungsparameter $m_1 = 3$ der Ermüdungswiderstandskurve, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.				

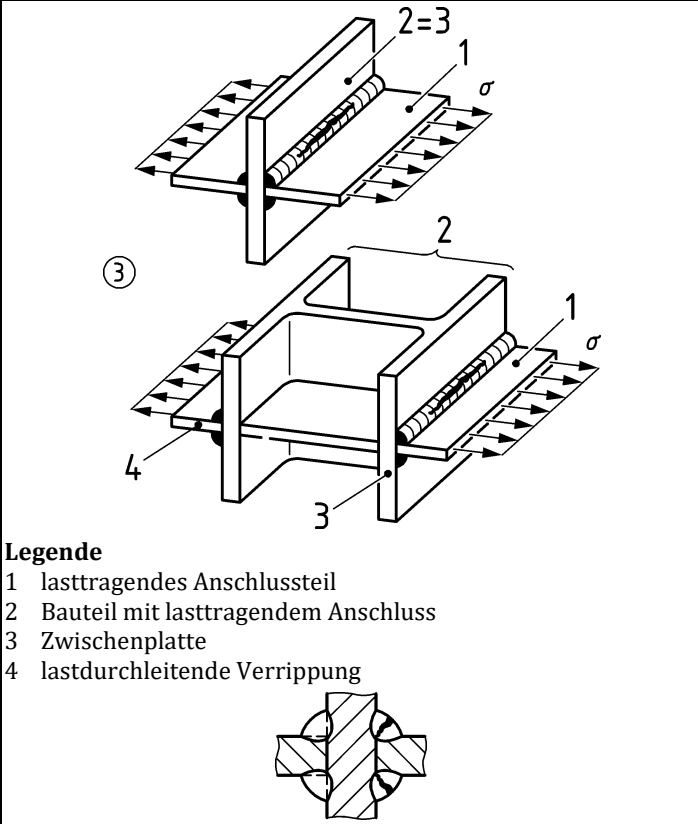
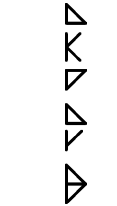
Tabelle 10.6 — Lasttragende geschweißte Anschlüsse

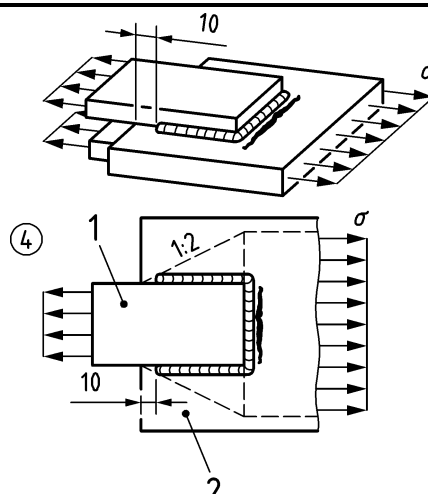
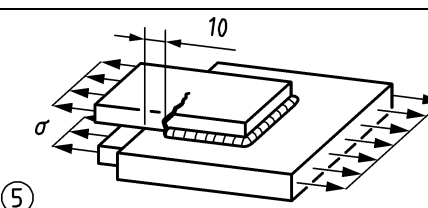
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen												
	 ① 2=3 1 σ 2 1 σ 4 3 Legende 1 lasttragendes Anschlussstück 2 Bauteil mit lasttragendem Anschluss 3 Zwischenplatte 4 lastdurchleitende Verrippung  ℓ ℓ t		① Lasttragendes Anschlussstück unter Normalspannung, dessen Spannungsverlauf nicht durch lokale Verformung des Bauteils, an welches es geschweißt ist, beeinflusst wird, siehe Anmerkung 1 zu ①, mit Nahtübergangsversagen	Δσ sollte mit der Normalspannung im lasttragendem Anschlussstück berechnet werden. Die Exzentrizität des lasttragenden Anschlussstücks (oder ggf. der lastdurchleitenden Verrippung) sollte 15 % der Dicke der Zwischenplatte nicht überschreiten. Bei lasttragenden Anschlussstücken mit nicht durchgeschweißten Stumpfnähten oder Kehlnähten sollte zusätzlich Nahtwurzelversagen mit ③ nachgewiesen werden, siehe Anmerkung 2 zu ①.												
71			<table><tr><td>ℓ ≤ 80</td><td rowspan="3">Für alle t [mm]</td></tr><tr><td>80 < ℓ ≤ 100</td></tr><tr><td>100 < ℓ ≤ 120</td></tr></table>	ℓ ≤ 80	Für alle t [mm]	80 < ℓ ≤ 100	100 < ℓ ≤ 120									
ℓ ≤ 80	Für alle t [mm]															
80 < ℓ ≤ 100																
100 < ℓ ≤ 120																
63			<table><tr><td>ℓ < 120</td><td>t ≤ 20</td></tr><tr><td>120 < ℓ ≤ 200</td><td>t > 20</td></tr><tr><td>ℓ > 200</td><td>20 < t ≤ 30</td></tr><tr><td>200 < ℓ ≤ 300</td><td>t > 30</td></tr><tr><td>ℓ > 300</td><td>30 < t ≤ 50</td></tr><tr><td>ℓ > 300</td><td>t > 50</td></tr></table>	ℓ < 120	t ≤ 20	120 < ℓ ≤ 200	t > 20	ℓ > 200	20 < t ≤ 30	200 < ℓ ≤ 300	t > 30	ℓ > 300	30 < t ≤ 50	ℓ > 300	t > 50	
ℓ < 120	t ≤ 20															
120 < ℓ ≤ 200	t > 20															
ℓ > 200	20 < t ≤ 30															
200 < ℓ ≤ 300	t > 30															
ℓ > 300	30 < t ≤ 50															
ℓ > 300	t > 50															
56																
50																
45																
40																

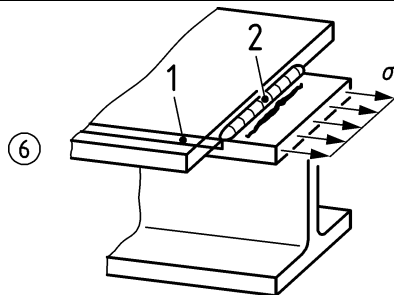
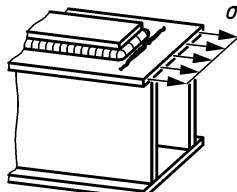
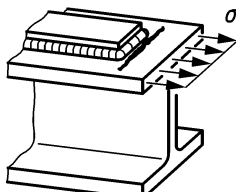
ANMERKUNG 1 zu ① Typische Beispiele: lasttragende symmetrische Anschlussstücke an gegenüberliegenden Oberflächen eines Blechs (Kreuzverbindung); lasttragende, an I-Profile oder Hohlprofile angeschweißte Anschlussstücke mit lastdurchleitender Verrippung.

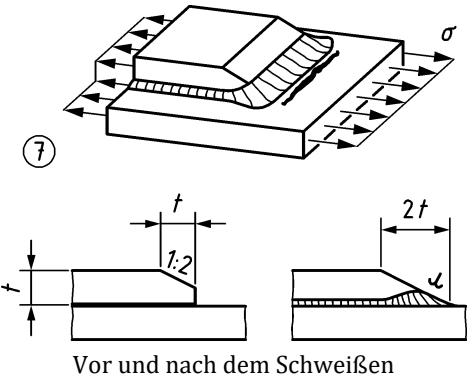
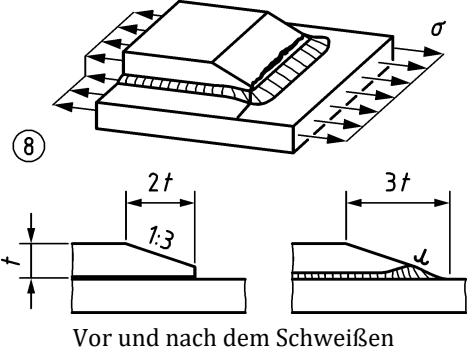
ANMERKUNG 2 zu ① Wirksam durchgeschweißte Stumpfnähte nach EN 1993-1-8 werden in Bezug auf die Ermüdung als nicht durchgeschweißte Stumpfnähte betrachtet.

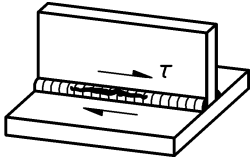
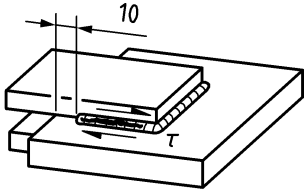
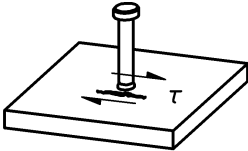
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
Wie ①		wie ①	② wie ①, jedoch wenn der Spannungsverlauf des lasttragenden Anschlussteils durch lokale Verformung des Bauteils, an welches es geschweißt ist, beeinflusst wird, siehe Anmerkung zu ②.	Siehe ①. $\Delta\sigma$ sollte mit der modifizierten Nennspannung (vgl. 7.3.3) im lasttragenden Anschlussteil berechnet werden.
ANMERKUNG zu ② Typische Beispiele: lasttragende Anschlussteile an unverteiften $\perp$ Profilen oder unverteiften Hohlprofilen; Kreuzung von Blechen in derselben Ebene, wie z. B. sich kreuzende Flansche von Haupt- und Querträgern. Diese Details entsprechen nicht der empfohlenen Praxis. Die Berechnung der modifizierten Nennspannungen für diese Details ist im Allgemeinen nicht einfach.				

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
40	 Legende 1 lasttragendes Anschlussstück 2 Bauteil mit lasttragendem Anschluss 3 Zwischenplatte 4 lastdurchleitende Verrippung		③ Lasttragendes Anschlussstück mit nicht durchgeschweißten Stumpfnähten oder Kehlnähten unter Normalspannung, dessen Spannungsverlauf nicht durch lokale Verformung des Bauteils, an welches es geschweißt ist, beeinflusst wird, siehe auch Anmerkungen zu ①, mit Nahtwurzelsversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Nennspannung in der Schweißnaht berechnet werden. Die Exzentrizität des lasttragenden Anschlussstücks (oder ggf. der lastdurchleitenden Verrippung) sollte 15 % der Dicke der Zwischenplatte nicht überschreiten. Bei großen Nahtabmessungen sollte zusätzlich Nahtübergangsversagen mit ① überprüft werden, siehe Anmerkung 2 zu ①.
			wie zuvor, jedoch wenn der Spannungsverlauf des lasttragenden Anschlussstücks durch lokale Verformung des Bauteils, an welches es geschweißt ist, beeinflusst wird, siehe auch Anmerkung zu ②.	Wie zuvor, jedoch sollte $\Delta\sigma$ mit der modifizierten Nennspannung (vgl. 7.3.3) in der Schweißnaht berechnet werden.

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
Wie ①	 Legende 1 überlappendes Blech 2 Grundblech		④ Kehlnahtgeschweißter Überlappstoß unter Normalspannung mit Versagen des Grundblechs	$\Delta\sigma$ sollte mit der in der Bild gezeigten Fläche und der Normalspannung im Grundblech berechnet werden. Die Schweißnaht sollte mindestens 10 mm vom Blechrand entfernt enden. Das Versagen im überlappenden Blech sollte mit ⑤ nachgewiesen werden. Die Schubspannung in der Schweißnaht sollte mit ⑩ nachgewiesen werden. Der Parameter ℓ in ① sollte mit der in Spannungsrichtung gemessenen Schweißnahtlänge gleichgesetzt werden.
50			⑤ Kehlnahtgeschweißter Überlappstoß unter Normalspannung mit Versagen des überlappenden Blechs	Siehe ④, jedoch sollte $\Delta\sigma$ mit der Normalspannung in den überlappenden Blechen berechnet werden.

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung		Anforderungen			
	 ⑥	△	⑥ Ein- oder mehrteilige Gurtplatten auf Flanschen von Walz- und Blechträgern, mit Plattenlänge ≥ 300 mm, mit oder ohne stirnseitige Quernaht ANMERKUNG Siehe ① zum Größeneinfluss kürzerer Gurtplatten.		Wenn die Gurtplatte breiter als der Flansch ist, so sollte eine stirnseitige Quernaht ausgeführt werden. Die Schweißnaht sollte geschliffen werden, um die Einbrandkerben zu entfernen.			
56	Legende 1 Längsnaht 2 stirnseitige Quernaht 		$t_c < t$ [mm]	$t_c \geq t$ [mm]				
50			$t \leq 20$	–				
45			$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$				
40			$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$				
36			$t > 50$	$30 < t \leq 50$				
			–	$t > 50$				

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80	 ⑦ Vor und nach dem Schweißen	 Endnaht	⑦ Einteilige Gurtplatte auf Flanschen von Walz- und Blechträgern, mit Plattenlänge ≥ 300 mm, mit verstärkter stirnseitiger Quernaht; abgeschrägt mit Neigung 1 : 2	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Flansch berechnet werden. Oberfläche der stirnseitigen Quernaht geschliffen, Nahtübergänge kerbfrei bearbeitet.
80	 ⑧ Vor und nach dem Schweißen		⑧ wie ⑦, jedoch abgeschrägt mit Neigung 1:3	

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80 $m_1 = 5$			⑨ Schubübertragende Anschlüsse mit durchgehenden Kehlnähten und teilweise durchgeschweißten Stumpfnähten	Bei Querkraftbeanspruchung von Stegen sollte Gleichung (8.25) von EN 1993-1-1 zur Berechnung von $\Delta\tau$ unabhängig von der Querschnittsklasse verwendet werden. Spannungskonzentrationen aufgrund von makrogeometrischen Einflüssen sollte berücksichtigt werden.
100 $m_1 = 5$			wie zuvor, jedoch mit durchgeschweißten Stumpfnähten ANMERKUNG Wirksam durchgeschweißte Stumpfnähte nach EN 1993-1-8 werden als teilweise durchgeschweißte Stumpfnähte für Ermüdung betrachtet.	$\Delta\tau$ sollte mit der Schubspannung in der Schweißnaht berechnet werden.
80 $m_1 = 5$			⑩ Kehlnahtgeschweißter Überlappstoß unter Schubspannung mit Nahtwurzelversagen	Wie für ④, jedoch sollte $\Delta\tau$ mit der Schubspannung in der Schweißnaht unter Berücksichtigung der gesamten Schweißnahtlänge berechnet werden.
90 $m_1 = 8$, siehe EN 1994, Teil 2			⑪ Geschweißte Kopfbolzen in Verbundkonstruktionen unter Schubspannung	$\Delta\tau$ sollte am Querschnitt des Kopfbolzens berechnet werden. Siehe EN 1994-2.

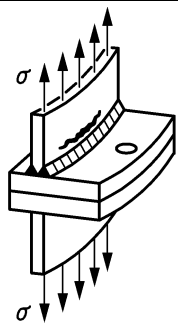
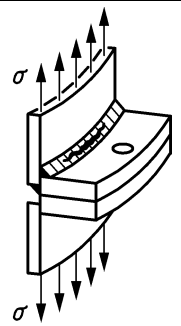
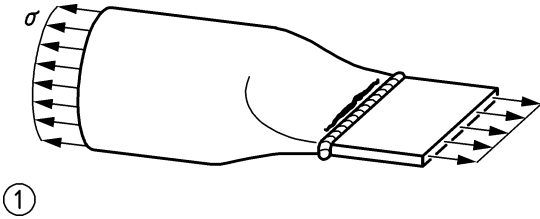
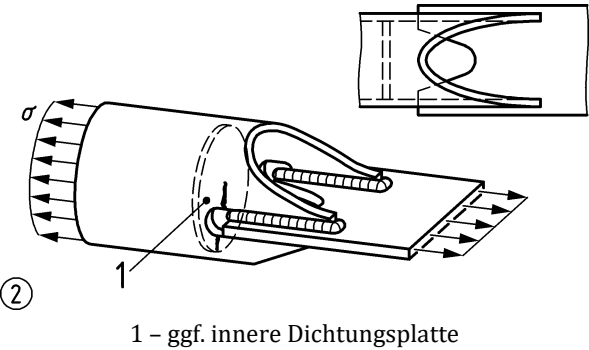
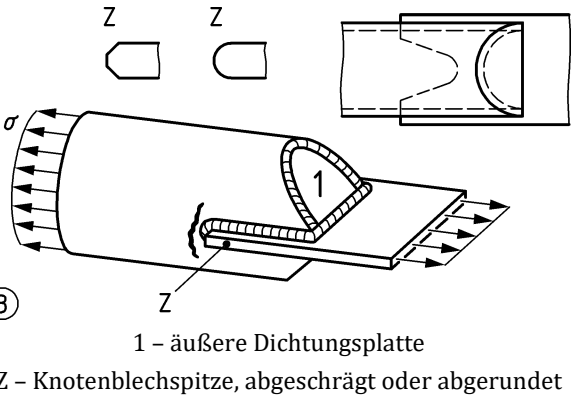
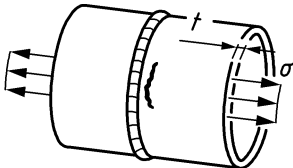
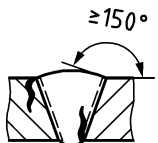
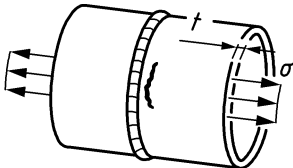
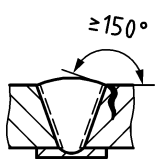
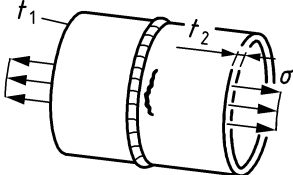
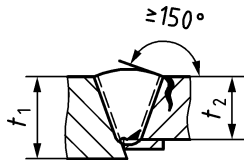
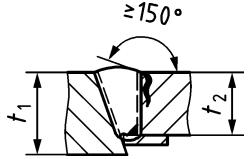
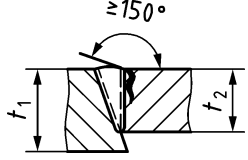
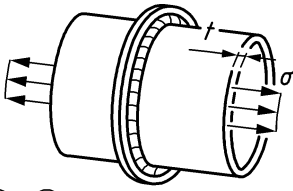
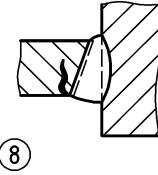
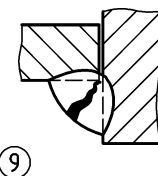
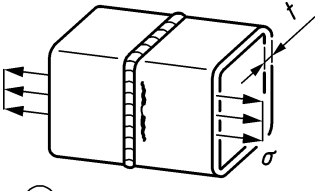
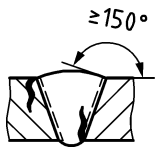
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
71			⑫ Ringflanschverbindung mit durchgeschweißten Nähten, bei der der Spannungsverlauf des tragenden Bauteils durch lokale Verformung des angeschweißten Ringflanschs beeinflusst wird	$\Delta\sigma$ sollte mit der modifizierten Nennspannung (vgl. 7.3.3) im tragenden Bauteil berechnet werden. Die Schrauben sollten mit ⑥ aus Tabelle 10.2 nachgewiesen werden.
36			⑬ wie zuvor, jedoch mit Kehlnähten	Wie für ⑫, jedoch sollte $\Delta\sigma$ mit der modifizierten Nennspannung (vgl. 7.3.3) in der Schweißnaht berechnet werden.
ANMERKUNG Neigungsparameter ist $m_1 = 3$ der Ermüdungsfestigkeitskurve, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.				
Für ⑪ bei Feuerverzinkung sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.2 verwendet werden.				

Tabelle 10.7 — Hohlprofile

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
71	 ①	X	① Hohlprofil-Blech-Verbindung mit abgeflachtem Hohlprofil mit $\varnothing \leq 200$ mm und Wandstärke $t \leq 12,5$ mm	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden.
45	 ② 1 – ggf. innere Dichtungsplatte		② Hohlprofil-Blech-Verbindung, mit geschlitztem Hohlprofil, Loch am Schlitzende, Hohlprofil abgeschrägt mit Neigung $\alpha \leq 45^\circ$ und Knotenblech mit halbkreisförmigem Ausschnitt	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Nettoquerschnitt des Hohlprofils berechnet werden mit $A_{\text{net}} = A - 2 d_H$ d_H = Lochdurchmesser am Schlitzende. Die Schweißnähte unter Schubspannung sollten mit ⑨ aus Tabelle 10.6 nach-gewiesen werden.
56	 ③ 1 – äußere Dichtungsplatte Z – Knotenblechspitze, abgeschrägt oder abgerundet		③ Hohlprofil-Blech-Verbindung, mit geschlitztem Hohlprofil, mit durchgeschweißten Nähten Hohlprofil abgeschrägt mit Neigung $\alpha \leq 45^\circ$, Knotenblech mit halbkreisförmigem Ausschnitt und abgerundeter Knotenblechspitze, äußere Dichtungsplatte zum Korrosionsschutz (Kehlnaht)	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden. Die Dichtungsplatte sollte nach der Ausführung der Hohlprofil-Blech-Verbindung geschweißt werden, um ZFP der durchgeschweißten Nähte zu ermöglichen.
50			wie zuvor, jedoch mit nicht durchgeschweißten Nähten, Knotenblech mit halbkreisförmigem Ausschnitt und abgerundeter oder abgeschrägter Knotenblechspitze	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden.
36			wie zuvor, jedoch mit Kehlnähten	

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
50	④ 1 – äußere Dichtungsplatte Z – Knotenblechspitze, abgeschrägt oder abgerundet		④ Hohlprofil-Blech-Verbindung, mit geschlitztem Hohlprofil, Hohlprofil nicht abgeschrägt, Knotenblech mit halbkreisförmigem Ausschnitt und abgerundeter oder abgeschrägter Knotenblechspitze, äußere Dichtungsplatte zum Korrosionsschutz (Kehlnaht)	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden.
36			wie zuvor, jedoch mit Kehlnähten	
71	⑤		⑤ Schweißverbindung zwischen einem rundem oder rechteckigem Hohlprofil und einem anderen Profil mit Kehlnähten, unter Normalspannung im durchgehenden Hohlprofil mit einer Dicke $t \leq 12,5$ mm	Breite parallel zur Krafrichtung $\ell \leq 100$ mm, sonst wie längs zur Krafrichtung verbundenes Anstussteil, siehe Tabelle 10.5.

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Symbol	Beschreibung	Anforderungen
71			✓	⑥ Durchgeschweißte Stumpfstöße in kreisförmigen Hohlprofilen, einseitig geschweißt mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$, Wanddicke $12,5 < t \leq 20$ mm	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden. Geschweißt in Schweißposition PA oder PB nach EN ISO 6947.
90				wie zuvor, jedoch Wanddicke $8 < t \leq 12,5$ mm	
71				wie zuvor, jedoch Wanddicke $t \leq 8$ mm	
71 $m_1 = 5$	⑥ 		⊠	wie zuvor, jedoch mit Badsicherung, Wanddicke $20 < t \leq 60$ mm	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden. Geschweißt in Schweißposition PA, PB, PC oder PF nach EN ISO 6947. Bei einer dauerhaften Badsicherung sollten die Heftnähte innerhalb der Nahtvorbereitung angebracht werden.
71 $m_1 = 5$	⑦ 		⊠	⑦ Durchgeschweißte Stumpfstöße in kreisförmigen Hohlprofilen unterschiedlicher Wandstärke, einseitig geschweißt mit Badsicherung, mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$, Wanddicke $20 < t_i \leq 60$ mm, $t_2/t_1 > 0,6$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil mit der kleineren Wanddicke berechnet werden. Geschweißt in Schweißposition PA, PB, PC oder PF nach EN ISO 6947. Bei einer dauerhaften Badsicherung sollten Heftschnähte innerhalb der Badsicherung gesetzt werden.
			⊠		
			∠	wie zuvor, jedoch ohne Badsicherung	

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Symbol	Beschreibung	Anforderungen
56			✓	⑧ Stumpfstöße in kreisförmigen Hohlprofilen mit Zwischenblech, Wanddicke $8 < t \leq 12,5$ mm, mit durchgeschweißten Stumpfnähten, mit Nahtübergangsversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden.
50				wie zuvor, jedoch mit Wanddicke $t \leq 8$ mm	
45				⑨ wie ⑧ mit $8 < t \leq 12,5$ mm, jedoch mit Kehlnähten oder nicht durchgeschweißten Stumpfnähten, mit Nahtwurzelversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Schweißnahtspannung berechnet werden. Bei großen Nahtabmessungen sollte zusätzlich Nahtübergangsversagen mit ⑧ überprüft werden, siehe Anmerkung 1.
40				wie zuvor, jedoch mit Wanddicke $t \leq 8$ mm	
71			✓	⑩ Durchgeschweißte Stumpfstöße in rechteckförmigen Hohlprofilen, einseitig geschweißt mit Nahtwinkel $\geq 150^\circ$, Wanddicke $8 < t \leq 12,5$ mm	$\Delta\sigma$ sollte der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden. Geschweißt in Schweißposition PA oder PB nach EN ISO 6947.
56				wie zuvor, jedoch mit Wanddicke $t \leq 8$ mm	

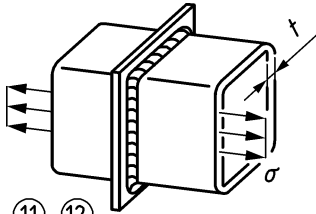
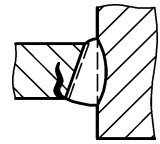
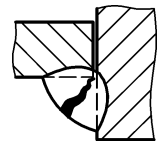
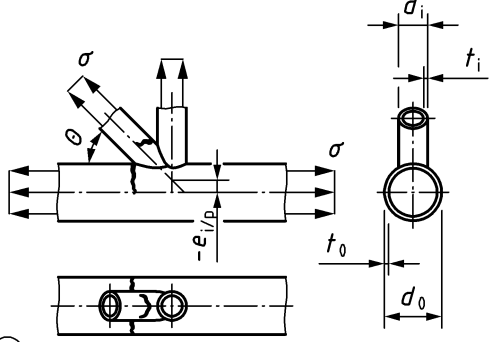
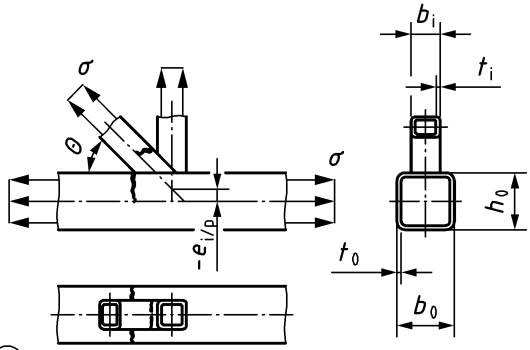
Kerbfall	Konstruktionsdetail		Symbol	Beschreibung	Anforderungen
50			✓	⑪ Stumpfstöße in rechteckförmigen Hohlprofilen mit Zwischenblech, Wanddicke $8 < t \leq 12,5$ mm, mit durchgeschweißten Stumpfnähten, mit Nahtübergangsversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Hohlprofil berechnet werden.
45				wie zuvor, jedoch mit Wanddicke $t \leq 8$ mm	
40				⑫ wie ⑪ mit $8 < t \leq 12,5$ mm, jedoch mit Kehlnähten oder nicht durchgeschweißten Stumpfnähten, mit Nahtwurzelsversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Schweißnahtspannung berechnet werden. Bei großen Nahtabmessungen sollte zusätzlich Nahtübergangsversagen mit ⑪ überprüft werden, siehe Anmerkung 1.
36				wie zuvor, jedoch mit Wanddicke $t \leq 8$ mm	
ANMERKUNG 1 Bei nicht durchgeschweißten Stumpfnähten oder Kehlnähten ist für normale Schweißnahtgrößen $a \leq t$ Nahtwurzelsversagen zu erwarten, wie es für ⑨ und ⑫ angenommen wird. Bei größeren Schweißnahtabmessungen kann auch Nahtübergangsversagen auftreten. Wirksam durchgeschweißte Stumpfnähte nach EN 1993-1-8 werden in Bezug auf die Ermüdung als nicht durchgeschweißte Stumpfnähte betrachtet.					
ANMERKUNG 2 Neigungsparameter ist $m_1 = 3$ der Ermüdungsfestigkeitskurve, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.					

Tabelle 10.8 — Fachwerkknoten aus Hohlprofilen

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Sym-bol	Beschreibung	Anforderungen
90 $m_1 = 5$			① K- und N-Knoten mit Spalt aus kreisförmigen Hohlprofilen mit $t_i / t_0 \leq 0,5$ für alle t_i und t_0	Gurte und Streben sollten unter Berücksichtigung der Sekundärbiegung nach Tabelle D.2. getrennt nachgewiesen werden.
71 $m_1 = 5$			wie zuvor, jedoch mit $0,5 < t_i / t_0 \leq 0,7$ für $t_0 \leq 10$ mm	Für Kehlnähte siehe Anmerkung 1.
63 $m_1 = 5$			wie zuvor, jedoch mit $0,5 < t_i / t_0 \leq 0,7$ für $t_0 > 10$ mm	— Maße: $35^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$; $4 < t_0 \leq 20$ mm; $4 < t_i \leq 20$ mm;
36 $m_1 = 5$			wie zuvor, jedoch mit $0,7 < t_i / t_0 \leq 1,0$ für alle t_i und t_0	$d_0 / t_0 \cdot t_0 / t_i \leq 40$; $d_0 \leq 325$ mm; $0,3 \leq d_i / d_0 \leq 0,67$ — Exzentrizität in Fachwerkebene: $-0,5 d_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25 d_0$ — Exzentrizität aus Fachwerkebene: $e_{o/p} \leq 0,02 d_0$ — Stahl: $f_{y,0}$ und $f_{y,i} \leq 700$ N/mm ² — Spalt: $g \geq 2 t_i$
71 $m_1 = 5$			② K- und N-Knoten mit Spalt aus rechteckigen Hohlprofilen mit $t_i / t_0 \leq 0,5$	Gurte und Streben sollten unter Berücksichtigung der Sekundärbiegung nach Tabelle D.2. getrennt nachgewiesen werden.
36 $m_1 = 5$			wie zuvor, jedoch mit $t_i / t_0 = 1,0$	Die Kerbfälle sollten für $0,5 \leq t_i / t_0 \leq 1,0$ linear interpoliert werden. Kehlnähte mit $a = t_i$ — Maße: $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$; $t_0 \leq 20$ mm; $t_i \leq 20$ mm; $b_0 / t_0 \cdot t_0 / t_i \leq 25$; $b_0 \leq 200$ mm; $0,4 \leq b_i / b_0 \leq 1,0$; — Exzentrizität in Fachwerkebene: $-0,5 h_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25 h_0$ — Exzentrizität aus Fachwerkebene: $e_{o/p} \leq 0,02 b_0$ — Stahl: $f_{y,0}$ und $f_{y,i} \leq 700$ N/mm ² — Spalt: $0,5 (b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1 (b_0 - b_i)$ und $g \geq 2 t_0$

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Sym-bol	Beschreibung	Anforderungen
71 $m_1 = 5$			③ Überlappende K-Knoten aus kreisförmigen oder rechteckigen Hohlprofilen mit $t_i / t_0 \leq 0,7$	Gurte und Streben sollten unter Berücksichtigung der Sekundär-biegung nach Tabelle D.2. getrennt nachgewiesen werden.
56 $m_1 = 5$			wie zuvor, jedoch mit $t_i / t_0 = 1,0$	Die Kerbfälle sollten für $0,7 \leq t_i / t_0 \leq 1,0$ linear interpoliert werden. Kehlnähte mit $a = t_i$ - Maße: $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$; t_0 und $t_i \leq 8 \text{ mm}$; b_0 und $d_0 \leq 200 \text{ mm}$; $0,4 \leq b_i/b_0 \leq 1$; $0,25 \leq d_i/d_0 \leq 1$; $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$; $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$; - Exzentrizität in Fachwerkebene: $-0,5h_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25 h_0$ $-0,5d_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25 d_0$ - Exzentrizität aus Fachwerkebene: $e_{o/p} \leq 0,02 b_0$ oder $\leq 0,02 d_0$ - Überlappung: $30 \% \leq \text{Überlappung} \leq 100 \%$ $\text{Überlappung} = (q/p) \times 100\%$ Siehe Anmerkung 2 für die Definition von p und q.
Schweißnähte sind in diesen Bildern nicht dargestellt.				

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Sym-bol	Beschreibung	Anforderungen
71 $m_1 = 5$	 ④		④ Überlappende N-Knoten aus kreisförmigen oder rechteckigen Hohlprofilen mit $t_i / t_0 \leq 0,7$	Siehe ③
50 $m_1 = 5$	 ④		wie zuvor, jedoch mit $t_i / t_0 = 1,0$	
Schweißnähte sind in diesen Bildern nicht dargestellt.				

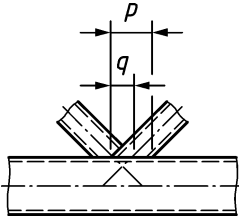
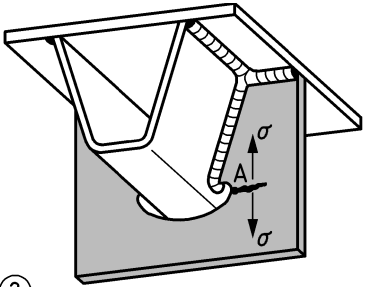
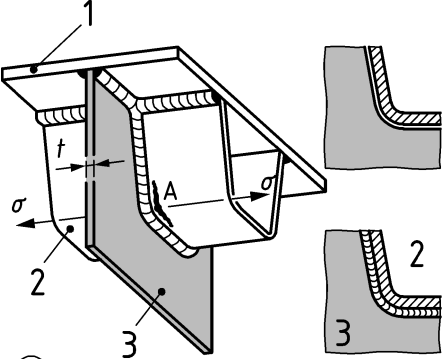
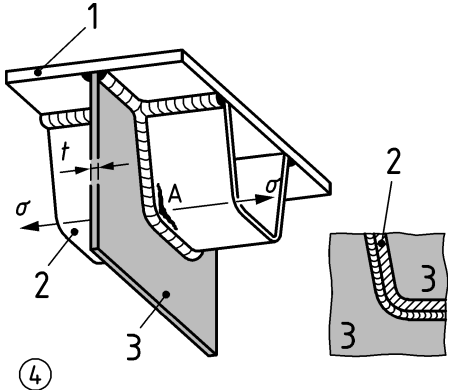
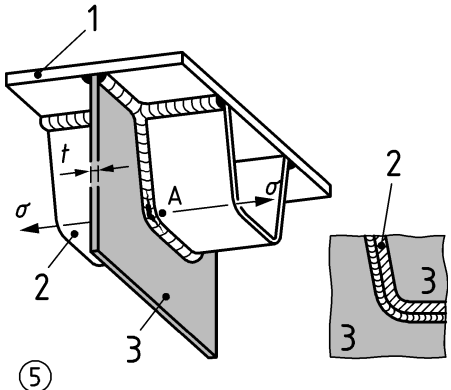
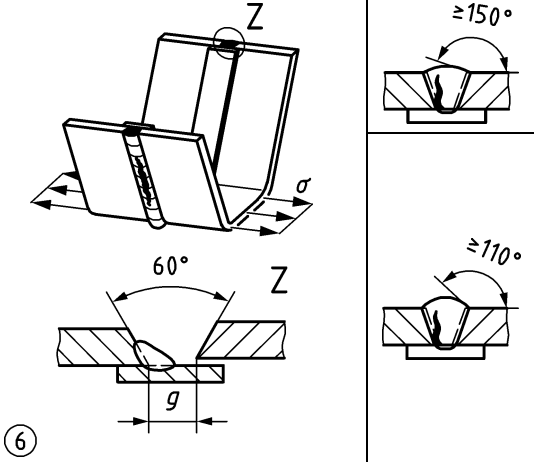
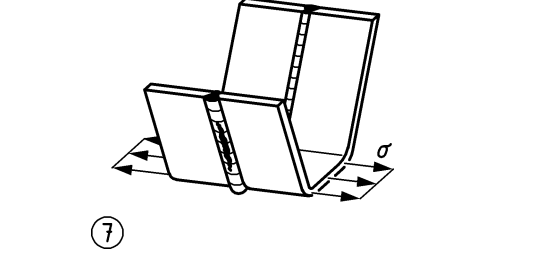
Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Sym-bol	Beschreibung	Anforderungen
ANMERKUNG 1	Kehlnähte sind zulässig. Bei kehlnahtgeschweißten K-Knoten mit Wanddicken $t_i > 8$ mm kann es zu Schweißnahtversagen kommen.			
ANMERKUNG 2	Definition von p und q für überlappende Verbindungen.			
				
ANMERKUNG 3	Die Anwendung des Strukturspannungskonzepts (siehe Anhang sB) kann zu einer effizienteren Auslegung führen.			

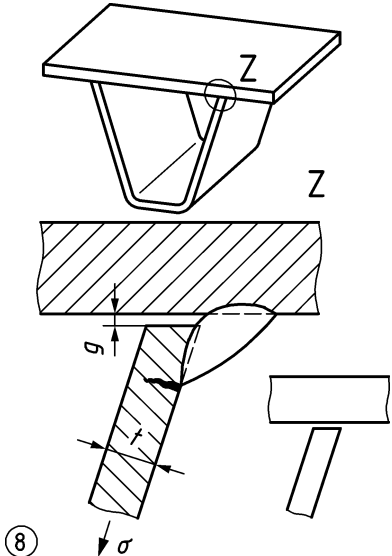
Tabelle 10.9 — Orthotrope Platten – geschlossene Längssteifen

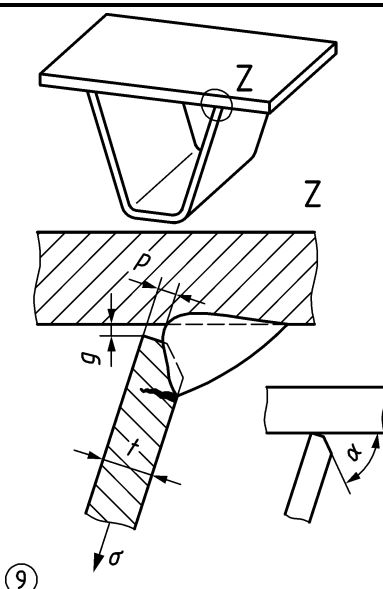
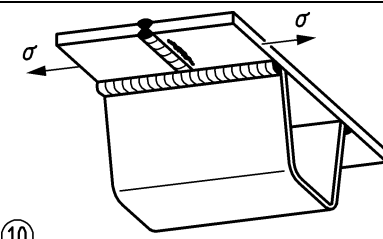
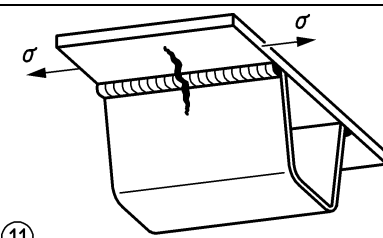
Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80	Legende 1 Deckblech 2 durchgehende Längssteife 3 Querträger 4 vergrößerter Ausschnitt I vor dem Schweißen II nach dem Schweißen		① Verbindung zwischen durchgehender Längssteife und Querträger mit vergrößertem Querträgerausschnitt unter Normalspannung in der Steife, Versagen der Steife, Querträgerstegdicke $t \leq 12 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normal-spannung im Steg der Steife in der Nähe der Unterkante der Schweißnaht zwischen Querträger und Steife (Punkt „A“) berechnet werden. Die Abmessungen b, c, c_e, r_1, r_u und w_t für die Form des vergrößerten Aus-schnitts sind im Anhang C der EN 1993-2 angegeben.
71			wie zuvor, jedoch mit Querträgerstegdicke $t > 12 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Steg der Steife in der Nähe der Unterkante der Schweißnaht zwischen Querträger und Steife berechnet werden.
			wie zuvor, jedoch mit vergrößerter Ausschnittsform nach Bild C.13 oder Bild C.14 nach EN 1993-2	

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
71		—	② Verbindung zwischen durchgehender Längssteife und Querträger mit vergrößertem Querträgerausschnitt unter Normalspannung im Querträger, Querträgerversagen am freien Rand des vergrößerten Ausschnitts	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normal-spannung im kritischen Querschnitt (Punkt „A“) des als Vierendeelträger modellierten Querträgers nach 9.4.2 von EN 1993-2 berechnet werden.
Wie ①	 Legende 1 Deckblech 2 durchgehende Längssteife 3 Querträger - I vor dem Schweißen - II nach dem Schweißen	▷	③ wie ①, jedoch mit passgenauem Ausschnitt im Querträger	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normal-spannung im unteren Flansch der Steife (Punkt „A“) berechnet werden.

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
71	 ④ Legende 1 Deckblech 2 nicht durchgehende Steife 3 Querträger	✓	④ Verbindung zwischen nicht durchgehender Längssteife und Querträger (Querträger unterteilt Steifen) unter Normalspannung in der Steife, mit durchgeschweißten Stumpfnähten, Versagen der Steife	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung in unterem Flansch der Steife berechnet werden.
36	 ⑤	✓△	⑤ wie ④, jedoch mit Kehlnähten oder nicht durchgeschweißten Stumpfnähten, Nahtwurzelsversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Schweißnahtspannung berechnet werden.

Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
100			⑥ Stumpfstoß in der Längssteife unter Normalspannung, einseitig geschweißt mit dauerhafter Badsicherung, Spalt zwischen den Schweißkanten $g > 6 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im unteren Flansch der Steife berechnet werden. Heftnähte sollten innerhalb der Nahtvorbereitung angebracht werden.
71			wie zuvor, jedoch $4 \text{ mm} \leq g \leq 6 \text{ mm}$	
36			wie zuvor, jedoch $g < 4 \text{ mm}$	
112		wie ① in Tabelle 10.4	⑦ Stumpfstoß in der Längssteife unter Normalspannung, beidseitig geschweißt	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im unteren Flansch der Steife berechnet werden. Siehe ①, ② oder ③ in Tabelle 10.4.
90		wie ② in Tabelle 10.4		
80		wie ③ in Tabelle 10.4		

Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
63			⑧ Anschluss zwischen Längssteife und Deckblech unter Normalspannung im Steg bei Berücksichtigung der lokalen Biegung, Kehlnaht mit $a \geq t$, Längssteife angefast, Schweißspalt von $g \leq 0,5 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normal-spannung im Steg der Steife an der Stelle der Verbindung berechnet werden. Berechnungsmodell für lokale Biegung nach EN 1993-2.

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
100		∇ teilweise Durchschweißung in Prozent: Einbrand PJP = $100(t - p/t)$ $75 \leq \text{PJP} \leq 95 \%$	⑨ Anschluss zwischen Längssteife und Deckblech Normalspannung im Steifensteg automatische nicht durchgeschweißte Naht mit Dicke $a \geq t$, Steife mit Nahtvorbereitung, Schweißspalt von $g \leq 0,5 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Steg der Steife an der Stelle der Verbindung berechnet werden. Berechnungsmodell für lokale Biegung nach EN 1993-2. Durchbrand sollte nicht auftreten.
90			wie zuvor, jedoch manuelle nicht durchgeschweißte Naht mit eingeschlossenem Winkel $\alpha \geq 50^\circ$	
50			wie zuvor, jedoch mit Schweißspalt von $0,5 \text{ mm} \leq g \leq 2 \text{ mm}$	
112		wie ① in Tabelle 10.4	⑩ Deckblechstoß in Längs- oder Querrichtung, unter Normalspannung, beidseitig geschweißt	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Deckblech berechnet werden. Siehe ①, ② oder ③ in Tabelle 10.4.
90		wie ② in Tabelle 10.4		
80		wie ③ in Tabelle 10.4		
112		wie ①/112 Tabelle 10.3	⑪ Anschluss zwischen Deckblech und Steg der Längssteifen, unter Normalspannung	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Deckblech an der Stelle des Anschlusses berechnet werden. Siehe ①, ③ oder ⑥ in Tabelle 10.3.
100		wie ③ in Tabelle 10.3		
		wie ⑥ in Tabelle 10.3		

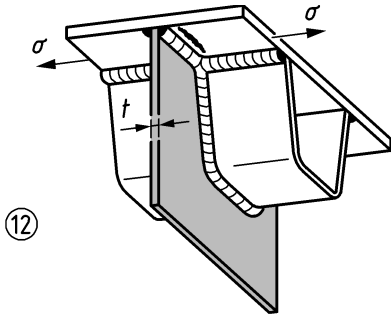
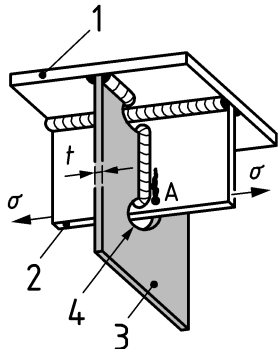
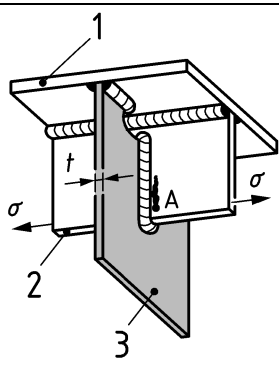
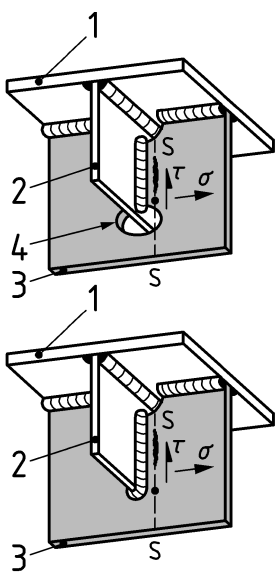
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80			⑫ Anschluss zwischen Deckblech und Steg des Querträgers, unter Normalspannung im Deckblech, Querträgerstegdicke $t \leq 12$ mm	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung im Deckblech an der Stelle des Querträgerstegs berechnet werden.
71			wie zuvor, jedoch mit $t > 12$ mm	
ANMERKUNG 1 Neigungsparameter ist $m_1 = 3$ der Ermüdungsfestigkeitskurve, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.				
Für ⑦ und ⑩ mit Symbolvermerk „wie ① in Tabelle 10.4“ sollte bei Feuerverzinkung der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.2 verwendet werden.				

Tabelle 10.10 — Orthotrope Platten – offene Längssteifen

Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
80	 ① Legende 1 Deckblech 2 durchgehende Steife 3 Querträger 4 vergrößerter Ausschnitt		① Anschluss zwischen durchgehender Längssteife und Querträger unter Normalspannung in Steife, mit vergrößertem Querträgerausschnitt, Querträgerstegdicke $t \leq 12 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ sollte mit der Normalspannung in der Steife in der Nähe der Unter-kante der vertikalen Schweißnaht zwischen dem Querträger und der Steife (Punkt „A“) berechnet werden.
71			wie zuvor, jedoch Querträgerstegdicke $t > 12 \text{ mm}$	
Wie ①	 ②	wie ①	② Anschluss zwischen durchgehender Längssteife und Querträger wie ①, jedoch mit passgenauem Ausschnitt im Querträger	Siehe ①.
56	 ③		③ Anschluss zwischen durchgehender Längssteife und Querträger unter Normal- und Schubspannung im Querträger, mit Nahtübergangsversagen	$\Delta\sigma_{eq}$ sollte durch Kombination der Normalspannung σ und der Schubspannung τ im Steg des Querträgers an der kritischen Stelle des Querschnitts „S“ wie folgt berechnet werden: $\Delta\sigma_{eq} = 0,5 \left[\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2} \right]$ mit $\sigma = M_S / W_{net,S}$ $\tau = V_S / A_{w,net,S}$ Dabei ist $W_{net,S}$ das Widerstandsmoment des Nettoquerschnitts; $A_{w,net,S}$ die Nettoquerschnittsfläche des Stegs; M_S das Schnittmoment; V_S die Querkraft.

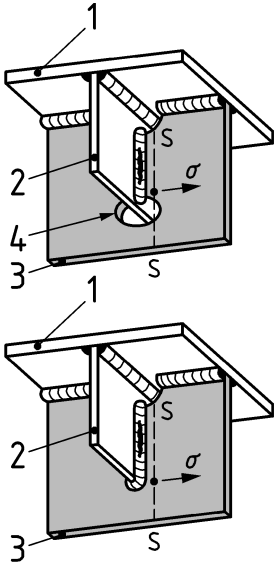
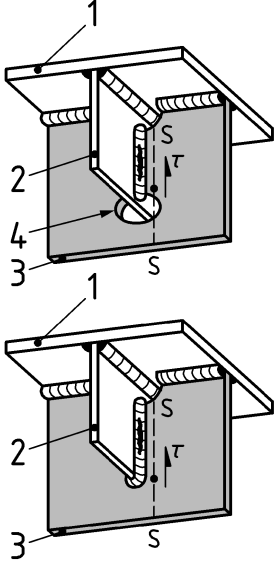
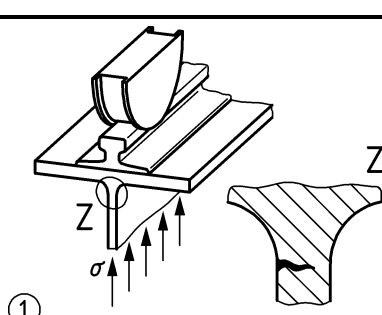
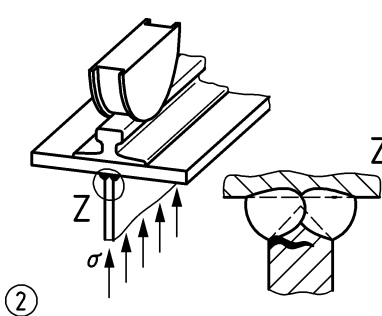
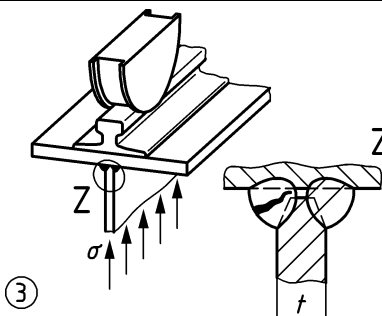
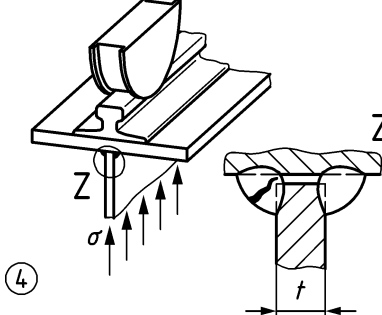
Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
36	 ④ Legende 1 Deckblech 2 durchgehende Steife 3 Querträger 4 vergrößerter Ausschnitt	▷	④ Anschluss zwischen durchgehender Längssteife und Querträger unter Normalspannung im Querträger, mit Nahtwurzelversagen	$\Delta\sigma$ sollte mit der Schweißnahtspannung σ_w infolge des inneren Moments an der kritischen Stelle ,S' wie folgt berechnet werden: $\sigma_w = \sigma t / (2a)$ Dabei ist σ die Normalspannung im Querträgersteg, siehe ③; t die Stegdicke des Querträgers; a die Nahtdicke.
80 $m_1 = 5$	 ⑤ Legende 1 Deckblech 2 durchgehende Steife 3 Querträger 4 vergrößerter Ausschnitt	▷	⑤ Anschluss zwischen durchgehender Längssteife und Querträger, unter Schubspannung im Querträger, mit Nahtwurzelversagen	$\Delta\tau$ sollte mit der Schubspannung τ_w in der Schweißnaht infolge der Querkraft an der kritischen Stelle des Querschnitts ,S' wie folgt berechnet werden: $\tau_w = \tau t / (2a)$ Dabei ist τ die Schubspannung im Querträgersteg, siehe ③; t die Stegdicke des Querträgers; a die Nahtdicke.
ANMERKUNG 1 Neigungsparameter der Ermüdungsfestigkeitskurve $m_1 = 3$, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.				

Tabelle 10.11 — Konstruktionsdetails von Kranbahnträgern

Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
160		Keins	① Flansch-Steg-Verbindung mit Radlasteinleitung in Walzprofilen	$\Delta\sigma$ sollte mit der vertikalen Druckspannung im Steg infolge der Radlasten nach 7.6.2 von EN 1993-6 berechnet werden.
100			② Geschweißte Flansch-Steg-Verbindung mit Radlasteinleitung, mit durchgehenden durchgeschweißten Stumpfnähten ANMERKUNG Wirksam durchgeschweißte Stumpfnähte nach EN 1993-1-8 werden als nicht durchgeschweißte Stumpfnähte für Ermüdung betrachtet.	
50			③ Geschweißte Flansch-Steg-Verbindung, mit Radlasteinleitung, mit durchgehenden nicht durchgeschweißten Stumpfnähten und Nahtdicke $a \leq 0,7 t$	$\Delta\sigma$ sollte mit der vertikalen Druckspannung in den Schweißnähten infolge der Radlasten nach 7.6.2 von EN 1993-6 berechnet werden. Für große Schweißnähte mit $a > 0,7 t$ sollte $\Delta\sigma$ mit der Spannung im Steg berechnet werden.
50			④ Geschweißte Flansch-Steg-Verbindung mit Radlasteinleitung, mit durchgehender Doppelkehlnaht und Nahtdicke $a \leq 0,7 t$	ANMERKUNG Bei größeren Nahtdicken kann es zusätzlich zu Nahtübergangsversagen kommen.

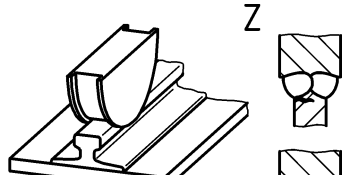
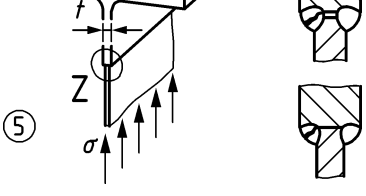
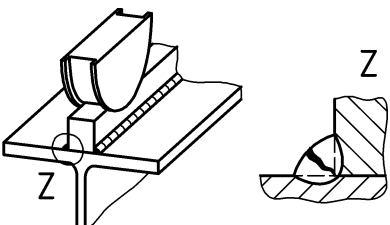
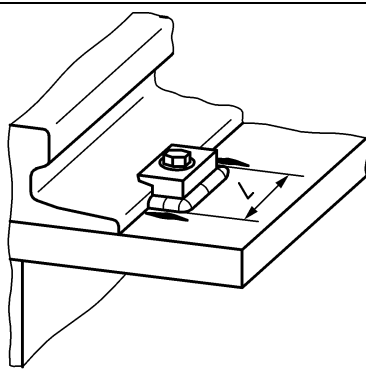
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Anforderungen
100			⑤ Geschweißte Verbindung zwischen T-Profil-Flansch und Steg mit Radlasteinleitung, mit durchgehenden durchgeschweißten Stumpfnähten, siehe Anmerkung zu ②.	Siehe ②.
50			wie zuvor, jedoch mit durchgehenden nicht durchgeschweißten Stumpfnähten und Nahtdicke $a \leq 0,7 t$	Siehe ③ und ④.
			wie zuvor, jedoch mit durchgehender Doppelkehlnaht und Nahtdicke $a \leq 0,7 t$	
56			⑥ Kranschinen als warmgewalzte Flach- oder Vierkantstähle mit Radlasteinleitung, befestigt am Obergurt über einem Steg mittels durchgehender Schienenschweißnähten	$\Delta\sigma$ sollte mit der vertikalen Druckspannung in den Schienenschweißnähten infolge von Radlasten nach 7.8.2 von EN 1993-6 berechnet werden.
			⑦ Am oberen Flansch angeschweißte Schienenklemmen, die nicht direkt der Ermüdungseinwirkung infolge des Krans ausgesetzt sind	$\Delta\sigma$ sollte mit der Längsnormalspannung im oberen Flansch berechnet werden.
	$L = \text{Abstand der Schweißnähte [mm]}$			
80	$L \leq 50$, alle t			
71	$50 < L \leq 80$, alle t			
63	$80 < L \leq 100$, alle t			
56	$100 < L \leq 120$, alle t			
	$L > 120$, $t \leq 20$			
50	$120 < L \leq 200$, $t > 20$			
112	alle		wie zuvor, jedoch bei einfeldrigen Kranbahnträgern	
ANMERKUNG Neigungsparameter der Ermüdungsfestigkeitskurve $m_1 = 3$, sofern der Kerbfall nichts anderes festlegt.				
Für ① bei Feuerverzinkung sollte der nächst niedrigere Kerbfall aus Bild 8.1 verwendet werden.				

Tabelle 10.12 — Konstruktionsdetails von Türmen, Masten und Schornsteinen

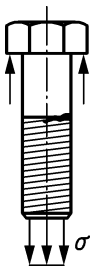
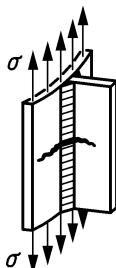
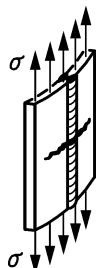
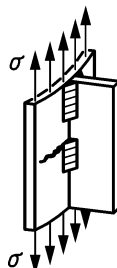
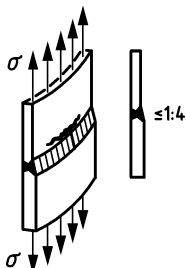
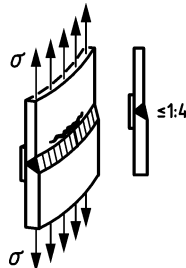
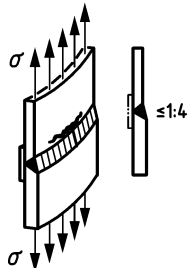
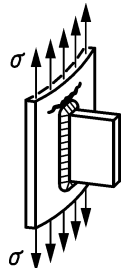
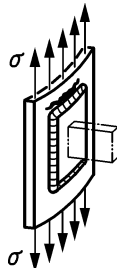
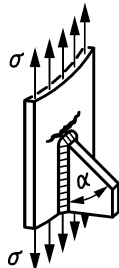
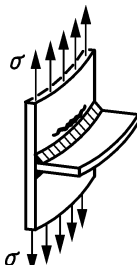
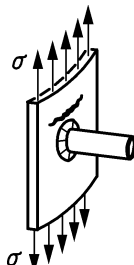
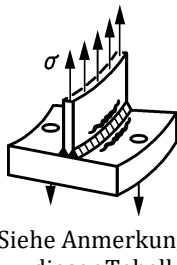
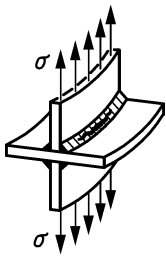
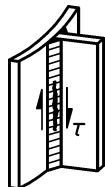
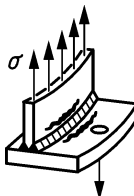
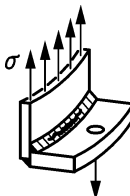
Nr.	1	2	3	4	5
Beschreibung					
Kerbfall	Tabelle 10.2: ⑥	Tabelle 10.3: ①	Tabelle 10.3: ⑤	Tabelle 10.3: ⑦	Tabelle 10.4: ⑱⑲
Nr.	6	7	8	9	10
Beschreibung					
Kerbfall	Tabelle 10.4: ⑳ ⑳	Tabelle 10.4: ⑳ ⑳	Tabelle 10.5: ①	Tabelle 10.5: ①	Tabelle 10.5: ②
Nr.	11	12	13	14	15
Beschreibung				 Siehe Anmerkung zu dieser Tabelle	
Kerbfall	Tabelle 10.5: ⑦	Tabelle 10.5: ⑪	Tabelle 10.5: ⑦	Tabelle 10.6: ①	Tabelle 10.6: ③
Nr.	16	17	18		
Beschreibung					
Kerbfall	Tabelle 10.6: ⑨	Tabelle 10.6: ⑫ Siehe Anmerkung zu dieser Tabelle	Tabelle 10.6: ⑬ Siehe Anmerkung zu dieser Tabelle		
ANMERKUNG Die Schrauben sind mit Nr. 1 dieser Tabelle nachzuweisen.					

Tabelle 10.13 — Erläuterung der Schweißsymbole in Tabelle 10.3 bis Tabelle 10.12

Nr.	Art der Schweißnaht	Beschreibung	Schweißnaht-Symbol
1	Durchgeschweißte Stumpfnah	— von beiden Seiten geschweißt, — Wurzellage ausgeräumt und Kapplage gegengeschweißt	
2		— von beiden Seiten geschweißt, — Wurzellage ausgeräumt und Kapplage gegengeschweißt, — Nahtoberflächen in Spannungsrichtung blechen bearbeitet	
3		— von einer Seite auf Badsicherung geschweißt	
4	Durchgeschweißte Stumpfnah mit zusätzlicher Doppelkehlnah	— von beiden Seiten geschweißt, — Wurzel ausgeräumt und durchgeschweißt	
5		— von beiden Seiten geschweißt, — Wurzel ausgeräumt und Kapplage gegengeschweißt	
6		— von einer Seite geschweißt	
7	Nicht durchgeschweißte Stumpfnah mit zusätzlicher Doppelkehlnah		
8	Kehlnah, Doppelkehlnah	— Nahtübergänge kerbfrei bearbeitet	
9			
10	Bolzenschweißen		
ANMERKUNG Schweißnahtsymbole nach EN ISO 2553.			

Anhang A (normativ)

Nachweis mittels linearer Schadenakkumulation

A.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Normative Anhang enthält zusätzliche Festlegungen zu 6.2, 7.3.2 und 9.4, wenn ein Nachweis mittels linearer Schadensakkumulation geführt wird.

ANMERKUNG Dieser Normative Anhang kann unabhängig vom Spannungskonzept (Nennspannungs-, Strukturspannungs- oder Kerbspannungsmethode) angewendet werden.

A.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser Normative Anhang gilt für Bemessungssituationen, bei denen die Ermüdungsbeanspruchung nicht als äquivalentes einstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv mit $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ oder $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ und 2×10^6 Spannungszyklen definiert ist.

(2) Der Nachweis mehrachsiger Ermüdungsbeanspruchung mittels linearer Schadensakkumulation (nach Abschnitt A.5) ist für das Struktur- und Kerbspannungskonzept nicht anwendbar.

A.3 Ermüdungsbeanspruchung

A.3.1 Spannungen infolge Ermüdungseinwirkungen

(1) Die Spannungen für den Ermüdungsnachweis nach diesem Anhang dürfen unter Nutzung eines der Ermüdungslastmodelle nach EN 1991 oder eines beliebigen Ermüdungslastmodells, das nach EN 1990:2021, 6.1.3.3 definiert wird, bestimmt werden.

(2) Die Spannungen sollten nach 7.1, 7.2, B.3.1 und C.3.1 berechnet werden.

(3) Der Spannungsverlauf sollte aus den Belastungsereignissen (Lastzyklen) des betrachteten Konstruktionsdetails unter Berücksichtigung von Einflüssen aus der dynamischen Überhöhung infolge der Tragwerksantwort bestimmt werden.

A.3.2 Berechnung der Spannungsschwingbreiten

(1) Die Spannungsschwingbreiten sollten aus dem Spannungsverlauf mittels Rainflow- oder Reservoir-Zählverfahren abgeleitet werden.

(2) Der Bemessungswert der Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{i,Ed}$ und $\Delta\tau_{i,Ed}$ sollte wie folgt aus der Beanspruchung infolge des Ermüdungslastmodells unter Berücksichtigung des Teilsicherheitsbeiwerts γ_{Ff} und der effektiven Schwingbreiten nach 7.4 bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_{i,Ed} = \Delta\sigma(\gamma_{Ff} Q_{fat}) \quad (A.1)$$

$$\Delta\tau_{i,Ed} = \Delta\tau(\gamma_{Ff} Q_{fat})$$

(3) Nennspannungsschwingbreiten sollten nach 7.3.1 und 7.3.2 bestimmt werden.

(4) Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten sollten nach B.3.2 bestimmt werden.

(5) Wirksame Kerbspannungsschwingbreiten sollten nach C.3.2 bestimmt werden.

A.4 Ermüdungswiderstand

A.4.1 Ertragbare Schwingspielzahl für das Nennspannungskonzept

(1) Für einstufige Ermüdungsbeanspruchung durch Normalspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{Ed}$ sollte der Bemessungswert der ertragbaren Schwingspielzahl N_{Rd} wie folgt bestimmt werden:

$$N_{Rd} = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{Ed}} \right)^{m_1} \quad \text{für } \Delta\sigma_{Ed} \geq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (A.2)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_D$ die Dauerfestigkeit für einstufige Ermüdungsbeanspruchung bei N_D , Bild 8.1 bis Bild 8.3;

m_1 der erste Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve, Bild 8.1 bis Bild 8.3;

$\Delta\sigma_{Ed}$ der Bemessungswert der beanspruchenden Spannungsschwingbreite, siehe 7.3.

(2) Einstufige Ermüdungsbeanspruchungen $\Delta\sigma_{Ed} < \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}$ dürfen vernachlässigt werden.

(3) Für mehrstufige Ermüdungsbeanspruchungen durch Normalspannungsschwingbreiten ober- und unterhalb der Dauerfestigkeit für einstufige Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_D$ sollte der Bemessungswert der zur Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,Ed}$ ertragbaren Schwingspielzahl $N_{i,Rd}$ wie folgt für jede Schwingbreite des Kollektivs auf Grundlage der erweiterten Ermüdungswiderstandskurve bestimmt werden:

$$N_{i,Rd} = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{i,Ed}} \right)^{m_1} \quad \text{für } \Delta\sigma_{i,Ed} \geq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (A.3)$$

$$N_{i,Rd} = N_D \left(\frac{\Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{i,Ed}} \right)^{m_2} \quad \text{für } \Delta\sigma_L/\gamma_{Mf} \leq \Delta\sigma_{i,Ed} \leq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (A.4)$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_D$ die Dauerfestigkeit für einstufige Ermüdungsbeanspruchung bei N_D , siehe Bild 8.1 bis Bild 8.3;

$\Delta\sigma_L$ die Dauerfestigkeit für mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung bei N_L , siehe Bild 8.1 to Bild 8.3;

m_1 der erste Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve, siehe Bild 8.1 to Bild 8.3;

m_2 der Neigungsparameter der verlängerten Ermüdungswiderstandskurve, siehe Bild 8.1 to Bild 8.3;

$\Delta\sigma_{i,Ed}$ der Bemessungswert der beanspruchenden Spannungsschwingbreite, siehe 7.3.

(4) Spannungsschwingbreiten der mehrstufigen Ermüdungsbeanspruchung mit $\Delta\sigma_{i,Ed} < \Delta\sigma_L/\gamma_{Mf}$ dürfen vernachlässigt werden.

(5) Für ein- oder mehrstufige Ermüdungsbeanspruchungen durch Schubspannungsschwingbreiten sollte der Bemessungswert der zur Spannungsschwingbreite $\Delta\tau_{i,Ed}$ gehörenden ertragbaren Schwingspielzahl $N_{i,Rd}$ wie folgt für jede Schwingbreite des Kollektivs bestimmt werden:

$$N_{i,Rd} = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}}{\Delta\tau_{i,Ed}} \right)^{m_1} \quad \text{für } \Delta\tau_{i,Ed} \geq \Delta\tau_D/\gamma_{Mf} \quad (A.5)$$

Dabei ist

$\Delta\tau_D$ die Dauerfestigkeit für einstufige Ermüdungsbeanspruchung bei N_D , siehe Bild 8.4;

m_1 der Neigungsparameter der Ermüdungswiderstandskurve, siehe Bild 8.4;

$\Delta\tau_{i,Ed}$ der Bemessungswert der beanspruchenden Spannungsschwingbreite, siehe 7.3.

(6) Spannungsschwingbreiten $\Delta\tau_{i,Ed} < \Delta\tau_D/\gamma_{Mf}$ dürfen vernachlässigt werden.

(7) Der Dickeneinfluss oder der Einfluss anderer Abmessungen sollte nach 8.3.1 dieses Dokuments berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Charakteristische Ermüdungswiderstandswerte für das Nennspannungskonzept ohne Berücksichtigung des Größeneinflusses sind Tabelle A.1 zu entnehmen.

Tabelle A.1 — Charakteristische Ermüdungswiderstandswerte in N/mm² für Kurven in Bild 8.1 bis Bild 8.4

Bild	Kerbfall	Neigungsparameter		Charakteristische CAFL bei N_D [Zyklen]	Charakteristische Werte [N/mm ²]		
		m_1	m_2		Bei 10 ⁴ Zyklen	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
8.1	180	5	9	2×10^6	519	180	116
	160				462	160	103
	140				404	140	90,6
	125				361	125	80,9
	112				323	112	72,5
	100				288	100	64,7
	90				260	90,0	58,3
	80				231	80,0	51,8
8.2a	160	3	5	5×10^6	936	118	64,8
	140				819	103	56,7
	125				731	92,1	50,6
	112				655	82,5	45,3
	100				585	73,7	40,5
	90				526	66,3	36,4
	80				468	58,9	32,4
	71				415	52,3	28,7
8.2b	63	3	5	1×10^7	368	36,8	23,2
	56				327	32,7	20,7
	50				292	29,2	18,4
	45				263	26,3	16,6
	40				234	23,4	14,8
	36				210	21,1	13,3
8.3	90	5	9	1×10^7	260	65,2	50,5

Bild	Kerbfall	Neigungsparameter		Charakteristische CAFL bei N_D [Zyklen]	Charakteristische Werte [N/mm ²]		
		m_1	m_2		Bei 10 ⁴ Zyklen	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
	71				205	51,5	39,8
	56				162	40,6	31,4
	50				144	36,2	28,1
	45				130	32,6	25,3
	35				104	26,1	20,2
8.4a	100	5	—	1×10^8	288	45,7	45,7
	80				231	36,6	36,6
8.4b	90	8	—	1×10^8	162	58,3	58,3

A.4.2 Ertragbare Schwingspielzahl für das Strukturspannungskonzept

(1) Bei Anwendung des Strukturspannungskonzepts sollte der Bemessungswert der ertragbaren Schwingspielzahl $N_{i,Rd}$ für jede Spannungsschwingbreite des Kollektivs nach Abschnitt B.4 berechnet werden.

ANMERKUNG Für die Anwendung von Abschnitt B.4 sind die charakteristischen Ermüdungswiderstände in Tabelle A.2 angegeben.

Tabelle A.2 — Charakteristische Ermüdungswiderstandswerte in N/mm² für Kurven in Bild B.3 und Bild B.4

Bild	Kerbfall	Neigungsparameter		Charakteristische CAFL bei N_D [Zyklen]	Charakteristische Werte [N/mm ²]		
		m_1	m_2		Bei 10 ⁴ Zyklen	$\Delta\sigma_{HS,D}$	$\Delta\sigma_{HS,L}$
B.3	112	3	5	5×10^6	655	82,5	45,3
	100				585	73,7	40,5
	90				526	66,3	36,4
B.4	193	3,36	5	5×10^6	933	147	80,8
	178	3,30			884	134	73,9
	149	3,17			790	111	61,2
	128	3,07			717	94,6	52,0
	114	3,00			669	84,3	46,3
	97	2,90			601	70,4	38,7
	88	2,85			566	63,8	35,0
	74	2,75			509	53,3	29,3
	69	2,72			485	49,2	27,0

A.4.3 Ertragbare Schwingspielzahl für das Kerbspannungskonzept

(1) Bei Anwendung des Kerbspannungskonzepts sollte der Bemessungswert der ertragbaren Schwingspielzahl $N_{i,Rd}$ für jede Spannungsschwingbreite des Kollektivs nach Abschnitt C.4 berechnet werden.

ANMERKUNG Für die Anwendung von Abschnitt C.4 sind die charakteristischen Ermüdungswiderstände in Tabelle A.3 angegeben.

Tabelle A.3 — Charakteristische Ermüdungswiderstandswerte in N/mm² für Kurven in Bild C.2

Bild	Kerbfall	Neigungsparameter		Charakteristische CAFL bei N_D [Zyklen]	Charakteristische Werte [N/mm ²]		
		m_1	m_2		Bei 10 ⁴ Zyklen	$\Delta\sigma_{\text{ENS,D}}$	$\Delta\sigma_{\text{ENS,L}}$
C.2	225	3	5	1×10^7	1316	132	83,3
	200				1170	117	73,8

A.4.4 Ertragbare Schwingenspielzahl geschweißter Anschlüsse mit HFMI-Behandlung

(1) Für geschweißte Anschlüsse mit HFMI-Behandlung sollte der Bemessungswert der ertragbaren Schwingenspielzahl $N_{i,\text{Rd}}$ für jede Spannungsschwingbreite des Kollektivs mittels Abschnitt F.4 berechnet werden.

ANMERKUNG Für die Anwendung von F.4 sind die charakteristischen Ermüdungswiderstandswerte Tabelle F.2 bis Tabelle F.7 zu entnehmen.

A.5 Ermüdungsnachweis

(1) Der Nachweis des elastischen Verhaltens unter Berücksichtigung von Nennspannungen nach 9.1 sollte geführt werden.

(2) Der Nachweis mittels Dauerfestigkeit nach 9.3 dieses Dokuments darf für eine dauerfeste Auslegung genutzt werden.

ANMERKUNG Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{\text{max,Ed}}$ und $\Delta\tau_{\text{max,Ed}}$ in 9.3 entsprechen $\max\Delta\sigma_{i,\text{Ed}}$ und $\max\Delta\tau_{i,\text{Ed}}$.

(3) Für eine betriebsfeste Auslegung sollte der Bemessungswert der Schädigung D , die während der geplanten Nutzungsdauer akkumuliert wird, wie folgt berechnet werden:

$$D = \sum_i^n \frac{N_{i,\text{Ed}}}{N_{i,\text{Rd}}} \quad (\text{A.6})$$

Dabei ist

$N_{i,\text{Ed}}$ die Anzahl der Zyklen der Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{i,\text{Ed}}$ oder $\Delta\tau_{i,\text{Ed}}$;

$N_{i,\text{Rd}}$ der zur Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,\text{Ed}}$ oder $\Delta\tau_{i,\text{Ed}}$ gehörende Bemessungswert der ertragbaren Schwingenspielzahl.

ANMERKUNG Als Beispiel für ein vierstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv in Einzelhäufigkeitsdarstellung nach Bild A.1 liefert Bild A.2 die zugehörigen ertragbaren Schwingenspielzahlen nach Ermüdungswiderstandskurve. Der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite ist in den Bildern dargestellt.

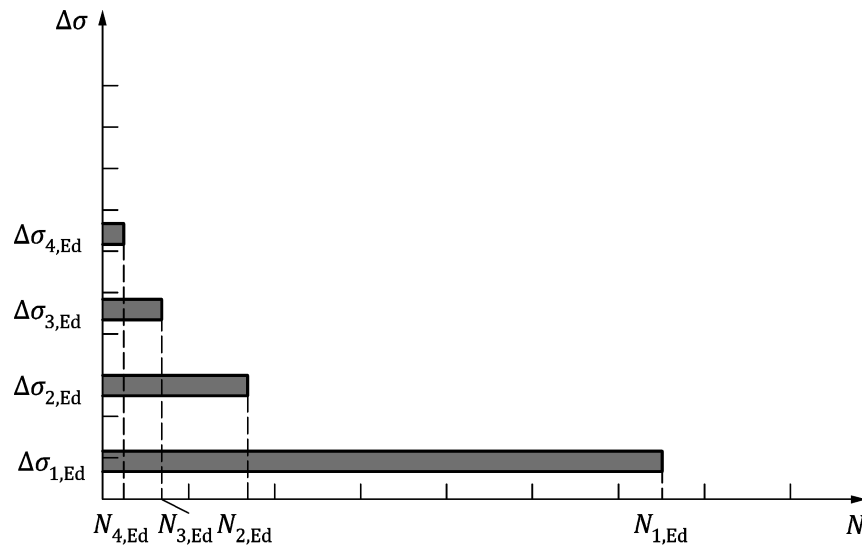
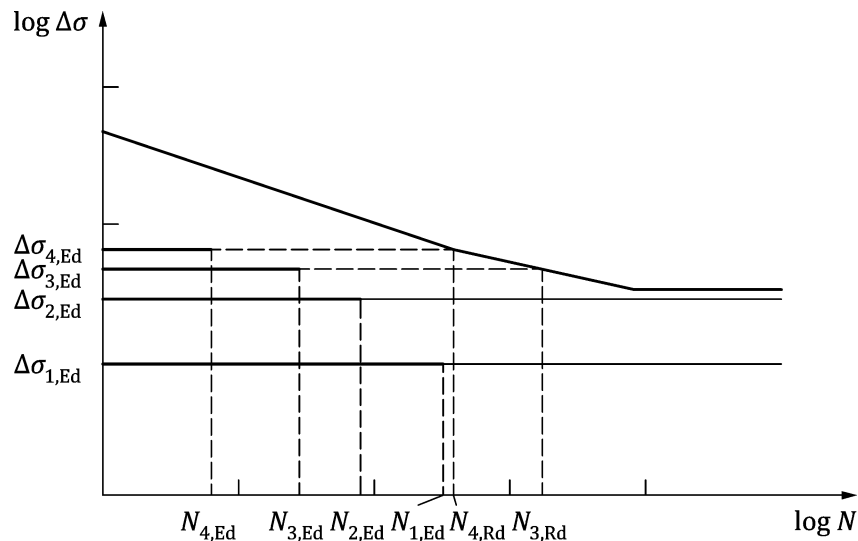


Bild A.1 — Beispiel für ein vierstufiges Spannungsschwingbreitenkollektiv



ANMERKUNG

- Die blaue Kurve ist die erweiterte S-N Kurve.
- $N_{1,R}$ und $N_{2,R}$ sind nicht angegeben, da die korrespondierenden Spannungsschwingbreiten unterhalb von VAFL $\Delta\sigma_L$ liegen.

Bild A.2 — Beispiel für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit von vier Stufen des Spektrums

(4) Der Bemessungswert der Schädigung D sollte folgende Beziehung erfüllen:

$$D \leq 1,0 \quad (\text{A.7})$$

(5) Wenn die betrachtete Stelle eines Konstruktionsdetails (siehe die in Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.12 dargestellten Risse) durch eine Kombination aus Normal- und Schubspannungen beansprucht wird, sollte der Ermüdungsnachweis die Wirkung der kombinierten Beanspruchung wie folgt berücksichtigen:

- a) Wenn die Normal- und Schubspannungen gleichzeitig während jedes Belastungsereignisses auftreten, sollten die Hauptspannungen betrachtet und die korrespondierenden Spannungsschwingbreiten mit Gleichung (A.7) nachgewiesen werden;

b) Wenn die Normal- und Schubspannungen nicht gleichzeitig während jedes Belastungsereignisses auftreten, sollte die Summe der Schädigungen nach der Miner-Regel gebildet werden:

- Für Versagen im Grundwerkstoff (einschließlich Rissbeginn am Schweißnahtübergang) bei Beanspruchung durch Nenn-Normalspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$ und Nenn-Schubspannungsschwingbreiten $\Delta\tau_{xy}$, $\Delta\tau_{xz}$, $\Delta\tau_{yz}$:

$$\sum_{j=x,y,z} \left(\frac{\Delta\sigma_{j,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{j,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \sum_{k=xy,xz,yz} \left(\frac{\Delta\tau_{k,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{k,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (A.8)$$

Dabei ist

$D_{j,\sigma}$ die Schädigung nach Gleichung (A.6) für die Schwingbreiten der Normalspannungskomponente σ_j mit $j = x, y$ oder z ;

$D_{k,\tau}$ die Schädigung nach Gleichung (A.6) für die Schwingbreiten der Schubspannungskomponente τ_k mit $k = xy, yz$ oder xz .

- für Schweißnahtversagen (Rissbeginn an der Nahtwurzel) infolge der Schweißnahtspannungen nach 7.2(5):

$$D_\sigma + D_\tau \leq 1,0 \quad (A.9)$$

Dabei ist

D_σ die Schädigung nach Gleichung (A.6) infolge der Normalspannungsschwingbreiten und

D_τ Schädigung nach Gleichung (A.6) infolge der Schubspannungsschwingbreiten.

(6) Wenn die Normal- und Schubspannungen zur Bildung von Ermüdungsrissen an unterschiedlichen Stellen führen, sollte für beide Stellen ein separater Ermüdungsnachweis nach Gleichung (A.7) durchgeführt werden.

Anhang B (normativ)

Strukturspannungskonzept

B.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser normative Anhang enthält zusätzliche Festlegungen zu 6.1(3) zur Bestimmung von Ermüdungsbeanspruchungen und zugehörigen Ermüdungswiderständen für den Nachweis von geschweißten Konstruktionsdetails mit dem Strukturspannungskonzept.

B.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser Normative Anhang gilt nur für geschweißte Konstruktionsdetails mit einer potentiellen Rissstelle am Schweißnahtübergang.

ANMERKUNG 1 Der Anhang gilt nicht für geschweißte Konstruktionsdetails mit potentiellen Rissen, die von der Schweißnahtwurzel ausgehen. Für die Bewertung von Konstruktionsdetails mit einer potentiellen Rissstelle an der Schweißnahtwurzel kann entweder das Nennspannungskonzept oder das Kerbspannungskonzept verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Leitlinien zur Modellierung für FE-Berechnungen sind in EN 1993-1-14 gegeben.

(2) Dieser Normative Anhang ergänzt und/oder modifiziert die Bestimmungen nach Abschnitt 9 und Anhang A für das Strukturspannungskonzept.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung der in diesem Anhang beschriebenen Methoden enthalten. Er kann Leitlinien enthalten, welches Konzept Vorrang hat, wenn der Ermüdungsnachweis eines klassifizierten Konstruktionsdetails mit einem anderen Konzept zu einem unterschiedlichen Ergebnis führt.

(3) Der Nachweis von orthotropen Fahrbahnen von Brücken unter Verwendung von Strukturspannungen darf nach TS 1993-1-901 erfolgen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung von TS 1993-1-901 geben.

B.3 Ermüdungsbeanspruchung

B.3.1 Spannungen infolge Ermüdungseinwirkungen

(1) Die Hot-Spot-Spannung sollte unter der Annahme eines linear-elastischen Werkstoffverhaltens und einer idealisierten Geometrie berechnet werden.

ANMERKUNG Leitlinien zur Erfassung der Geometrie der Konstruktionsdetails sind in EN 1993-1-14 gegeben.

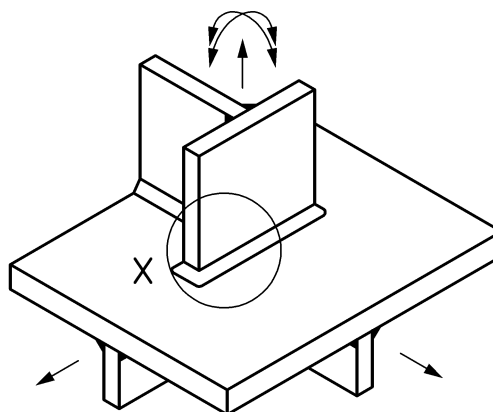
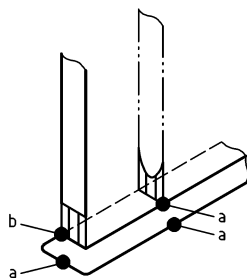
(2) Bei der Bestimmung der Hot-Spot-Spannung sollte die Unterscheidung zwischen den Hot-Spot-Typen „a“, „b“ und „c“ nach Bild B.1 vorgenommen werden, um die Spannungsverteilung über die Blechdicke oder die Wanddicke von Hohlprofilknoten an der Stelle des potentiellen Ermüdungsrisses zu berücksichtigen.

(3) Hot-Spot-Typ „a“, der die Rissbildung am Schweißnahtübergang auf einer Blechoberfläche oder einem Querschnitt beschreibt, sollte verwendet werden, wenn die Spannung an der Stelle des potentiellen Ermüdungsrisses über die Blechdicke deutlich veränderlich ist.

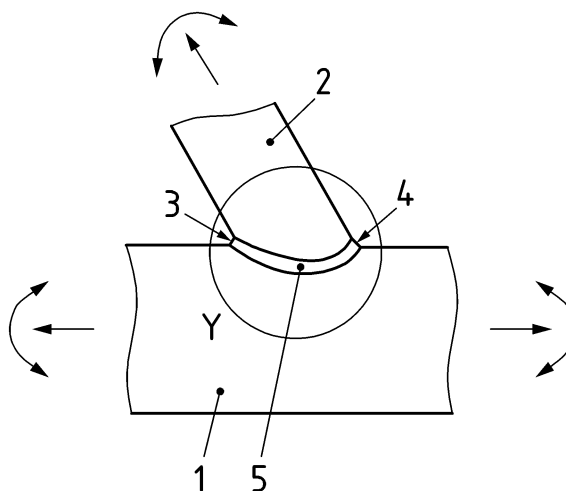
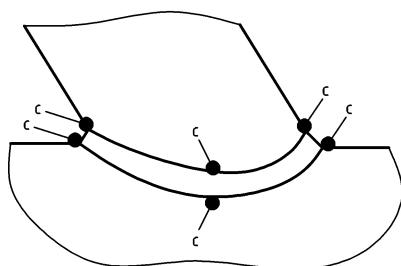
(4) Hot-Spot-Typ „b“, der die Rissbildung an einem Blechrand oder einem Querschnitt beschreibt, sollte verwendet werden, wenn die Spannung an der Stelle des potentiellen Ermüdungsrisses (Hot-Spot) unabhängig von der Blech- oder Querschnittswanddicke ist.

(5) Hot-Spot-Typ „c“, der die Rissbildung in einem Hohlprofilknoten beschreibt, sollte verwendet werden, wenn die Spannung an der Stelle des potentiellen Ermüdungsrisses (Hot-Spot) innerhalb eines Fachwerkknotens aus Hohlprofilen liegt.

X



Y



Legende

- 1 Gurt
- 2 Streben
- 3 Kronenverse
- 4 Kronenspitze
- 5 Sattel

Bild B.1 — Definition der Hot-Spot-Typen „a“, „b“ und „c“

(6) Bei der Berechnung der Hot-Spot-Spannung des Typs „c“ sollte nur die Spannungskomponente senkrecht zum Schweißnahtübergang berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Für die Hot-Spot-Typen „a“ und „b“ enthalten B.3.2(6) bis (8) weitere Hinweise.

(7) Für Konstruktionsdetails, die in Tabelle B.1 und Tabelle B.2 enthalten sind, sollten die Spannungen wie in EN 1993-1-14 angegeben, berechnet werden.

B.3.2 Berechnung der Spannungsschwingbreiten

(1) Der Bemessungswert der Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{HS,Ed}$ sollte aus der Beanspruchung des Ermüdungslastmodells multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ff} bestimmt werden.

(2) Für Bemessungssituationen mit Ermüdung, bei denen die Ermüdungsbeanspruchung durch eine äquivalente Spannungsschwingbreite definiert ist, sollte der Bemessungswert der Hot-Spot-Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \dots \lambda_n \cdot \Delta\sigma_{HS}(\gamma_{Ff}Q_{fat}) \quad (B.1)$$

Dabei ist/sind

$\Delta\sigma_{HS}(\gamma_{Ff}Q_{fat})$ der Bemessungswert der Hot-Spot-Spannungsschwingbreite infolge Ermüdungseinwirkungen nach EN 1991;

λ_i die Schadensäquivalenzfaktoren in Abhängigkeit der Spektren, wie sie in den einschlägigen Teilen von EN 1993 und EN 1994 definiert sind; mit $i = 1$ bis n .

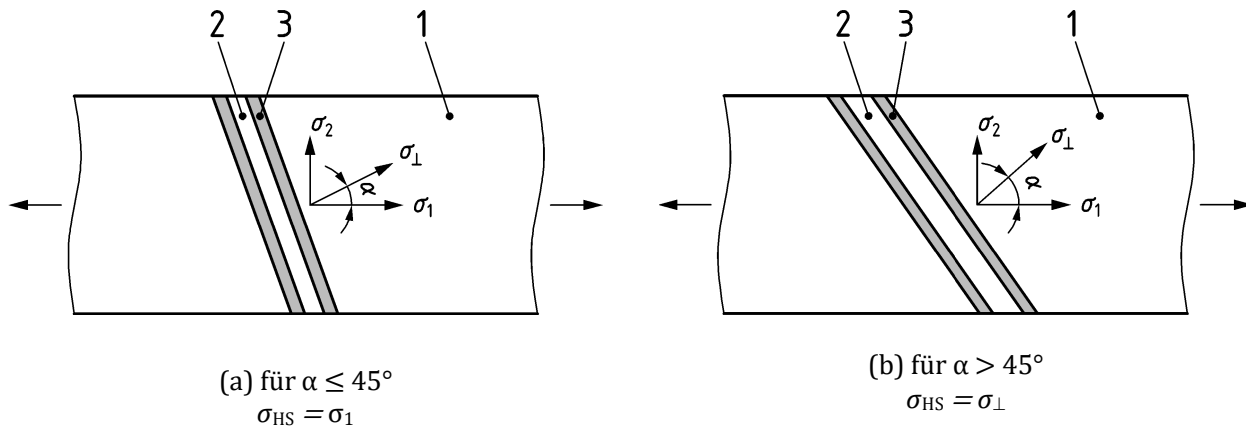
(3) Für jede andere Art von Spannungsschwingbreitenkollektiv sollte der Bemessungswert jeder Hot-Spot-Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,HS,Ed}$ des Kollektivs nach dem Verfahren für $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ unter Berücksichtigung von A.3.2(2) bestimmt werden.

(4) Bei geschweißten Konstruktionsdetails, die nach Beendigung aller Schweißarbeiten einem Spannungsarmglühen unterzogen wurden, darf der Einfluss der Mittelspannung auf die Lebensdauer berücksichtigt werden, indem ein reduzierter Bemessungswert für jedes Spannungsspiel des Bemessungskollektivs berücksichtigt wird, sofern das Spannungsspiel teilweise oder vollständig im Druckbereich nach 7.4 liegt.

(5) Für die Berechnung der Hot-Spot-Spannungsschwingbreite bei den Hot-Spot Typen „a“ und „b“ sollte die Hauptspannungsschwingbreite mit der größten absoluten Spannungsdifferenz verwendet werden, wenn ihre Richtung betragsmäßig weniger als $\alpha = \pm 45^\circ$ von der Normalen der Schweißnaht abweicht, wie in Bild B.2 dargestellt.

ANMERKUNG Wenn die Hauptspannungen das gleiche Vorzeichen haben, kann die maximale Hauptspannungsschwingbreite verwendet werden.

(6) In Bild B.2 sollte die Spannung σ_1 durch σ_2 ersetzt werden, wenn das Blech auf Druck beansprucht wird.



Legende

- σ_1 erste Hauptspannung
- σ_2 zweite Hauptspannung
- $\sigma_{\perp}$ Spannung senkrecht zum Nahtübergang
- 1 Bauteil
- 2 Anschlussblech
- 3 Schweißnaht

Bild B.2 — Spannungskomponenten für Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten; Blick auf eine Blechoberfläche (bei zweiachsiger Beanspruchung können σ_1 und σ_2 zeitabhängig sein)

(7) Wenn die Richtung der Hauptspannungen mit der größten absoluten Spannungsdifferenz die Randbedingungen nach (5) und (6) nicht einhält, sollte die senkrecht zur Schweißnaht wirkende Normalspannungskomponente verwendet werden. Andere Spannungskomponenten (z. B. parallel zur Schweißnaht) sollten mit dem Nennspannungskonzept überprüft werden.

(8) Die Absätze (5) bis (7) sollten auch in Fällen angewendet werden, in denen sich die Richtungen der Hauptspannungen während eines Lastwechsels ändern. In diesem Fall sollte die Hauptspannungsschwingbreite als die größte algebraische Differenz zwischen den Hauptspannungsebenen bestimmt werden, die nicht mehr als 45° auseinander liegen.

(9) Die berechnete Hot-Spot-Spannungsschwingbreite sollte Versätze berücksichtigen, die die strenger in den Kerbfalltabellen und in EN 1090-2 angegebenen Grenzwerte überschreiten. Im Falle von Exzentrizitäten bei Anschlüssen sollte der Nennwert der Exzentrizität verwendet werden.

ANMERKUNG Zur Erfassung makrogeometrischer Einflüsse, die nicht im Strukturspannungskerbfall enthalten sind, kann die Spannungsschwingbreite direkt durch eine FE-Berechnung bestimmt oder indirekt mit Hilfe des Spannungskonzentrationsfaktors k_t berücksichtigt werden, der für verschiedene Geometrien in Anhang D oder in der Literatur verfügbar ist. Die Hot-Spot-Spannungsschwingbreite kann unter ausschließlicher Berücksichtigung derjenigen Imperfektionen berechnet werden, die die Grenzwerte der Kerbfalltabellen und in EN 1090-2 angegebenen Toleranzen überschreiten.

B.4 Ermüdungswiderstand

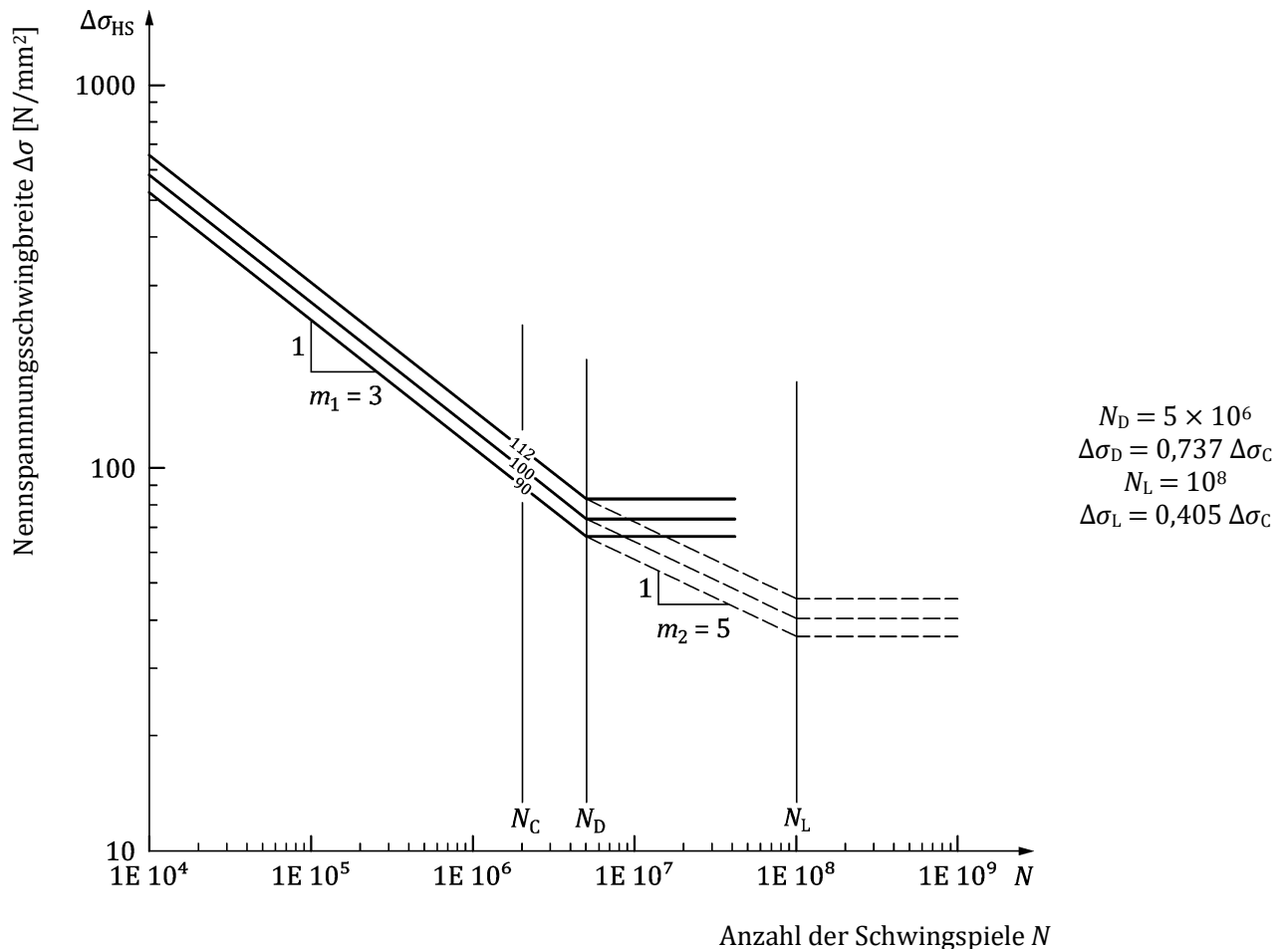
B.4.1 Ermüdungswiderstandskurven

(1) Die charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven für Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten in Bild B.3 sollten für Konstruktionsdetails in plattenartigen Strukturen und für Konstruktionsdetails in Querschnitten sowie Kombinationen davon verwendet werden. Die charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven für Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten in Bild B.4 sollten für Fachwerkknoten aus Hohlprofilen verwendet werden.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu Ermüdungswiderstandskurven für Fachwerkknoten aus Hohlprofilen enthält ISO 14347.

(2) Die Ermüdungswiderstandskurven für Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten unter einstufiger und mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung sollten nach der Empfehlung in 8.2(1) ermittelt werden.

ANMERKUNG Eine Übersicht über die charakteristischen Ermüdungswiderstandskennwerte befindet sich in Anhang A.



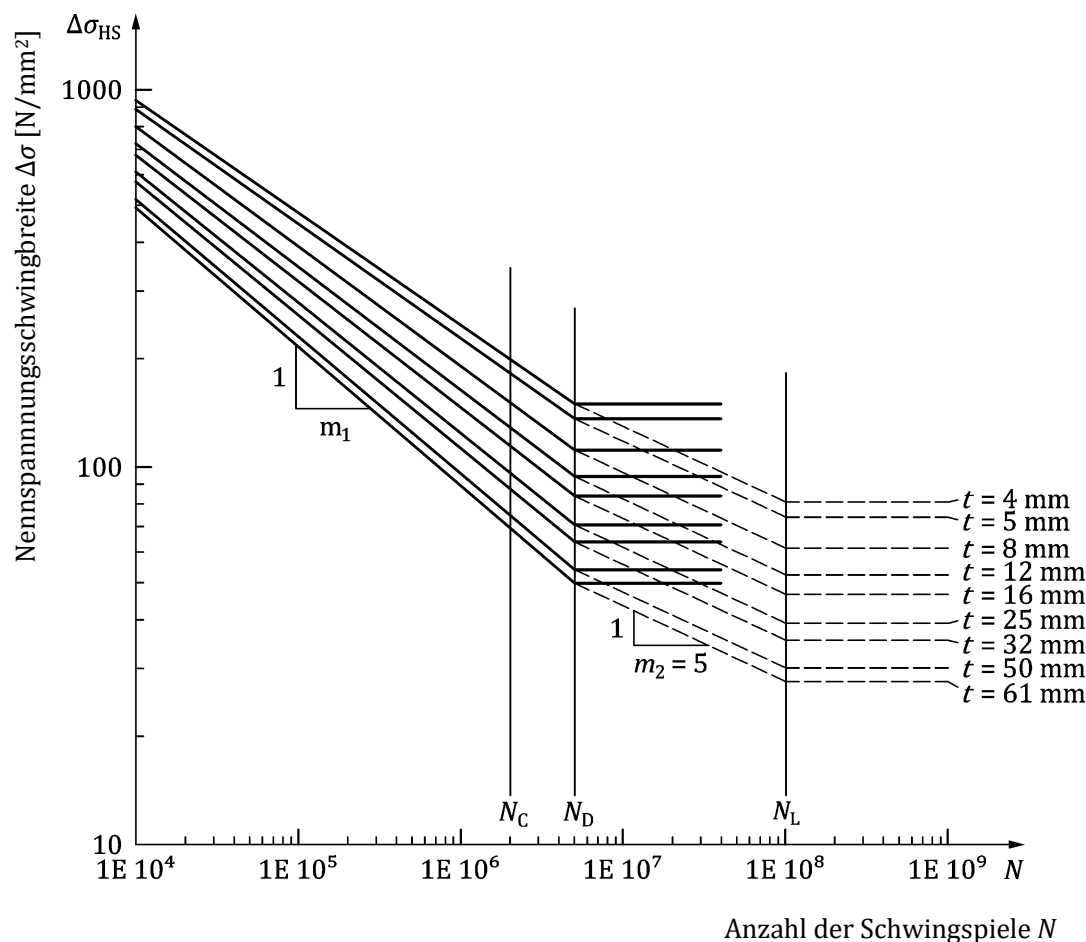
Legende

- a Ermüdungswiderstandskurve für einstufige Ermüdungsbeanspruchung
- b erweiterte Ermüdungswiderstandskurve für mehrstufige Ermüdungsbeanspruchung
- c Kerbfall

$$\Delta\sigma_{HS,D} = 0,737 \Delta\sigma_{HS,C} \quad \Delta\sigma_{HS,L} = 0,405 \Delta\sigma_{HS,C} \quad (\text{Werte in Tabelle A.2})$$

$$N_C = 2 \times 10^6 \text{ Schwingspiele}, \quad N_D = 5 \times 10^6 \text{ Schwingspiele}, \quad N_L = 10^8 \text{ Schwingspiele}$$

Bild B.3 — Charakteristische Ermüdungswiderstandskurven für Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten in Verbindung mit Tabelle B.1, Typen „a“ und „b“



$\Delta\sigma_{HS,D}, \Delta\sigma_{HS,L}$: Werte in Tabelle A.2

$N_C = 2 \times 10^6$ Schwingspiele, $N_D = 5 \times 10^6$ Schwingspiele, $N_L = 10^8$ Schwingspiele

Bild B.4 — Charakteristische Ermüdungswiderstandskurven für Hot-Spot-Spannungsschwingbreiten in Verbindung mit Tabelle B.2 (Type „c“, Fachwerkträgerknoten aus Hohlprofilen)

B.4.2 Kerbfalltabellen für das Strukturspannungskonzept

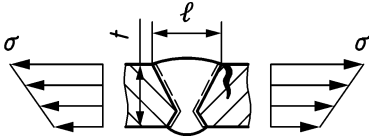
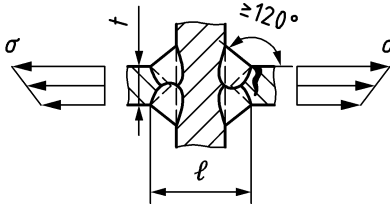
(1) Für die Anwendung des Strukturspannungskonzepts sollten die Konstruktionsdetails nach den folgenden Tabellen klassifiziert werden:

- Tabelle B.1 für Details mit potentiellen Ermüdungsrissen an den Schweißnahtübergängen von
 - Stumpfnähten,
 - Kehlnähten an Anschlüssen,
 - Kehlnähte in Kreuzstößen;
- Tabelle B.2 für Details mit potentiellen Ermüdungsrissen an Schweißnahtübergängen von Fachwerkknoten aus Hohlprofilen.

ANMERKUNG Die Referenzmethode mit dem Strukturspannungskonzept kann ergänzend zur Einordnung eines Konstruktionsdetails verwendet werden. Weitere Leitlinien sind in Anhang G gegeben.

(2) Die Kerbfälle mit Kehlnähten dürfen auf konvexe, konkave oder flache Nahtausführungen angewendet werden, auch wenn die Bilder nur beispielhaft ein typisiertes Nahtprofil zeigen.

Tabelle B.1 — Kerbfälle für die Anwendung im Strukturspannungskonzept, Typen „a“ und „b“

Kerbfall	β^1	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Ergänzende Anforderungen
112	0,1	① 		① durchgeschweißter Stumpfstoß, beidseitig geschweißt, blechen geschliffen. Nur zur Bewertung von Effekten aus Versatz	wo relevant Schweißnaht allseitig blechen geschliffen in Spannungsrichtung nach Entfernung der Auslaufbleche Versatzexzentrizität aus Fertigung zu vernachlässigen wenn $\leq 5\%$ der Blechdicke, siehe auch B.3.2(9).
100	0,2	② 		② voll durchgeschweißter Stumpfstoß, beidseitig geschweißt, Stumpfstoß in Hohlprofilen einseitig geschweißt.	Herstellung: Schweißposition PA. Weiche Nahtübergänge wo relevant Schweißnähte an Plattenrändern blechen geschliffen in Spannungsrichtung nach Entfernung der Auslaufbleche Versatzexzentrizität aus Fertigung zu vernachlässigen wenn $\leq 5\%$ der Blechdicke, siehe auch B.3.2(9). Modellierung: FE-Model sollte die Nahtkonvexität beinhalten
100	0,3	③ 		③ Kreuzstoß mit voll durchgeschweißten Stumpfnähten, beidseitig geschweißt,	Nahtübergangswinkel $\geq 120^\circ$, siehe Anmerkung 2. Die Exzentrizität der lastabtragenden Bleche aus Fertigung ist zu vernachlässigen, wenn $\leq 15\%$ der Blechdicke des mittleren Bleches, siehe auch B.3.2(9)

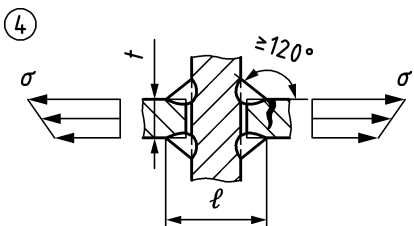
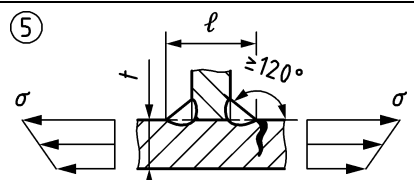
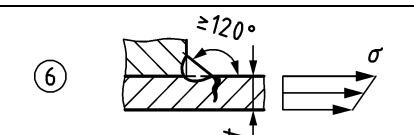
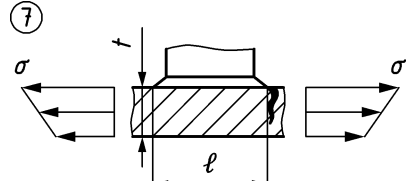
Kerbfall	β^1	Konstruktionsdetail	Symbol	Beschreibung	Ergänzende Anforderungen
90	0,3			④ Kreuzstoß mit lasttragenden nicht durchgeschweißten Stumpfnähten und Kehlnähten	Herstellung: Nahtübergangswinkel $\geq 120^\circ$, siehe Anmerkung 2. Die Exzentrizität der lastabtragenden Bleche aus Fertigung ist zu vernachlässigen, wenn $\leq 15\%$ der Blechdicke des mittleren Bleches, siehe auch B.3.2(9) Modellierung: FE-Model mit Vollanschluss zwischen den einzelnen Blechen unabhängig der Nahtart. Für nicht durchgeschweißte Stumpfnähte oder Kehlnähte sollte das Versagen der Nahtwurzel mit Detail ③ der Tabelle 10.6 überprüft werden, siehe Anmerkung 3.
100	0,3			⑤ nicht lasttragende Kehlnähte	Nahtübergangswinkel $\geq 120^\circ$.
100	0,3			⑥ Lamellenenden und ähnliche Anschlüsse.	Nahtübergangswinkel $\geq 120^\circ$.
100	—			⑦ Typ „b“ Anschluss mit länglichen Anschlüssen.	Kehlnaht oder durchgeschweißte Naht.
ANMERKUNG 1 Ermüdungsfestigkeitskurven mit dem Neigungsparameter $m_1 = 3$ sofern im Kerbfall nicht anders festgelegt. ANMERKUNG 2 Für lasttragende Anschlüsse mit nicht durchgeschweißten Stumpfnähtverbindungen oder Kehlnähtverbindungen sollte Nahtwurzelversagen für Schweißnahtdicken $a > 0,7 t$ überprüft werden. ANMERKUNG 3 Effektiv durchgeschweißte Stumpfnähte nach EN 1993-1-8 sind für Ermüdung als nicht durchgeschweißte Stumpfnähte zu betrachten.					
¹ Der Dickeneinfluss ist nur für Hot-Spot-Typ „a“ anzuwenden, siehe B.4.3.					

**Tabelle B.2 — Kerbfälle für die Anwendung im Strukturspannungskonzept für
Fachwerkträgerknoten aus Hohlprofilen, Typ „c“, einschließlich der Korrektur für den
Dickeneinfluss**

Kerbfall	Dicke t^1 [mm]	Konstruktionsdetail	Anforderungen
193 $m_1=3,36$	4	① Knoten aus runden oder rechteckigen Hohlprofilen	①, ② und ③ Ansatzstellen für nicht geschweißte Nähte sollten nicht an Stellen hoher Spannungskonzentrationen platziert werden. ② und ③ Durchgeschweißte oder nicht durchgeschweißte Nähte sind empfohlen.
178 $m_1=3,30$	5		
149 $m_1=3,17$	8		
128 $m_1=3,07$	12	② Knoten aus runden oder rechteckigen Hohlprofilen	Kehlnähte nur wenn $a \geq t$ und wenn der lokale Verschneidungswinkel am Schnittpunkt der Gurt- und Strebeoberfläche nicht größer ist als 120° . Siehe ISO 14347 für weitere Leitlinien.
114 $m_1=3,00$	16		
97 $m_1=2,90$	25	③ Knoten aus runden Hohlprofilen	
88 $m_1=2,85$	32		
74 $m_1=2,75$	50		
69 $m_1=2,72$	61		
ANMERKUNG Die Ermüdungswiderstandskurven haben unterschiedliche Neigungen, Bild B.4.			
¹ Die Dicke des Bauteils (Gurt oder Strebe), durch das der potentielle Riss verläuft.			

B.4.3 Modifizierung des Ermüdungswiderstands

(1) Für den Hot-Spot-Typ „a“, bei dem die Blech- oder Wanddicke größer als die Referenzdicke ist, sollte die Spannungsschwingbreite mit einem Dickenfaktor modifiziert werden, der wie folgt bestimmt werden sollte:

$$k_s = \left(\frac{t_{\text{ref}}}{t_{\text{eff}}} \right)^\beta \quad \text{für } t > t_{\text{ref}} \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

t_{ref} die Referenzdicke beträgt 25 mm für plattenartige Bauteile und für Kerbdetails in Querschnitten sowie für Kombinationen von diesen. Für Fachwerkträgerknoten aus Hohlprofilen (Konstruktionsdetails mit Formen nach Tabelle 10.7) beträgt die Referenzdicke 16 mm;

t die Dicke des Elements, durch das sich ein potentieller Riss entwickeln kann;

β der Dickenexponent für den Ermüdungswiderstand;

t_{eff} die wirksame Dicke.

(2) Die wirksame Dicke für Konstruktionsdetails nach Tabelle B.1 sollte wie folgt berechnet werden:

- für Details 1 und 6: $t_{\text{eff}} = t$
- für Details 2, 3, 4, 5: $t_{\text{eff}} = \min (14 + 0,66\ell; t)$ für $t_{\text{eff}} \geq t_{\text{ref}}$ (B.3)

wobei die Parameter t_{eff} , ℓ und t in mm eingesetzt werden. ℓ und t sind in Tabelle B.1 und Bild B.5 definiert.

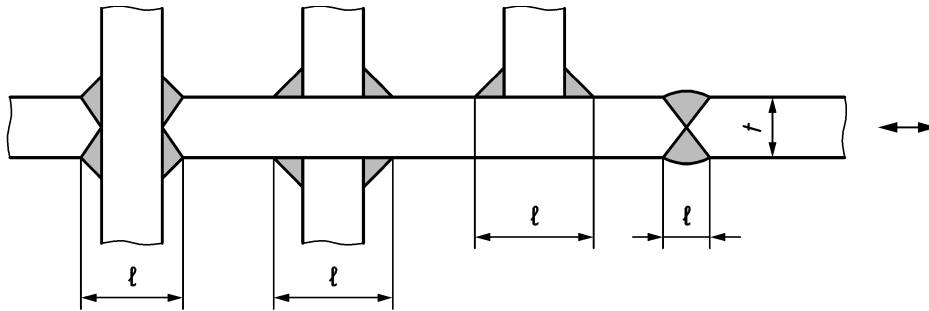


Bild B.5 — Definition der Anschlusslänge für die Details 3, 4, 5 und der Schweißnahtbreite in den Details 1, 2 von Tabelle B.2.

B.5 Ermüdungsnachweis

(1) Innerhalb eines Konstruktionsdetails mit verschiedenen potentiellen Rissstellen kann die Anwendung verschiedener Bemessungskonzepte für den Ermüdungsnachweis erforderlich sein. In diesen Fällen muss jeder Ermüdungsnachweis unter Berücksichtigung des Wertes des Ermüdungswiderstandes erfolgen, der für dieses Konzept relevant ist.

ANMERKUNG So wird z. B. die potentielle Rissbildung in der Schweißnahtwurzel unter Schubspannungen mit dem Nennspannungskonzept überprüft, während die potentielle Rissbildung am Schweißnahtübergang bei Normalspannungen mit dem Strukturspannungskonzept dieses Anhangs nachgewiesen wird.

(2) Für den Nachweis mit der äquivalenten einstufigen Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}$ sollte die Hot-Spot-Spannungsschwingbreite eines Konstruktionsdetails die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}}{\Delta\sigma_{HS,C}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (B.4)$$

(3) Liegen keine Informationen zu $\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}$ vor, darf das Nachweisformat nach Anhang A genutzt werden.

(4) Eine unendliche Lebensdauer für Konstruktionsdetails darf angenommen werden, wenn die maximale Spannungsschwingbreite des einwirkenden Strukturspannungskollektivs $\Delta\sigma_{\max,HS,Ed}$ die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{\Delta\sigma_{\max,HS,Ed}}{\Delta\sigma_{HS,D}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (B.5)$$

Anhang C (normative)

Kerbspannungskonzept

C.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Normative Anhang enthält zusätzliche Festlegungen für 6.1(3) zur Bestimmung von Ermüdungsbeanspruchungen und zugehörigen Ermüdungswiderständen für den Nachweis von geschweißten Konstruktionsdetails mit dem Kerbspannungskonzept.

C.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser Normative Anhang gilt für geschweißte Konstruktionsdetails mit einer potentiellen Rissstelle am Schweißnahtübergang oder an der Schweißnahtwurzel.

ANMERKUNG Leitlinien zur Berechnung der schädigungswirksamen Kerbspannung unter Verwendung einer FE-Berechnung sind in EN 1993-1-14 gegeben.

(2) Dieser Normative Anhang umfasst nur geschweißte Konstruktionsdetails mit einer Blechdicke $t \geq 5$ mm.

(3) Dieser Normative Anhang umfasst nicht den Ermüdungsnachweis für den Grundwerkstoff außerhalb des Schweißnahtübergangs oder für geschweißte Details mit milden Kerben.

ANMERKUNG Eine milde Kerbe ist eine Kerbe, bei der die wirksame Kerbspannung weniger als das 2-fache der Nennspannung beträgt. Dies kann z. B. bei quer verlaufenden Stumpfnähten mit geringer oder keiner Konvexität der Naht und geringer Exzentrizität der Fall sein.

(4) Dieser Normative Anhang ist nicht für den Ermüdungsnachweis von geschweißten Konstruktionsdetails mit potentieller Rissbildung anwendbar, die von Wurzelfehlern oder inneren Schweißnaht-unregelmäßigkeiten, welche die Toleranzen der in 8.2(2) angegebenen Schweißnahtqualität übertreffen, ausgehen.

(5) Dieser Normative Anhang ergänzt und/oder modifiziert die Bestimmungen für das Kerbspannungskonzept nach Abschnitt 9 und Anhang A.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Bedingungen für die Anwendung der in diesem Anhang beschriebenen Methoden enthalten. Er kann Leitlinien enthalten, welches Konzept Vorrang hat, wenn der Ermüdungsnachweis eines klassifizierten Konstruktionsdetails mit einem anderen Konzept zu einem unterschiedlichen Ergebnis führt.

C.3 Ermüdungsbeanspruchung

C.3.1 Spannungen infolge Ermüdungseinwirkungen

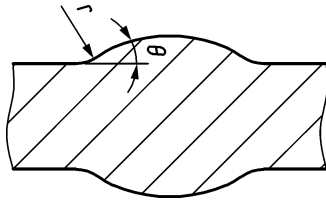
(1) Die wirksame Kerbspannung sollte unter der Annahme eines linear-elastischen Werkstoffverhaltens und einer idealisierten Schweißnahtgeometrie ermittelt werden.

(2) Stumpfnähte sollten mit einem Nahtflankenwinkel von $\theta = 30^\circ$ modelliert werden, siehe Bild C.1. Kehlnähte sollten mit einem Nahtflankenwinkel von $\theta = 45^\circ$ modelliert werden. Die Fälle, die für andere Nahtflankenwinkel ausgelegt sind, sollten mit den Nennwerten dieser Winkel modelliert werden.

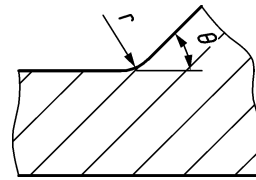
ANMERKUNG Der Nahtflankenwinkel θ kann als Komplementärwinkel des Nahtwinkels berechnet werden.

(3) Die wirksame Kerbspannung sollte durch Ausrundung des Schweißnahtübergangs oder der Schweißnahtwurzel mit einem fiktiven Kerbradius $r = 1 \text{ mm}$ ermittelt werden, siehe Bild C.1.

ANMERKUNG Leitlinien zur Ausrundung von Schweißnahtübergang und -wurzel sind in EN 1993-1-14 enthalten.



a) Ausrundung einer Stumpfnah



b) Ausrundung einer Kehlnah

Bild C.1 — Nahtflankenwinkel und Ausrundung für verschiedene Schweißnahttypen

C.3.2 Berechnung der Spannungsschwingbreiten

(1) Der Bemessungswert der wirksamen Kerbspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{ENS,Ed}}$ sollte aus der Beanspruchung des Ermüdungslastmodells multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ff} bestimmt werden.

(2) Für Bemessungssituationen mit Ermüdung, bei denen die Ermüdungsbeanspruchung durch die äquivalente Spannungsschwingbreite definiert ist, sollte der Bemessungswert der wirksamen Kerbspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{e,2,ENS,Ed}}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_{\text{e,2,ENS,Ed}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \dots \lambda_n \cdot \Delta\sigma_{\text{ENS}}(\gamma_{\text{Ff}} Q_{\text{fat}}) \quad (\text{C.1})$$

Dabei ist/sind

$\Delta\sigma_{\text{ENS}}(\gamma_{\text{Ff}} Q_{\text{fat}})$ der Bemessungswert der wirksamen Kerbspannungsschwingbreite infolge Ermüdungseinwirkungen nach EN 1991;

λ_i die Schadensäquivalenzfaktoren in Abhängigkeit der Lastspektren, wie sie in den einschlägigen Teilen von EN 1993 und EN 1994; $i = 1$ bis n definiert sind.

(3) Für jede andere Art an Spannungsschwingbreitenkollektiv sollte der Bemessungswert jeder wirksamen Kerbspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{i,ENS,Ed}}$ des Kollektivs nach dem Verfahren für $\Delta\sigma_{\text{i,Ed}}$ unter Berücksichtigung von A.3.2(2) bestimmt werden.

(4) Bei geschweißten Konstruktionsdetails, die nach Beendigung aller Schweißarbeiten einem vollständigen Spannungsarmglühen unterzogen wurden, darf der Einfluss der Mittelspannung auf die Lebensdauer berücksichtigt werden, indem eine reduzierte Spannungsschwingbreite für jedes Spannungsspiel im Bemessungskollektiv berücksichtigt wird, wenn das Spannungsspiel teilweise oder vollständig im Druckbereich nach 7.4 liegt.

(5) Die wirksame Kerbspannungsschwingbreite darf entweder mit

- Hauptspannungen (PS, en: principal stresses), als maximale Differenz der Hauptspannungen, oder
- Von-Mises-Vergleichsspannungen (EVM, en: equivalent von Mises stresses), als maximale von-Mises-Vergleichsspannungsschwingbreite, die aus den Kerbspannungsschwingbreiten der Spannungskomponenten bestimmt wird,

berechnet werden.

(6) Die berechnete wirksame Kerbspannungsschwingbreite sollte den Versatz berücksichtigen, der die strengerer der in den Kerbfalltabellen und in EN 1090-2 angegebenen Grenzwerte überschreitet. Im Falle von Exzentrizitäten von Verbindungen sollte der Nennwert der Exzentrizität verwendet werden.

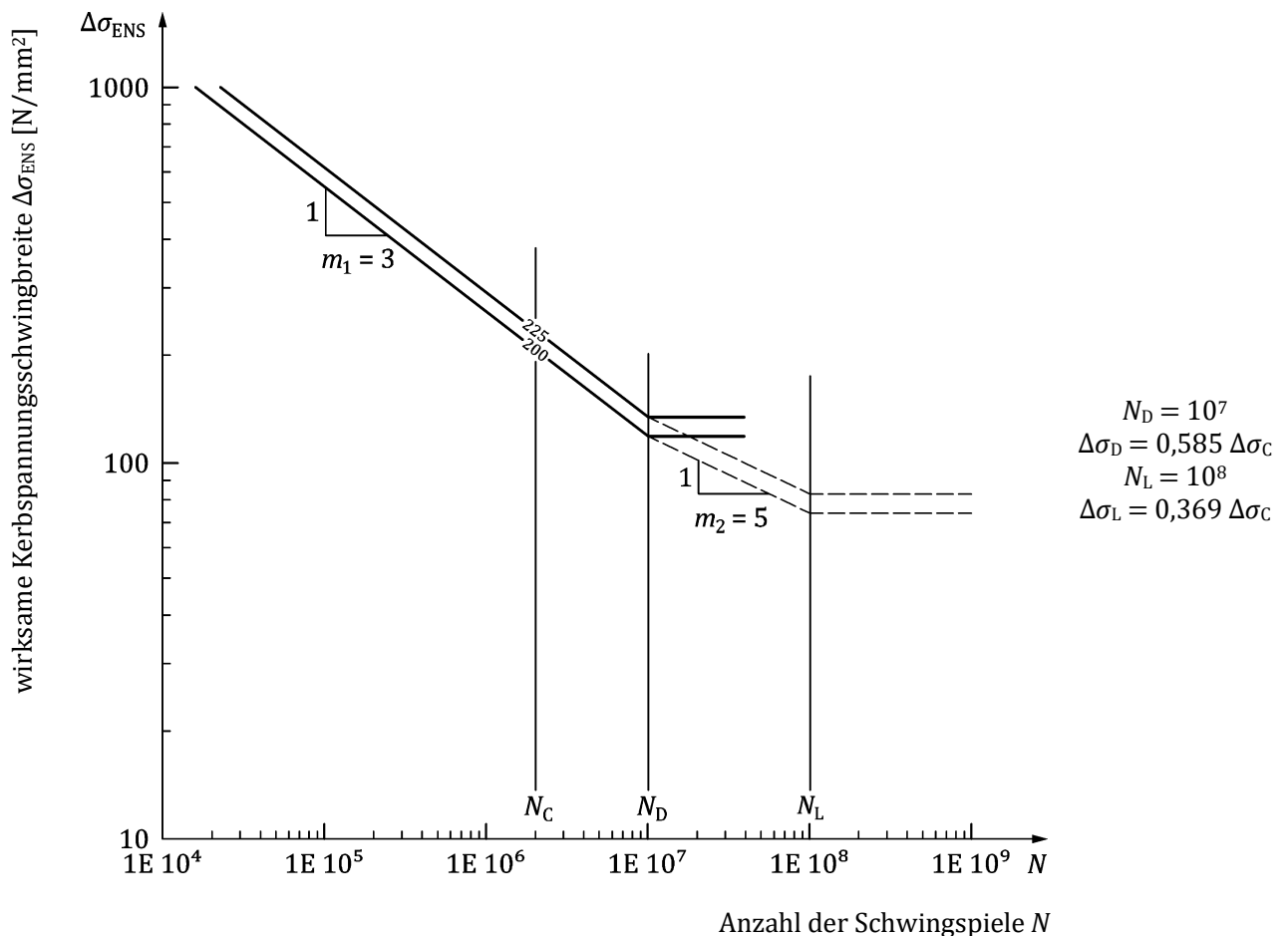
ANMERKUNG Zur Erfassung makrogeometrischer Einflüsse kann die wirksame Kerbspannungsschwingbreite direkt durch eine FE-Berechnung berechnet oder indirekt mit Hilfe des Spannungskonzentrationsfaktors k_t berücksichtigt werden, der für verschiedene Geometrien in Anhang D oder in der Literatur verfügbar ist. Die wirksame Kerbspannungsschwingbreite kann unter ausschließlicher Berücksichtigung der Imperfektionen berechnet werden, die die Grenzwerte der Kerbfalltabellen und in EN 1090-2 angegebenen Toleranzen überschreiten.

C.4 Ermüdungswiderstand

C.4.1 Ermüdungswiderstandskurven

(1) Die charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven für wirksame Kerbspannungsschwingbreiten in Bild C.2 für Konstruktionsdetails sollten in Verbindung mit Hauptspannungen (PS) oder von-Mises-Vergleichsspannungen (EVM) verwendet werden.

(2) Die Ermüdungswiderstandskurven für wirksame Kerbspannungsschwingbreiten unter einstufiger und mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung sollten in Übereinstimmung mit den Prinzipien für $\Delta\sigma$ nach 8.1(1) ermittelt werden.



$$\Delta\sigma_{\text{ENS},D} = 0,585\Delta\sigma_{\text{ENS},C} \quad \Delta\sigma_{\text{ENS},L} = 0,405\Delta\sigma_{\text{HS},C} \quad (\text{Werte in Tabelle A.3})$$

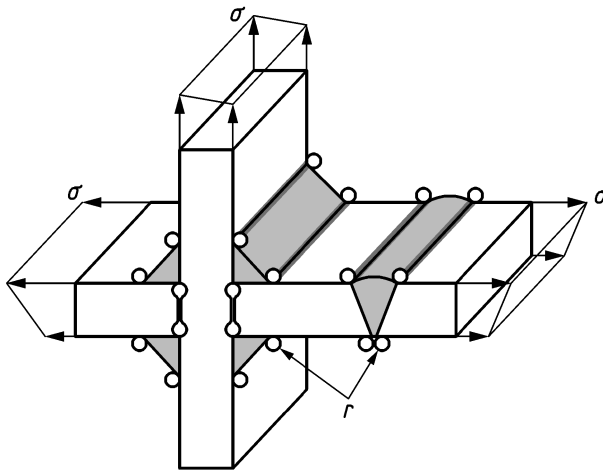
$$N_C = 2 \times 10^6 \text{ Schwingspiele}, \quad N_D = 10^7 \text{ Schwingspiele}, \quad N_L = 10^8 \text{ Schwingspiele}$$

Bild C.2 — Charakteristische Ermüdungswiderstandskurven für wirksame Kerbspannungsschwingbreiten (PS und EVM)

C.4.2 Kerbfalltabellen für das Kerbspannungskonzept

(1) Die Kerbfälle in Tabelle C.1 sollten mit den wirksamen Kerbspannungsschwingbreiten in Verbindung mit den zugehörigen Spannungsberechnungen (PS oder EVM) verwendet werden.

Tabelle C.1 — Kerbfälle für die Anwendung im Kerbspannungskonzept

Kerb-fall	Konstruktionsdetail	Spannungskomponenten / Beschreibung	Ergänzende Anforderungen
225		<u>PS.</u> Naht wie geschweißt. fiktiver Kerbradius von $r = 1 \text{ mm}$ ersetzt Nahtübergang und Nahtwurzel	Für planmäßigen Versatz siehe C.3.2(6).
200		<u>EVM.</u> Naht wie geschweißt. fiktiver Kerbradius von $r = 1 \text{ mm}$ ersetzt Nahtübergang und Nahtwurzel	
ANMERKUNG Ermüdungswiderstandskurve mit dem Neigungsparameter $m_1 = 3$			

C.5 Ermüdungsnachweis

(1) Die äquivalente einstufige wirksame Kerbspannungsschwingbreite sollte mit der zugehörigen Ermüdungswiderstandskurve (PS oder EVM) verglichen werden.

(2) Es sollte überprüft werden, ob der Ermüdungswiderstand des Grundwerkstoffs in unmittelbarer Nähe der Schweißnaht nicht überschritten wird (z. B. mit Hilfe des Nennspannungskonzeptes und dem für dieses Verfahren maßgebenden Ermüdungswiderstand).

(3) Für den Nachweis mit der äquivalenten einstufigen Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}$ sollte die wirksame Kerbspannungsschwingbreite des Konstruktionsdetails die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}}{\Delta\sigma_{ENS,C}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \tag{C.2}$$

(4) Liegen keine Informationen zu $\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}$ vor, darf das Nachweisformat nach Anhang A genutzt werden.

(5) Eine unendliche Lebensdauer für Konstruktionsdetails darf angenommen werden, wenn die maximale Spannungsschwingbreite des einwirkenden wirksamen Kerbspannungskollektivs $\Delta\sigma_{\max,ENS,Ed}$ die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{\Delta\sigma_{\max,ENS,Ed}}{\Delta\sigma_{ENS,D}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \tag{C.3}$$

Anhang D (informativ)

Empfehlungen für Erhöhungsfaktoren k_1 und Spannungskonzentrationsfaktoren k_f

D.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Informative Anhang gibt ergänzende Hinweise zu 7.3.2 und 8.3 für Erhöhungsfaktoren k_1 und Spannungskonzentrationsfaktoren k_f .

ANMERKUNG Nationale Festlegungen zur Anwendung dieses Informativen Anhangs sind im Nationalen Anhang angegeben. Enthält der Nationale Anhang keine Angaben zur Anwendung dieses Informativen Anhangs, kann er angewendet werden.

D.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser Informative Annex beinhaltet Erhöhungsfaktoren k_1 und Spannungskonzentrationsfaktoren k_f für die Berechnung korrigierter Nennspannungen.

D.3 Sekundäre Biegemomente in Fachwerkträgern

(1) Bei Fachwerkträgern aus Hohlprofilen darf für das statische System von einem vereinfachten Fachwerkmodell mit durchlaufenden Gurten und gelenkig angeschlossenen Streben ausgegangen werden. Unter der Voraussetzung, dass die Spannungen aus äußeren Lasten, die zwischen den Fachwerkknoten angreifen, erfasst werden, dürfen die Einflüsse aus sekundärer Biegung infolge der Rotationssteifigkeit der Fachwerkknoten durch k_1 Faktoren wie folgt berücksichtigt werden:

- Tabelle D.1 für kreisrunde Hohlprofile;
- Tabelle D.2 für rechteckige Hohlprofile;

wobei bei diesen Querschnitten die geometrischen Einschränkungen nach Tabelle 10.8 zu beachten sind.

Tabelle D.1 — Faktoren k_1 für kreisrunde Hohlprofile bei Belastung in der Fachwerkebene

Anschlussyp		Gurte	Pfosten	Diagonalen
Anschlüsse mit Spalt	K-Knoten	1,5	–	1,3
	N-Knoten / KT-Knoten	1,5	1,8	1,4
Anschlüsse mit Überlappung	K-Knoten	1,5	–	1,2
	N-Knoten / KT-Knoten	1,5	1,65	1,25

Tabelle D.2 — Faktoren k_1 für rechteckige Hohlprofile bei Belastung in der Fachwerkebene

Anschlussstyp		Knoten	Pfosten	Diagonalen
Anschlüsse mit Spalt	K-Knoten	1,5	–	1,5
	N-Knoten / KT-Knoten	1,5	2,2	1,6
Anschlüsse mit Überlappung	K-Knoten	1,5	–	1,3
	N-Knoten / KT-Knoten	1,5	2,0	1,4

ANMERKUNG Zur Begriffserklärung der Anschlussausbildung siehe EN 1993-1-8.

D.4 Flansche von Trägern mit I-Querschnitten und Dicken- oder Breitenübergängen

(1) Für Konstruktionsdetails mit quer laufenden Stumpfnähten (Konstruktionsdetails ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ und ㉒ in Tabelle 10.4, auch Bild D.1 und Bild D.2) ist der empfohlene Spannungskonzentrationsfaktor k_f wie folgt definiert:

$$k_f = k_{f,N} \, k_{f,m} \tag{D.1}$$

Dabei ist

$k_{f,N}$ der Spannungskonzentrationsfaktor für die Membranbeanspruchung des Flanschs;

$k_{f,m}$ der Spannungskonzentrationsfaktor für die Biegebeanspruchung des Flanschs.

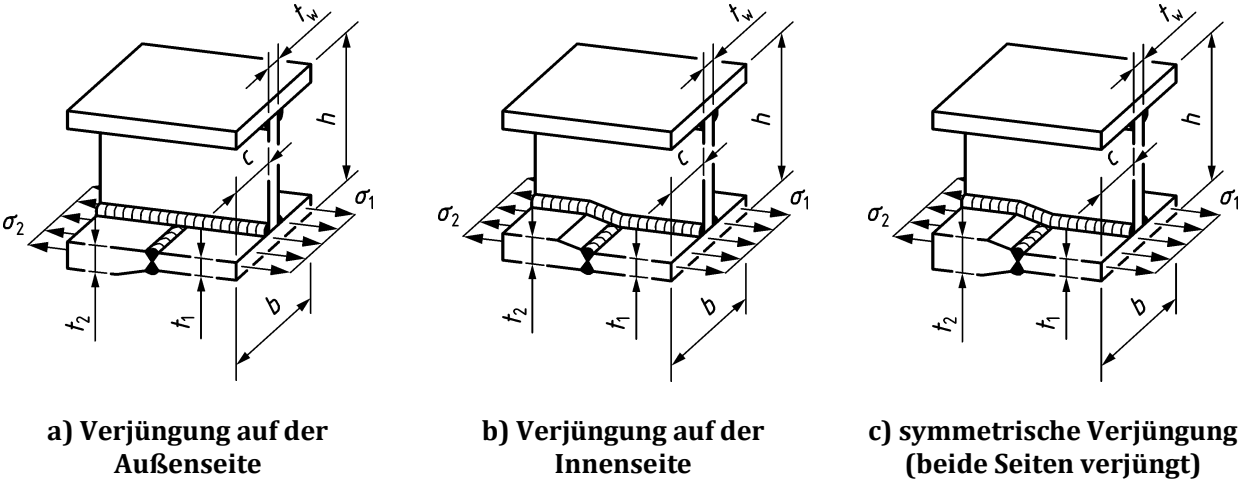


Bild D.1 — Verjüngung der Flanschdicke in Trägern

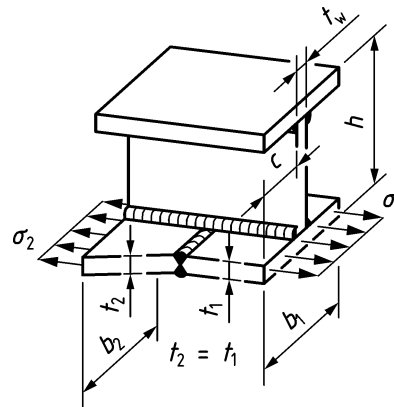


Bild D.2 — Verjüngung der Flanschbreite in Trägern

(2) Der Spannungskonzentrationsfaktor $k_{f,N}$ für die Membranbeanspruchung des Flanschs wird wie folgt bestimmt:

- Konstruktionsdetails (18), (19), (20), (21) mit Verjüngung der Dicke auf der Außenseite oder auf der Innenseite oder mit symmetrischer Verjüngung [Bild D.1 a), b) und c)] und Konstruktionsdetail (22):

$$k_{f,N} = 1 + \alpha \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \frac{t_2}{t_1} - 1 \right) \quad (D.2)$$

Dabei ist

$\alpha = 0,5$ für Konstruktionsdetails (18), (19), (20), (21) mit Verjüngung der Dicke auf der Außenseite oder mit symmetrischer Verjüngung und Konstruktionsdetail (22);

$\alpha = 0,33$ für Konstruktionsdetails (18), (19), (20) und (21) mit Verjüngung der Dicke auf der Innenseite.

- Konstruktionsdetails (18), (19), (20) und (21) mit Verjüngung der Breite (Bild D.2):

$$k_{f,N} = 1 + 0,5 \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \frac{b_2}{b_1} - 1 \right) \quad (D.3)$$

ANMERKUNG Die Spannungen σ_1 und σ_2 werden entlang der Mittellinie der Flansche berechnet. Die sich daraus ergebenden Normalkräfte in den Flanschen sind durch die Verschiebung der Querschnittsschwerpunkte nicht identisch.

(3) Der Spannungskonzentrationsfaktor $k_{f,m}$ für die Biegebeanspruchung des Flanschs, durch die Ausmittigkeit der Bleche des Trägers, sollte wie folgt bestimmt werden:

- Konstruktionsdetails (18), (19), (20), (21) mit Verjüngung der Dicke auf der Außenseite oder auf der Innenseite [Bild D.1 a) und b)]:

$$k_{f,m} = \frac{1}{\beta} \left(1 + \frac{\lambda \left(\frac{t_2}{t_1} - 1 \right)}{2 \left(1 + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^n \right)} \right) \geq 1,0 \quad (D.4)$$

Dabei ist

$\beta = 1,25$ (empfohlener Wert)

$$\lambda = 4 + (c/t_1)/10 \leq 6$$

- Konstruktionsdetails (18), (19), (20), (21) mit symmetrischer Verjüngung [Bild D.1 c)], Konstruktionsdetails (18), (19), (20), (21) mit Verjüngung der Breite (Bild D.2) und Konstruktionsdetail (22):

$$k_{f,m} = 1,0 \quad (D.5)$$

(4) Die empfohlenen Spannungskonzentrationsfaktoren sollten nur angewendet werden, wenn die folgenden Anforderungen für die Halsnaht zwischen Steg und Flansch erfüllt sind:

- Die Träger besitzen keine Freischnitte im Steg in der Nähe des quer laufenden Stumpfstoßes im Flansch.

ANMERKUNG Für Träger mit Freischnitten sind die oben empfohlenen Spannungskonzentrationsfaktoren nicht anwendbar.

- Wenn die Veränderung der Normalkraft in den Flanschen bei der Bemessung der Längsnaht nicht berücksichtigt wird, sind zu beiden Seiten der quer laufenden Stumpfnah auf einer Länge von $0,5 h$ längs laufende durchgeschweißte Stumpfnähte oder doppelseitige Kehlnähte mit $a \geq t_w/2$ vorzusehen.

ANMERKUNG Die Normalkraftveränderung im Flansch beträgt $b (\sigma_2 t_2 - \sigma_1 t_1)$ für die in Bild D.1 dargestellten Fälle und $(b_2 \sigma_2 t_2 - b_1 \sigma_1 t_1)$ für die in Bild D.2 dargestellten Fälle.

- Wenn bei der Bemessung die zusätzlichen quergerichteten Normalspannungen σ_z in der Längsnaht nicht berücksichtigt werden, sind auf beiden Seiten der quer laufenden Stumpfnah auf einer Länge von $0,5 h$ längs laufende durchgeschweißte Stumpfnähte vorzusehen.

ANMERKUNG Zusätzliche quergerichtete Normalspannungen σ_z können bei Trägern mit bei einer Verjüngung der Flanschdicke auf der Innenseite [Bild D.1 a)] oder auf der Außenseite [Bild D.1 b)] auftreten.

D.5 Dickenübergänge in Blechen

(1) Für Konstruktionsdetails mit quer laufenden Stumpfnähten in vertikal ungestützten Blechen mit abgeschrägten Dickenübergängen (Konstruktionsdetails (18), (19), (20), (21) in Tabelle 10.4, auch Bild D.3) sollte der Spannungskonzentrationsfaktor k_f wie folgt bestimmt werden:

$$k_f = \left(1 + \frac{6e}{t_1} \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}} \right) \quad (D.6)$$

Dabei ist

e die Ausmittigkeit der Blechmittellinien.

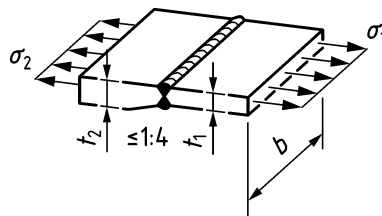


Bild D.3 — Abgeschrägte Dickenübergänge von vertikal ungestützten Blechen

D.6 Schalen

(1) Spannungskonzentrationsfaktoren für Schalen dürfen nach prEN 1993-1-6 bestimmt werden.

Anhang E (informativ)

Empfehlungen für vorgespannte Schrauben und Gewindestangen mit Zugbeanspruchung

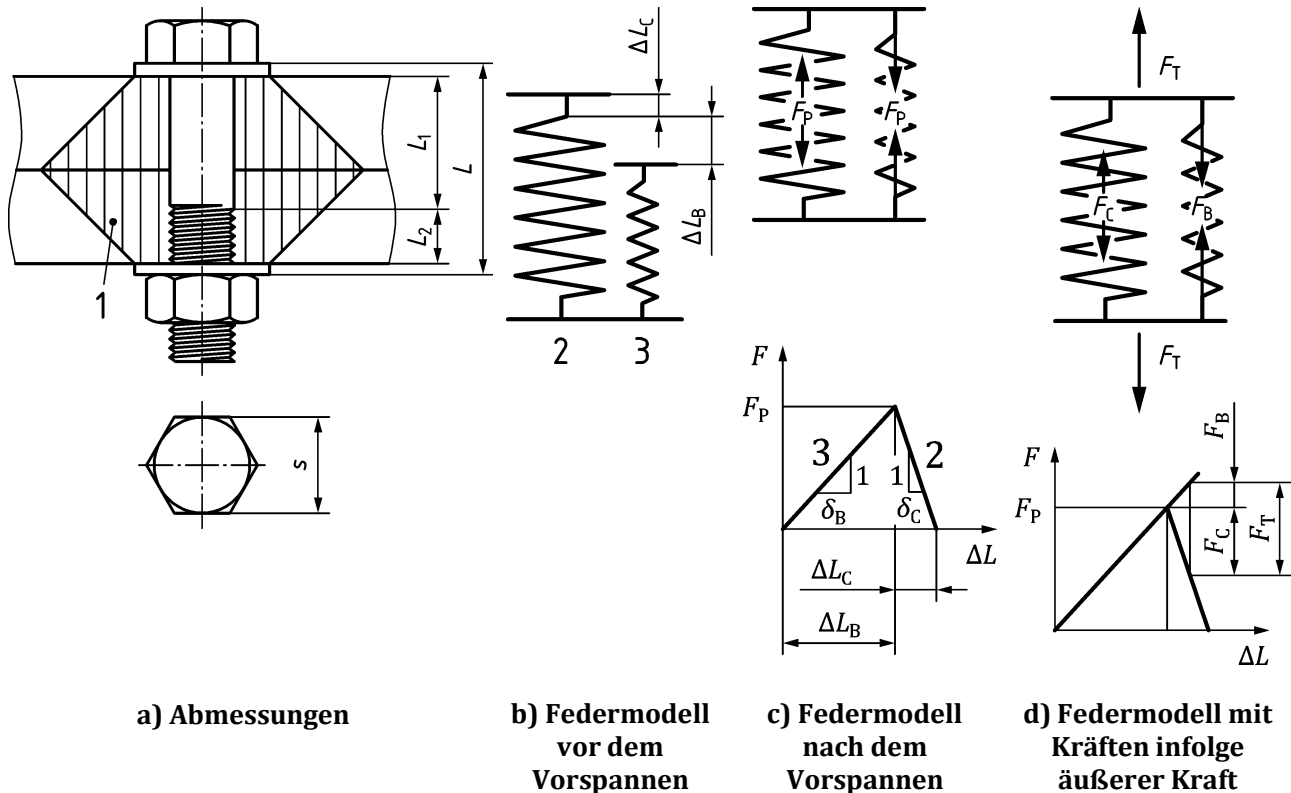
E.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Informative Anhang gibt ergänzende Hinweise zu 7.2 bezüglich der Grundlagen für die Berechnung der Kräfte (unter der Vernachlässigung von Teilsicherheitsfaktoren) in vorgespannten Schrauben oder Gewindestangen mit Zugbeanspruchung.

ANMERKUNG Nationale Festlegungen zur Anwendung dieses Informativen Anhangs sind im Nationalen Anhang angegeben. Enthält der Nationale Anhang keine Angaben zur Anwendung dieses Informativen Anhangs, kann er angewendet werden.

E.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser Informative Annex beinhaltet eine vereinfachte Berechnungsmethode für vorgespannte Schrauben oder Gewindestangen mit einer zentrisch wirkenden äußeren Zugkraft, um die günstige Wirkung der Vorspannung bei Ermüdungsbeanspruchung zu erfassen.



Legende

- 1 Vorspannkörper
- 2 Feder zur Darstellung der Steifigkeit des Vorspannkörpers
- 3 Feder zur Darstellung der Steifigkeit der Schraube oder Gewindestange

Bild E.1 — Vorgespannte geschraubte Anschlüsse

ANMERKUNG 1 Die vereinfachte Berechnungsmethode mittels eines Federmodells berechnet die Verteilung der Kräfte zwischen einer Schraube oder Gewindestange und dem Vorspannkörper für einen vorgespannten geschraubten Anschluss oder Anschluss mit Gewindestange infolge einer zentrisch wirkenden äußeren Zugkraft, siehe Bild E.1 a). Beim Fehlen einer äußeren Kraft sind durch die Vorspannung des Anschlusses der Vorspannkörper durch Druck und die Schrauben durch Zug beansprucht, siehe Bild E.1 c). Wenn eine äußere Kraft F_T auf den Anschluss aufgebracht wird, verteilt sich diese auf die Schraube oder Gewindestange und den Vorspannkörper nach dem Verhältnis der elastischen Steifigkeiten (Kehrwert der elastischen Nachgiebigkeit), welche in Bild E.1 b) bis d) als Federn dargestellt sind. Durch die äußere Kraft wird die Druckkraft des Vorspannkörpers infolge der Vorspannung um F_C verringert, wohingegen die Zugkraft der Schraube oder der Gewindestange infolge der Vorspannung um F_B vergrößert wird, siehe Bild E.1 d). Da die Feder zur Darstellung der Steifigkeit des Vorspannkörpers eine größere Steifigkeit hat, übernimmt sie im Vergleich zur Schraube oder Gewindestange einen verhältnismäßig größeren Anteil der wirkenden äußeren Kraft. Für den Fall, dass F_T eine Ermüdungsbeanspruchung ist, hat dies eine günstige Wirkung.

ANMERKUNG 2 EN 1993-1-14 kann für eine genauere Berechnung auf der Grundlage von Finiten Elementen angewendet werden.

E.3 Vereinfachte Berechnungsmethode

(1) Für Schrauben oder Gewindestangen mit einer Vorspannkraft $F_{p,c}$ darf die vereinfachte Berechnungsmethode unter der Voraussetzung, dass die folgende Bedingung für die Reduktion der Druckkraft F_C des Vorspannkörpers infolge einer auf den Anschluss zentrisch wirkenden äußeren Zugkraft F_T [Bild E.1 d)] gilt, angewendet werden,

$$F_C \leq F_{p,c}, \quad (E.1)$$

Dabei ist

$F_{p,c}$ die Vorspannkraft der Schraube oder Gewindestange;

F_C die Reduzierung der Druckkraft im Vorspannkörper infolge F_T ;

F_T die äußere Zugkraft auf den vorgespannten geschraubten Anschluss oder Anschluss mit Gewindestange.

(2) Die zusätzliche Zugkraft F_B auf die Schraube oder Gewindestange und die Reduzierung der Druckkraft F_C im Vorspannkörper infolge der äußeren Zugkraft F_T dürfen wie folgt bestimmt werden:

$$F_B = \frac{\delta_c}{\delta_b + \delta_c} F_T \quad (E.2)$$

$$F_C = \frac{\delta_b}{\delta_b + \delta_c} F_T \quad (E.3)$$

Dabei ist

δ_b die elastische Nachgiebigkeit der Schraube oder Gewindestange;

δ_c die elastische Nachgiebigkeit des Vorspannkörpers.

(3) Die elastische Nachgiebigkeit der Schraube oder Gewindestange δ_b und die elastische Nachgiebigkeit des Vorspannkörpers δ_c dürfen wie folgt bestimmt werden [Bild E.1 a)]:

$$\delta_b = \frac{L_1}{E (1,1A_S)} + \frac{L_2}{E A} \quad (E.4)$$

$$\delta_c = \frac{L}{A_p E} \quad (E.5)$$

Dabei ist

L_1 der Anteil der Klemmlänge ohne Gewinde nach Bild E.1 a);

L_2 der Anteil der Klemmlänge mit Gewinde nach Bild E.1 a);

L die Gesamtdicke des Vorspannkörpers inklusive der Unterlegscheiben [Bild E.1 a)];

A_S die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube oder Gewindestange nach EN 1993-1-8;

A die Schaftquerschnittsfläche der Schraube oder Gewindestange;

A_p die Grundfläche des gedrückten Volumens des Vorspannkörpers (Kegelstumpf).

(4) Die Grundfläche des gedrückten Volumens des Vorspannkörpers (Kegelstumpf in Bild E.1 a)) darf wie folgt bestimmt werden:

$$A_p = \frac{\pi}{4} \left\{ \left(s + \frac{L}{10} \right)^2 - d_0^2 \right\} \quad (E.6)$$

Dabei ist

- s die Schlüsselweite (Schlüsselgröße);
- d_0 der Lochdurchmesser für die Schraube oder Gewindestange;
- L die Gesamtdicke des Vorspannkörpers inklusive der Unterlegscheiben [Bild E.1 a)].

ANMERKUNG Anstelle der Gleichung (E.4) und Gleichung (E.5) können genauere elastische Nachgiebigkeiten der Schraube und Bleche im Montagezustand δ_b und δ_c aus VDI 2230 oder einem Tragwerksmodell entnommen werden.

(5) Wenn die Auflagerflächen zwischen den geklemmten Blechen nicht eben sind, sollten die Einflüsse der elastischen Nachgiebigkeit der Bleche im Montagezustand berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die elastische Nachgiebigkeit der Bleche im Montagezustand kann nach VDI 2230 oder mithilfe eines Tragwerksmodells bestimmt werden.

Anhang F (informativ)

Ermüdungsbemessung geschweißter Anschlüsse mit Nachbehandlung durch höherfrequente Hämmerverfahren

F.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Informative Anhang enthält ergänzende Hinweise zu 6.1(3) und 8.3.2(1) zur Berücksichtigung der Anwendung höherfrequenter Hämmerverfahren an geschweißten Anschlüssen für den Nachweis der Bemessungssituation mit Ermüdung.

ANMERKUNG Nationale Festlegungen zur Anwendung dieses Informativen Anhangs sind im Nationalen Anhang angegeben. Enthält der Nationale Anhang keine Angaben zur Anwendung dieses informativen Anhangs, kann er angewendet werden.

F.2 Gültigkeits- und Anwendungsbereich

(1) Dieser Informative Anhang gilt für die Schweißnahtnachbehandlung der in Tabelle F.1 aufgeführten Konstruktionsdetails durch qualifizierte höherfrequente Hämmerverfahren (HFMI), deren vorteilhafter Einfluss auf den Ermüdungswiderstand beim Ermüdungsnachweis berücksichtigt werden darf.

ANMERKUNG 1 Es werden Konstruktionsdetails betrachtet, deren potentielle Rissstelle im unbehandelten Schweißzustand an den Schweißnahtübergängen liegt. Daher wirkt sich eine Nachbehandlung der Schweißnahtübergänge vorteilhaft auf den Ermüdungswiderstand aus.

ANMERKUNG 2 Das aufgebrachte Spannungsverhältnis beeinflusst das Ermüdungsverhalten von HFMI-nachbehandelten Konstruktionsdetails.

(2) Dieser Informative Anhang behandelt qualifizierte Schweißnahtnachbehandlungsverfahren und die aus solch einer Nachbehandlung resultierenden verbesserten Ermüdungswiderstände.

ANMERKUNG 1 Zu den qualifizierten Schweißnahtnachbehandlungsverfahren zählen die nachfolgenden Verfahren, deren Wirksamkeit in experimentellen Untersuchungen nachgewiesen wurde (wie in 3.1.4.13 aufgeführt): HiFIT (High Frequency Impact Treatment), PIT (Pneumatic Impact Treatment), UIT (Ultrasonic Impact Treatment).

ANMERKUNG 2 Weitere Behandlungsverfahren fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Anhangs, außer der Nationale Anhang enthält andere Bestimmungen.

(3) Dieser Informative Anhang behandelt die verbesserten Ermüdungswiderstände nach den Anforderungen für die Anwendung nach Abschnitt F.6.

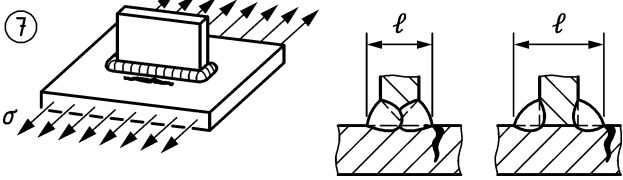
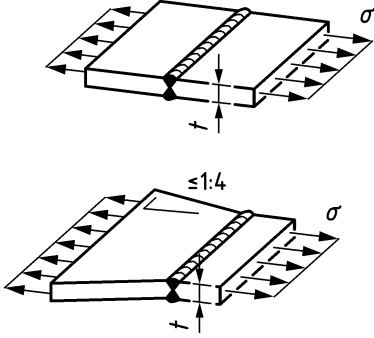
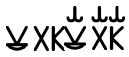
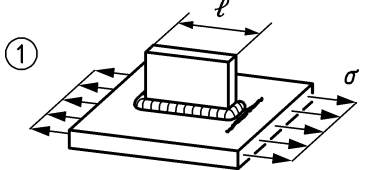
(4) Dieser Informative Anhang gilt nur für geschweißte Konstruktionsdetails mit Blechdicken $t \geq 5$ mm.

(5) Dieser Informative Anhang gilt für Stahlsorten nach EN 1993-1-1; er gilt nicht für wetterfeste Stähle nach EN 10025-5 und nichtrostende Stähle nach EN 10088.

ANMERKUNG Anforderungen für die Anwendung auf andere Stähle und geschweißte Konstruktionsdetails können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

(6) Dieser Informative Anhang gilt für den Ermüdungsnachweis, der nach den Bestimmungen in Abschnitt 9 und Anhang A durchgeführt wird.

Tabelle F.1 — Konstruktionsdetails

Skizze des Konstruktionsdetails	Schweißsymbol	Beschreibung
 (nicht alle Fälle werden dargestellt)		Quersteife Tabelle 10.5, Detail ⑦ bis ⑩
 (nicht alle Fälle werden dargestellt)		querlaufende Stumpfnah Tabelle 10.4, Detail ②, ③, ⑲ und ⑳
 L = Länge der Steife (nicht alle Fälle werden dargestellt)		Längssteife Tabelle 10.5, Detail ① und ②

F.3 Ermüdungsbeanspruchung

F.3.1 Spannungen aus Ermüdungseinwirkungen

- (1) Die aufgetragenen Spannungen sollten nach den Anforderungen in 7.1 berechnet werden.
- (2) Die aufgetragenen Spannungen sollten unter Berücksichtigung der Einflüsse aus statischer Belastung auf Grundlage der häufigen Einwirkungskombination ermittelt werden.

ANMERKUNG Die Ermüdungswiderstandstabellen in F.4.2 enthalten Grenzwerte für die aufgetragenen Spannungen.

F.3.2 Berechnung der Spannungsschwingbreiten

- (1) Für Bemessungssituationen mit Ermüdung, in denen die Ermüdungsbeanspruchung als äquivalente Spannungsschwingbreite definiert ist, sollte die Nennspannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$ wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \lambda_{HFMI} \Delta\sigma (\gamma_{Ff} Q_{fat})$$

und $\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \leq \lambda_{max}$

Dabei ist/sind

- | | |
|--|---|
| $\Delta\sigma (\gamma_{\text{ff}} Q_{\text{fat}})$ | der Bemessungswert der Normalspannungsschwingbreite nach dem vereinfachten Ermüdungslastmodell aus EN 1991 ($= \sigma_{\text{FLM,max}} - \sigma_{\text{FLM,min}}$); |
| λ_i | die Schadensäquivalenzfaktoren in Abhängigkeit des Kollektivs, wie in den relevanten Teilen von EN 1993 und EN 1994, $i = 1, 2, \dots, n$ festgelegt; |
| λ_{max} | die obere Begrenzung des λ -Wertes infolge der Dauerfestigkeit, wie in den relevanten Teilen von EN 1993 und EN 1994 festgelegt; |
| λ_{HFMI} | Faktor zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses im Kollektiv, siehe Abschnitt F.7. |

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann alternative Verfahren zur Berechnung von $\Delta\sigma_{\text{e},2,\text{HFMI,Ed}}$ oder λ_{HFMI} enthalten. Als konservativer Wert kann $\lambda_{\text{HFMI}} = 2,0$ empfohlen werden.

(2) Im Fall einer Ermüdungsbeanspruchung als Lastkollektiv wird die Anwendung von mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung in Abschnitt F.7 angegeben.

F.4 Ermüdungswiderstand

F.4.1 Ermüdungswiderstandskurven

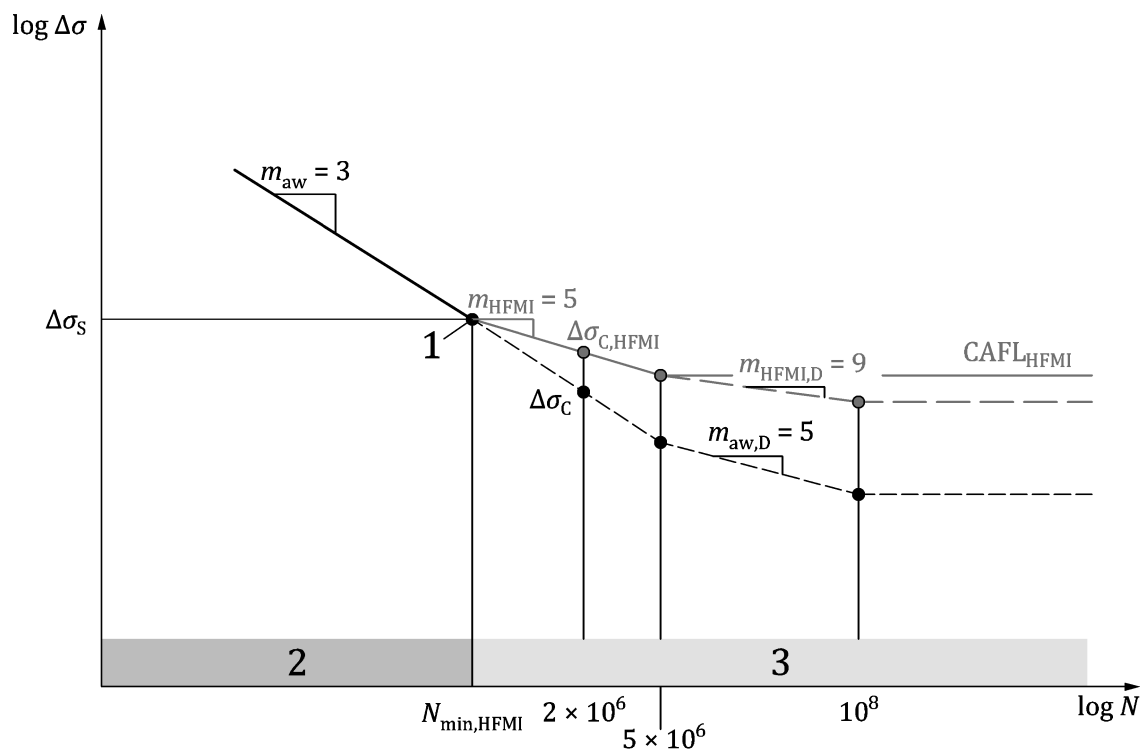
(1) Die charakteristischen Ermüdungswiderstandskurven aus Bild F.1 sollten für HFMI-behandelte Anschlüsse angewendet werden.

ANMERKUNG Für Schwingspiele $N < 5 \times 10^6$ wird für die verbesserte Ermüdungswiderstandskurve ein Neigungsparameter für HFMI-behandelte Konstruktionsdetails von $m_{\text{HFMI}} = 5$ zugrunde gelegt. Für Schwingspiele $5 \times 10^6 < N \leq 10^8$ wird für die verbesserte Ermüdungswiderstandskurve ein Neigungsparameter für HFMI-behandelte Konstruktionsdetails von $m_{\text{HFMI,D}} = 9$ zugrunde gelegt (Bild F.1).

(2) Die Ermüdungswiderstandskurven für den unbehandelten Schweißzustand und den HFMI-Nachbehandlungszustand schneiden sich in Bild F.1 bei der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_s$ und der Mindestschwingspielzahl $N_{\text{min,HFMI}}$. Die HFMI-Ermüdungswiderstandskurve sollte nur bei Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma < \Delta\sigma_s/\gamma_{\text{Mf}}$ oder Schwingspielzahlen $N > N_{\text{min,HFMI}}$ angewendet werden.

(3) Für Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_s/\gamma_{\text{Mf}}$ oder Schwingspielzahlen $N \leq N_{\text{min,HFMI}}$ sollte die Ermüdungswiderstandskurve des unbehandelten Schweißzustands angewendet werden (keine Verbesserung des Ermüdungswiderstands).

(4) Für die jeweils betrachteten Konstruktionsdetails sollten die in Tabelle F.3, Tabelle F.5 und Tabelle F.7 angegebenen Mindestschwingspielzahlen $N_{\text{min,HFMI}}$ und die zugehörige Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_s$ genutzt werden.



Legende

- 1 Schnittpunkt (Grenzwert)
- 2 keine Auswirkung
- 3 vorteilhafte Auswirkung der HFMI-Behandlung

Bild F.1 — Ermüdungswiderstandskurven für den HFMI-Nachbehandlungszustand

F.4.2 Kerbfalltabellen

F.4.2.1 Allgemeines

(1) Der Kerbfall der HFMI-behandelten Konstruktionsdetails $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ darf in Abhängigkeit der Stahlgüte f_y und des Spannungsverhältnisses R bestimmt werden.

(2) Alternativ zu den in Tabelle F.2, Tabelle F.4 und Tabelle F.6 angegebenen Werten darf der Kerbfall der HFMI-behandelten Konstruktionsdetails $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ für eine beliebige Streckgrenze f_y und ein beliebiges Spannungsverhältnis R nach F.4.3 berechnet werden.

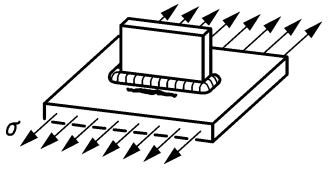
(3) Maßgebend für die Zuordnung des Kerbfalls ist die Stahlgüte. Es darf angenommen werden, dass die blechdickenabhängige Abminderung der Streckgrenze diese Zuordnung nicht beeinflusst.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann eine Abminderung der nominellen Streckgrenze in Abhängigkeit der Blechdicke festlegen.

(4) Für Spannungsverhältnisse R , die von den in den Tabellen angegebenen Werten abweichen, darf linear interpoliert werden, wenn nicht der ungünstigere Grenzwert gewählt wird.

F.4.2.2 Quersteife

Tabelle F.2 — Referenzwert des Kerbfalls $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ der Quersteife mit Nachbehandlung durch qualifizierte HFMI-Verfahren bei Anwendung des Nennspannungskonzepts

 Stahlgüte S nach EN 10025	Kerbfall^{a c}		
	Spannungsverhältnis $R [-]^b$		
	-1,0	0,1	0,5
$S235 \leq S < S355$	125	125	80
$S355 \leq S < S650$	160	140	90
$S650 \leq S \leq S700$	160	160	125

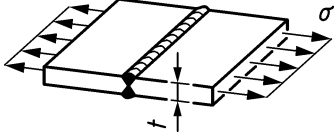
^a Tabelle gilt für $\ell \leq 50$ mm; falls $50 < \ell \leq 80$ mm, sollte $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ um einen Kerbfall abgemindert werden.
^b Für abweichende Spannungsverhältnisse R ist lineare Interpolation zulässig.
^c Der Anwendungsbereich ist für die nach F.3.1 berechneten einwirkenden Spannungen begrenzt auf: $-0,7 f_y < \sigma \leq f_y$.

Tabelle F.3 — Grenzwert der Verbesserung für die Quersteife mit HFMI-Nachbehandlung (Bild F.1)

Unbelastete Quersteife	Kerbfall		Grenzwert für positiven Einfluss der HFMI-Behandlung	
	Schweiß-zustand	HFMI-Nachbehandlung	Maximale Spannungs-schwingbreite	Mindestschwing-spielzahl
	$\Delta\sigma_C$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{HFMI,C}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_s$ [N/mm ²]	$N_{min,HFMI}$ [-]
$50 < \ell \leq 80$ mm	71	80	96	817 100
		90	128	337 800
		100	167	153 250
		112	222	65 500
		125	292	28 750
		140	388	12 300
		160	542	4 500
$\ell \leq 50$ mm	80	90	107	826 600
		100	140	375 000
		112	186	160 300
		125	244	70 350
		140	324	30 100
		160	453	11 050

F.4.2.3 Querlaufende Stumpfnah

Tabelle F.4 — Bezugswert des Kerbfalls $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ der querlaufenden Stumpfnah ohne oder mit Verjüngung in der Breite oder Dicke (Neigung $\leq 1 : 4$) und mit Nachbehandlung durch qualifizierte HFMI-Verfahren bei Anwendung des Nennspannungskonzepts

 Stahlgüte S nach EN 10025	Kerbfall^{b c}		
	Spannungsverhältnis R [-] ^a		
	-1,0	0,1	0,5
S235 $\leq$ S < S355	140	140	90
S355 $\leq$ S < S650	160	160	100
S650 $\leq$ S $\leq$ S700	160	160	140

^a Für abweichende Spannungsverhältnisse R ist lineare Interpolation zulässig.
^b Falls $t_{min} > 25$ mm, sollte $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ mit $k_s = (25/t)^{0,2}$ abgemindert werden.
^c Der Anwendungsbereich ist für die nach F.3.1 berechneten einwirkenden Spannungen begrenzt auf: $-0,9 f_y < \sigma \leq f_y$

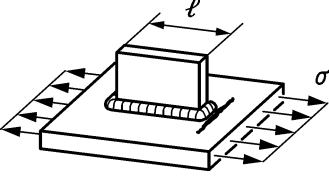
Tabelle F.5 — Grenzwert der Verbesserung für die querlaufende Stumpfnah mit HFMI-Nachbehandlung (Bild F.1)

Querlaufende Stumpfnah	Kerbfall		Grenzwert für positiven Einfluss der HFMI-Behandlung	
	Schweißzustand $\Delta\sigma_C$ [N/mm ²]	HFMI-Nachbehandlung $\Delta\sigma_{HFMI,C}$ [N/mm ²]	Maximale Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_s$ [N/mm ²]	Mindestschwingspielzahl $N_{min,HFMI}$ [-]
$t \leq 25$ mm ^a	90	100	117	907 200
		112	155	387 900
		125	205	170 200
		140	272	72 750
		160	379	26 750

^a Für $t > 25$ mm, sollte $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ mit $k_s = (25/t)^{0,2}$ abgemindert werden.

F.4.2.4 Längssteife

Tabelle F.6 — Referenzwert des Kerbfalls $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ des HFMI-behandelten Konstruktionsdetails der Längssteife infolge der Nachbehandlung durch qualifizierte HFMI-Verfahren bei Anwendung des Nennspannungskonzepts

 Stahlgüte S nach EN 10025	Kerbfall^{a,d,e}		
	Spannungsverhältnis $R [-]^c$		
	-1,0	0,1	0,5
$S235 \leq S < S355$	b	b	b
$S355 \leq S < S650$	100	100	71
$S650 \leq S \leq S700$	125	125	80

^a Tabelle ist für alle Steifenlängen gültig.
^b Kein verbesserter Kerbfall, da unzureichende Datenbasis.
^c Für abweichende Spannungsverhältnisse R ist lineare Interpolation zulässig.
^d Bei Längssteife unter planmäßig reiner Biegebeanspruchung des Grundblechs sollte der ermittelte Kerbfall $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ um einen Kerbfall reduziert werden.
^e Der Anwendungsbereich ist für die nach F.3.1 berechneten einwirkenden Spannungen begrenzt auf: $-0,5 f_y < \sigma \leq f_y$.

Tabelle F.7 — Grenzwert der Verbesserung für die Längssteife mit HFMI-Behandlung (Bild F.1)

Längssteife	Kerbfall		Grenzwert für positiven Einfluss der HFMI-Behandlung	
	Schweißzustand	HFMI-Behandlung	Maximale Spannungsschwingbreite	Mindestschwingspielzahl
	$\Delta\sigma_C$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{HFMI,C}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_s$ [N/mm ²]	$N_{min,HFMI}$ [-]
$\ell > 100 \text{ mm}^a$	63	80	114	333 400
		90	154	137 800
		100	200	62 500
		112	265	26 700
		125	349	11 750

^a Siehe Fußnote a Tabelle F.6

F.4.3 Alternative Formeln zur Bestimmung des Kerbfalls

(1) Alternativ zu den Tabellenwerten aus Tabelle F.2, Tabelle F.4 und Tabelle F.6 darf der Kerbfall der HFMI-behandelten Konstruktionsdetails $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ für eine beliebige Streckgrenze f_y und ein beliebiges Spannungsverhältnis R mit dem Bezugswert des Ermüdungswiderstands (aus Tabelle F.2, Tabelle F.4 und Tabelle F.6) für S355 und $R = 0,1$ folgendermaßen berechnet werden:

$$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}} = f_1 \cdot f_2 \cdot \Delta\sigma_{\text{HFMI,C,ref}} \quad (\text{F.2})$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}}$ der Kerbfall des HFMI-behandelten Konstruktionsdetails für beliebige Streckgrenze f_y und beliebiges Spannungsverhältnis R ;

$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C,ref}}$ der Kerbfall für das gleiche Konstruktionsdetail mit $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ und $R = 0,1$ nach Tabelle F.2, Tabelle F.4 und Tabelle F.6;

f_1 Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses der Streckgrenze f_y , wird folgendermaßen ermittelt:

$$f_1 = 1 + \frac{0,1(f_y - 355)}{\Delta\sigma_{\text{HFMI,C,ref}}}; \quad (\text{F.3})$$

f_2 Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses des Spannungsverhältnisses R , wird folgendermaßen ermittelt:

$$f_2 = \frac{1}{0,5R^2 + 0,95R + 0,9} \quad \text{wenn } 0,1 < R < 1,0, \text{ andernfalls } f_2 = 1,0. \quad (\text{F.4})$$

(2) Bei Berechnung des Modifikationsfaktors f_1 darf die Abnahme der nominellen Streckgrenze f_y mit zunehmender Blechdicke vernachlässigt werden.

F.4.4 Modifizierung des Ermüdungswiderstands

(1) Die Blechdickenabminderung darf vernachlässigt werden, da diese bereits in Tabelle F.2, Tabelle F.4 und Tabelle F.6 berücksichtigt wird.

(2) Die Anpassung an die Streckgrenze f_y und das Spannungsverhältnis R sollte in Anlehnung an F.4.2 bis F.4.4 erfolgen.

F.5 Ermüdungsnachweis

(1) Beim Nachweis mit einer schadensäquivalenten einstufigen Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{e},2,\text{HFMI,Ed}}$, sollten für HFMI-behandelte Konstruktionsdetails die Nennspannungsschwingbreiten folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{\Delta\sigma_{\text{e},2,\text{HFMI,Ed}}}{\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}}/\gamma_{\text{Mf}}} \leq 1,0 \quad (\text{F.5})$$

(2) Spannungskomponenten, die nicht rechtwinklig zum HFMI-behandelten Schweißnahtübergang verlaufen, müssen nach den Verfahren für geschweißte Details nach Abschnitt 9 nachgewiesen werden.

(3) Wenn keine Daten für $\Delta\sigma_{\text{e},2,\text{HFMI,Ed}}$ vorliegen, sollte die Berechnung nach F.7 vorgenommen werden.

(4) Eine unendliche Lebensdauer für Konstruktionsdetails darf angenommen werden, wenn die maximale Spannungsschwingbreite des einwirkenden wirksamen Nennspannungskollektivs $\Delta\sigma_{\text{max,HFMI,Ed}}$ die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{\Delta\sigma_{\text{max,HFMI,Ed}}}{\Delta\sigma_{\text{HFMI,D}}/\gamma_{\text{Mf}}} \leq 1,0 \quad (\text{F.6})$$

(5) Bei gleichzeitiger Wirkung von Normal- und Schubspannungsschwingbreiten sollte der Ermüdungsnachweis die Kombination beider Effekte durch Aufsummieren der Schädigungsanteile nach der Miner-Regel

infolge Nenn-Normalspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$ und Nenn-Schubspannungsschwingbreiten $\Delta\tau_{xy}$, $\Delta\tau_{xz}$, $\Delta\tau_{yz}$, bezogen auf die Rissbildung am Schweißnahtübergang, berücksichtigen:

$$\sum_{j=x,y,z} \left(\frac{\Delta\sigma_{j,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{j,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \sum_{k=xy,xz,yz} \left(\frac{\Delta\tau_{k,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{k,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (F.7)$$

Dabei ist

- m_σ der Neigungsparameter m_1 der Ermüdungswiderstandskurve für das betrachtete Konstruktionsdetail unter Normalspannungsbeanspruchung;
- m_τ der Neigungsparameter m_1 der Ermüdungswiderstandskurve für das betrachtete Konstruktionsdetail unter Schubspannungsbeanspruchung;
- $\Delta\sigma_{x,C}$ der Bezugswert des Kerbfalls $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ für Spannungen senkrecht zum Schweißnahtübergang bei HFMI-behandelten Details.

(6) Wenn Normal- und Schubspannungen an unterschiedlichen Stellen zur Rissbildung führen, sollte ein getrennter Ermüdungsnachweis für beide Stellen geführt werden.

F.6 Anforderungen zur Anwendung

F.6.1 Anforderungen an Schweißnähte vor der HFMI-Behandlung

- (1) Die Anforderungen nach Kerbfallkatalog für ein Konstruktionsdetail vor der HFMI-Behandlung sollten erfüllt sein.
- (2) Die nachzubehandelnden Schweißnahtübergänge müssen für die Behandlung zugänglich sein.
- (3) Schweißnahtnachbehandlungen, die die Geometrie des Schweißnahtübergangs verändern, sollten vor der HFMI-Behandlung nicht angewendet werden.

ANMERKUNG Diese Verfahren sind Schleifen, WIG-Aufschmelzen und Spannungsvibrieren [9].

- (4) Ein Säubern der Schweißnaht (z.B. Entfernung von Schweißspritzern) zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen nach EN 1090-2 ist zulässig. Die zu behandelnden Übergänge sollten nach der Reinigung erkennbar bleiben.

F.6.2 Anforderungen an Schweißnähte nach der HFMI-Behandlung

- (1) Nach der HFMI-Behandlung sollte keine weitere Schweißnahtnachbehandlung erfolgen (z. B. Schleifen, WIG-Aufschmelzen, Spannungsarmglühen, Spannungsvibrieren [9]).

ANMERKUNG Der vorteilhafte Einfluss der HFMI-Behandlung beruht maßgeblich auf dem Einbringen von Druckeigenstressen. Diese Eigenstressen können durch weitere Schweißnahtnachbehandlungen abgebaut werden.

- (2) Reinigungsstrahlen zur Oberflächenvorbereitung für die Korrosionsschutzbeschichtung ist zulässig.
- (3) Thermische Verfahren zum Richten der geschweißten Bauteile sind nicht zulässig.
- (4) Das Feuerverzinken HFMI-behandelter Konstruktionsdetails ist nicht zulässig.
- (5) Die Begrenzungen in Gleichung (9.3) sollten auch während der Montage und Herstellung eingehalten werden.

F.6.3 Qualitätssicherung

(1) Die HFMI-Behandlung sollte nur durch geschulte und qualifizierte Bediener erfolgen.

(2) Die Qualifikation des Bedieners sollte in einer geeigneten Schulung bezogen auf den Gerätehersteller erfolgen.

ANMERKUNG Leitlinien zur Schulung können in der Literatur [4], [9], [10] gefunden werden.

(3) Für die HFMI-Behandlung sollte eine visuelle Prüfung (VT) der Behandlungsspur durch den Bediener und die Schweißaufsichtsperson (Prüfumfang: 100 %) erfolgen. Es sollte sichergestellt werden, dass die ermüdungskritischen Nahtübergänge vollständig behandelt und die ursprüngliche Nahtübergangskerbe vollständig erfasst wurde.

ANMERKUNG Leitlinien zur visuellen Prüfung von HFMI-behandelten Details können in der Literatur [4], [9], [10] gefunden werden.

(4) Die mit dem HFMI-Verfahren behandelten Schweißnahtübergänge sollten in den Ausführungsunterlagen gekennzeichnet werden.

F.7 Anwendung bei mehrstufiger Ermüdungsbeanspruchung

(1) Bei Verwendung mehrstufiger Spannungsschwingbreitenkollektive sollte die aufgebrachte Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_i$ mit γ_{Ff} multipliziert und der Ermüdungswiderstand $\Delta\sigma_{C,HFMI}$ durch γ_{Mf} dividiert werden. Anhang A enthält Ermüdungsnachweise für die Ermüdungsbeanspruchung durch ein Spannungsschwingbreitenkollektiv.

(2) Für HFMI-behandelte Konstruktionsdetails, die mehrstufig auf Ermüdung beansprucht werden und bei denen die Mittelspannung (oder das Spannungsverhältnis R) für jede Spannungsschwingbreite bekannt ist, darf der Bemessungswert einer modifizierten schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite unter Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses wie folgt ermittelt werden:

$$\Delta\sigma_{eq,R,Ed} = \sqrt[5]{\frac{\sum (n_i (\Delta\sigma_{i,Ed} / f_{2,i})^5)}{\sum n_i}} \quad (F.8)$$

Dabei ist

$f_{2,i}$ der Modifikationsfaktor für den Einfluss des Spannungsverhältnisses für das Schwingspiel i , berechnet nach Gleichung (F.4);

$\Delta\sigma_{i,Ed}$ die Spannungsschwingbreite für die Spannungsstufe i im Kollektiv (Bemessungswert);

n_i die Schwingspielzahl zugehörig zur Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{i,Ed}$.

(3) Der Bemessungswert der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$ bei 2×10^6 Schwingspielen darf wie folgt ermittelt werden:

$$\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed} = \frac{\sum n_i}{2 \times 10^6} \Delta\sigma_{eq,R,Ed} \quad (F.9)$$

Dabei ist

$\sum n_i$ die Gesamtzahl der Schwingspiele im Kollektiv.

(4) Der Kerbfall für den Ermüdungsnachweis, ausgehend von $\Delta\sigma_{eq,R,Ed}$, darf wie folgt ermittelt werden:

$$\Delta\sigma_{\text{HFMI},C} = f_1 \Delta\sigma_{\text{HFMI},C,\text{ref}} \quad (\text{F.10})$$

(5) Bei Anwendung einer schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite auf Grundlage des vereinfachten Ermüdungslastmodells nach EN 1991 und entsprechender λ -Werte darf der Faktor zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses im Kollektiv, λ_{HFMI} , wie folgt ermittelt werden:

$$\lambda_{\text{HFMI}} = \frac{\Delta\sigma_{\text{eq},R,\text{Ed}}}{\Delta\sigma_{\text{eq},\text{Ed}}} \quad \text{aber} \quad 1,0 \leq \lambda_{\text{HFMI}} \leq 2,0 \quad (\text{F.11})$$

Dabei ist

$\Delta\sigma_{\text{eq},R,\text{Ed}}$ der Bemessungswert der modifizierten schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite unter Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses nach Gleichung (F.6);

$\Delta\sigma_{\text{eq},\text{Ed}}$ der Bemessungswert der schadensäquivalenten Spannungsschwingbreite nach Gleichung (F.6) mit $f_{2,i} = 1,0$.

ANMERKUNG Weitere Leitlinien können in Ref. [3] gefunden werden, einschließlich λ_{HFMI} -Werte für Straßenbrücken.

Anhang G (informativ)

Referenzmethode mit dem Strukturspannungskonzept

G.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser Informative Anhang enthält ergänzende Leitlinien zu B.4.2(1) für die Anwendung des Strukturspannungskonzeptes im Ermüdungsnachweis mittels Referenzdetail.

ANMERKUNG Die nationale Entscheidung über die Anwendung dieses Informativen Anhangs ist im Nationalen Anhang enthalten. Enthält der Nationale Anhang keine Informationen über die Anwendung dieses Informativen Anhangs, kann er verwendet werden.

G.2 Gegenstand und Anwendungsbereich

(1) Dieser Informative Anhang behandelt nicht kategorisierte Konstruktionsdetails, die einem Referenzdetail so ähnlich wie möglich sind und die Anforderungen von Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.11 sowie der Tabelle B.2 erfüllen.

ANMERKUNG Weitere Hinweise zur Anwendung dieser Methode finden sich in Literaturhinweis [1].

(2) Dieser Informative Anhang gilt für Ermüdungsnachweise, die nach den Anforderungen in Abschnitt 9 und Anhang A geführt werden.

G.3 Ermüdungsbeanspruchungen

(1) Ermüdungsbeanspruchungen sollten nach B.3 ermittelt werden.

G.4 Ermüdungswiderstand

(1) Der Berechnungsablauf zur Bestimmung des Ermüdungswiderstandes eines nicht kategorisierten Konstruktionsdetails $\Delta\sigma_{HS,C,nc}$ sollte wie folgt aussehen:

- a) Das Referenzdetail mit bekanntem Ermüdungswiderstand $\Delta\sigma_{HS,ref}$ aus den Kerbfalltabellen sollte dem nachzuweisenden Konstruktionsdetail in Bezug auf geometrische und schweißtechnische Parameter sowie der Beanspruchungssituation möglichst ähnlich sein;
- b) Die Art der Spannung, in der der Ermüdungswiderstand ausgedrückt wird. Dies ist in der Regel die Nennspannung;
- c) Das FE-Modell des Referenzdetails sowie des nachzuweisenden Konstruktionsdetails sollte mit der gleichen Art von FE-Netz und Elementen, nach den Leitlinien in EN 1993-1-14, erstellt sein;
- d) Die FE-Berechnung des Referenzdetails und des nachzuweisenden Konstruktionsdetails sollte mit der unter b) identifizierten Spannung durchgeführt werden;
- e) Die Hot-Spot-Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{HS,ref}$ des Referenzdetails und die Hot-Spot-Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{HS,nc}$ des nachzuweisenden, nicht klassifizierten Konstruktionsdetails sollten aus den Strukturspannungen der FE-Modelle ermittelt werden;

- f) Der Kerbfall des nachzuweisenden, nicht kategorisierten Konstruktionsdetails $\Delta\sigma_{HS,C,nc}$ sollte wie folgt aus dem Kerbfall des Referenzdetails $\Delta\sigma_{HS,C,ref}$ bestimmt werden:

$$\Delta\sigma_{HS,C,nc} = \frac{\Delta\sigma_{HS,ref}}{\Delta\sigma_{HS,nc}} \Delta\sigma_{HS,C,ref} \quad (G.1)$$

- (2) Werden Kontrollmessungen zur Überprüfung der berechneten Spannungen am nicht kategorisierten Konstruktionsdetail oder am Referenzdetail durchgeführt, sollten die Dehnungsmessstreifen außerhalb der Wärmeeinflusszone angebracht werden.

G.5 Ermüdungsnachweis

- (1) Zur Beschreibung des Ermüdungswiderstandes des nicht-kategorisierten Konstruktionsdetails können die Neigungsparameter m_1 , m_2 und die Anzahl der Schwingspiele N_D des Referenzdetails angenommen werden.

- (2) Für den Nachweis mit der äquivalenten einstufigen Spannungsschwingbreite sollte die Hot-Spot-Spannungsschwingbreite für ein nicht-kategorisiertes Konstruktionsdetail die folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{\Delta\sigma_{HS,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{HS,C,nc}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (G.2)$$

- (3) Liegen keine Informationen zu $\Delta\sigma_{HS,e,2,Ed}$ vor, dann darf das Nachweisverfahren nach Anhang A genutzt werden.

- (4) Eine unendliche Lebensdauer für Konstruktionsdetails darf angenommen werden, wenn die maximale Spannungsschwingbreite des einwirkenden Strukturspannungskollektivs folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{\Delta\sigma_{max, HS, Ed}}{\Delta\sigma_{HS,D,nc}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (G.3)$$

Literaturhinweise

In Empfehlungen enthaltene Verweisungen (d. h. durch „sollte“-Sätze)

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt keine streng einzuhaltenden Anforderungen, sondern nachdrücklich empfohlene Entscheidungen oder Verfahrensweisen darstellen. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen könnten alternative Normen verwendet/angenommen werden, wenn es technisch begründet ist. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

- [1] EN 10163-2, *Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalzten Stahlerzeugnissen (Blech, Breitflachstahl und Profile) — Teil 2: Blech und Breitflachstahl*
- [2] EN 10163-3, *Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalzten Stahlerzeugnissen (Blech, Breitflachstahl und Profile) — Teil 3: Profile*
- [3] EN 10210, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*
- [4] EN 10219, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*
- [5] EN ISO 2553, *Welding and allied processes — Symbolic representation on drawings — Welded joints (ISO 2553)*
- [6] EN ISO 5817, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817)*
- [7] EN ISO 6947, *Schweißen und verwandte Prozesse — Schweißpositionen (ISO 6947)*
- [8] EN ISO 9013, *Thermisches Schneiden — Einteilung thermischer Schnitte — Geometrische Produktspezifikation und Qualität (ISO 9013)*
- [9] ISO 14347, *Fatigue — Design procedure for welded hollow section joints — Recommendations*

In Möglichkeiten enthaltene Verweisungen (d. h. durch „kann“-Sätze) und Anmerkungen

Die folgenden Dokumente werden im Text informativ in Bezug genommen, z. B. in kann-Sätzen und in Anmerkungen.

- [1] HOBACHER, A.F.: *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components* Second Edition, IIW document IIW-2259-15, 2016.
- [2] KUHLMANN, U., BREUNIG, S., UMMENHOFER, T., WEIDNER, P.: *Entwicklung einer DAST-Richtlinie für höherfrequente Hämmerv Verfahren, DAST-AiF-IGF-Nr. 17886, Schlussbericht, 2017.*
- [3] SHAMS-HAKIMI, P., CARLSSON, F., AL-EMRANI, M., AL-KARAWI, H.: *Assessment of in-service stresses in steel bridges for high-frequency mechanical impact applications*, Engineering Structures, Elsevier, Vol. 241, 112498, May 2021.

- [4] UMMENHOFER, T., WEIDNER, P., KUHLMANN, U., KUDLA, K., BREUNIG, S.: Entwicklung eines einfachen Qualitätssicherungstests für die Anwendung höherfrequenter Hämmerverfahren, FOSTA-Schlussbericht P872, „Kurzstudie“, 2017.
- [5] VDI 2230 Blatt 1, *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen — Zylindrische Einschraubenverbindungen*, Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure, 2015.
- [6] EN 1994, *Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- [7] EN ISO 14732, *Schweißpersonal — Prüfung von Bedienern und Einrichtern zum mechanischen und automatischen Schweißen von metallischen Werkstoffen (ISO 14732)*
- [8] CEN/TR 14599:2005, *Begriffe und Definitionen zum Schweißen in Verbindung mit EN 1792*, CEN, Juni 2005
- [9] DAST Richtlinie 026, *Ermüdungsbemessung bei Anwendung höherfrequenter Hämmerverfahren*, Stahlbau Verlag, 2019, ISBN 978-3-941687-37-0.
- [10] MARQUIS, G. B., and BARSOUM, Z.: *IIW Recommendations for the HFMI Treatment: For Improving the Fatigue Strength of Welded Joints*. IIW Collection, Springer Publishers, 2016, ISBN 978-981-10-2503-7.

- Entwurf -

English Version

Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue

Eurocode 3: Calcul des structures en acier - Partie 1-9:
Fatigue

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von
Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung

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, Türkiye 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

1	Scope.....	9
1.1	Scope of EN 1993-1-9	9
1.2	Assumptions	9
2	Normative references.....	10
3	Terms, definitions and symbols	10
3.1	Terms and definitions	10
3.1.1	General.....	10
3.1.2	Fatigue actions	15
3.1.3	Fatigue action effect.....	17
3.1.4	Fatigue resistance.....	19
3.1.5	Fatigue verification	24
3.2	Symbols	25
4	Basis of fatigue design.....	27
5	Fatigue design concepts.....	28
6	Fatigue design methods.....	29
6.1	Design stress methods	29
6.2	Verification methods	29
7	Fatigue action effect.....	30
7.1	Calculation of nominal stresses	30
7.2	Relevant nominal stresses.....	30
7.3	Calculation of nominal stress ranges.....	33
7.3.1	General.....	33
7.3.2	Design value of nominal stress range.....	33
7.4	Effective design value of stress range.....	34
8	Fatigue resistance.....	35
8.1	Fatigue resistance curves.....	35
8.2	Classification of constructional details.....	41
8.3	Fatigue resistance modifications	42
8.3.1	Size effect	42
8.3.2	Post-fabrication treatment.....	42
9	Fatigue verification	43
9.1	Verification with respect to elastic behaviour	43
9.2	Verification with respect to reference value	43
9.3	Verification with respect to fatigue limit	44
9.4	Verification for multiaxial fatigue	44
10	Classified constructional details for the nominal stress method	45
Annex A (normative)	Verification using cumulative linear damage model	84
A.1	Use of this annex	84
A.2	Scope and field of application	84
A.3	Fatigue action effect.....	84
A.3.1	Stresses from fatigue actions.....	84
A.3.2	Calculation of stress ranges	84
A.4	Fatigue resistance.....	85
A.4.1	Endurance for the nominal stress method	85
A.4.2	Endurance for the hot spot stress method.....	87
A.4.3	Endurance for the effective notch stress method.....	87

A.4.4	Endurance for welded joints subjected to High Frequency Mechanical Impact Treatment.....	87
A.5	Fatigue verification.....	88
Annex B (normative)	Hot spot stress method	91
B.1	Use of this annex	91
B.2	Scope and field of application	91
B.3	Fatigue action effect.....	91
B.3.1	Stresses from fatigue actions.....	91
B.3.2	Calculation of stress ranges	93
B.4	Fatigue resistance.....	94
B.4.1	Fatigue resistance curves	94
B.4.2	Classification of constructional details.....	96
B.4.3	Fatigue resistance modification	99
B.5	Fatigue verification.....	100
Annex C (normative)	Effective notch stress method.....	101
C.1	Use of this annex	101
C.2	Scope and field of application	101
C.3	Fatigue action effect.....	101
C.3.1	Stresses from fatigue action.....	101
C.3.2	Calculation of stress ranges	102
C.4	Fatigue resistance.....	103
C.4.1	Fatigue resistance curves	103
C.4.2	Classification of constructional details.....	103
C.5	Fatigue verification.....	104
Annex D (informative)	Recommendations for magnification factors k_1 and stress concentration factors k_t.....	105
D.1	Use of this annex	105
D.2	Scope and field of application	105
D.3	Secondary moments in lattice girders	105
D.4	Flanges of $\perp$-section girders with transitions in thickness or width.....	106
D.5	Thickness transitions in plates.....	108
D.6	Shell structures	108
Annex E (informative)	Recommendations for preloaded bolts and rods subject to tension	109
E.1	Use of this annex	109
E.2	Scope and field of application	109
E.3	Simplified calculation method.....	110
Annex F (informative)	Fatigue design of welded joints subjected to High Frequency Mechanical Impact Treatment.....	112
F.1	Use of this annex	112
F.2	Scope and field of application	112
F.3	Fatigue action effect.....	113
F.3.1	Stresses from fatigue actions.....	113
F.3.2	Calculation of the stress ranges.....	113
F.4	Fatigue resistance.....	114
F.4.1	Fatigue resistance curves	114
F.4.2	Classification of constructional details.....	115
F.4.3	Alternative formulae for determination of detail category	119
F.4.4	Fatigue resistance modification	119
F.5	Fatigue verification.....	120

F.6	Requirements for application	120
F.6.1	Requirements for welds before HFMI treatment.....	120
F.6.2	Requirements for welds after HFMI treatment.....	121
F.6.3	Quality control	121
F.7	Treatment of variable amplitude loading.....	121
Annex G (informative)	Hot spot stress reference detail method.....	123
G.1	Use of this annex	123
G.2	Scope and field of application	123
G.3	Fatigue action effect.....	123
G.4	Fatigue resistance.....	123
G.5	Fatigue verification	124
Bibliography		125

European foreword

This document (prEN 1993-1-9:2023) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Codes”, the secretariat of which is held by BSI. CEN/TC 250 is responsible for all Structural Eurocodes and has been assigned responsibility for structural and geotechnical design matters by CEN.

This document is currently submitted to the CEN Enquiry.

This document will supersede EN 1993-1-9:2005 and EN 1993-1-9:2005/AC:2009.

The first generation of EN Eurocodes was published between 2002 and 2007. This document forms part of the second generation of the Eurocodes, which have been prepared under Mandate M/515 issued to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association.

The Eurocodes have been drafted to be used in conjunction with relevant execution, material, product and test standards, and to identify requirements for execution, materials, products and testing that are relied upon by the Eurocodes.

The Eurocodes recognise the responsibility of each Member State and have safeguarded their right to determine values related to regulatory safety matters at national level through the use of national annexes.

Introduction

0.1 Introduction to the Eurocodes

The Structural Eurocodes comprise the following standards generally consisting of a number of parts:

- EN 1990 Eurocode: Basis of structural and geotechnical design;
- EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures;
- EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures;
- EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures;
- EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures;
- EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures;
- EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures;
- EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design;
- EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance;
- EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminium structures;
- New parts are under development, e.g. Eurocode for design of structural glass.

The Eurocodes are intended for use by designers, clients, manufacturers, constructors, relevant authorities (in exercising their duties in accordance with national or international regulations), educators, soft-ware developers, and committees drafting standards for related product, testing and execution standards.

NOTE Some aspects of design are most appropriately specified by relevant authorities or, where not specified, can be agreed on a project-specific basis between relevant parties such as designers and clients. The Eurocodes identify such aspects making explicit reference to relevant authorities and relevant parties.

0.2 Introduction to EN 1993 (all parts)

EN 1993 (all parts) applies to the design of buildings and civil engineering works in steel. It complies with the principles and requirements for the safety and serviceability of structures, the basis of their design and verification that are given in EN 1990 – Basis of structural design.

EN 1993 (all parts) is concerned only with requirements for resistance, serviceability, durability and fire resistance of steel structures. Other requirements, e.g. concerning thermal or sound insulation, are not covered.

EN 1993 is subdivided in various parts:

- EN 1993-1, Design of Steel Structures — Part 1: General rules and rules for buildings;
- EN 1993-2, Design of Steel Structures — Part 2: Steel bridges;
- EN 1993-3, Design of Steel Structures — Part 3: Towers, masts and chimneys;
- EN 1993-4, Design of Steel Structures — Part 4: Silos and tanks;

- EN 1993-5, Design of Steel Structures — Part 5: Piling;
- EN 1993-6, Design of Steel Structures — Part 6: Crane supporting structures;
- EN 1993-7, Design of steel structures — Part 7: Design of sandwich panels.

EN 1993-1 in itself does not exist as a physical document, but as a document series that comprises the following 14 separate parts, the basic part being EN 1993-1-1:

- EN 1993-1-1, Design of Steel Structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings;
- EN 1993-1-2, Design of Steel Structures — Part 1-2: Structural fire design;
- EN 1993-1-3, Design of Steel Structures — Part 1-3: Cold-formed members and sheeting;

NOTE Cold formed hollow sections supplied according to EN 10219 are covered in EN 1993-1-1.

- EN 1993-1-4, Design of Steel Structures — Part 1-4: Stainless steels;
- EN 1993-1-5, Design of Steel Structures — Part 1-5: Plated structural elements;
- EN 1993-1-6, Design of Steel Structures — Part 1-6: Strength and stability of shell structures;
- EN 1993-1-7, Design of Steel Structures — Part 1-7: Strength and stability of planar plated structures transversely loaded;
- EN 1993-1-8, Design of Steel Structures — Part 1-8: Design of joints;
- EN 1993-1-9, Design of Steel Structures — Part 1-9: Fatigue strength of steel structures;
- EN 1993-1-10, Design of Steel Structures — Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties;
- EN 1993-1-11, Design of Steel Structures — Part 1-11: Design of structures with tension components made of steel;
- EN 1993-1-12, Design of Steel Structures — Part 1-12: Additional rules for steel grades up to S960;
- EN 1993-1-13, Design of Steel Structures — Part 1-13: Beams with large web openings;
- EN 1993-1-14, Design of Steel Structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis.

All subsequent parts numbered EN 1993-1-2 to EN 1993-1-14 treat general topics that are independent from the structural type like structural fire design, cold-formed members and sheeting, stainless steels, plated structural elements, etc.

All subsequent parts numbered EN 1993-2 to EN 1993-7 treat topics relevant for a specific structural type like steel bridges, towers, masts and chimneys, silos and tanks, piling, crane supporting structures, etc. EN 1993-2 to EN 1993-7 refer to the generic rules in EN 1993-1 and supplement, modify or supersede them.

0.3 Introduction to EN 1993-1-9

EN 1993-1-9 gives specific design rules for verification of fatigue resistance of steel structures. It is intended to be used with EN 1990, EN 1991 and EN 1993-1. Matters that are already covered in those documents are not repeated. The focus in EN 1993-1-9 is on design rules that supplement, modify or supersede the equivalent provisions given in EN 1993-1.

0.4 Verbal forms used in the Eurocodes

The verb “shall” expresses a requirement strictly to be followed and from which no deviation is permitted in order to comply with the Eurocodes.

The verb “should” expresses a highly recommended choice or course of action. Subject to national regulation and/or any relevant contractual provisions, alternative approaches could be used/adopted where technically justified.

The verb “may” expresses a course of action permissible within the limits of the Eurocodes.

The verb “can” expresses possibility and capability; it is used for statements of fact and clarification of concepts.

0.5 National annex for EN 1993-1-9

National choice is allowed in this standard where explicitly stated within notes. National choice includes the selection of values for Nationally Determined Parameters (NDPs).

The national standard implementing EN 1993-1-9 can have a National Annex containing all national choices to be used for the design of steel structures to be constructed in the relevant country.

When no national choice is given, the default choice given in this standard is to be used.

When no national choice is made and no default is given in this standard, the choice can be specified by a relevant authority or, where not specified, agreed for a specific project by appropriate parties.

National choice is allowed in EN 1993-1-9 through notes to the following:

1.1(8)	4(6)	5(4)	5(6)
6.1(3) – 3 choices	7.1(4)	8.2(1) – 2 choices	9.1(1)
9.4(3)	B.2(1)	B.2(1)	C.2(4)
C.2(5)	F.2(2)	F.2(5)	F.2(6)
F.3.2(1)	F.4.2.1(3)		

National choice is allowed in EN 1993-1-9 on the application of the following informative annexes:

Annex D	Annex E	Annex F	Annex G
---------	---------	---------	---------

The National annex may contain, directly or by reference, non-contradictory complementary information for ease of implementation, provided it does not alter any provisions of the Eurocodes.

1 Scope

1.1 Scope of EN 1993-1-9

(1) EN 1993-1-9 gives design methods for the verification of the fatigue design situation of steel structures.

NOTE Steel structures consist of members and their joints. Each member and joint can be represented as a constructional detail or as several of the latter.

(2) Design methods other than the stress-based methods, such as the notch strain method or fracture mechanics methods, are not covered by EN 1993-1-9.

(3) EN 1993-1-9 only applies to structures made of all grades of structural steels which conform to EN 1993-1 (all parts), in accordance with the provisions noted in the detail category tables or annexes.

(4) EN 1993-1-9 only applies to structures where execution conforms to EN 1090-2.

NOTE Supplementary execution requirements are indicated in the detail category tables.

(5) EN 1993-1-9 applies to structures operating under normal atmospheric conditions and with sufficient corrosion protection and regular maintenance. The effect of seawater corrosion is not covered.

(6) EN 1993-1-9 applies to structures with hot dip galvanizing in accordance with the provisions noted in the detail category tables or annexes.

(7) Microstructural damage from high temperature ($> 150^{\circ}\text{C}$) that occurs during the design service life is not covered.

(8) EN 1993-1-9 gives guidance of how to consider post-fabrication treatments that are intended to improve the fatigue resistance of constructional details.

1.2 Assumptions

(1) Unless specifically stated, EN 1990, EN 1991 (all parts) and the other relevant parts of EN 1993-1 (all parts) apply.

(2) The design methods given in EN 1993-1-9 are applicable if:

- the execution quality is as specified in EN 1090-2, and
- the construction materials and products used are as specified in the relevant parts of EN 1993 (all parts), or in the relevant material and product specifications.

(3) The design methods of EN 1993-1-9 are generally derived from fatigue tests on constructional details with large scale specimens that include effects of geometrical and structural imperfections from material production and execution (e.g. the effects of tolerances and residual stresses from welding).

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

NOTE See the Bibliography for a list of other documents cited that are not normative references, including those referenced as recommendations (i.e. through 'should' clauses) and permissions (i.e. through 'may' clauses).

EN 1090-2, *Execution of steel structures and aluminium structures — Part 2: Technical requirements for steel structures*

EN 1990, *Eurocode - Basis of structural design*

EN 1991 (all parts), *Eurocode 1 - Actions on structures*

EN 1993-1 (all parts), *Eurocode 3 - Design of steel structures*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purpose of this document terms and definitions given in EN 1990, EN 1991 (all parts), EN 1993-1-1, EN 1993-1-5, EN 1993-1-8 and the following apply.

3.1.1 General

3.1.1.1

fatigue

gradually progressive, localised damaging process of a constructional detail within a structure subject to fatigue action (see 3.1.2.1) that may culminate in failure caused by crack initiation and propagation

Note 1 to entry: The type of failure depends on the definition of fatigue resistance, see 3.1.4.1.

3.1.1.2

design service life

reference period of time that depends on the type of structure for which its constructional details are required to perform safely with an appropriate level of reliability that failure by fatigue cracking will not occur

Note 1 to entry: EN 1990 gives provisions on design service life.

3.1.1.3

safe life concept

design concept in which an appropriate level of reliability for the fatigue design situation is obtained without the need for regular in-service inspection or monitoring for fatigue during the design service life

3.1.1.4

damage tolerant concept

design concept in which an appropriate level of reliability for the fatigue design situation is obtained by implementing prescribed inspection and maintenance for detecting and mitigating fatigue during the design service life

3.1.1.5

constructional detail

part of a member or joint containing a stress raising effect

3.1.1.6

hollow section joint

joint consisting of structural circular hollow sections (CHS) or structural rectangular hollow sections (RHS), or their combinations as used in uniplanar or multi-planar trusses or girders, such as T-, Y-, X-, K-, XX-, and KK-joints

3.1.1.7

rod

circular solid threaded member made of structural steel including stainless steel

3.1.1.8

stress raising effect

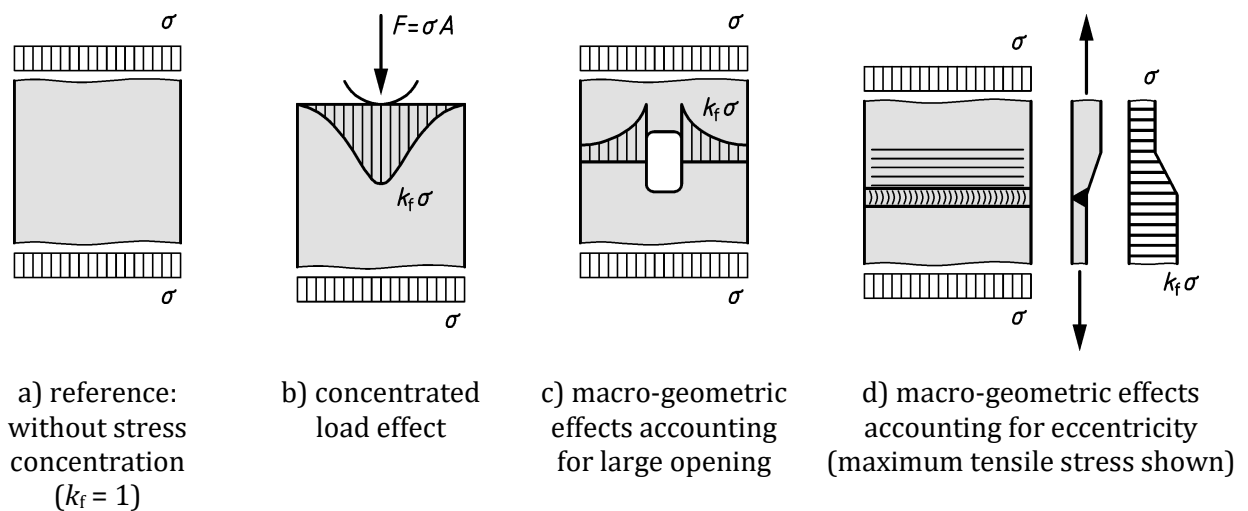
local increase in stress caused by discontinuity in loading and/or geometry and/or material

3.1.1.9

stress concentration

computable part of stress raising effect, expressed by the stress concentration factor k_f , see Figure 3.1

Note 1 to entry: Stress concentration factors are usually only available for concentrated load effects and geometric effects.



Key

- σ nominal stress
- k_f stress concentration factor
- A cross-sectional area
- F concentrated load

Figure 3.1 — Examples of stress concentration factor k_f

3.1.1.10

concentrated load effect

stress raising effect arising from discontinuity in loading caused by single loads, usually not taken into account in the detail category tables, e.g. Figure 3.1 b)

3.1.1.11

macro-geometric effect

stress raising effect arising from discontinuity in gross shape of a member, see e.g. Figure 3.1 c) and d), usually not taken into account in the detail category tables

Note 1 to entry: Examples are apertures, re-entrant corners, large openings, shear lag, curved members, secondary bending caused by eccentricities and misalignments beyond the limits accounted for by the detail category tables.

3.1.1.12

misalignment

unintended offset or out-of-straightness (angular mismatch) due to the arrangement or position of jointed elements arising during the manufacturing process

3.1.1.13

eccentricity

intended offset of jointed elements

3.1.1.14

joint-geometric effect

stress raising effect arising from discontinuity in local shape of a member caused by attachments or connected members, see Figure 3.2 c)

Note 1 to entry: Examples are shell bending stresses in addition to membrane stresses in plates caused by one-sided attachment.

3.1.1.15

notch-geometric effect

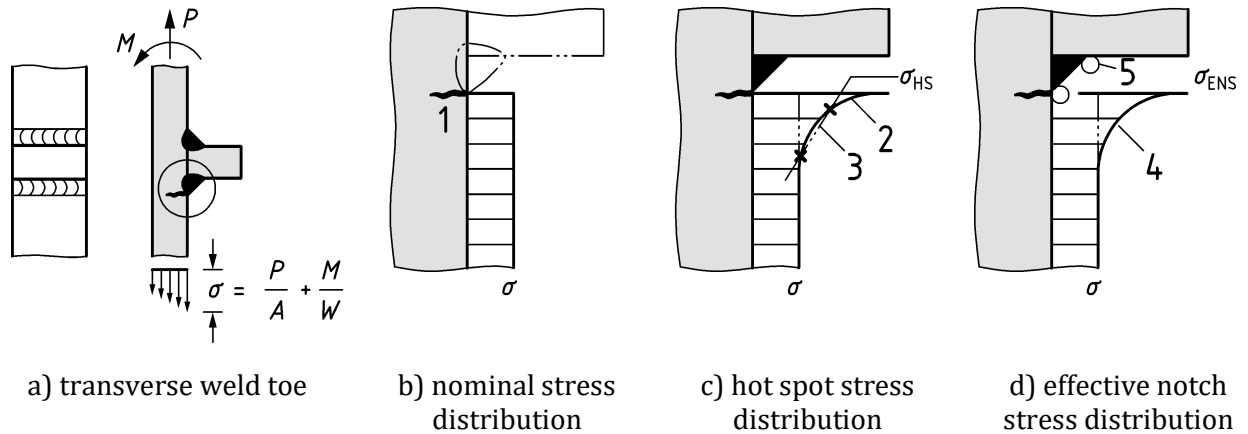
stress raising effect arising from discontinuity in local geometry of a member at a microscopic scale caused by notch geometry (notch radius), see Figure 3.2 d)

Note 1 to entry: Examples for non-welded member are scratches, corrosion pits and rolling defects. Examples for welded members are weld profile shape, weld toes, weld roots, lack of fusion, slag inclusion, lack of penetration, cold laps and porosity.

3.1.1.16

material effect

stress raising effect arising from discontinuity in material properties, such as regions with different yield strengths in the heat affected zone of welds, that are accounted for within the detail category tables



Key

- 1 potential crack
- 2 stress distribution on surface accounting for weld with sharply edged weld toes
- 3 linear stress extrapolation
- 4 stress distribution on surface accounting for weld with rounded off weld toes
- 5 round off radius for weld toe
- σ nominal stress at potential crack location (here: weld toe)
- σ_{HS} hot spot stress at potential crack location (see 3.1.1.20)
- σ_{ENS} effective notch stress at potential crack location (see 3.1.1.22)

Figure 3.2 — Examples of different types of normal stress distribution in the vicinity of transverse weld toe

3.1.1.17

nominal stress

σ or τ

elastic stress in a constructional detail adjacent to a potential crack location, disregarding any stress raising effect, Figure 3.2 b)

Note 1 to entry: The nominal stress as specified in EN 1993-1-9 can be a normal stress, a shear stress, a principal stress or an equivalent stress.

Note 2 to entry: The joint-geometric (see 3.1.1.14), the notch-geometric (see 3.1.1.15) and the material effects (see 3.1.1.16) are accounted for by the nominal stress-based detail categories. See 3.1.1.18 if macro-geometric and/or concentrated load effects exist.

Note 3 to entry: For beam-like components with uniform loading, the nominal stress can be calculated by beam theory.

3.1.1.18

modified nominal stress

nominal stress multiplied by an appropriate stress concentration factor k_f to allow for geometric and/or concentrated load effects, see Figures 3.1 b) to d)

Note 1 to the entry: Instead of stress concentration factors, fatigue notch factors k_t can be used. Examples are given in EN 1999-1-3.

3.1.1.19

geometric stress

structural stress

elastic stress within a welded constructional detail accounting for joint-geometric effects (and macro-geometric and concentrated load effects if applicable) and neglecting the notch-geometric and material effects, see Figure 3.2 c)

Note 1 to entry: The notch-geometric (see 3.1.1.13) and the material effects (see 3.1.1.14) are accounted for in Table B.1.

3.1.1.20

hot spot stress

σ_{hs}

stress at the weld toe of the considered constructional detail derived from the geometric stress (see 3.1.1.18) through stress extrapolation

Note 1 to entry: See EN 1993-1-14 for determination of hot spot stress.

3.1.1.21

notch stress

elastic stress in a constructional detail taking into account all stress concentrations, Figure 3.2 d)

3.1.1.22

effective notch stress

σ_{ENS}

peak value of notch stress at potential crack location modelled with a specified effective notch radius, Figure 3.2 d)

Note 1 to entry: See EN 1993-1-14 for determination of effective notch stress.

3.1.1.23

residual stresses

permanent stresses in a member or structure in the absence of any external action

Note 1 to entry: Residual stresses can arise from rolling, cutting and forming processes, thermal treatment, weld shrinkage or lack of fit between members. As external action is absent, the residual stresses locked in a member are self-balancing.

3.1.1.24

inspection

examination for conformity by measuring, observing, or testing relevant characteristics

3.1.2 Fatigue actions

3.1.2.1

fatigue action

action on a structure that is composed of loading events for which the number of reoccurrences cannot be neglected for structural design as the action effect on the constructional details may cause fatigue

Note 1 to entry: Examples of fatigue actions are:

- axle loads of lorries on road bridges,
- transverse forces due to alternate vortex-shedding on masts, towers and chimneys,
- wheel loads of cranes on crane runway beams.

Note 2 to entry: EN 1990 gives representative values of the actions on structures for the fatigue design situation.

3.1.2.2

loading event (load cycle)

period of time with a defined variation in magnitude and/or point of application of the fatigue action that can be considered to reoccur a number of times

Note 1 to entry: Examples of loading events are:

- sequence summarizing approach, passage and departure of a lorry or a railway train in case of bridges,
- shedding of a single vortex in case of masts, towers, chimneys,
- sequence of crane operations commencing when a payload is hoisted and ending when the crane is ready to hoist the next payload in case of crane runway beams.

3.1.2.3

loading history

presentation of the expected fatigue action on a structure (considering prediction inaccuracy) during its design service life by arranging the loading events in chronological sequence

3.1.2.4

action spectrum

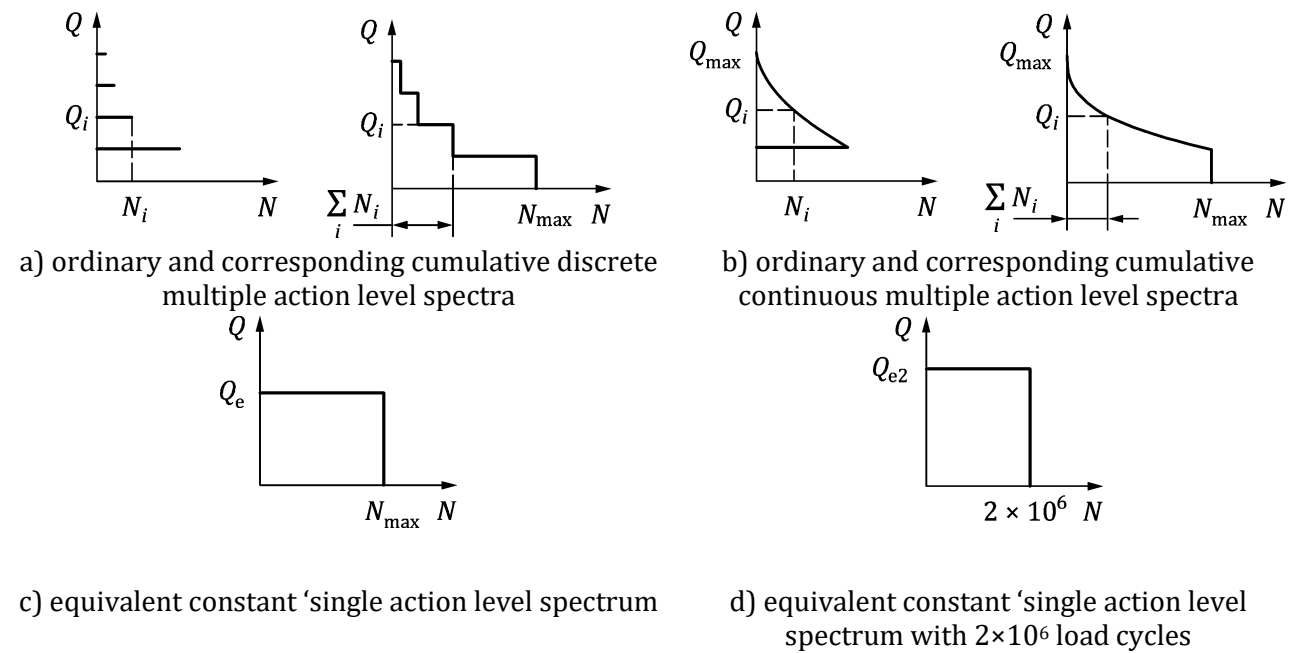
evaluation of the loading history of a structure presenting the different levels of fatigue action with the associated relative frequency (number of stress cycles) in descending order by neglecting sequence effects

Note 1 to entry: The fatigue action can be described by ordinary spectra (relationship of different action levels Q_i and associated numbers of load cycles N_i) or by cumulative spectra (also called sum-spectra; relationship of different action levels Q_i and associated number of load cycles $\sum N_i$ for which this action level is reached or exceeded). Figure 3.3 shows selected types of action spectra that are commonly used:

- discrete action spectrum of different action levels Q_i , Figure 3.3 a)
- continuous loading spectrum characterized by $Q_{\max}$, $N_{\max}$ and a standardized spectrum shape, Figure 3.3 b)
- equivalent constant loading spectrum characterized by Q_e and $N_{\max}$, Figure 3.3 c)
- equivalent constant loading spectrum characterized by $Q_{e,2}$ and 2×10^6 load cycles representing a simplified fatigue load model in EN 1991, Figure 3.3 d).

Note 2 to entry: EN 1990 contains general provisions for structures for which EN 1991 does not provide loading spectra.

Note 3 to entry: The equivalent constant loading spectra characterized by $Q_{e,2}$ and 2×10^6 load cycles replace real discrete or continuous load spectra.



Key

- N_i number of cycles at action level Q_i
- $\sum N_i$ number of cycles for which action level Q_i is reached or exceeded
- $N_{\max}$ total number of cycles
- Q_i action level
- Q_e load level of damage equivalent constant action spectrum
- $Q_{e,2}$ load level of damage equivalent constant action spectrum with 2×10^6 load cycles
- $Q_{\max}$ representative value of fatigue action spectrum

Figure 3.3 — Commonly used representations of action spectra

3.1.3 Fatigue action effect

3.1.3.1

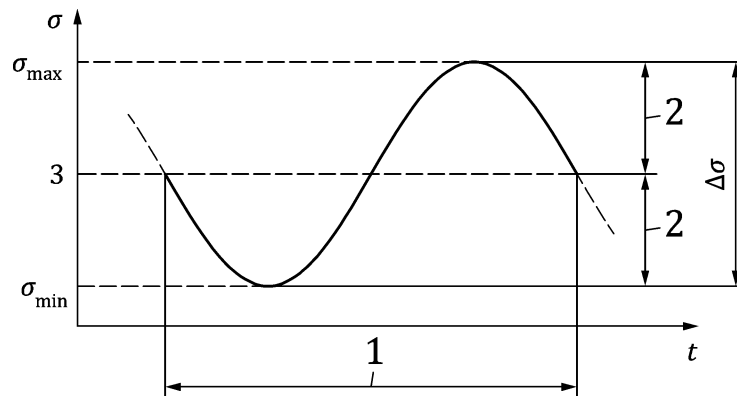
fatigue action effect

resulting stress effect from the application of the fatigue action on a constructional detail that is composed of stress cycles

3.1.3.2

stress cycle

period of time (denoted '1' in Figure 3.4) with a defined stress variation between a maximum and minimum stress starting and ending at the same stress level



Key

$\sigma_{\min}$	minimum stress
$\sigma_{\max}$	maximum stress
$\Delta\sigma$	stress range
t	time
1	stress cycle
2	stress amplitude
3	mean stress

Figure 3.4 — Stress cycle parameters (also applicable for shear stress cycles)

3.1.3.3

stress history

presentation of the expected fatigue action effect by arranging the stress cycles in chronological sequence

3.1.3.4

stress range

difference between maximum and minimum stress of a stress cycle, see Figure 3.4

3.1.3.5

stress ratio

ratio of minimum and maximum stress of a particular stress cycle, with stresses calculated including the static load effects from the relevant combination of actions

Note 1 to entry: The influence of stress ratio only exists for non-welded constructional details and for welded constructional details with thermal stress relief or post-weld treatment as specified in Annex F.

3.1.3.6

thermal stress relief

reduction in residual stress as a result of thermal treatment (e.g. post weld heat treatment)

3.1.3.7

stress amplitude

half of stress range of a particular stress cycle, denoted '2' in Figure 3.4

3.1.3.8

constant amplitude fatigue action effect

fatigue action effect where all stress cycles have the same stress range

3.1.3.9

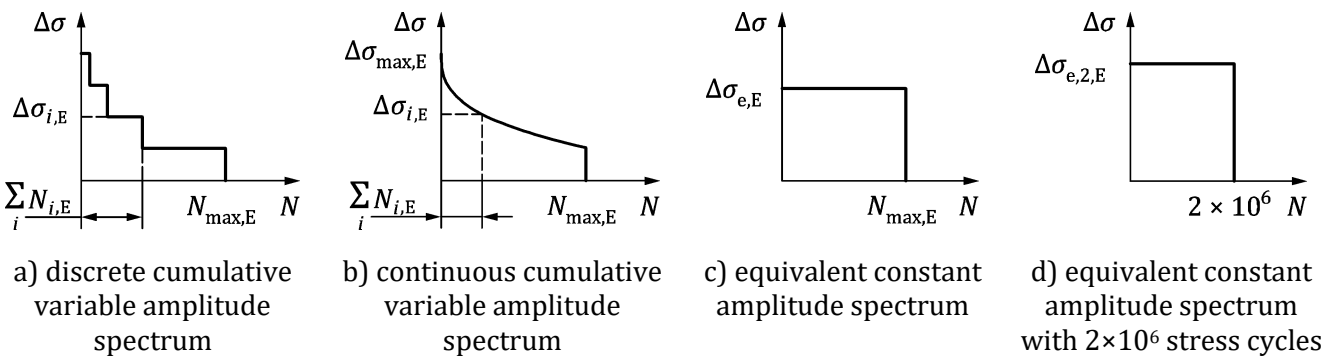
variable amplitude fatigue action effect

fatigue action effect where the stress ranges vary between stress cycles

3.1.3.10

stress-range spectrum

evaluation of expected stress history presenting the different stress ranges and the associated relative frequency (number of stress cycles) commonly presented in descending order neglecting sequence effects through cycle counting methods, such as the rainflow and reservoir methods



Key

- $\Delta\sigma_{i,E}$ stress range level
- $\Delta\sigma_{\max,E}$ maximum stress range
- $N_{i,E}$ number of stress cycles at level $\Delta\sigma_{i,E}$
- $\Sigma N_{i,E}$ number of stress cycles for which $\Delta\sigma_{i,E}$ is reached or exceeded
- $N_{\max,E}$ total number of stress cycles
- $\Delta\sigma_{e,E}$ damage equivalent stress range
- $\Delta\sigma_{e,2,E}$ damage equivalent stress range with 2×10^6 stress cycles

Figure 3.5 — Commonly used representations of stress-range spectra

Note 1 to entry: As for action spectra in Figure 3.3, the fatigue action effect can also be described by ordinary spectra (relationship of applied stress ranges $\Delta\sigma_{i,E}$ or $\Delta\tau_{i,E}$ and associated numbers of stress cycles $N_{i,E}$) or by cumulative spectra (also called sum-spectra; relationship of applied stress ranges $\Delta\sigma_{i,E}$ or $\Delta\tau_{i,E}$ and associated number of stress cycles $\Sigma N_{i,E}$ for which this stress range is reached or exceeded). The following types of stress-range spectra are commonly used:

- discrete spectrum of different stress range levels $\Delta\sigma_{i,E}$ or $\Delta\tau_{i,E}$ and associated numbers of stress cycles $N_{i,E}$, see Figure 3.5 a),
- continuous spectrum characterized by maximum stress range $\Delta\sigma_{\max,E}$ or $\Delta\tau_{\max,E}$, total number of stress cycles $N_{\max,E}$ and a standardized spectrum shape, see Figure 3.5b),
- equivalent constant stress range spectrum with $\Delta\sigma_{e,E}$ or $\Delta\tau_{e,E}$ and total number of stress cycles $N_{\max,E}$, see Figure 3.5 c),
- equivalent constant stress range spectrum with $\Delta\sigma_{e,2,E}$ or $\Delta\tau_{e,2,E}$ and 2×10^6 stress cycles, see Figure 3.5 d).

Note 2 to entry: The equivalent constant stress range spectrum with $\Delta\sigma_{e,2,E}$ and 2×10^6 stress cycles is the effect of a simplified fatigue load model in EN 1991 representing an equivalent loading spectrum with $Q_{e,2}$ and 2×10^6 load cycles (see 3.1.2.4). The fatigue load model causes a stress range that is adjusted by λ -values to obtain $\Delta\sigma_{e,2,E}$. The λ -values account for the influence of the real loading spectrum and are dependent on the type of structure (bridge, mast, crane runway etc.) and the kind of stress.

Note 3 to entry: For some applications, a load cycle can cause multiple stress cycles for the considered constructional detail. The number of stress cycles (NE) rather than the number of load cycles (N) is always decisive for the fatigue design situation.

3.1.3.11

cycle counting

process of transforming a variable amplitude stress history into a stress range spectrum, each with a particular stress range, such as the rainflow method and reservoir method

3.1.3.12

rainflow method

particular cycle counting method of producing a stress-range spectrum from a given stress history

Note 1 to entry: For the mathematical determination see prEN 1990:2021 Annex F.

3.1.3.13

reservoir method

particular cycle counting method of producing a stress-range spectrum from a given stress history

Note 1 to entry: For the mathematical determination see prEN 1990:2021 Annex F.

3.1.4 Fatigue resistance

3.1.4.1

fatigue resistance

capacity of a constructional detail to withstand fatigue actions without fatigue failure, with an appropriate level of reliability

3.1.4.2

fatigue life

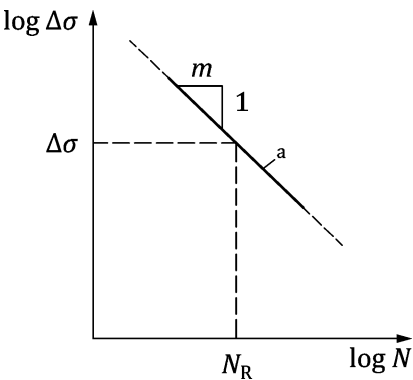
number of cycles that a constructional detail can withstand without fatigue failure

Note 1 to entry: The fatigue life depends on the stress range spectrum. For a particular structure, the fatigue life can alternatively be expressed as a period of time.

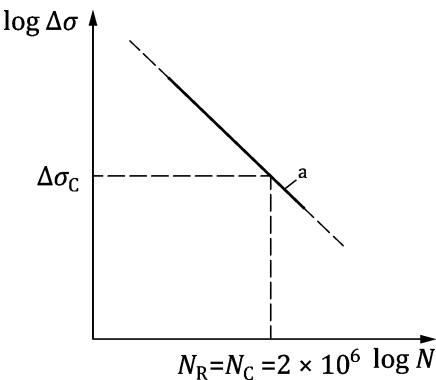
3.1.4.3

fatigue resistance curve

calculation model for the fatigue resistance of a constructional detail that establishes a quantitative relationship between stress range $\Delta\sigma$ and the corresponding endurance N_R , see Figure 3.6 a)



a) Endurance of any stress range



b) Reference value at 2×10^6 stress cycles

Key

- a fatigue resistance curve
- m slope parameter of fatigue resistance curve
- $\Delta\sigma$ stress range
- N number of cycles
- N_R endurance associated with $\Delta\sigma$
- $\Delta\sigma_c$ reference value at 2×10^6 stress cycles

**Figure 3.6 — Definition of endurance and reference value of fatigue resistance curve
(also applicable for shear stressing)**

Note 1 to entry: The characteristic fatigue resistance curves given in EN 1993-1-9 are lower bound values based on the evaluation of fatigue tests with large scale test specimens.

Note 2 to entry: The characteristic fatigue resistance curves are also known as S-N curves or Wöhler curves.

Note 3 to entry: For simplification, the characteristic fatigue resistance curves of the constructional details in this document are attributed to detail categories.

3.1.4.4

endurance

N_R

fatigue life of a constructional detail under a stress range $\Delta\sigma$ or $\Delta\tau$ that is obtained from the corresponding fatigue resistance curve, see Figure 3.6 a)

3.1.4.5

characteristic reference value of fatigue resistance

$\Delta\sigma_c, \Delta\tau_c$

mechanical property of a constructional detail expressing its characteristic fatigue resistance in terms of a stress range $\Delta\sigma_c$ or $\Delta\tau_c$ for an endurance of $N_R = N_c = 2 \times 10^6$ stress cycles, see Figure 3.6 b)

Note 1 to entry: 'Reference value of fatigue resistance' is also commonly referred to as 'fatigue strength'.

3.1.4.6

detail category

characteristic reference value $\Delta\sigma_c$ or $\Delta\tau_c$ of fatigue resistance in N/mm² identifying a particular fatigue resistance curve

Note 1 to entry: The detail category attributed to a particular constructional detail can be obtained from the first row of the detail category tables depending on the chosen design stress method (see 6.1).

3.1.4.7

slope parameter

m

parameter of the fatigue resistance curve expressing the intensity of fatigue damage, see Figure 3.6 a)

Note 1 to entry: In mathematics, the slope parameter is identical with the negative inverse slope of the fatigue resistance curve.

3.1.4.8

constant amplitude fatigue limit

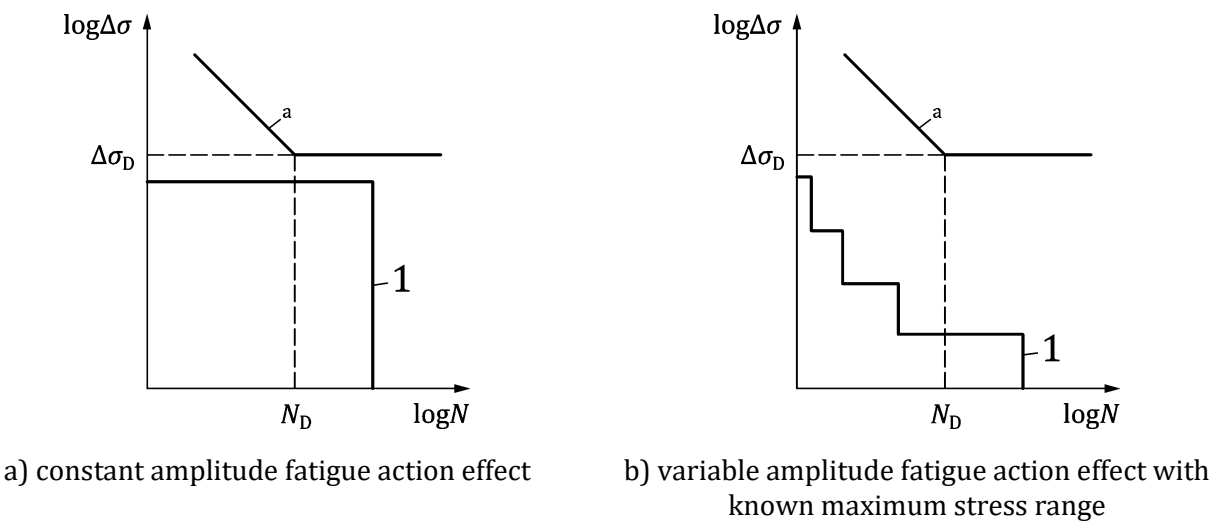
CAFL

$\Delta\sigma_b, \Delta\tau_b$

characteristic maximum stress range, for constant or variable stress range spectra, for which a constructional detail can withstand an infinite number of stress cycles without fatigue damage, see Figure 3.7

Note 1 to entry: Figure 3.7 is a simplification. The verification with respect to the CAFL, that takes partial factors into account, is described in 9.3.

Note 2 to entry: The verification with respect to the CAFL for design situations with variable amplitude fatigue action effect is only possible where the real maximum stress range is known and stays below $\Delta\sigma_b$ or $\Delta\tau_b$, Figure 3.7 b). The fatigue load models in EN 1991 do not provide the real maximum stress range. See details in 9.3.



- Key**
- 1 stress range spectrum not contributing to fatigue damage
 - a fatigue resistance curve
 - $\Delta\sigma_D$ CAFL
 - N_D number of stress cycles linked with the CAFL

Figure 3.7 — Spectra with all stress ranges below CAFL (also applicable for shear stressing)

3.1.4.9
variable amplitude fatigue limit
VAFL

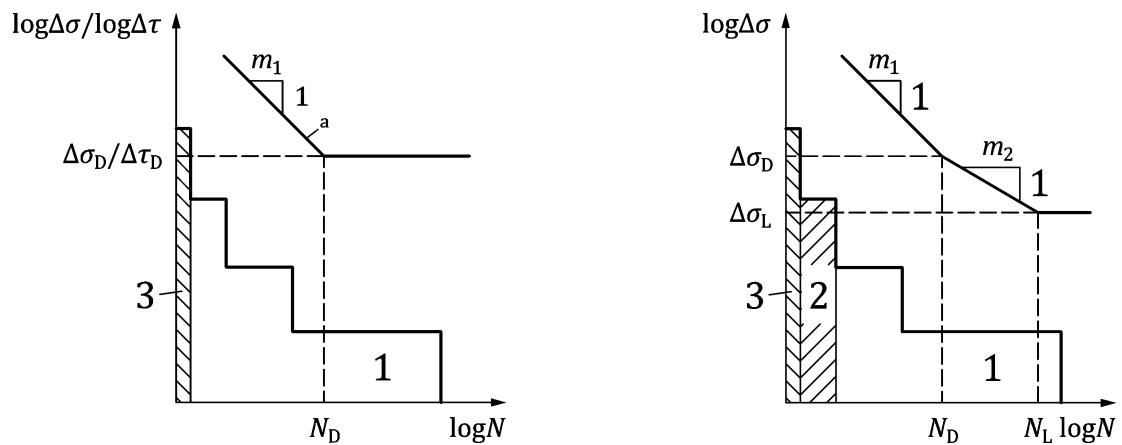
$\Delta\sigma_L$
characteristic maximum stress range, for variable amplitude stress range spectra, below which the stress ranges do not need to be considered in calculating the fatigue damage

Note 1 to entry: For constructional details with a fatigue resistance curve having only a slope parameter m_1 , the value of the CAFL is the same as that of the VAFL. These are:

- lattice girder joints made of hollow sections subject to normal stress ranges,
- all constructional details subject to shear stress ranges.

Thus, all stress ranges below $\Delta\sigma_D$ or $\Delta\sigma_L$ are not considered in the fatigue damage calculation for constructional details with such fatigue resistance curves. Figure 3.8 is a simplification neglecting partial factors.

Note 2 to entry: For constructional details with a fatigue resistance curve having slope parameters m_1 and m_2 , the stress ranges between $\Delta\sigma_D$ and $\Delta\sigma_L$ contribute to fatigue damage, if the stress range spectrum also comprises stress ranges above $\Delta\sigma_D$.



a) Fatigue resistance curve with same CAFL and VAFL levels

b) Fatigue resistance curve with separate CAFL and VAFL levels

Key

- 1 stress ranges not contributing to fatigue damage
- 2 stress ranges contributing to fatigue damage with slope parameter m_2
- 3 stress ranges contributing to fatigue damage with slope parameter m_1
- a fatigue resistance curve
- $\Delta \sigma_D$ CAFL for details subject to normal stresses
- $\Delta \tau_D$ CAFL for details subject to shear stresses
- $\Delta \sigma_L$ VAFL for details subject to normal stresses and two-slope fatigue resistance curve
- N_D number of stress cycles linked with the CAFL
- N_L number of stress cycles linked with the VAFL

Figure 3.8 — Spectra with stress ranges above and below CAFL

3.1.4.10

manual welding

welding in which all operations are carried out manually (the electrode holder, gun, torch or blowpipe is manipulated by hand)

3.1.4.11

fully mechanized welding

welding in which all main operations (excluding the handling of the work piece) are performed automatically

Note 1 to entry: Manual adjustment of welding variables during welding is possible.

3.1.4.12

automatic welding

welding in which all operations are performed automatically

Note 1 to entry: Manual adjustment of welding variables during welding is not possible.

3.1.4.13

High Frequency Mechanical Impact (HFMI) treatment

continuous peening process carried out by traversing a hardened rounded tipped tool along a surface whilst it is subjected to high frequency hammer blows produced by machine

Note 1 to entry: Qualification involves application of a pre-approved procedure to a specific welded joint geometry, which is then subjected to fatigue testing.

Note 2 to entry: Investigation in [1] showed that the following HFMI technologies are comparable:

- HiFIT (High Frequency Impact Treatment)
- PIT (Pneumatic Impact Treatment)
- UIT (Ultrasonic Impact Treatment).

3.1.4.14

operator

appropriately trained person who is able to operate the HFMI-device properly

3.1.4.15

device manufacturer

company that manufactures the HFMI-device

3.1.5 Fatigue verification

3.1.5.1

fatigue damage

D_i

fatigue damage due to a stress range $\Delta\sigma_{i,E}$ with $N_{i,E}$ stress cycles ($D_i = N_{i,E} / N_{i,R}$), the ratio of the number of cycles, $N_{i,E}$, of a particular stress range applied to a constructional detail and the endurance, $N_{i,R}$, of this constructional detail under the same stress range

3.1.5.2

accumulated fatigue damage

D

sum of fatigue damages from all stress ranges in a spectrum

3.1.5.3

Miner's summation

linear cumulative summation of the fatigue damage from all stress cycles accounted for in a stress-range spectrum, based on the Palmgren-Miner rule

3.2 Symbols

Latin upper-case letters

A	cross-sectional area
A_s	stress area of the bolt or rod
CAFL	Constant Amplitude Fatigue Limit
CHS	Circular Hollow Section
D	accumulated fatigue damage due to different stress ranges ($D = \sum D_i$)
D_i	fatigue damage due to a stress range $\Delta\sigma_{i,E}$ with $N_{i,E}$ stress cycles ($D_i = N_{i,E} / N_{i,R}$)
EVM	Equivalent von Mises
F	concentrated load
F_B	force acting on the bolt or rod
F_C	reduction of the compressive force of the clamped components due to F_T
F_T	external tensile force applied to the preloaded bolted joint or joint with rod
FEM	Finite Element Method
FLM	Fatigue Load Model
HFMI	High Frequency Mechanical Impact treated state
I	second moment of area
N	number of cycles
N_C	number of stress cycles associated with the characteristic reference value of fatigue resistance
N_D	number of stress cycles associated with the characteristic constant amplitude fatigue limit
NDT	Non Destructive Testing
NDP	Nationally Determined Parameter
N_i	number of load cycles of an applied fatigue action level Q_i
$N_{i,E}$	number of stress cycles of an applied stress range $\Delta\sigma_{i,E}$
$N_{i,R}$	number of stress cycles which can be resisted by a constructional detail under an applied stress range $\Delta\sigma_{i,E}$ until failure (endurance)
N_L	number of stress cycles associated with the variable amplitude fatigue limit
N_{max}	total number of load cycles
$N_{max,E}$	total number of stress cycles
N_R	endurance
N_{Rd}	design value of endurance
PS	principal stress
Q_{fat}	fatigue action
Q_e	equivalent action applied for N_{max} load cycles
$Q_{e,2}$	equivalent action applied for 2×10^6 load cycles

Q_i	action value applied for N_i load cycles
$Q_{\max}$	maximum action value
R	stress ratio ($R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$)
RHS	Rectangular Hollow Section
$S(t)$	first moment of area
V	shear force in a cross section
VAFL	Variable Amplitude Fatigue Limit
V_B	shear force per shear plane acting on the bolt or rod
VM	Von Mises

Latin lower-case letters

aw	as-welded
k_1	magnification factor for nominal stress ranges to account for secondary bending moments in trusses
k_f	stress concentration factor
k_s	reduction factor for fatigue resistance (in terms of stress) to account for size effects
m	slope parameter of a fatigue resistance curve
m_{aw}	slope parameter of fatigue resistance curve for as-welded state
m_{HFMI}	slope parameter of fatigue resistance curve for HFMI state
t	plate thickness

Greek upper-case letters

$\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$	characteristic reference value of fatigue resistance at $N_C = 2 \times 10^6$ stress cycles
$\Delta\sigma_{C,HFMI}$	characteristic reference value of the fatigue resistance at $N_C = 2 \times 10^6$ stress cycles for HFMI-treated state
$\Delta\sigma_{C,red}$	reduced characteristic reference value of the fatigue resistance
$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$	characteristic constant amplitude fatigue limit at N_D stress cycles
$\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$	fatigue action effect (stress ranges)
$\Delta\sigma_{e,2,E}, \Delta\tau_{e,2,E}$	equivalent stress range applied 2×10^6 stress cycles
$\Delta\sigma_{e,E}, \Delta\tau_{e,E}$	equivalent stress range applied $N_{\max,E}$ stress cycles
$\Delta\sigma_{e,2,HFMI,E}$	equivalent stress range for HFMI treated joints, i.e. accounting for λ_{HFMI}
$\Delta\sigma_{eq,E}$	equivalent stress range for connections in webs of orthotropic decks
$\Delta\sigma_{i,E}, \Delta\tau_{i,E}$	stress range level applied $N_{i,E}$ stress cycles
$\Delta\sigma_L$	characteristic variable amplitude fatigue limit at N_L stress cycles
$\Delta\sigma_{\max,Ed}, \Delta\tau_{\max,Ed}$	correspond to $\max\Delta\sigma_{i,Ed}$ and $\max\Delta\tau_{i,Ed}$

$\Delta\sigma_s$	characteristic stress range at intersection of fatigue resistance curves for as-welded and HFMI state
ΣN_i	accumulated number of load cycles for which a fatigue action level Q_i is reached or exceeded
$\Sigma N_{i,E}$	accumulated number of stress cycles for which an applied stress range $\Delta\sigma_{i,E}$ or $\Delta\tau_{i,E}$ is reached or exceeded

Greek lower-case letters

γ_{Ff}	partial factor for applied stress ranges $\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$
γ_{Mf}	partial factor for fatigue resistance
λ_{HFMI}	supplementary damage equivalent factor to consider the mean stress effect in spectrum in case of HFMI treatment
λ_i	damage equivalent factors depending on, for example, the load situation and the structural characteristics
σ	nominal normal stress
σ_{ENS}	effective notch stress
σ_{HS}	hot spot stress
τ	nominal shear stress

4 Basis of fatigue design

(1) The fatigue design of steel structures shall be in accordance with the general rules given in EN 1990 and EN 1991 (all parts) and the specific design provisions for steel structures given in the other relevant parts of EN 1993-1 (all parts).

NOTE EN 1991 (all parts) gives provisions on fatigue actions for particular types of structures such as bridges, masts, towers, chimneys and crane supporting structures that meet these requirements. See definitions in 3.1.2.

(2) Steel structures designed according to this document shall be executed according to EN 1090-2.

(3) The methods for the verification of the fatigue design situation given in Clause 6 should follow the principle of verification by the partial factor method by comparing fatigue action effects and compatible fatigue resistances.

(4) Fatigue cracks should be either monitored in a specific inspection regime or repaired with particular care to avoid introducing more severe stress raising effects.

NOTE The action to undertake depends on the consequence of failure, see Clause 5.

(5) Fatigue tests on specimens may be carried out to determine:

- the fatigue resistance for constructional details not included in this document,
- the fatigue life of prototypes.

NOTE Prototype testing considering the design loading spectrum, in connection with a statistical evaluation of the test results according to prEN 1990:2021, Annex D, can be used to determine the characteristic fatigue life of the tested component. The actual characteristic fatigue resistance ($\Delta\sigma_c$) of the component's constructional details remains unknown.

(6) The statistical evaluation of fatigue tests should be in accordance with EN 1990.

NOTE 1 Note 2 to 8.2(1) contains detailed information on evaluation of fatigue tests.

NOTE 2 The National annex can give requirements for determining fatigue resistance from tests.

5 Fatigue design concepts

(1) The fatigue design situation should be verified using either:

- a) safe life concept or
- b) damage tolerant concept.

(2) The safe life concept should provide an appropriate level of reliability that the performance of a structure will not be impaired throughout its design service life without the need for regular in-service inspection or monitoring for fatigue cracks.

(3) The safe life concept should be applied in cases where local formation of cracks in one component could rapidly lead to failure of a structural element or structure.

(4) The damage tolerant concept should provide an appropriate level of reliability that the performance of a structure will not be impaired throughout its design service life, provided that readily inspectable details are used and prescribed inspection and maintenance, for detecting and preventing fatigue cracks, is implemented.

NOTE The National annex can give provisions for inspection and maintenance. The inspection intervals and methods can be based on crack growth calculations, on experience, monitoring, or previous inspection results and can be a function of the consequence of failure. Maintenance can include component replacements at given intervals. It can further give provisions for changes in inspection intervals and methods in case of monitoring or after repairing detected cracks.

(5) Constructional details, materials and stress levels should be selected for the appropriate design concept to ensure an appropriate level of reliability in accordance with EN 1990, at least equal to the reliability required for ultimate limit state verification, is achieved for:

a) safe-life concept

- at the end of the design service life;

b) damage tolerant concept

- at the end of each in-service inspection interval, so that in the event of the formation of cracks one or all of the following occurs:
 - propagation rates are low and cracks are easily detectable prior to failure,
 - multiple load paths exist,
 - crack-arresting constructional details prevent progressive damage.

NOTE The verification of the fatigue design situation includes long-term uncertainties, related to the fatigue resistance and actions, such that the possibility for fatigue cracking cannot be completely excluded but only reduced to an acceptable likelihood of occurrence.

(6) For the purpose of verification of fatigue design situation using this document, an appropriate level of reliability should be achieved by adjustment of the partial factor for fatigue resistance, γ_{Mf} , taking into account the consequences of failure and the design concept used.

NOTE 1 The values of the partial factors γ_{Mf} are given in Table 5.1 (NDP) unless the National annex gives different values.

NOTE 2 The partial factors in Table 5.1 (NDP) for low consequences satisfy the reliability requirement for class of consequences CC1 according to EN 1990, those for medium consequence satisfy CC2, and those for high consequence satisfy CC3.

NOTE 3 The partial factors in Table 5.1 (NDP) are based on the possibility to perform visual inspections.

Table 5.1 (NDP) — Recommended values of the partial factors for fatigue resistance γ_{Mf}

Design concept	Consequence of failure		
	Low consequence	Medium consequence	High consequence
Safe life	1,15	1,25	1,35
Damage tolerant	1,00	1,15	1,25

6 Fatigue design methods

6.1 Design stress methods

(1) All stress raising effects that are relevant to the fatigue design situation shall be considered in the verification of the fatigue design situation independent of the chosen design stress method.

NOTE Design stress methods are the nominal stress method, hot spot-stress method and effective notch stress method.

(2) Where stress raising effects are not included within the fatigue action effect according to a given design stress method, the stress raising effects should be accounted for within the fatigue resistance.

NOTE The different kinds of stress raising effects are explained in 3.1.1.7.

(3) The requirements expressed in (1) and (2) are satisfied by the fatigue design situation verification according to Clause 9, where the fatigue action effects are based on nominal or modified nominal stresses according to Clause 7, and the fatigue resistances according to Clause 8 are used.

NOTE 1 Annex B gives provisions on the determination of fatigue action effects and corresponding fatigue resistances according to the hot spot stress method unless the National annex specifies differently.

NOTE 2 Annex C gives provisions on the determination of fatigue action effects and corresponding fatigue resistances according to the effective notch stress method unless the National annex specifies differently.

NOTE 3 Annex F gives guidelines for the determination of fatigue action effects and corresponding fatigue resistance of constructional details treated by HFMI unless the National annex specifies differently.

6.2 Verification methods

(1) The method of verification shall be based upon calculation models that are appropriate for the fatigue design situation.

(2) For fatigue design situations where the fatigue action effect is defined by an equivalent constant stress range spectrum, with $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ and 2×10^6 stress cycles, the verification method according to Clause 9 should be used.

NOTE See 3.1.3.9 for equivalent constant stress range spectrum. An equivalent constant stress range spectrum is usually based on a simplified fatigue load model of EN 1991 with appropriate λ_i -values.

(3) For fatigue design situations with any other kind of stress range spectrum, the verification method of Annex A should be used.

NOTE Examples of such spectra are spectra with constant stress range but more, or less, than 2×10^6 stress cycles, see Figure 3.5 a) and b).

7 Fatigue action effect

7.1 Calculation of nominal stresses

(1) The nominal stresses from fatigue actions should be calculated using linear elastic analysis according to EN 1993-1-1.

NOTE EN 1993-1-1:2022 includes rules for:

- section properties of net area in 8.2.2.2,
- shear lag effects in 8.2.2.3,
- elastic stresses due to shear in 8.2.6(4),
- elastic stresses due to torsion in 8.2.7(3).

(2) For constructional details of steel members in composite structures, the nominal stresses should be calculated considering all effects caused by other materials in the fatigue design situation.

NOTE For steel concrete composite structures, concrete cracking under normal service conditions can affect the nominal stresses of the steel members. In these cases, actions such as the permanent actions, variable actions, shrinkage, or creep, can have an influence on the nominal stresses.

(3) Modified nominal stresses should be used for the verification where stress concentrations due to macro-geometric effects and/or concentrated load effects occur close to the potential crack location shown in the illustrations of Table 10.1 to Table 10.12 and where such effects are not included in the detail category of the considered detail according to the detail description of the tables.

(4) Class 4 cross sections may be treated as Class 3 cross sections for fatigue if the width to thickness ratios are less than the limiting proportions for Class 3 obtained from EN 1993-1-1 when ε is multiplied by $\sqrt{f_{y,k} \cdot \gamma_{m0} / \sigma_{com,f}}$, where $\sigma_{com,f}$ is the maximum design compressive stress in the part using the load combination for fatigue of EN 1990.

(5) The nominal stresses in cross sections classified as Class 4 for fatigue should be divided by the reduction factors for buckling as for the reduced stress method of EN 1993-1-5, where the plate slenderness may be determined with the maximum design compressive stress in the element determined using the effective area of the section caused by all simultaneous actions $\sigma_{com,f}$.

NOTE The National annex can give limitations for class 4 sections subject to fatigue actions.

7.2 Relevant nominal stresses

(1) All nominal stresses, relevant for the constructional detail, shall be accounted for in the verification of the fatigue design situation.

(2) For each relevant nominal stress, the corresponding detail category should be determined from Table 10.1 to Table 10.12 accounting for the constructional detail, the type of stress (σ or τ) and the stress component. The supplementary requirements of the detail category on the stress calculation should be considered in addition to the provisions of 7.1.

NOTE For example, the detail category can require the stress calculation at a particular location of the constructional detail or can forbid simplifications that are allowed in EN 1993-1-1.

(3) For unwelded constructional details and for welded constructional details with weld toe failure, the relevant nominal stresses should be:

- nominal normal stresses σ in the parent metal, and
- nominal shear stresses τ in the parent metal.

(4) For weld root failure of load-carrying partial penetration or fillet welds, the forces transmitted by a unit length of weld should be resolved into components transverse and parallel to the longitudinal axis of the weld.

(5) The relevant nominal stresses in the weld throat should be taken as, see Figure 7.1:

- normal stresses σ_{wf} transverse to the axis of the weld, and
- shear stresses τ_{wf} longitudinal to the axis of the weld.

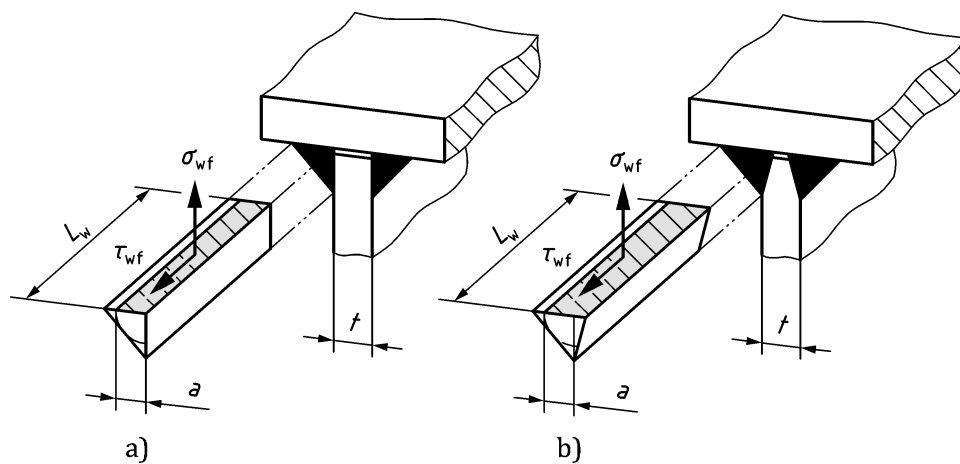


Figure 7.1 — Relevant stresses in (a) fillet welds and (b) partial penetration welds

(6) The nominal stresses σ_{wf} and τ_{wf} should be obtained by dividing the relevant component of the force transmitted per unit length of weld by the throat size a , see Figure 7.1.

(7) The stress components $\sigma_{\perp}$ and $\tau_{\perp}$ on the throat section (see Figure 7.2), determined by the directional approach according to EN 1993-1-8 due to a force F transverse to the axis of the weld, may be transferred into the nominal stress component σ_{wf} of the weld by:

$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2} \quad (7.1)$$

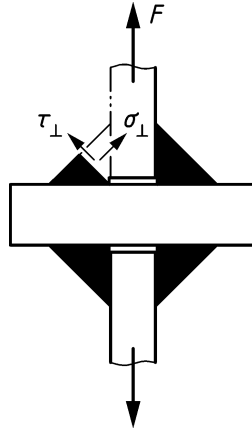


Figure 7.2 — Stresses on the throat section of fillet welds according to EN 1993-1-8

- (8) The stress component $\tau_{||}$ on the throat section, determined by the directional approach according to EN 1993-1-8 due to a shear force parallel to the axis of the weld, should be the nominal shear stress component τ_{wf} .
- (9) The stress component $\sigma_{||}$ parallel to the axis of the weld may be neglected for weld root failure.
- (10) The relevant weld stress in double fillet welds due to transverse bending of the plate may be calculated using:

$$\sigma_{wf} = \frac{M}{a L_w (a+t)} \quad (7.2)$$

where:

- t is the plate thickness under bending
- a is the throat size of the weld
- M is the bending moment
- L_w is the weld length according to Figure 7.3

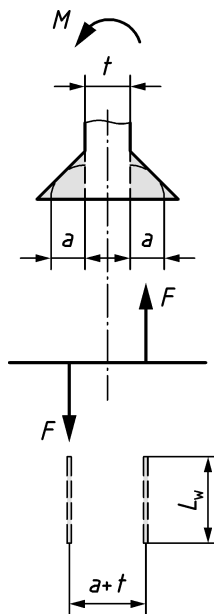


Figure 7.3 — Relevant stresses in double fillet welds due to transverse bending

(11) For bolted joints or joints with rods with rolled or cut threads, the relevant nominal stresses should be:

- nominal normal stresses $\sigma = \frac{F_B}{A_s}$ (7.3)

- nominal shear stress on shank $\tau = \frac{V_B}{A}$ (7.4)

where:

A is the area of the shank of the bolt or rod

A_s is the stress area of the bolt or rod

F_B is the force acting on the bolt or rod

V_B is the shear force per shear plane acting on the bolt or rod

NOTE For joints with preloaded bolts or rods:

- F_B can be determined according to Annex E,
- V_B can be disregarded.

(12) Prying and/or bending effects in bolted joints or joints with rods should be accounted for when determining the force F_B . Effects due to imperfections in the bolt or rod may be neglected.

(13) Prying and/or bending effects on the stress in the bolt may be neglected in simple and symmetric joints with preloaded bolts such as the T-stub in prEN 1993-1-8:2021, Table 6.2, where plates are either in full contact and have sufficient stiffness, or are without tip contact after assembly.

7.3 Calculation of nominal stress ranges

7.3.1 General

(1) Nominal stress ranges in relevant parts of constructional details should be determined at the locations indicated in the details shown in Table 10.1 to Table 10.12.

(2) Effective nominal stress ranges may be considered in the verification of non-welded or thermally stress-relieved welded constructional details in partial or total compression or in cases with partial or total compression confirmed by modelling or measurements.

NOTE See 7.4 for effective nominal stress ranges.

7.3.2 Design value of nominal stress range

(1) For fatigue design situations where the fatigue action effect is defined by an equivalent constant stress range, the design value of the nominal stress ranges $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ and $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ should be determined as follows:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{e,2,Ed} &= \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\sigma_E(\gamma_{ff} Q_{fat}) \\ \Delta\tau_{e,2,Ed} &= \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\tau_E(\gamma_{ff} Q_{fat})\end{aligned}\quad (7.5)$$

where

λ_i are damage equivalent factors depending on, for example, the load situation and the structural characteristics

(2) For fatigue design situations where the fatigue action effect is defined by an equivalent constant stress range, the design value of the modified nominal stress ranges $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ and $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ should be determined as follows:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{e,2,Ed} &= k_f \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\sigma_E(\gamma_{ff} Q_{fat}) \\ \Delta\tau_{e,2,Ed} &= k_f \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\tau_E(\gamma_{ff} Q_{fat})\end{aligned}\quad (7.6)$$

where

k_f is the stress concentration factor to take account of concentrated load and/or macro-geometric effects not included in the detail category

NOTE 1 See Figure 3.1 for examples of stress concentrations.

NOTE 2 Stress concentration factors k_f can be obtained from handbooks or from finite element calculations. Annex D gives stress concentration factors k_f for specific cases.

(3) For welded joints of hollow sections in lattice girders the design value of the modified nominal stress range $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ should be determined as follows using the simplified model in Annex D.3 unless more accurate calculations are carried out:

$$\Delta\sigma_{e,2,Ed} = k_1 \Delta\sigma_{e,2,Ed}^{**} \quad (7.7)$$

where:

k_1 is the stress concentration factor according to Table D.1 and Table D.2

$\Delta\sigma_{e,2,Ed}^{**}$ is the design value of the stress range caused by the simplified fatigue load model specified in EN 1991 calculated for a simplified truss model with continuous chords and pinned braces

(4) For load models other than those resulting in an equivalent constant stress range, the design value of the stress ranges $\Delta\sigma_{i,E}$ and $\Delta\tau_{i,E}$ should be determined using Annex A.

7.4 Effective design value of stress range

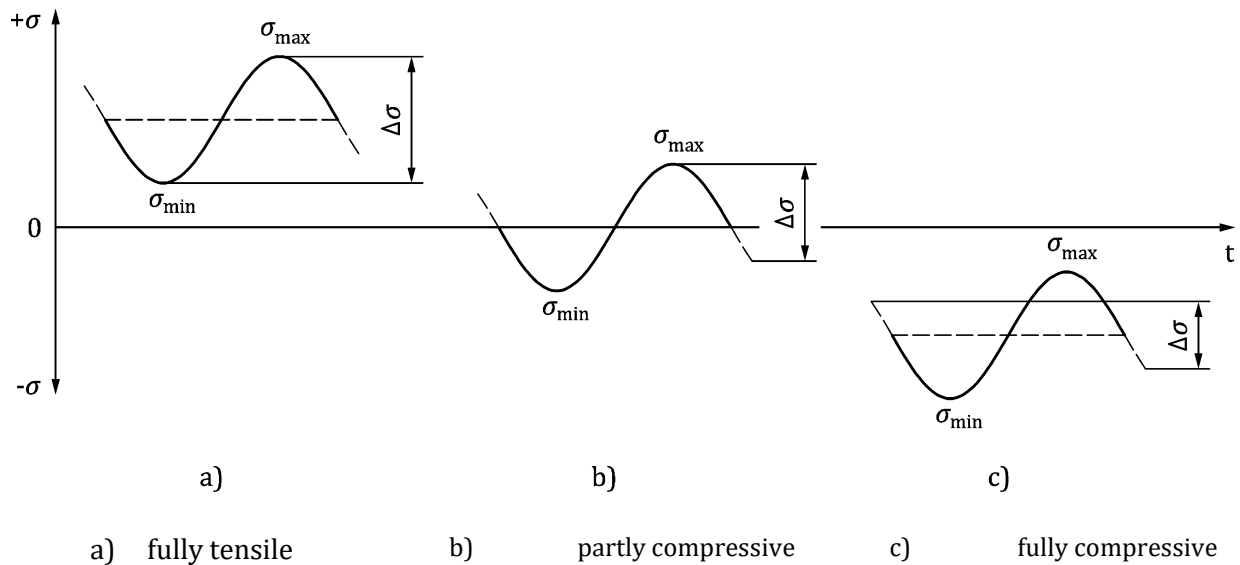
(1) In non-welded details, or welded details which have been subjected to full thermal stress relief after all welding operations have been completed, the mean stress level influence on the fatigue life may be taken into account by considering a reduced design value of each stress cycle in the design spectrum where part, or all, of the stress cycle is compressive.

(2) The mean stress level according to (1) should be confirmed by modelling or measurements including the serviceability stresses due to the permanent action and the most tensile stress resulting from the fatigue action.

(3) The effective design value of the stress range $\Delta\sigma$ may be calculated by adding the tensile portion of the stress range (if any) to 60% of the magnitude of the compressive portion of the stress range (if any) as follows, see Figure 7.4:

- if the entire stress range is in tension as in Figure 7.4 a): $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$
- if a part of the stress range is in compression as in Figure 7.4 b): $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - 0,6 \sigma_{\min}$
- if the entire stress range is in compression as in Figure 7.4 c): $\Delta\sigma = 0,6 \sigma_{\max} - 0,6 \sigma_{\min}$

(7.9)



NOTE Tension stresses are positive.

Figure 7.4 — Effective design value of stress range for non-welded or stress relieved details

8 Fatigue resistance

8.1 Fatigue resistance curves

(1) The fatigue resistance of constructional details should be calculated based on applicable fatigue resistance curves.

NOTE 1 The characteristic fatigue resistance is represented by a series of parallel and equally spaced fatigue resistance curves defining the number of cycles, N_R (endurance), that a stress range $\Delta\sigma$ or $\Delta\tau$ can withstand until failure occurs, as shown in Figures 8.1 to 8.4.

NOTE 2 The fatigue resistance curves are attributed to detail categories. Each detail category is designated by a number which represents the characteristic reference value $\Delta\sigma_c$ or $\Delta\tau_c$ in N/mm² for the fatigue resistance at $N_c = 2 \times 10^6$ cycles.

NOTE 3 For constant amplitude loading, the fatigue resistance curves consist of a finite life region expressed by a linear relationship with slope parameter m_1 and an infinite life region expressed by a constant relationship on logarithmic scales. The transition between both regions is defined by the constant amplitude fatigue limit $\Delta\sigma_D$ or $\Delta\tau_D$.

NOTE 4 For variable amplitude loading under normal stresses, the finite life region of the fatigue resistance curves extends beyond $\Delta\sigma_D$ to the variable amplitude fatigue limit $\Delta\sigma_L$ by a linear relationship with slope parameter m_2 on logarithmic scales.

(2) The fatigue resistance curves of Figure 8.1a should be applied for non-welded constructional details with light notch effect subject to $\Delta\sigma$ including:

- plain members free from welding in Table 10.1;
- bolted details in Table 10.2 with holes drilled or reamed.

NOTE See also Table 8.1.

(3) The fatigue resistance curves of Figure 8.1b should be applied for non-welded constructional details with sharp notch effect subject to $\Delta\sigma$ including:

- bolted details in Table 10.2 with holes thermally cut and punched without subsequent reaming;
- bolt detail ⑥ in Table 10.2.

NOTE See also Table 8.1.

(4) The fatigue resistance curves of Figure 8.2 should be applied for welded constructional details with sharp notch effect subject to $\Delta\sigma$ including Table 10.3 to Table 10.11 except for Table 10.8.

NOTE See also Table 8.1.

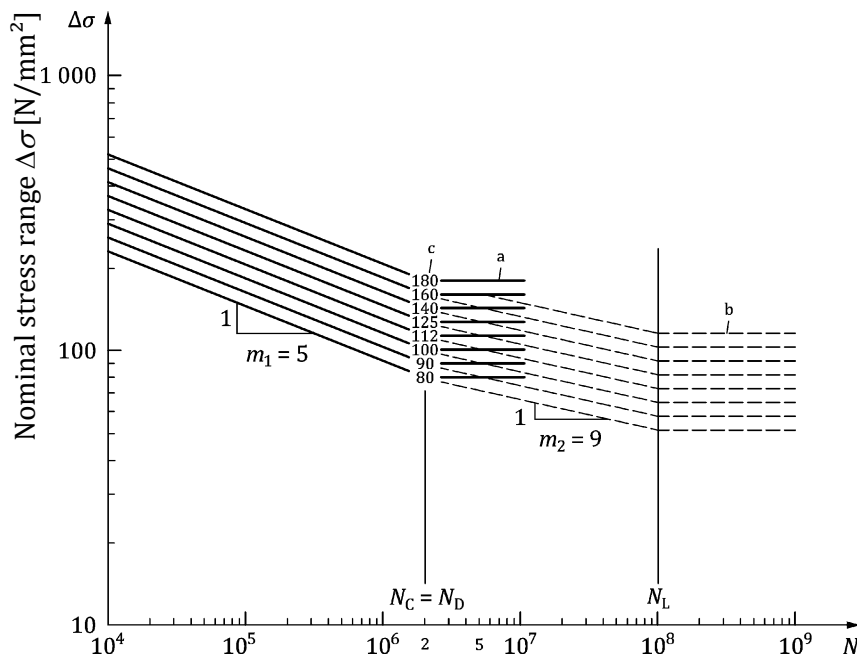
(5) The fatigue resistance curves of Figure 8.3 should be applied for hollow section joint details in Table 10.8 subject to $\Delta\sigma$.

NOTE See also Table 8.1.

(6) The fatigue resistance curves of Figure 8.4 should be applied for constructional details subject to $\Delta\tau$ including:

- non-welded details ⑥, ⑦, ⑧ in Table 10.1;
- bolt detail ⑦ in Table 10.2;
- welded constructional detail ⑩ in Table 10.6.

NOTE See also Table 8.2.

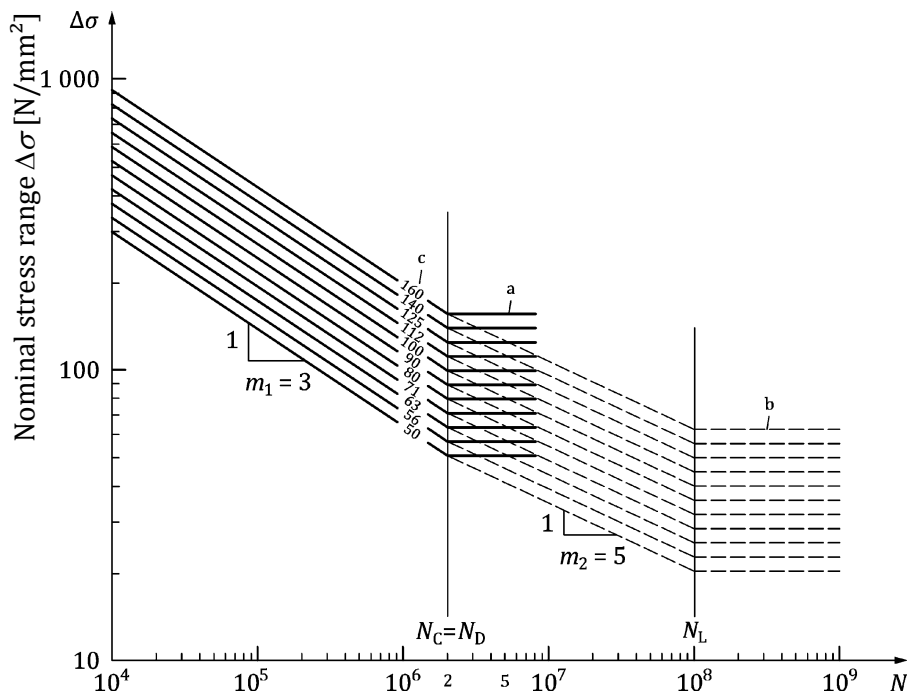


$$N_L = 10^8$$

$$\Delta\sigma_L = 0,647\Delta\sigma_C$$

Number of cycles N

(a) light notch effect



$$N_L = 10^8$$

$$\Delta\sigma_L = 0,457\Delta\sigma_C$$

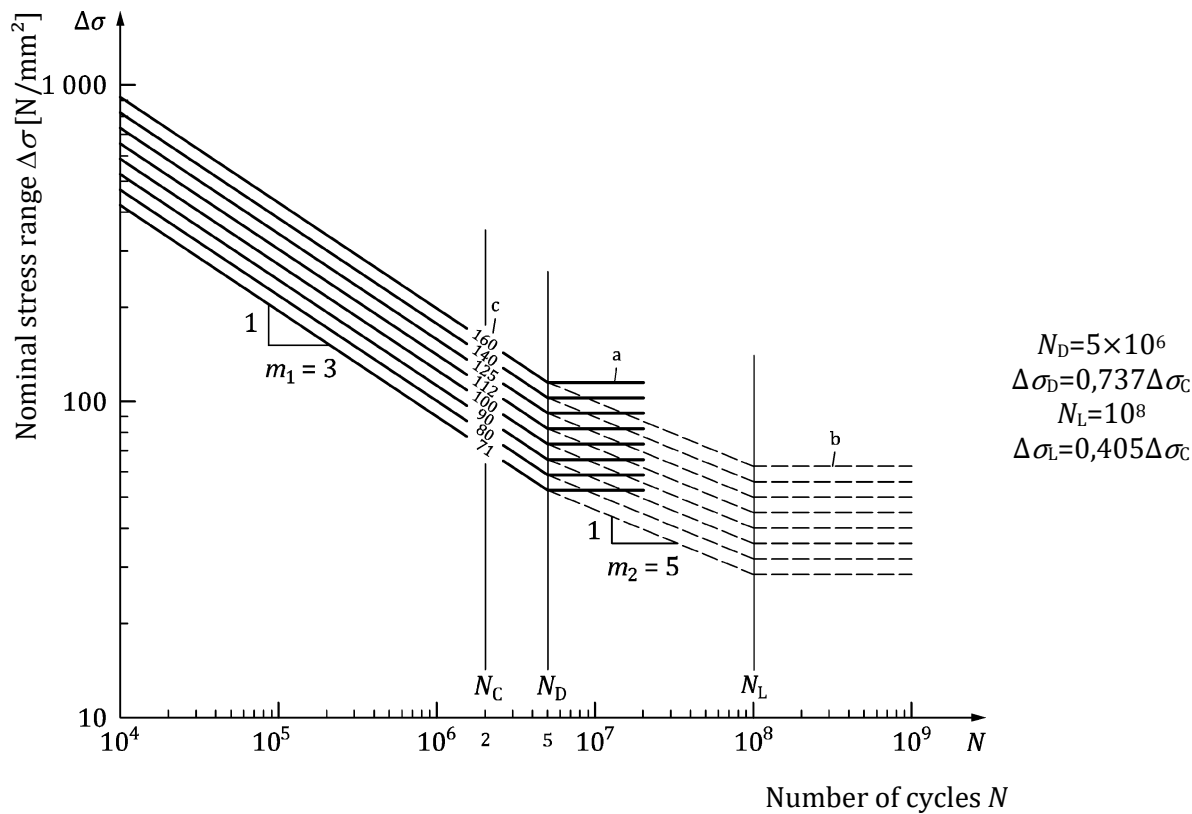
Number of cycles N

(b) sharp notch effect

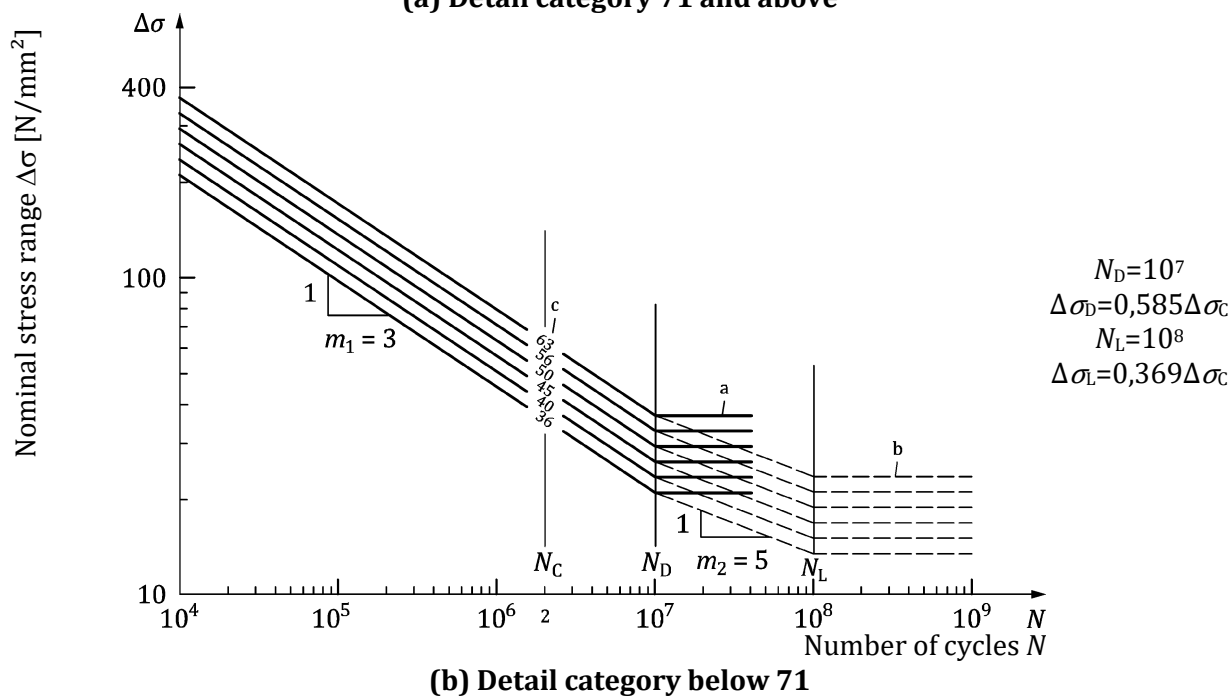
Key

- a – Fatigue resistance curve for constant amplitude loading
- b – Extended fatigue resistance curve for variable amplitude loading
- c – Detail category

Figure 8.1 — Characteristic fatigue resistance curves of non-welded constructional details subject to nominal normal stress ranges



(a) Detail category 71 and above



(b) Detail category below 71

Key
a – Fatigue resistance curve for constant amplitude loading
b – Extended fatigue resistance curve for variable amplitude loading
c – Detail category
NOTE See explanations and symbols in Figure 8.1.

Figure 8.2 — Characteristic fatigue resistance curves of welded constructional details with sharp notch effect subject to nominal normal stress ranges

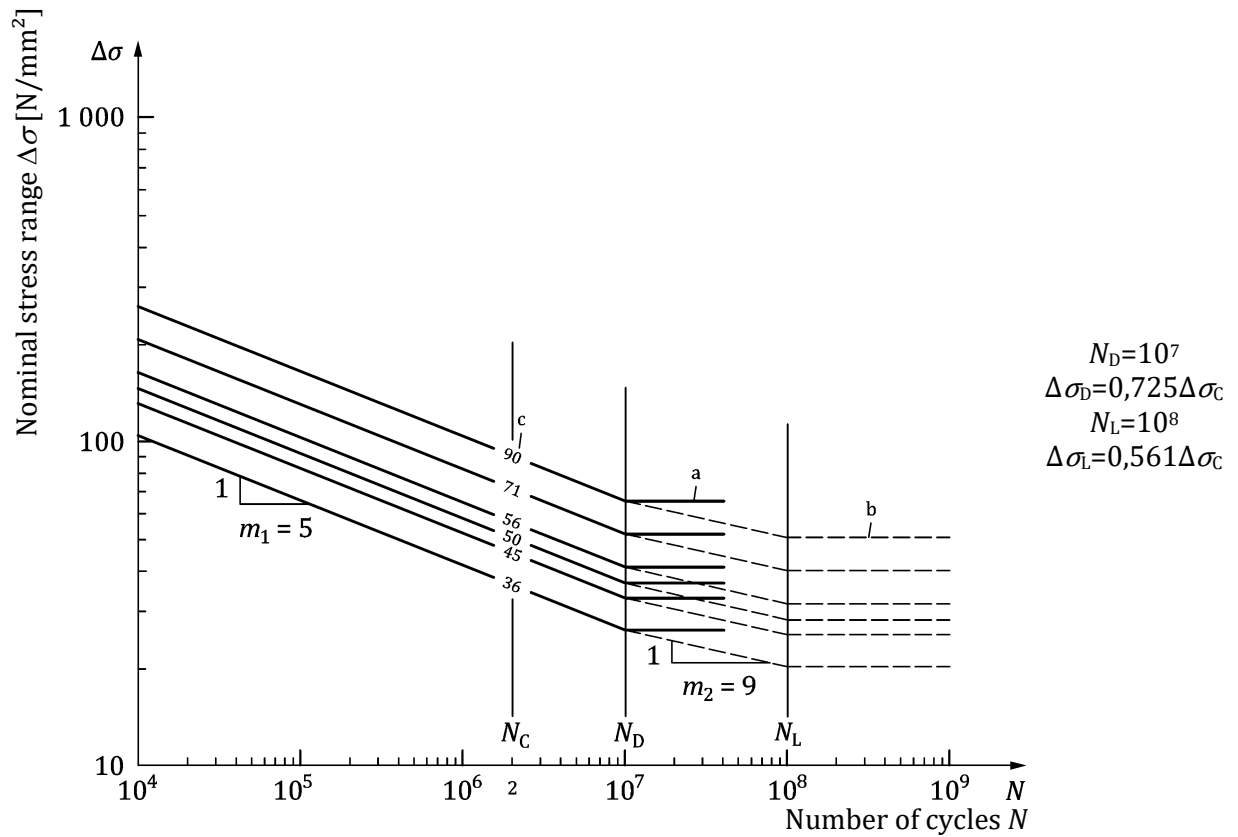


Figure 8.3 — Characteristic fatigue resistance curves of lattice girder joints made of hollow sections according to Table 10.8 subject to nominal normal stress ranges

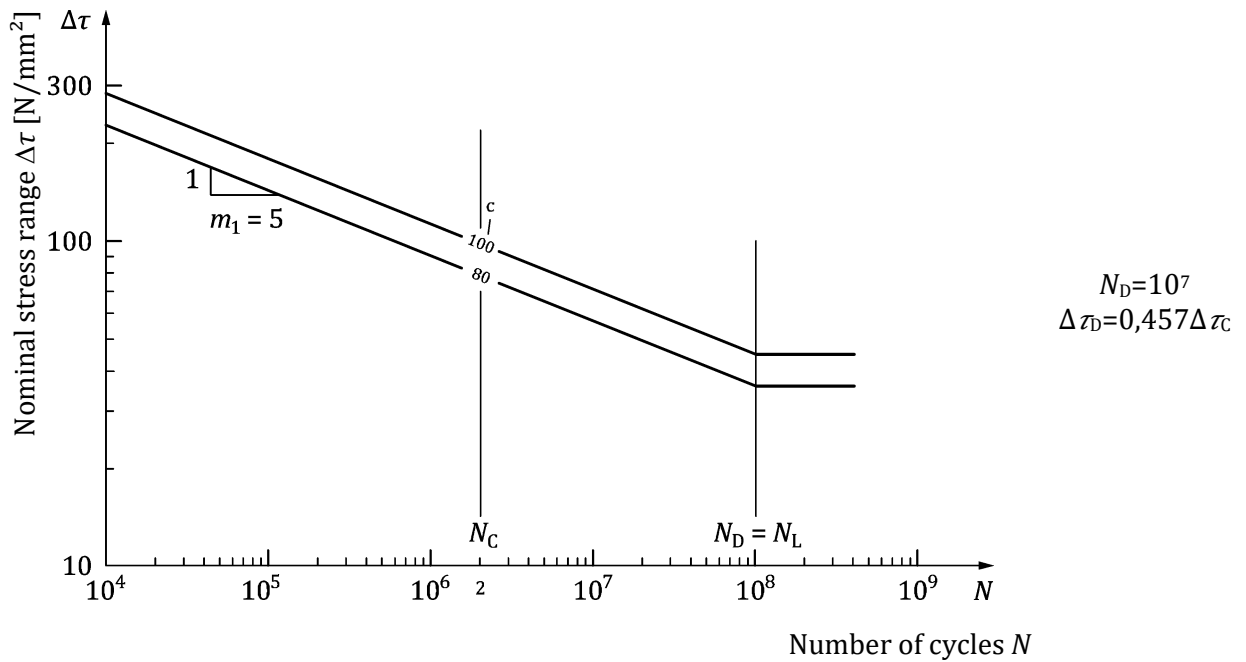


Figure 8.4 — Characteristic fatigue resistance curves of constructional details subject to nominal shear stress ranges

Table 8.1 — Characteristic fatigue resistance values in N/mm² from curves in Figures 8.1 to 8.3

Figure	Detail category	Slope parameter		$\Delta\sigma_D$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_L$ [N/mm ²]
		m_1	m_2		
8.1a	180	5	9	180	117
	160			160	104
	140			140	90,6
	125			125	80,9
	112			112	72,5
	100			100	64,7
	90			90,0	58,2
	80			80,0	51,8
8.1b	112	3	5	112	51,2
	100			100	45,7
	90			90,0	41,1
	80			80,0	36,6
	71			71,0	32,4
	63			63,0	28,8
	56			56,0	25,6
	50			50,0	22,9
8.2a	160	3	5	118	64,8
	140			103	56,7
	125			92,1	50,6
	112			82,5	45,4
	100			73,7	40,5
	90			66,3	36,5
	80			59,0	32,4
	71			52,3	28,8
8.2b	63	3	5	36,9	23,2
	56			32,8	20,7
	50			29,3	18,5
	45			26,3	16,6
	40			23,4	14,8
	36			21,1	13,3
8.3	90	5	9	65,3	50,5
	71			51,5	39,8
	56			40,6	31,4
	50			36,3	28,1
	45			32,6	25,2
	36			26,1	20,2

Table 8.2 — Characteristic fatigue resistance values in N/mm² from curves in Figure 8.4

Figure	Detail category	Slope parameter		$\Delta\sigma_b$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_t$ [N/mm ²]
8.4	100	5	—	45,7	45,7
	80			36,6	36,6

8.2 Classification of constructional details

(1) For the nominal stress method, the detail categories $\Delta\sigma_c$ and $\Delta\tau_c$ should be used in accordance with Clause 10:

- Table 10.1 for plain members free from welding,
- Table 10.2 for mechanically fastened joints,
- Table 10.3 for welded built-up sections and longitudinal welds,
- Table 10.4 for transverse butt welds (full penetration),
- Table 10.5 for weld attachments and stiffeners,
- Table 10.6 for load carrying welded joints,
- Table 10.7 for hollow section joints,
- Table 10.8 for lattice girder joints made of hollow sections,
- Table 10.9 for orthotropic decks – closed stiffeners,
- Table 10.10 for orthotropic decks – open stiffeners,
- Table 10.11 for crane runway beams,
- Table 10.12 for chimneys, masts and towers.

NOTE 1 Tables 10.1 to 10.12 describe the constructional details together with the stress distribution in the vicinity of the site of the potential crack location that corresponds with the detail category.

NOTE 2 Where test data has been used to determine the detail category for a particular constructional detail, the stress range $\Delta\sigma_c$ or $\Delta\tau_c$ corresponding to $N_c = 2 \times 10^6$ cycles has been calculated using a lower prediction bound of survival for log N with 95% probability, taking into account the standard deviation and the sample size. The number of data points (not lower than 12) has been considered in the statistical analysis. Accounting for pre-existing information on the slope parameter of the fatigue resistance curves, the aforementioned approach to determine the stress range $\Delta\sigma_c$ or $\Delta\tau_c$ is identical with prEN 1990:2021, Annex D in respect of the statistical determination of a single property.

NOTE 3 The test data used to determine detail categories includes detail specific properties such as residual stress effects.

NOTE 4 The National annex can permit the determination of a more appropriate detail category for a particular application based on tests according to 4(5) and (6) provided that the test data is statistically evaluated in accordance with NOTE 2.

NOTE 5 The National annex can give detail categories $\Delta\sigma_c$ or $\Delta\tau_c$ for details not classified by Table 10.1 to Table 10.12.

(2) For the application of Tables 10.1 to 10.12, Annexes B, C and F, weld quality level B according to EN ISO 5817 (assuming execution class EXC3 or higher), assignment of qualified personnel and an extent of non-destructive testing (NDT) as specified by EN 1090-2 should be implemented. Additionally, the supplementary requirements described by the detail category tables in Clause 10 should be met.

NOTE For structures and components in execution class EXC2, weld quality level C can be sufficient.

8.3 Fatigue resistance modifications

8.3.1 Size effect

(1) The size effect due to thickness or other dimensional effects should be taken into account as required in Tables 10.1 to 10.12. The fatigue resistance, considering size effect, should be determined as follows:

$$\Delta\sigma_c = k_s \Delta\sigma_{c,Table} \quad (8.1)$$

where:

$\Delta\sigma_{c,Table}$ is the value of the considered detail category provided in the first column of table in Clause 10

k_s is the parameter size effect specified in the tables of Clause 10

NOTE For some constructional details, the size effect is already taken into account by specifying different detail categories.

(2) In case $\Delta\sigma_c$ according to (1) is smaller than 71 N/mm^2 , but $\Delta\sigma_{c,Table}$ is greater than 71 N/mm^2 , $\Delta\sigma_D$ shall remain as $0,737 \Delta\sigma_c$.

8.3.2 Post-fabrication treatment

(1) The effect of a post-fabrication treatment on fatigue resistance may be taken into account.

NOTE 1 The National annex can give provisions for post-fabrication treatments including post weld treatments such as toe grinding, TIG re-melting of weld toe region, hammer peening, HFMI treatment and shot peening.

NOTE 2 Guidance is given in Annex F regarding fatigue design of welded joints subject to High Frequency Mechanical Impact Treatment (HFMI treatment).

(2) The effect of a post fabrication treatment other than grinding should not be combined with the beneficial effect of full thermal stress relief according to 7.4(3).

9 Fatigue verification

9.1 Verification with respect to elastic behaviour

(1) The nominal stresses σ_{Ed} and τ_{Ed} resulting from the characteristic combination of actions according to EN 1990, making due allowance where relevant for the macro-geometric and/or concentrated load effects, should be limited as follows:

$$\sigma_{Ed} \leq f_y / \gamma_{M,ser} \quad (9.1)$$

and

$$\tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser} \sqrt{3}} \quad (9.2)$$

NOTE 1 Elastic behaviour is a necessary condition for all stress-based verification methods of this document including Annexes A, B, C and F.

NOTE 2 The numerical value for $\gamma_{M,ser}$ is set to 1,0 unless a different value is specified by the National annex.

(2) In order to avoid low cycle fatigue, the maximum nominal stresses ranges $\Delta\sigma_{max,Ed}$ and $\Delta\tau_{max,Ed}$ resulting from the frequent combination of actions according to EN 1990 and calculated according to Clause 7, making due allowance where relevant for the macro-geometric and/or concentrated load effects, should be limited as follows:

$$\Delta\sigma_{max,Ed} \leq 1,5 f_y / \gamma_{Mf} \quad (9.3)$$

and

$$\Delta\tau_{max,Ed} \leq 1,5 \frac{f_y}{\gamma_{Mf} \sqrt{3}} \quad (9.4)$$

NOTE High nominal stress ranges can lead to plastic deformation at the spots of stress concentration. As a consequence, alternating plastic deformations can be induced in cases of reversed loading that need to be limited to avoid low cycle fatigue.

(3) Where the actual stress range spectrum is replaced by an equivalent constant stress range $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ or $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ according to EN 1991, the requirement of (2) may be assumed to be fulfilled.

9.2 Verification with respect to reference value

(1) This verification should be performed for design situations with unknown maximum stress range $\Delta\sigma_{max,Ed}$ or $\Delta\tau_{max,Ed}$.

NOTE Design situations with unknown maximum stress range can be:

- The variable amplitude stress range spectrum is replaced by the equivalent constant stress range $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ or $\Delta\tau_{e,2,Ed}$.
- The variable amplitude stress range spectrum is calculated using a simplified fatigue load model according to EN 1991 that neglects the largest load cycles with very low frequencies.

(2) The normal and shear stress ranges for constructional details should satisfy the following relationships:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,Ed}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.5)$$

and

$$\frac{\Delta\tau_{e,2,Ed}}{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.6)$$

NOTE The stress components to be considered for a particular constructional detail, see 7.2, are indicated by Tables 10.1 to 10.12. See also 7.3.

9.3 Verification with respect to fatigue limit

(1) This verification may be performed for design situations with known maximum stress range $\Delta\sigma_{\max,Ed}$ or $\Delta\tau_{\max,Ed}$.

NOTE See note to 9.2(1).

(2) An infinite life for constructional details may be assumed if the maximum stress range of the applied normal or shear stress spectrum satisfy the following relationships:

$$\frac{\Delta\sigma_{\max,Ed}}{\Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.7)$$

or

$$\frac{\Delta\tau_{\max,Ed}}{\Delta\tau_D/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (9.8)$$

9.4 Verification for multiaxial fatigue

(1) If the considered location of a constructional detail (see cracks indicated in Table 10.1 to Table 10.12) is subject to a combination of normal and shear stresses, the fatigue verification should consider their combined effects as follows:

- a) If the normal and shear stresses simultaneously occur during each loading event, the principal stresses should be considered and the corresponding stress range should be verified according to Formula (9.5);
- b) If the normal and shear stresses do not simultaneously occur during each loading event, the components of damage should be added according to Miner's summation:
 - for failure in parent metal (including crack initiation at weld toes) subjected to nominal normal stress ranges $\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\sigma_z$ and nominal shear stress ranges $\Delta\tau_{xy}, \Delta\tau_{xz}, \Delta\tau_{yz}$:

$$\sum_{j=x,y,z} \left(\frac{\Delta\sigma_{j,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{j,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \sum_{k=xy,xz,yz} \left(\frac{\Delta\tau_{k,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{k,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (9.9)$$

- for weld failure (crack initiation at weld root) due to weld stresses according to 7.2(5):

$$\left(\frac{\Delta\sigma_{wf,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{wf,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \left(\frac{\Delta\tau_{wf,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{wf,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (9.10)$$

where:

m_σ is the first slope parameter m_1 of the fatigue resistance curve for the considered constructional detail under normal stress loading

m_τ is the first slope parameter m_1 of the fatigue resistance curve for the considered constructional detail under shear stress loading

(2) If normal and shear stresses cause the formation of fatigue cracks at different locations, a separate fatigue verification for both locations should be performed.

(3) Where no data for $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ or $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ is available the verification format in Annex A may be used.

NOTE The National annex can give information on the use of Annex A.

10 Classified constructional details for the nominal stress method

(1) The classifications contained in Tables 10.1 to 10.12 should be used for the nominal, or modified nominal, stress method only.

NOTE 1 The weld symbols used in Tables 10.3 to 10.12 are explained by Table 10.13.

NOTE 2 The last column of Tables 10.1 to 10.11 can contain supplementary requirements beyond the provisions of EN 1090-2, EN 1993-1-1 and EN 1993-1-8.

(2) In situations where non uniform stress distributions may be caused by global and/or local bending, the stresses at the potential crack location should be considered.

NOTE The illustrations of the constructional details subject to normal stress generally show the distribution of the stress σ at the mid-plane of the member as a result of normal forces.

(3) The classifications of fillet welded details may be applied to convex, concave or flat fillet welds, although the illustrations only show one indicative fillet weld type.

(4) For $N < 2 \times 10^6$, fatigue verification should consider whether constructional details of plain members adjacent to joints have a lower fatigue resistance.

NOTE Due to the different slopes of details in plain members, mechanically fastened joints and welded joints, the plain members can have a relatively lower fatigue resistance for $N < 2 \times 10^6$ (intersection of fatigue resistance curves).

(5) For structures with hot dip galvanizing, the particular provisions in Tables 10.1, 10.2, 10.4, 10.6, 10.9 and 10.11 should be applied.

NOTE 1 Regarding the particular provisions, for the use of the next lower detail categories as required by the footnotes in Tables 10.1, 10.2, 10.4, 10.6, 10.9 and 10.11, see 8.1(2), 8.1(3) and 8.1(6).

NOTE 2 These provisions do not apply to thermal sprayed zinc/aluminium details.

(6) For structures made of weathering steels, the particular provisions in Tables 10.1 and 10.2 should be applied.

NOTE Regarding the particular provisions, for the use of the next lower detail categories as required by the footnotes in Tables 10.1 and 10.2, see 8.1(2) and 8.1(3).

Table 10.1 — Plain members

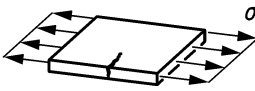
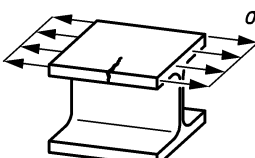
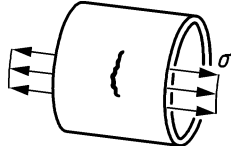
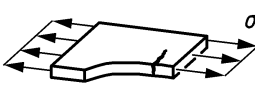
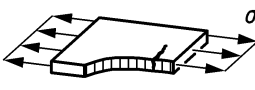
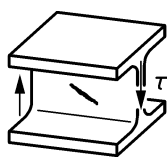
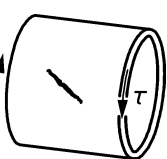
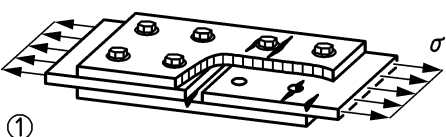
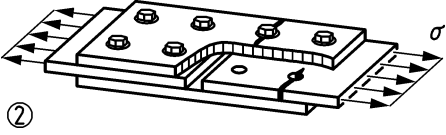
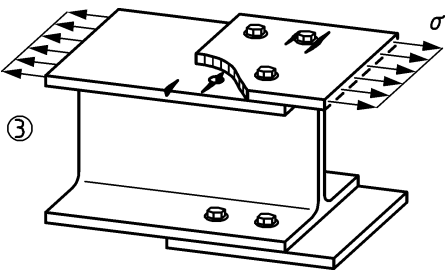
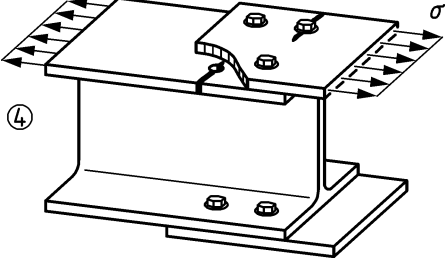
Detail category	Constructional detail	Description	Supplementary Requirements	
180 $m_1 = 5$	① 	Rolled or extruded products subject to normal stress: ① plates and flats with as rolled edges; ② rolled sections with as rolled edges; ③ seamless hollow sections, either rectangular or circular	①, ③: Defects, sharp edges and rolling flaws should be removed by grinding until a smooth transition is achieved with mean surface roughness depth in the order of mill scale ($R_z \leq 200 \mu\text{m}$). Repair by welding not allowed, requiring following technical delivery conditions: ①: Class A3 acc. to EN 10163-2. ③: Option 1.5 acc. to EN 10210	
160 $m_1 = 5$	② 		①, ②, ③: Defects, sharp edges and rolling flaws should be removed by grinding until a smooth transition is achieved. Repair by welding not allowed, requiring following technical delivery conditions: ①: Class A3 acc. to EN 10163-2. ②: Class C3 acc. to EN 10163-3. ③: Option 1.5 acc. to EN 10210	
125 $m_1 = 5$	③ 		①, ②, ③: Defects, sharp edges and rolling flaws should be removed by grinding until a smooth transition is achieved. Repair by welding should be followed by grinding until a smooth transition is achieved.	
160 $m_1 = 5$	④ 	Sheared or thermally cut material subject to normal stress: ④ with subsequent grinding; ⑤ with subsequent deburring	Stress concentrations due to macro-geometric effects should be accounted for. $\Delta\sigma$ should be calculated using net section including appropriate stress concentration factors.	④ Mean surface roughness depth after grinding in the order of mill scale ($R_z \leq 200 \mu\text{m}$). Repair by welding not allowed.
125 $m_1 = 5$	⑤ 			⑤ Thermal cut quality acc. to EN 9013 with mean surface profile range 2. Repair by welding followed by grinding until a smooth transition is achieved.
100 $m_1 = 5$	⑥  ⑦  ⑧ 	Rolled or extruded products subject to shear stress: ⑥ to ⑧ same description as for ① to ③	For shear loads in webs of any section class, Formula (8.25) of EN 1993-1-1 should be used to calculate $\Delta\tau$.	⑥, ⑦ and ⑧: Requirements as for ① to ③ in detail category 125.
For ① to ⑧ made of weathering steel the next lower detail category of Figure 8.1 should be used, but not higher than Detail Category 140. For ① to ⑧ with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.1 should be used, but not higher than Detail Category 140.				

Table 10.2 — Mechanically fastened joints

Detail category	Constructional detail	Description		Supplementary Requirements
112 $m_1 = 5$		①	Double covered symmetrical joint subject to normal stress with preloaded high strength bolts or preloaded injection bolts	$\Delta\sigma$ should be calculated for all members containing a potential crack site using the gross cross-section.
90 $m_1 = 5$		②	Double covered symmetrical joint subject to normal stress	For all members containing a potential crack site, $\Delta\sigma$ should be calculated with
			with fitted bolts or non-preloaded injection bolts	$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{\text{net}} \left[a + \left(b - c \frac{d_0}{w} \right)^3 \right]$ where σ_{net} is the net cross-section stress. For fitted bolts and non-preloaded injection bolts: 1 bolt row: $a = 1; b = 1,6; c = 2,7$ 2 bolt rows: $a = 1; b = 1,3; c = 2,2$ ≥ 3 bolt rows: $a = 1; b = 1,1; c = 1,8$ For non-preloaded normal bolts in holes with normal clearance: $a = 1; b = 1,6; c = 2,7$ See note at the end of table for dimensions d_0 and w . The bolts should be checked using ⑦.
			with non-preloaded normal bolts in holes with normal clearance without load reversal	
			Holes drilled or reamed	
71 $m_1 = 3$			with fitted bolts or non-preloaded injection bolts	
			with non-preloaded normal bolts in holes with normal clearance without load reversal	
			Holes thermally cut or punched	
100 $m_1 = 5$		③	One-sided fully supported connection subject to normal stress with preloaded high strength bolts or preloaded injection bolts	$\Delta\sigma$ should be calculated for all members containing a potential crack site using the gross cross-section. One-sided unsupported connections should be avoided or the effect of eccentricity should be taken into account in the stress calculation.
80 $m_1 = 5$		④	One-sided fully supported connection subject to normal stress	For all members containing a potential crack site, $\Delta\sigma$ should be calculated as for ②.
			with fitted bolts or non-preloaded injection bolts	The bolts should be checked using ⑦.
			with non-preloaded normal bolts in holes with normal clearance without load reversal	One-sided unsupported connections should be avoided or the effect of eccentricity should be taken into account in the stress calculation.
			Holes drilled or reamed	
56 $m_1 = 3$			with fitted bolts or non-preloaded injection bolts	
			with non-preloaded normal bolts in holes with normal clearance without load reversal	
			Holes thermally cut or punched	

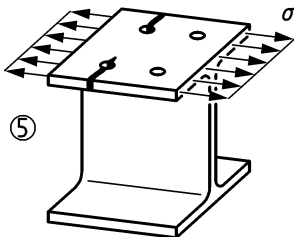
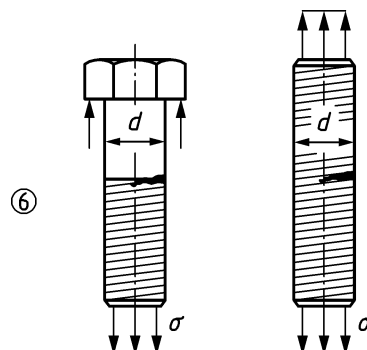
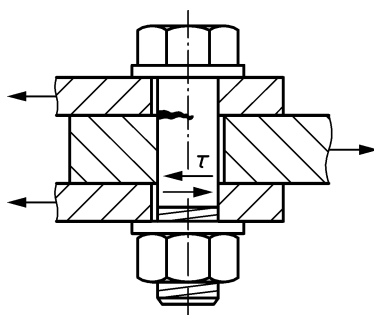
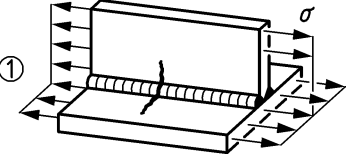
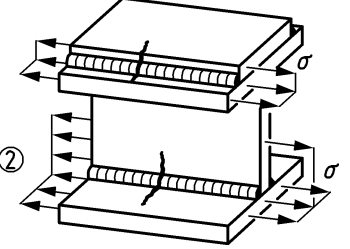
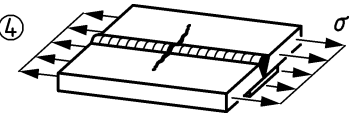
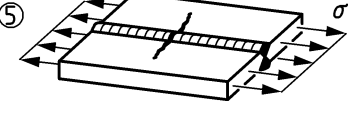
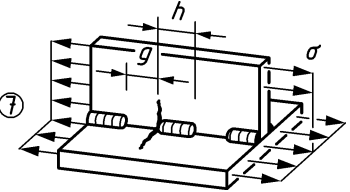
Detail category	Constructional detail		Description	Supplementary Requirements
90 $m_1 = 5$			⑤ Structural element subject to normal stress with drilled or reamed round holes	$\Delta\sigma$ should be calculated using net cross-section.
50 $m_1 = 3$			as aforementioned, but with thermally cut or punched round holes	
71 $m_1 = 3$	Size effect for $d > 30$ mm. $k_s = (30/d)^{0.25}$ where d is the nominal bolt diameter in mm.		⑥ Black bolts and rods subject to normal stress with normal metric screw threads rolled after heat treatment	$\Delta\sigma$ should be calculated using the tensile stress area of the bolt or rod according to EN 1993-1-8, see 5.7. See Annex E for preloaded bolts and rods.
56 $m_1 = 3$			as aforementioned, but rolled before heat treatment	
50 $m_1 = 3$			as aforementioned, but hot-dip or electric galvanized after rolling	
50 $m_1 = 3$			as aforementioned, but with cut threads	
100 $m_1 = 5$			⑦ Fitted bolts subject to single or double shear	Carbon steel bolts should be of Grade 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 or 10.9 acc. to EN 1993-1-8. Stainless steel bolts should have nominal values of yield strength and ultimate tensile strength equal to or higher than those of Grade 70 according to EN 1993-1-4. Thread should not be in shear plane(s). $\Delta\tau$ should be calculated using the shank area of the bolt.
			as aforementioned, but with normal bolts in holes with normal clearance without load reversal	
NOTE It applies $w = \max(p_2; 2e_2)$. See EN 1993-1-8 for definition of d_0 , p_2 and e_2 .				
For ⑤ made of weathering steel the next lower detail category of Figure 8.1 should be used. For details ②, ④ and ⑤ with hot dip galvanizing and with drilled or reamed holes, the next lower detail category of Figure 8.1 should be used.				

Table 10.3 — Welded built-up sections and longitudinal welds

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
125			① Automatic or fully mechanised butt welds, welded from both sides, without stop-starts	None.
112			as aforementioned, but with stop-starts	
125			② Automatic or fully mechanised fillet welds, without stop-starts	For cover plates two parallel single fillet welds are necessary. Cover plate ends should be checked using ⑥, ⑦ or ⑧ of Tab. 10.6.
112			as aforementioned, but with stop-starts	
100	③ Manual welding	See above	③ Details ① and ② as manual welds	None.
112			④ Automatic or fully mechanised butt welds, welded from one side, on continuous root backing, without stop-starts	In case of permanent root backing, tack welds should attach the root backing inside the groove.
100			as aforementioned, but with stop-starts or manual butt welds	
125			⑤ Butt welds, welded from both sides, ground flush with plate surface in direction of stress, without stop-starts	Extent of NDT according to EN 1090-2: 100%.
112			as aforementioned, but without grinding	None.
90			as aforementioned, but without grinding and with stop-starts	None.
100	⑥ Repair welding	See above	⑥ Repaired automatic or fully mechanised or manual fillet or butt welds for ① to ④	None.
90			as aforementioned, but for ⑤	
Original detail category			as aforementioned, but with grinding or blending smoothly the weld toes for ① to ⑤	
80			⑦ Chain or staggered intermittent fillet welds with $g/h \leq 2,5$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the parent metal assuming the weld were continuous.

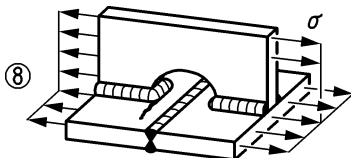
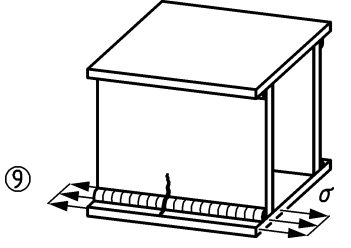
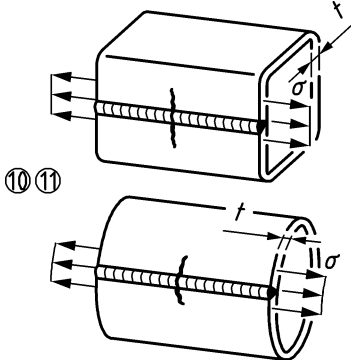
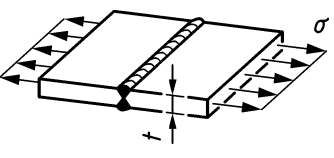
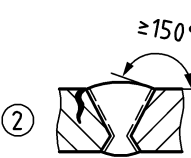
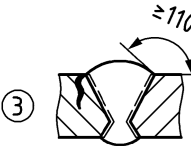
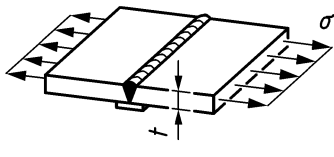
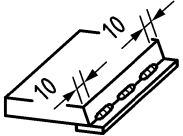
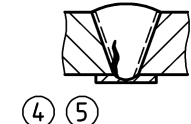
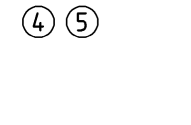
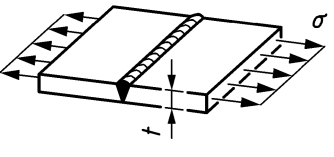
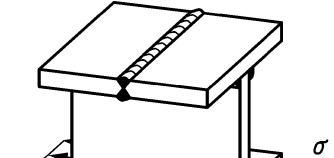
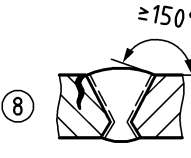
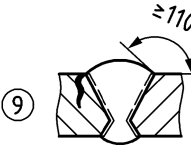
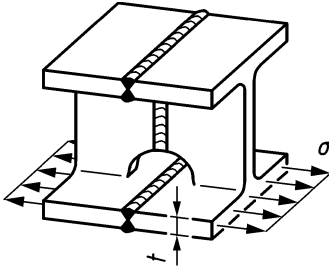
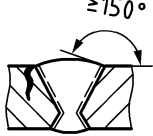
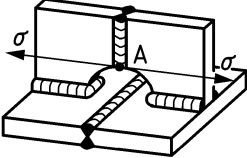
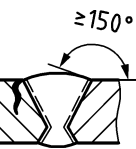
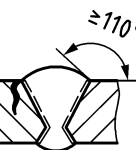
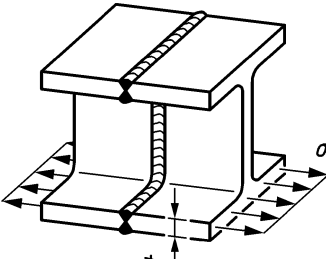
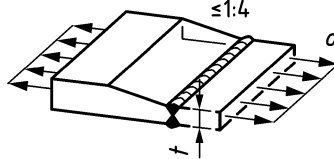
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements		
71			⑧ Butt or fillet or intermittent welds with a cope hole of a height $\leq 60\text{mm}$ For cope holes with a height $> 60\text{mm}$ see ① in Table 10.5. NOTE EN 1993-1-5 can have stricter rules on cope holes.	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the parent metal assuming the weld were continuous. Longitudinal weld welded all around inside cope hole. Transverse weld should be checked using Table 10.4.		
100			⑨ Automatic or fully mechanized or manual butt or fillet welds in box girders, welded from one side	None.		
140			⑩ Automatic or fully mechanized longitudinal welds in hollow sections according to EN 10210 or EN 10219 (without stop-starts as manufactured in a continuous process)	Wall thickness $t \leq 12,5\text{mm}$		
125				Wall thickness $t > 12,5\text{mm}$		
90			⑪ Automatic or fully mechanized longitudinal welds in hollow sections with stop-starts	None.		
NOTE 1 Welding other than automatic and fully mechanized welding should be treated as manual welding.						
NOTE 2 Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.						

Table 10.4 — Transverse welded butt joints (full penetration)

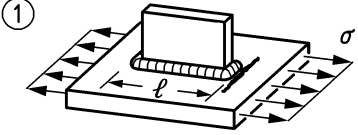
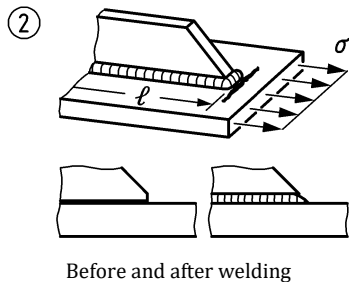
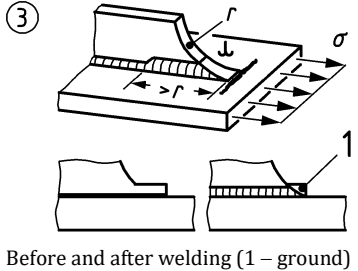
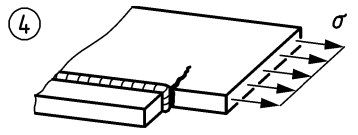
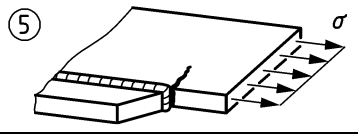
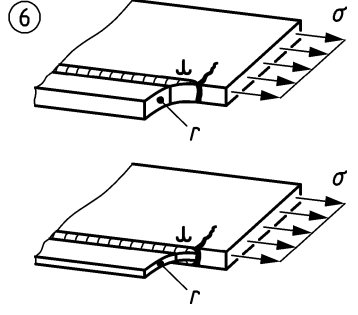
Detail category	Constructional detail		Symbol	Description	Supplementary Requirements
112	 See NOTE 1 for size effect			① Splices in plates and flats of same thickness, welded from both sides, ground flush	Weld all-around ground flush with plate surface in direction of stress. Misalignment $\leq 5\%$ of plate thickness, see NOTE 2.
90				② as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 150^\circ$	②: Welded in welding position PA acc. to EN ISO 6947. ②③: Weld ground flush at plate edges in direction of stress, where relevant, after removing weld run-off pieces.
80				③ as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 110^\circ$	Misalignment $\leq 5\%$ of plate thickness, see NOTE 2.
71	 			④ Splices in plates and flats of same thickness, welded from one side on permanent root backing, tack welds terminate not closer than 10 mm to the plate edges	See ② and ③. Tack welds should attach the root backing inside the groove.
50				⑤ as aforementioned, but tack welds terminate closer than 10 mm to the plate edge and/or if a good fit cannot be guaranteed	
71	 See NOTE 1 for size effect of Detail Category 71			⑥ Splices in plates and flats of same thickness, welded from one side without root backing	See ② and ③. Full penetration checked by appropriate NDT
36					None.
112	 See NOTE 1 for size effect			⑦ Flange and web splices in plate girders, welded from both sides, ground flush	⑦⑧⑨: No full cross-section joint. Splices welded before assembly of girder. Longitudinal weld should be checked using Table 10.3 ⑦: see ①. ⑧: see ②. ⑨: see ③.
90				⑧ as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 150^\circ$	
80				⑨ as aforementioned, but as-welded, with flank angle $\geq 110^\circ$	

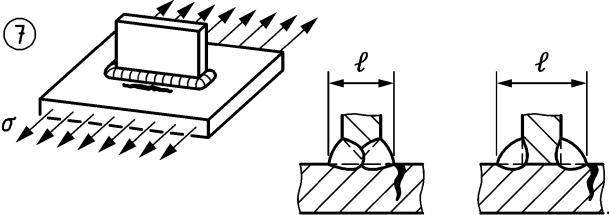
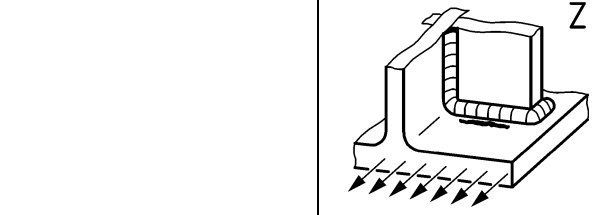
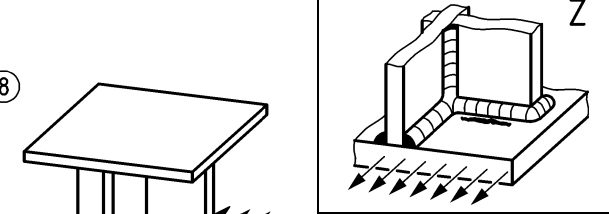
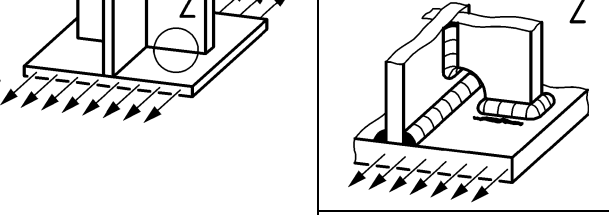
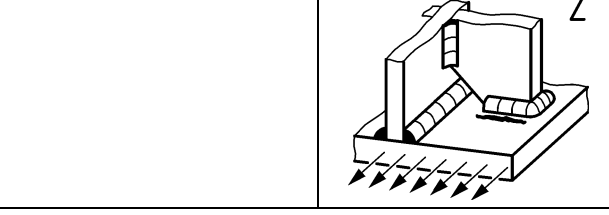
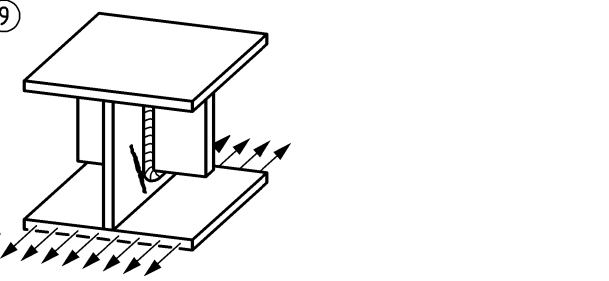
90	 See NOTE 1 for size effect			⑩ Flange splices of full cross-section butt welds of rolled sections of same dimensions without tolerance difference, ground flush, with semi-circular cope holes	Rolled sections cut and rewelded. See ①.
80				⑪ as aforementioned, but as-welded, with flank angle $\geq 150^\circ$ or with tolerance differences	See ②.

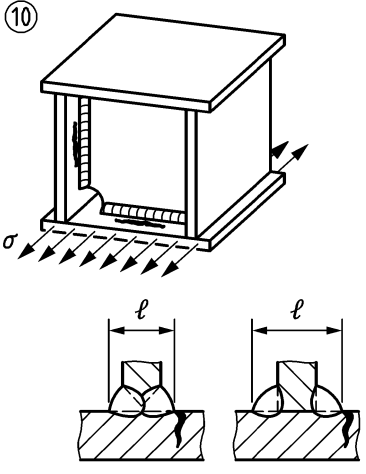
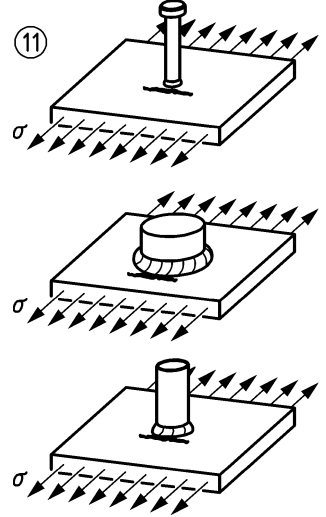
Detail category	Constructional detail		Symbol	Description	Supplementary Requirements	
112		⑫ 		⑫ Web splices in full cross-section joints with cope holes, welded from both sides, ground flush	$\Delta\sigma$ should be calculated using the modified nominal stress in the web at location A taking into account stress raising effect of the cope hole.	
90		⑬ 		⑬ as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 150^\circ$		
80		⑭ 		⑭ as aforementioned, but as-welded, with flank angle $\geq 110^\circ$		
See NOTE 1 for size effect						
112		⑮ 		⑮ Full cross-section butt welds of rolled sections of same dimensions without tolerance difference, ground flush, without cope holes	Rolled sections cut and rewelded. See ①.	Full penetration at the region of web-to-flange junction should be checked by NDT.
90		⑯ 		⑯ as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 150^\circ$, and with tolerance differences	See ②.	
80		⑰ 		⑰ as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 110^\circ$ and with tolerance differences	See ③.	
63		As for ⑮ to ⑰			See ① to ③.	
112		⑱ 		⑱ Splices in plates and flats tapered in width or in thickness with slopes $\leq 1:4$, welded from both sides, ground flush	See ①. $\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the thinner plate or flat. See NOTE 3.	
90		⑲ 		⑲ as aforementioned, but as-welded with flank angle $\geq 150^\circ$	See ②. Weld toes blended smoothly. See NOTE 3.	
See NOTE 1 for size effect						
For ①, ⑦, ⑫, ⑮ and ⑱ with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.2 should be used.						

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
71			(20) Splices in plates and flats tapered in width or in thickness with slopes $\leq 1:4$, welded from one side on permanent root backing and tack welds as for (4)	See (4). $\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the thinner plate or flat. See NOTE 3.
50	 See NOTE 1 for size effect	(20) (21) Taper in thickness	(21) as aforementioned, but with tack welds as for (5)	See (5). $\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the thinner plate or flat. See NOTE 3.
71	 See NOTE 1 for size effect	(22)	(22) Splices in plates and flats of different thickness with transition in weld, centrelines aligned	Misalignment $\leq 5\%$ of thinner plate thickness, see NOTE 2. Weld toes blended smoothly. $\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the thinner plate or flat. See NOTE 3.
as (2) in Tab. 10.6	 (23) (24) 1 – ground		(23) Transverse butt weld at intersecting flanges as (4) or (5) in Table 10.5 (24) as aforementioned, but with transition radius r acc. to (6) in Table 10.5	Continuous flange should be checked using (4) or (5) or (6) of Table 10.5.
90	 See NOTE 1 for size effect	(25) 1 – end groove weld	(25) Splices in stacked plates, as-welded with flank angle $\geq 150^\circ$,	See (2). The end groove welds should not melt while laying the butt weld. The root of the butt weld should be positioned in the center of one of the plates.
	 See NOTE 1 for size effect	(26) 1 – end groove weld	(26) as aforementioned, but tapered in thickness with slopes $\leq 1:4$	See (21). Weld toes blended smoothly. See NOTE 3.
NOTE 1 Size effect for $t > 25\text{mm}$ is considered by stress modification with $k_s = (25/t)^{0.2}$ for as-welded details and $k_s = (25/t)^{0.1}$ for details that are ground flush where t is the thinner plate thickness in mm for which the stress range is calculated.				
NOTE 2 Misalignment due to fabrication $\leq 5\%$ of plate thickness. An eccentricity is considered by appropriate nominal stress modification, see D.4(2).				
NOTE 3 For (18) to (22) and (26), as parts of girder flanges in bending, the modified nominal stress range approach is used. Recommended stress concentration factors k_t are provided by Annex D.				
NOTE 4 Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.				
For (1), (7), (12), (15) and (18) with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.2 should be used.				

Table 10.5 — Weld attachments and stiffeners

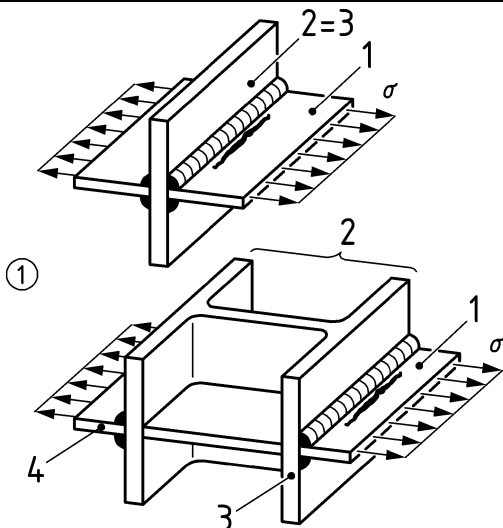
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
80	 ℓ = distance of weld toes		① Plates and beam flanges subject to normal stress with longitudinal attachment at their surfaces, as-welded, $\ell \leq 50\text{mm}$	Attachment welded all around. Attachment thickness is less than its height. Otherwise see ⑤ or ⑥ of Table 10.6. $\Delta\sigma$ should be calculated using the normal stress in the parent metal neglecting the attachment.
71			as aforementioned, but $50 < \ell \leq 200\text{mm}$	
63			as aforementioned, but $\ell > 200\text{mm}$	
as ①	 Before and after welding		② as aforementioned, but with chamfered attachment ends, as-welded	See ①.
80	 Before and after welding (1 – ground)	 weld termination; rest of weld as ① and ②	③ Plates and beam flanges subject to normal stress with longitudinal attachment at their surfaces, with transition radius $r \geq 150\text{ mm}$ and reinforced (full penetration) weld terminations	See ①. Transition of attached plate by machining or gas cutting before welding, reinforced weld terminations ground smooth until flush with plate surface in direction of stress after welding.
56			④ Plates or beam flanges subject to normal stress with longitudinal attachment at their edges, as-welded	Attachment welded all around. $\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the parent metal neglecting the attachment.
as ④			⑤ as aforementioned, but with chamfered attachment ends as-welded	See ④.
71		 weld termination; rest of weld	⑥ Plates or beam flanges subject to normal stress with longitudinal attachment at their edges, with transition radius $r \geq 150\text{mm}$	See ④. Transition of attached plate by machining or gas cutting before welding, weld terminations ground smooth until flush with plate edge in direction of stress after welding.

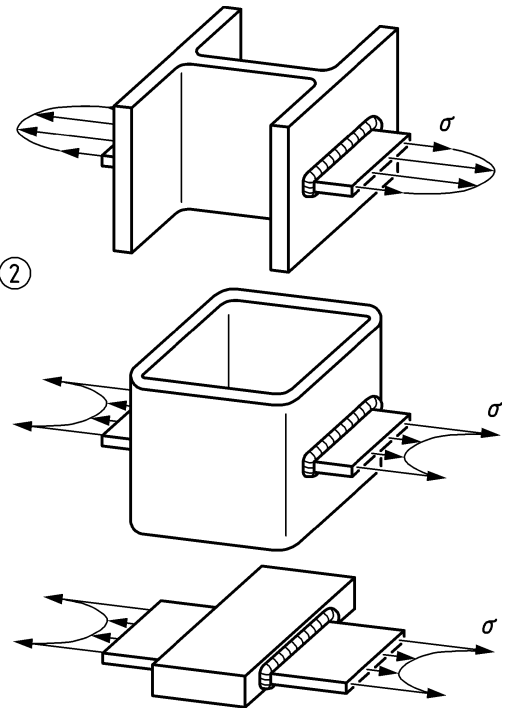
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
			⑦ Plates and beam flanges subject to normal stress with transverse attachment at their surfaces, as-welded: $l \leq 50\text{mm}$ $50 < l \leq 80\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in parent metal neglecting the attachment. Ends of welds should be ground to remove undercut if exists.
80				
71				
as ⑦			⑧ Flanges and webs of rolled sections subject to normal stress with fitted transverse attachment at their surfaces, welded all round, as-welded	See ⑦. Longitudinal welds, if exist, should be checked using Table 10.3.
as ⑦			as aforementioned, but of built-up sections (weld intersection)	
as ⑦			as aforementioned, but with cut holes, welded all around	
as ⑦			as aforementioned, but not welded all around	
as ⑦			⑨ Webs subject to combined normal and shear stresses with transverse attachment terminating in the web, welded all round, as-welded	$\Delta\sigma$ should be calculated using principal stress in the web neglecting the attachment. Ends of welds should be ground to remove undercut if exists.

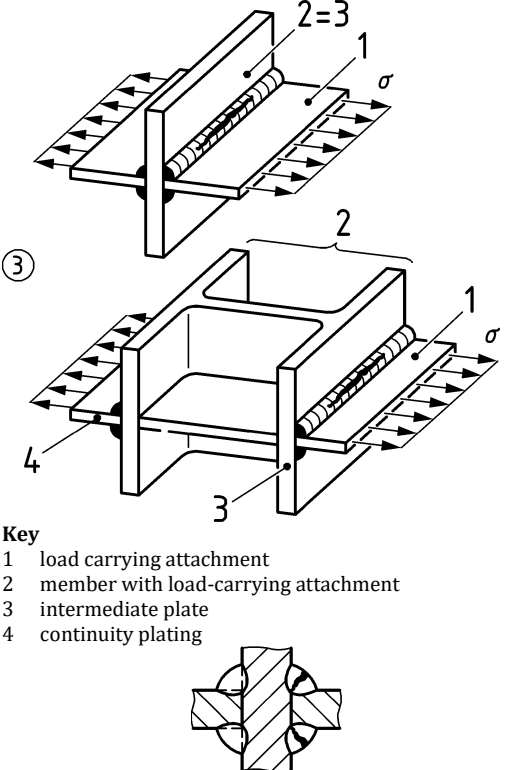
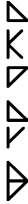
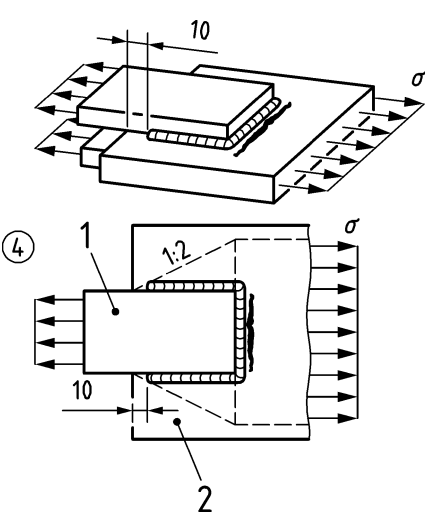
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
as ⑦	⑩ 		⑩ Box girder sections with diaphragms welded to flanges and/or webs subject to normal stress	See ⑦.
80	⑪ 		⑪ Plates, flanges or webs subject to normal stress with small attachment (such as welded shear stud, bushings etc.) of any shape at their surfaces Note: It applies $\ell \leq 50\text{mm}$ for small attachments. See ⑦ for definition of ℓ.	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in parent metal neglecting the small attachment.

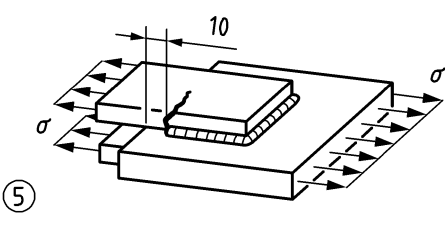
NOTE Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category

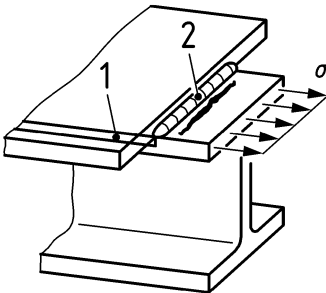
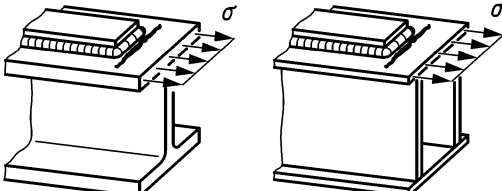
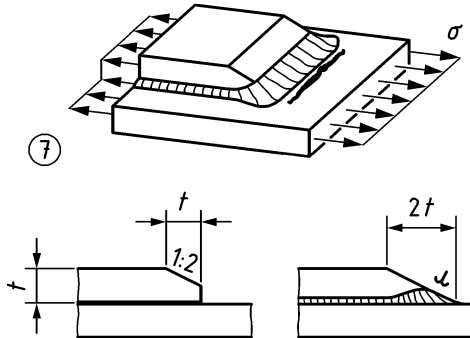
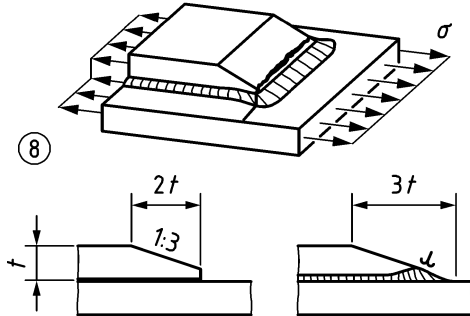
Table 10.6 — Load carrying welded joints

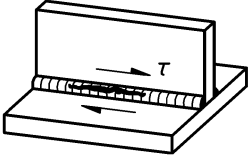
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
	 ① Key 1 load carrying attachment 2 member with load-carrying attachment 3 intermediate plate 4 continuity plating ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿	① Load carrying attachment subject to normal stress whose stress pattern is not affected by local deformation of the member to which it is welded, see NOTE 1 to ①, with weld toe failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the load carrying attachment. The eccentricity of the load carrying attachments (or continuity plating, if exists) should not exceed 15% of the thickness of the intermediate plate. For load carrying attachments with partial penetration butt welds or fillet welds, weld root failure should additionally be checked using ③, see Note 2 to ①.	
71			$\ell \leq 80$	For all t [mm]
63		$80 < \ell \leq 100$		
56		$100 < \ell \leq 120$		
50		$\ell > 120$	$t \leq 20$	
45		$120 < \ell \leq 200$	$t > 20$	
40		$\ell > 200$	$20 < t \leq 30$	
		$200 < \ell \leq 300$	$t > 30$	
		$\ell > 300$	$30 < t \leq 50$	
		$\ell > 300$	$t > 50$	
NOTE 1 to ① Typical examples: symmetrical load carrying attachments at opposite surfaces of a plate (cruciform joint); load carrying attachments welded to I sections or hollow sections stiffened by continuity plating. NOTE 2 to ① Effective full penetration butt welds according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt welds in respect of fatigue.				

as ①	 ②	as ①	② as ①, but where the stress pattern of the load carrying attachment is affected by local deformation of the member to which it is welded, see NOTE to ②. See ①. $\Delta\sigma$ should be calculated using modified nominal stress (compare Sec. 7.3.3) in the load carrying attachment.
NOTE to ② Typical examples: load carrying attachments on unstiffened Γ sections or unstiffened hollow sections; intersection of plates in the same plane like intersecting flanges of main and cross beam. These details do not show best practice. The calculation of the modified stresses for these details is generally not simple.			

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
40	 Key 1 load carrying attachment 2 member with load-carrying attachment 3 intermediate plate 4 continuity plating		③ Load carrying attachment with partial penetration butt welds or fillet welds subject to normal stress whose stress pattern is not affected by local deformation of the member to which it is welded, see also Notes to ①, with weld root failure as aforementioned, but where the stress pattern of the load carrying attachment is affected by local deformation of the member to which it is welded, see also Note to ②.	$\Delta\sigma$ should be calculated using nominal stress in the weld. The eccentricity of the load-carrying attachments (or continuity plating, if exists) should not exceed 15% of the thickness of the intermediate plate. For great weld sizes, weld toe failure should additionally be checked using ①, see Note 2 to ①. as aforementioned, but $\Delta\sigma$ should be calculated using modified nominal stress (compare Sec. 7.3.3) in the weld.
As ①	 Key 1 overlapping plate 2 main plate		④ Fillet welded overlapped joint subject to normal stress with failure of main plate	$\Delta\sigma$ should be calculated using the area as shown in the figure and normal stress in main plate. Weld should terminate at least 10mm from plate edge. Failure in the overlapping plates should be verified using ⑤. Shear stress in the weld should be verified using ⑩. Parameter ℓ in ① should be taken as equal to weld length measured in stress direction.

50			⑤ Fillet welded overlapped joint subject to normal stress with failure of overlapping plates	See ④, but $\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the overlapping plates.
----	---	---	---	---

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements												
	⑥  Key 1 longitudinal weld 2 frontal transverse weld	▷	⑥ Single or stacked cover plates on flanges in hot-rolled beams and plate girders, with cover plate length ≥ 300mm, with or without frontal transverse weld NOTE See ① for size effect of shorter cover plates.	If the cover plate is wider than the flange, a frontal transverse weld should be laid. The weld should be ground to remove undercut.												
56			<table><tr><td>$t_c < t$ [mm]</td><td>$t_c \geq t$ [mm]</td></tr><tr><td>$t \leq 20$</td><td>–</td></tr><tr><td>$20 < t \leq 30$</td><td>$t \leq 20$</td></tr><tr><td>$30 < t \leq 50$</td><td>$20 < t \leq 30$</td></tr><tr><td>$t > 50$</td><td>$30 < t \leq 50$</td></tr><tr><td>–</td><td>$t > 50$</td></tr></table>	$t_c < t$ [mm]	$t_c \geq t$ [mm]	$t \leq 20$	–	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$	$t > 50$	$30 < t \leq 50$	–	$t > 50$	
$t_c < t$ [mm]	$t_c \geq t$ [mm]															
$t \leq 20$	–															
$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$															
$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$															
$t > 50$	$30 < t \leq 50$															
–	$t > 50$															
50																
45																
40																
36																
80	⑦  Before and after welding	⚡ weld termination	⑦ Single cover plates on flanges in hot-rolled beams and plate girders, with cover plate length ≥ 300mm, with reinforced frontal transverse weld, chamfered with slope 1:2	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the flange. Surface of frontal transverse weld ground, weld toes blended smoothly.												
80	⑧  Before and after welding		⑧ as ⑦, but chamfered with slope 1:3													
80 $m_1 = 5$		⚡⚡⚡	⑨ Joints transmitting shear stress, with continuous fillet welds and partial penetration butt welds	For shear loads in flange-to-web connections in sections of any class,	$\Delta\tau$ should be calculated using shear stress in the weld.											

100 $m_1 = 5$	9 	 as aforementioned, but with full penetration butt welds NOTE Effective full penetration butt welds according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt welds for fatigue.	Eq. (8.25) of EN 1993-1-1 should be used to calculate $\Delta\tau$. Stress concentrations due to macro-geometric effects should be accounted for.	$\Delta\tau$ should be calculated using shear stress in the parent metal.
------------------	--	--	--	---

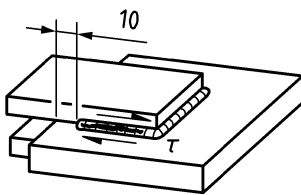
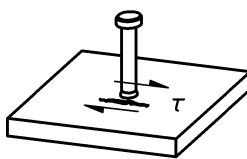
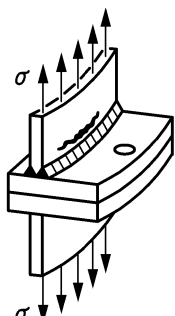
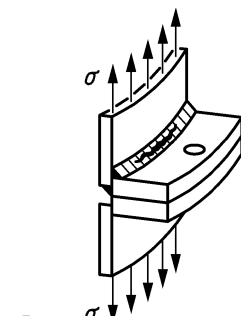
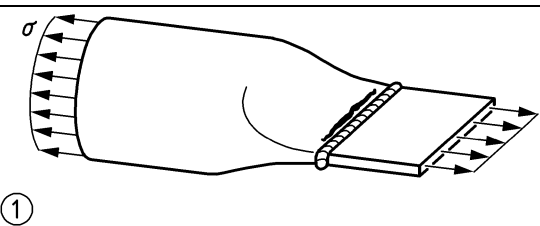
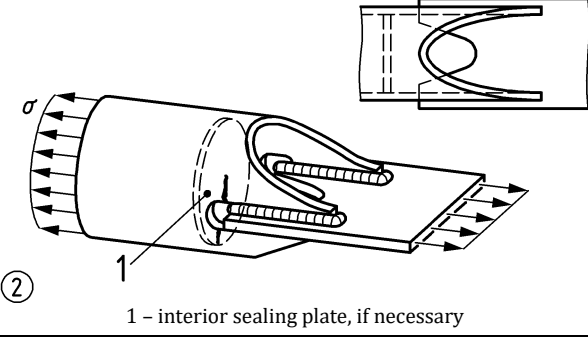
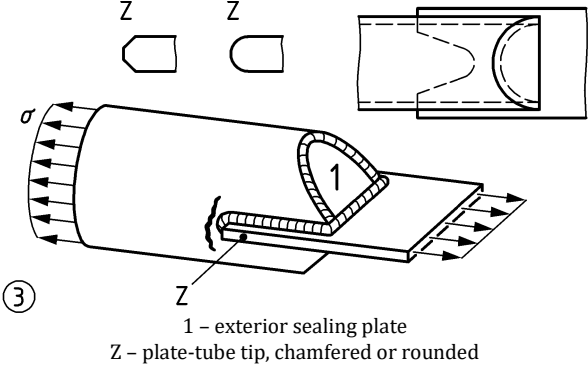
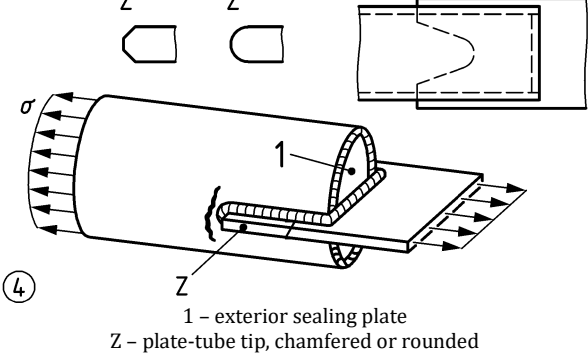
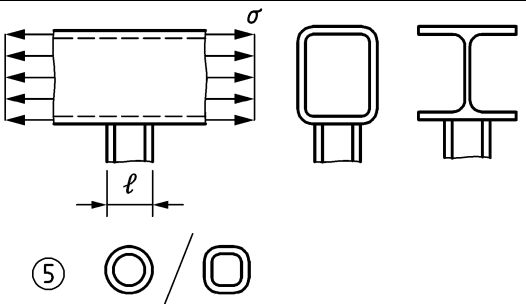
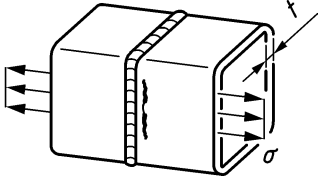
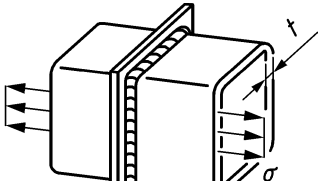
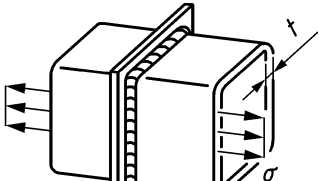
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
80 $m_1 = 5$	 ⑩		⑩ Fillet welded overlapped joint subject to shear stress with weld root failure	As for ④, but $\Delta\tau$ should be calculated using shear stress in the weld considering the total weld length.
90 $m_1 = 8$, see EN 1994 Part 2	 ⑪		⑪ Welded stud shear connectors for composite applications subject to shear stress	$\Delta\tau$ should be calculated using cross section of the stud shear connector. See EN 1994-2.
71	 ⑫  ⑬		⑫ Ring flange connection with full penetration welds where the stress pattern of the load carrying member is affected by local deformation of the ring flange to which it is welded	$\Delta\sigma$ should be calculated using modified nominal stress (compare Sec. 7.3.3) in the load carrying member. Bolts should be checked using ⑥ of Table 10.2.
36			⑬ as aforementioned, but with fillet welds	As for ⑫, but $\Delta\sigma$ should be calculated using modified nominal stress (compare Sec. 7.3.3) in the weld.
NOTE Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category				
For ⑪ with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.2 should be used.				

Table 10.7 — Structural hollow sections

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
71	 ①	X	① Hollow-section-to-plate joint with flatted hollow section with $\varnothing \leq 200\text{mm}$ and wall thickness $t \leq 12,5\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section.
45	 ② 1 – interior sealing plate, if necessary		② Hollow-section-to-plate joint with slitted hollow section, hole at the end of slit, hollow section chamfered with slopes $\alpha \leq 45^\circ$ and gusset plate with semi-circular cut-out	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the net hollow section with $A_{\text{net}} = A - 2 d_H$ where d_H is the hole diameter at the end of slit. The welds subject to shear should be verified using ⑨ of Table 10.6.
56	 ③ 1 – exterior sealing plate Z – plate-tube tip, chamfered or rounded		③ Hollow-section-to-plate joint with slitted hollow section, with full penetration welds, hollow section chamfered with slopes $\alpha \leq 45^\circ$, gusset plate with semi-circular cut-out and rounded plate-tube tip, exterior sealing plate for corrosion protection (single fillet welded)	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section. Sealing plate should be welded after hollow-section-to-plate joint to enable NDT of the full penetration welds.
50			as aforementioned, but with partial penetration welds, gusset plate with semi-circular cut-out and rounded or chamfered plate-tube tip	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section.
36			as aforementioned, but with fillet welds	
50	 ④ 1 – exterior sealing plate Z – plate-tube tip, chamfered or rounded		④ Hollow-section-to-plate joint with slitted hollow section, hollow section unchamfered, semi-circular shaped gusset plate with rounded or chamfered plate-tube tip, exterior sealing plate for corrosion protection (single fillet welded)	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section.
36			as aforementioned, but with fillet welds	

71			⑤ Weld joint between circular or rectangular structural hollow section and another section with fillet welds subject to normal stress in the continuous hollow section with wall thickness $t \leq 12,5\text{mm}$	Width parallel to stress direction $\ell \leq 100\text{mm}$, else like longitudinal attachment, see Table 10.5.
----	---	---	---	---

Detail category	Constructional detail		Symbol	Description	Supplementary Requirements
71			✓	⑥ Butt-welded splices in circular structural hollow sections, welded from one side, with flank angle $\geq 150^\circ$, wall thickness $12,5 < t \leq 20\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section. Welded in welding position PA or PB according to EN ISO 6947.
90				as aforementioned, but wall thickness $8 < t \leq 12,5\text{mm}$	
71				as aforementioned, but wall thickness $t \leq 8\text{mm}$	
71 $m_1 = 5$	⑥		⊠	as aforementioned, but on root backing, wall thickness $20 < t \leq 60\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section. Welded in welding position PA, PB, PC or PF according to EN ISO 6947. In case of permanent root backing, tack welds should attach the root backing inside the groove.
71 $m_1 = 5$			⊠	⑦ Butt-welded splices in circular structural hollow sections of different wall thickness, welded from one side on root backing, with flank angle $\geq 150^\circ$, wall thicknesses $20 < t_1 \leq 60\text{mm}$, $t_2 / t_1 > 0,6$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section with smaller wall thickness. Welded in welding position PA, PB, PC or PF according to EN ISO 6947. In case of permanent root backing, tack welds should attach the root backing inside the groove.
			⊠		
			∟	as aforementioned, but without root backing	
56			✓	⑧ Weld splices in circular structural hollow sections with intermediate plate, wall thickness $8 < t \leq 12,5\text{mm}$, with butt welds, with weld toe failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section.
50				as aforementioned, but with wall thickness $t \leq 8\text{mm}$	
45			△△	⑨ As ⑧ with $8 < t \leq 12,5\text{mm}$, but with fillet welds or partial penetration butt welds, with weld root failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using weld stress. For greater weld sizes, weld toe failure should additionally be checked using ⑧, see Note 1.
40				as aforementioned, but with wall thickness $t \leq 8\text{mm}$	

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
71			⑩ Butt-welded splices in rectangular structural hollow sections, welded from one side, with flank angle $\geq 150^\circ$, wall thickness $8 < t \leq 12,5\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section. Welded in welding position PA or PB according to EN ISO 6947.
56			as aforementioned, but wall thickness $t \leq 8\text{mm}$	
50			⑪ Weld splices in rectangular structural hollow sections with intermediate plate, wall thickness $8 < t \leq 12,5\text{mm}$, with butt welds, with weld toe failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the hollow section.
45			as aforementioned, but with wall thickness $t \leq 8\text{mm}$	
40			⑫ As ⑪ with $8 < t \leq 12,5\text{mm}$, but with fillet welds or partial penetration butt welds, with weld root failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using weld stress. For great weld sizes, weld toe failure should additionally be checked using ⑪ , see Note 1.
36			as aforementioned, but with wall thickness $t \leq 8\text{mm}$	

NOTE 1 For partial penetration butt welds or fillet welds, weld root failure as assumed for **⑨** and **⑫** is expected for normal weld sizes $a \leq t$. For greater weld sizes, weld toe failure can also occur. Effective full penetration butt welds according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt welds in respect of fatigue.

NOTE 2 Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.

Table 10.8 — Lattice girder joints made of structural hollow sections

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
90 $m_1 = 5$			① Gapped K- and N-joints made of circular structural hollow sections with $t_i/t_0 \leq 0,5$ for all t_i and t_0	Chords and braces should separately be verified accounting for secondary bending according to Tab. D.2. For fillet welds, see Note 1. – Dimensions: $35^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$; $4 < t_0 \leq 20\text{mm}$; $4 < t_i \leq 20\text{mm}$; $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 40$; $d_0 \leq 325\text{mm}$; $0,3 \leq d_i/d_0 \leq 0,67$ – In-plane eccentricity: $-0,5d_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25d_0$ – Out-of-plane eccentricity: $e_{o/p} \leq 0,02d_0$ – Steel: $f_{y,0}$ and $f_{y,i} \leq 700 \text{ N/mm}^2$ – Gap: $g \geq 2t_i$
71 $m_1 = 5$			as aforementioned, but with $0,5 < t_i/t_0 \leq 0,7$ for $t_0 \leq 10\text{mm}$	
63 $m_1 = 5$			as aforementioned, but with $0,5 < t_i/t_0 \leq 0,7$ for $t_0 > 10\text{mm}$	
36 $m_1 = 5$			as aforementioned, but with $0,7 < t_i/t_0 \leq 1,0$ for all t_i and t_0	
71 $m_1 = 5$			② Gapped K- and N-joints made of rectangular structural hollow sections with $t_i/t_0 \leq 0,5$	Chords and braces should separately be verified accounting for secondary bending according to Tab. D.2. Detail categories should be linearly interpolated for $0,5 \leq t_i/t_0 \leq 1,0$. Fillet welds with $a = t_i$ – Dimensions: $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$; $t_0 \leq 20\text{mm}$; $t_i \leq 20\text{mm}$; $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$; $b_0 \leq 200\text{mm}$; $0,4 \leq b_i/b_0 \leq 1,0$; – In-plane eccentricity: $-0,5h_0 \leq e_{i/p} \leq 0,25h_0$ – Out-of-plane eccentricity: $e_{o/p} \leq 0,02b_0$ – Steel: $f_{y,0}$ and $f_{y,i} \leq 700 \text{ N/mm}^2$ – Gap: $0,5(b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1(b_0 - b_i)$ and $g \geq 2t_0$
36 $m_1 = 5$			as aforementioned, but with $t_i/t_0 = 1,0$	
71 $m_1 = 5$			③ Overlapped K-joints made of circular or rectangular structural hollow sections with $t_i/t_0 \leq 0,7$	Chords and braces should separately be verified accounting for secondary bending according to Tab. D.2. Detail categories should be linearly interpolated for $0,7 \leq t_i/t_0 \leq 1,0$. Fillet welds with $a = t_i$ – Dimensions: $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$; t_0 and $t_i \leq 8\text{mm}$; b_0 and $d_0 \leq 200\text{mm}$; $0,4 \leq b_i/b_0 \leq 1$; $0,25 \leq d_i/d_0 \leq 1$;

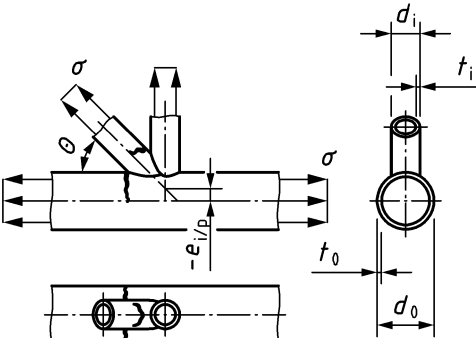
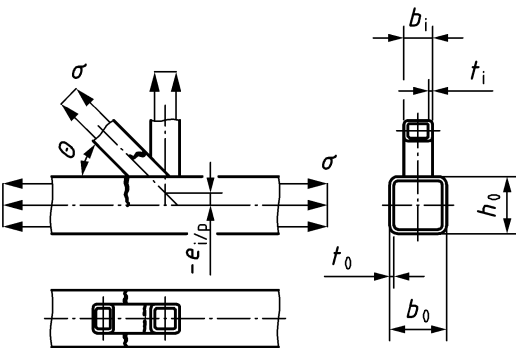
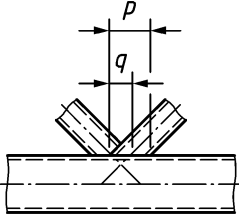
Figure 10 illustrates the geometrical parameters for two types of welded joints, (a) and (b). Each joint is shown in three views: a top view, a side view, and a cross-section view.

(a) Circular cross-section joint:

- Top view: Shows the circular cross-section with diameter d_i and thickness t_i .
- Side view: Shows the circular cross-section with diameter d_0 and thickness t_0 .
- Cross-section view: Shows the joint with eccentricity $-e_i/d_0$ and angle θ .

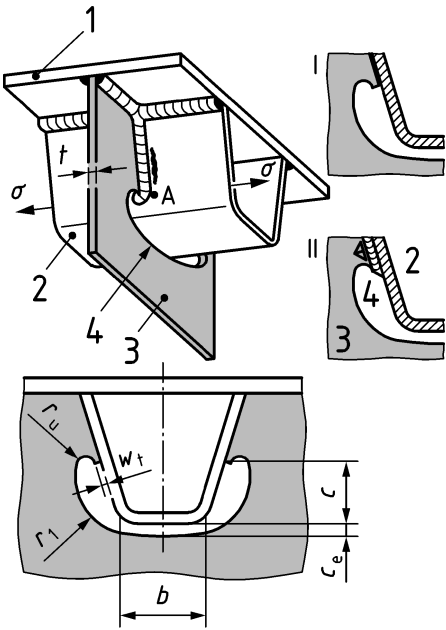
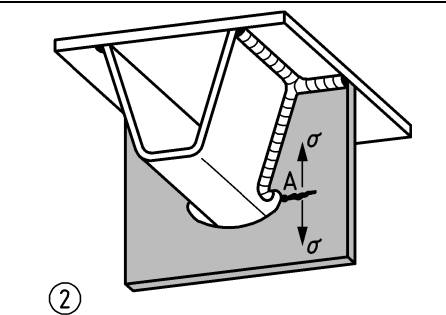
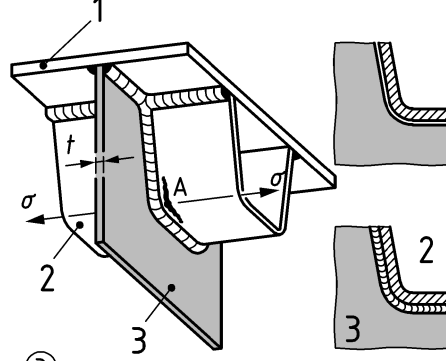
(b) Rectangular cross-section joint:

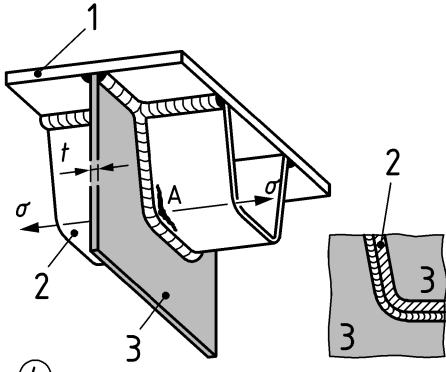
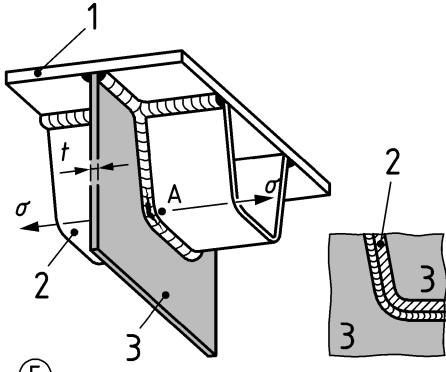
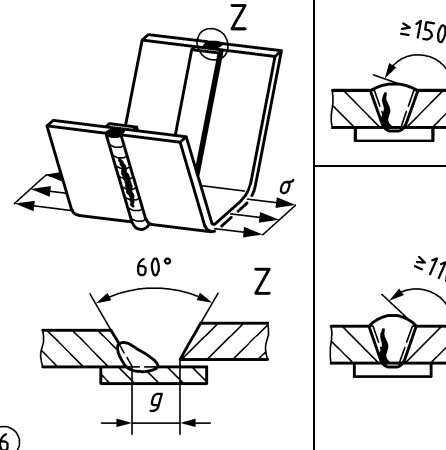
- Top view: Shows the rectangular cross-section with width b_i and thickness t_i .
- Side view: Shows the rectangular cross-section with width b_0 and thickness t_0 .
- Cross-section view: Shows the joint with height h_0 , eccentricity $-e_i/d_0$, and angle θ .

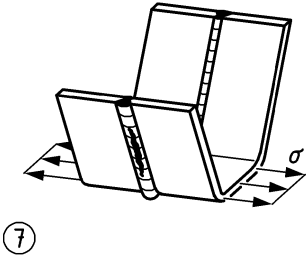
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
71 $m_1 = 5$			④ Overlapped N-joints made of circular or rectangular structural hollow sections with $t_i/t_0 \leq 0,7$	See ③.
50 $m_1 = 5$	 Welds are not shown in these figures.		as aforementioned, but with $t_i/t_0 = 1,0$	
NOTE 1 Fillet welds are permitted. For fillet welded K-joints with wall thickness $t_i > 8\text{mm}$, weld failure can occur. NOTE 2 Definition of p and q for overlapped joints 				
NOTE 3 The usage of the hot-spot stress method, see Annex B, can lead to a more efficient design.				

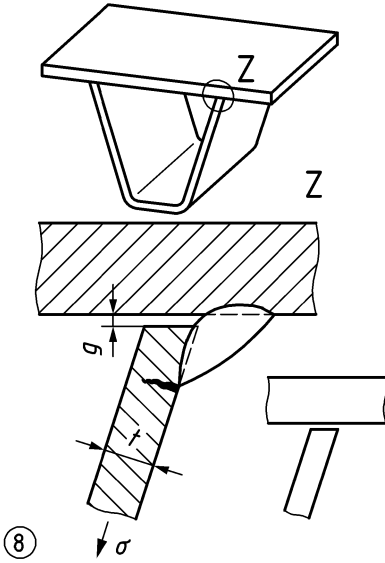
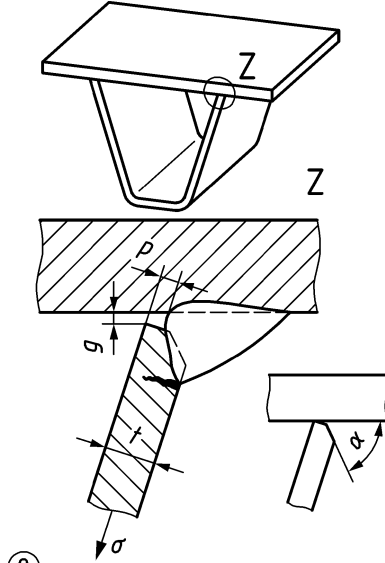
Normen-Download-Beuth- VFA- Interliff e. V.-KdNr. 6363432-ID.9ymFNROYs3h3L0r9Czic0S2ndjMLJSN1gmWu4820-2023-02-03 12:47:35

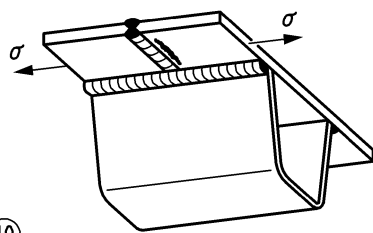
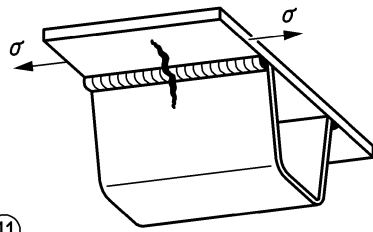
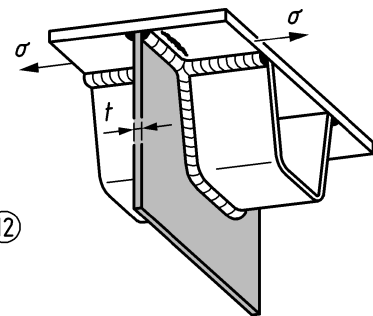
Table 10.9 — Orthotropic decks – closed stiffeners

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
80	 Key 1 deck plate 2 continuous stiffener 3 cross beam 4 extended cut-out I before welding II after welding	▷	① Continuous stiffener to cross-beam joint with extended cut-out in crossbeam subject to normal stress in stiffener, stiffener failure, crossbeam web thickness $t \leq 12\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener web, near bottom of the weld between the crossbeam and stiffener (spot 'A'). Dimensions b , c , c_e , r_1 , r_u and w_t for extended cut-out shape as specified in EN 1993-2, Annex C.
71			as aforementioned, but with $t > 12\text{mm}$	
71			as aforementioned, but with extended cut-out shape according to Fig. C.13 or C.14 of EN 1993-2	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener web, near bottom of the weld between the crossbeam and stiffener.
71	 ②	-	② Continuous stiffener to cross-beam joint with extended cut-out in crossbeam subject to normal stress in crossbeam, crossbeam web failure at free edge of extended cut-out	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the critical section (spot 'A') of the crossbeam modeled as Vierendeel beam as specified in 9.4.2 of EN 1993-2.
As ①	 Key 1 deck plate 2 continuous stiffener 3 cross beam 4 close fit cut-out I before welding II after welding	▷	③ As ①, but with close fit cut-out in crossbeam	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener bottom flange (spot 'A').

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
71	 ④ Key 1 deck plate 2 discontinuous stiffener 3 cross beam	✓	④ Discontinuous stiffener to crossbeam joint (crossbeams separates stiffeners) subject to normal stress in stiffener, with butt welds, stiffener failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener bottom flange
36	 ⑤	✓△	⑤ As ④, but with fillet welds or partial penetration butt welds, weld root failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using weld stress
100	 ⑥		⑥ Splice in stiffener subject to normal stress, welded from one side on permanent root backing, gap between weld preparation edges $g > 6 \text{ mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the bottom flange of stiffener. Tack welds should attach the root backing inside the groove.
71			as aforementioned, but $4 \text{ mm} \leq g \leq 6 \text{ mm}$	
36			as aforementioned, but $g < 4 \text{ mm}$	
112		As ① in Table 10.4	⑦ Splice in stiffener subject to normal stress, welded from both sides	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the bottom flange of stiffener. See ①, ② or ③ in Tab. 10.4.
90		As ② in Table 10.4		

80		As ③ in Table 10.4		
----	---	--------------------------	--	--

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
63	 ⑧	▽	⑧ Stiffener to deck plate joint subject to normal stress in stiffener web accounting for local bending, fillet weld with throat size $a \geq t$, stiffener pre-chamfered, weld gap $g \leq 0,5\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener web at the location of joint. Calculation model for local bending as specified in EN 1993-2.
100	 ⑨	∧ Partial Joint penetration as percentage: $PJP = 100(t - p/t)$ $75 \leq PJP \leq 95\%$	⑨ Stiffener to deck plate joint subject to normal stress in stiffener web, automatic partial penetration welds with throat size $a \geq t$, stiffener with weld preparation, weld gap $g \leq 0,5\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener web at the location of joint. Calculation model for local bending as specified in EN 1993-2. Melt-through should not occur.
90			as aforementioned, but manual partial penetration weld with included angle $\alpha \geq 50^\circ$	
50			as aforementioned, but weld gap $0,5\text{mm} \leq g \leq 2\text{mm}$	

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
112		As ① in Table 10.4	⑩ Deck plate splice joint, longitudinal or transverse, subject to normal stress, welded from both sides	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the deck plate. See ①, ② or ③ of Table 10.4.
90		As ② in Table 10.4		
80		As ③ in Table 10.4		
112		As ①/112 in Table 10.3	⑪ Deck plate to stiffener web joint, subject to normal stress	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the deck plate at the location of the joint. See ①, ③ or ⑥ of Table 10.3.
100		As ③ in Table 10.3		
		As ⑥ in Table 10.3		
80			⑫ Deck plate to crossbeam web joint, subject to normal stress in deck plate, crossbeam web thickness $t \leq 12\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the deck plate at the crossbeam web location.
71			as aforementioned, but with $t > 12\text{mm}$	

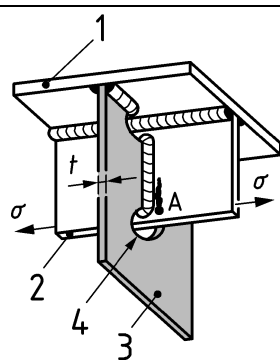
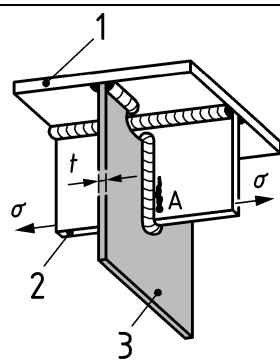
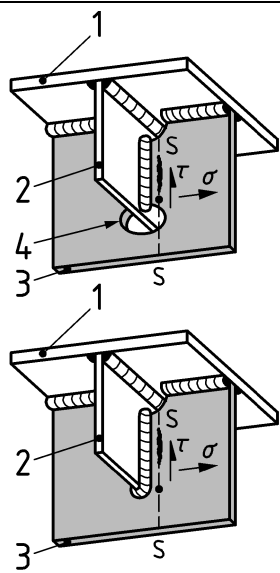
NOTE 1 Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.

For ⑦ and ⑩ with symbol note “As ① in Table 10.4” with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.2 should be used.

NOTE 1 Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.

For ⑦ and ⑩ with symbol note "As ① in Table 10.4" with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.2 should be used.

Table 10.10 — Orthotropic decks – open stiffeners

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
80	 ① Key 1 deck plate 2 continuous stiffener 3 cross beam 4 extended cut-out	▷	① Continuous stiffener to crossbeam joint subject to normal stress in stiffener, with extended cut-out in crossbeam, crossbeam web thickness $t \leq 12\text{mm}$	$\Delta\sigma$ should be calculated using normal stress in the stiffener, near the bottom of the vertical weld between the crossbeam and the stiffener (spot 'A').
71			As aforementioned, but crossbeam web thickness $t > 12\text{mm}$	
As ①	 ②	As ①	② Continuous stiffener to crossbeam joint as ①, but close fit cut-out in crossbeam	See ①.
56	 ③	▷	③ Continuous stiffener to crossbeam joint subject to normal and shear stresses in crossbeam, with weld toe failure	$\Delta\sigma_{eq}$ should be calculated combining normal stress σ and shear stress τ in the web of the crossbeam at the critical spot of cross section 'S' by $\Delta\sigma_{eq} = 0,5 [\Delta\sigma + (\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2)^{0,5}]$ with $\sigma = M_S / W_{net,S}$ $\tau = V_S / A_{w,net,S}$ with $W_{net,S}$ is net section modulus; $A_{w,net,S}$ is net cross-sectional area of web; M_S internal moment; V_S internal shear force.

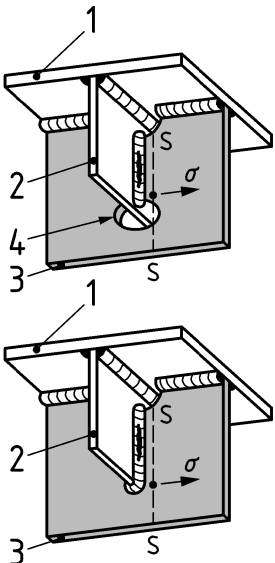
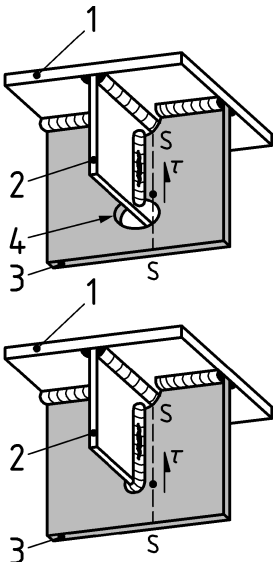
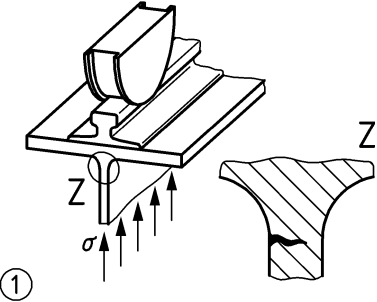
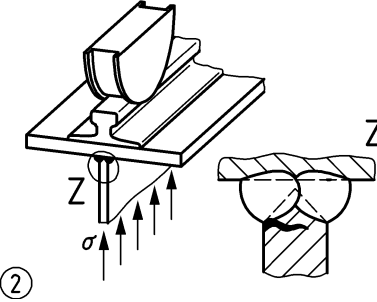
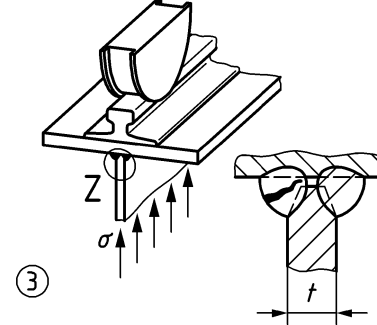
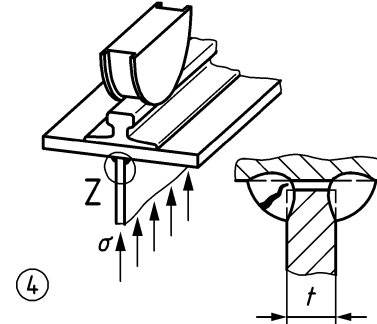
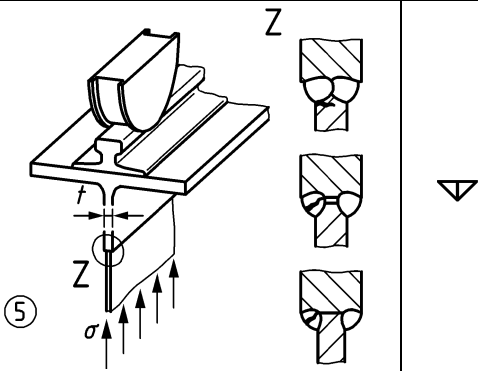
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
36	 ④ Key 1 deck plate 2 continuous stiffener 3 cross beam 4 extended cut-out	▷	④ Continuous stiffener to crossbeam joint, subject to normal stress in crossbeam, weld root failure	$\Delta\sigma$ should be calculated using weld stress σ_w due to internal moment at the critical spot of cross section 'S' by $\sigma_w = \sigma t / (2a)$ where σ is normal stress in crossbeam web, see ③; t is the thickness of crossbeam web; a is the throat size of weld.
80 $m_1 = 5$	 ⑤ Key 1 deck plate 2 continuous stiffener 3 cross beam 4 extended cut-out	▷	⑤ Continuous stiffener to crossbeam joint, subject to shear stress in crossbeam, weld root failure	$\Delta\tau$ should be calculated using shear stress τ_w in the weld due to internal shear force at the critical spot of cross section S by $\tau_w = \tau t / (2a)$ where τ is shear stress in crossbeam web, see ③; t is the thickness of crossbeam web; a is the throat size of weld.
NOTE 1 Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.				

Table 10.11 — Crane runway beam related details

Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
160	 ①	none	① Flange-to-web connection subject to wheel loads in rolled sections	$\Delta\sigma$ should be calculated using vertical compressive stress in the web due to wheel loads according to 7.6.2 of EN 1993-6.
100	 ②		② Welded flange-to-web connection subject to wheel loads, with continuous full penetration butt welds NOTE Effective full penetration butt joints according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt joints for fatigue.	
50	 ③		③ Welded flange-to-web connection subject to wheel loads, with continuous partial penetration butt welds and weld sizes $a \leq 0,7 t$	$\Delta\sigma$ should be calculated using vertical compressive stress in welds due to wheel loads according to 7.6.2 of EN 1993-6. For great welds with $a > 0,7 t$, $\Delta\sigma$ should be calculated using stress in the web. NOTE For greater welds, weld toe failure can additionally occur.
50	 ④		④ Welded flange-to-web connection subject to wheel loads, with continuous double fillet weld, and weld sizes $a \leq 0,7 t$	
100			⑤ Welded T-section flange to web connection subject to wheel loads, with continuous full penetration butt welds, see Note on ②.	See ②.
50			as aforementioned, but with continuous partial penetration butt welds and weld sizes $a \leq 0,7 t$	See ③ and ④.

		as aforementioned, but with continuous double fillet weld and weld sizes $a \leq 0,7 t$	
--	---	---	--

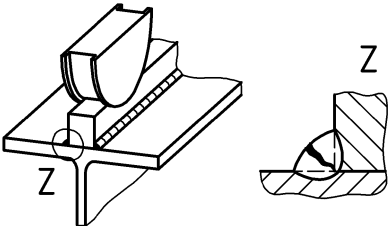
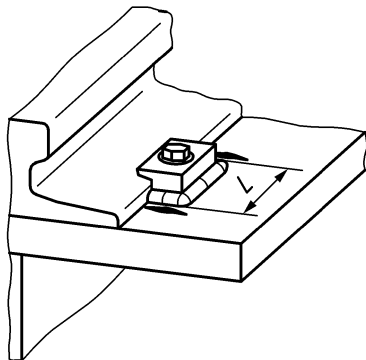
Detail category	Constructional detail	Symbol	Description	Supplementary Requirements
56	 ⑥		⑥ Crane rail as hot-rolled flat or square steel bar subject to wheel loads, fastened to the top flange above supporting webs by continuous longitudinal rail welds	$\Delta\sigma$ should be calculated using vertical compressive stress in rail welds due to wheel loads according to 7.8.2 of EN 1993-6
	 ⑦ L = distance of weld toes [mm]		⑦ Rail clamps welded to top flange, not directly subject to fatigue crane action	$\Delta\sigma$ should be calculated using longitudinal normal stress in top flange
80	$L \leq 50$, all t			
71	$50 < L \leq 80$, all t			
63	$80 < L \leq 100$, all t			
56	$100 < L \leq 120$, all t			
	$L > 120$, $t \leq 20$			
50	$120 < L \leq 200$, $t > 20$			
112	all		as aforementioned, but in single span runway beams	
NOTE Slope parameter $m_1 = 3$ of fatigue resistance curve unless otherwise stated in detail category.				
For ① with hot dip galvanizing the next lower detail category of Figure 8.1 should be used.				

Table 10.12 — Constructional details related to towers, masts and chimneys

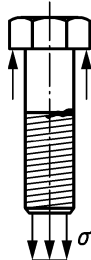
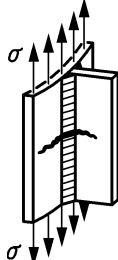
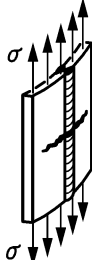
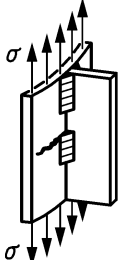
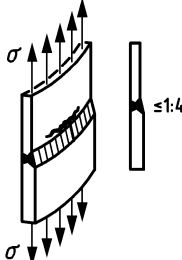
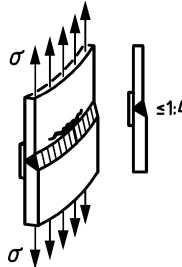
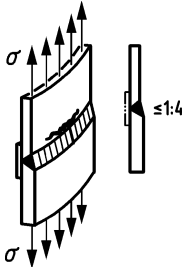
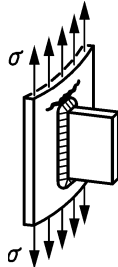
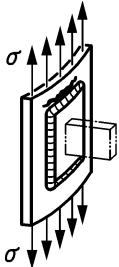
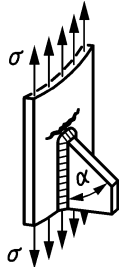
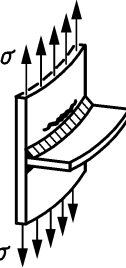
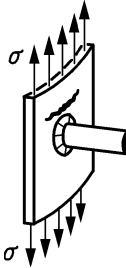
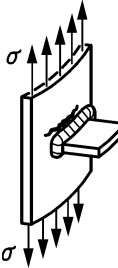
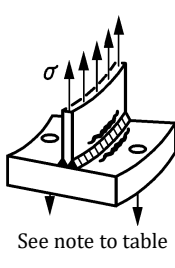
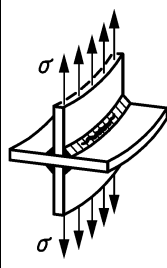
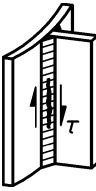
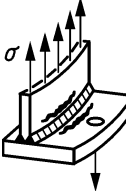
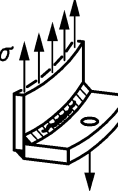
No.	1	2	3	4	5
Description					
Classification	Table 10.2: ⑥	Table 10.3: ①	Table 10.3: ⑤	Table 10.3: ⑦	Table 10.4: ⑱⑲
No.	6	7	8	9	10
Description					
Classification	Table 10.4: ⑳㉑	Table 10.4: ⑳㉑	Table 10.5: ①	Table 10.5: ①	Table 10.5: ②
No.	11	12	13	14	15
Description					
Classification	Table 10.5: ⑦	Table 10.5: ⑪	Table 10.5: ⑦	Table 10.6: ①	Table 10.6: ③
No.	16	17	18		
Description					
Classification	Table 10.6: ⑨	Table 10.6: ⑫ See note to table	Table 10.6: ⑬ See note to table		
NOTE Bolts to be checked with detail No. 1 of this table.					

Table 10.13 — Explanation of weld symbols in Tables 10.3 to 10.12

No.	Weld type	Description	Weld Symbol
1	Butt weld with full penetration	– welded from both sides, – root of the first weld back gouged or ground	
2		– welded from both sides, – root of the first weld back gouged or ground, – weld faces flat and flush with the plate surface, – surface finish parallel to load direction	
3		– welded from one side on root backing	
4	Butt weld with full penetration with additional fillet weld passes	– welded from both sides, – root of first weld safely melt through	
5		– welded from both sides, – root of first weld gouged or ground, back weld	
6		– welded from one side	
7	Butt weld with partial penetration and additional fillet weld passes		
8	Fillet weld, double fillet welds	– weld toes blended smoothly	
9			
10	Stud welding		
NOTE Weld symbols according to EN ISO 2553.			

Annex A (normative)

Verification using cumulative linear damage model

A.1 Use of this annex

(1) This Normative annex contains additional provisions to 6.2, 7.3.2 and 9.4 where verification is undertaken using a cumulative linear damage model.

NOTE This Normative annex can be used independently of the type of verification (nominal, hot spot or effective notch stress method).

A.2 Scope and field of application

(1) This Normative Annex applies to fatigue design situations where the fatigue action effect is not defined by an equivalent constant stress range spectrum with $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ or $\Delta\tau_{e,2,Ed}$ and 2×10^6 stress cycles.

(2) Multi-axial verification using a cumulative linear damage model (according to A.5) is not applicable to hot spot and effective notch stress methods.

A.3 Fatigue action effect

A.3.1 Stresses from fatigue actions

(1) The stresses used for fatigue verification according to this Annex may be derived using one of the fatigue load models in EN 1991, or of any other fatigue load model defined in agreement with prEN 1990:2021, 6.1.3.3.

(2) The stresses should be calculated according to 7.1, 7.2, B.3.1 and C.3.1.

(3) A stress history should be determined from the loading events for the constructional detail under consideration taking account of effects of dynamic magnification of the structural response.

A.3.2 Calculation of stress ranges

(1) Stress ranges should be derived from stress histories using the rainflow or reservoir counting method.

(2) The design value of the stress ranges $\Delta\sigma_{i,Ed}$ and $\Delta\tau_{i,Ed}$ should be determined considering the load effect from the fatigue load model multiplied by the partial factor γ_{ff} , considering the effective value of the stress range as determined in 7.4, as follows:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{i,Ed} &= \Delta\sigma(\gamma_{ff} Q_{fat}) \\ \Delta\tau_{i,Ed} &= \Delta\tau(\gamma_{ff} Q_{fat})\end{aligned}\tag{A.1}$$

(3) Nominal stress ranges should be determined using 7.3.1 and 7.3.2.

(4) Hot spot stress ranges should be determined using B.3.2.

(5) Effective notch stress ranges should be determined using C.3.2.

A.4 Fatigue resistance

A.4.1 Endurance for the nominal stress method

(1) For constant amplitude loading with normal stress ranges $\Delta\sigma_{Ed}$, the design value of endurance, N_{Rd} , should be determined as follows:

$$N_{Rd} = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{Ed}} \right)^{m_1} \text{ for } \Delta\sigma_{Ed} \geq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (A.2)$$

where:

$\Delta\sigma_D$ is the constant amplitude fatigue limit at N_D , Figures 8.1 to 8.3

m_1 is the first slope parameter of the fatigue resistance curve, Figures 8.1 to 8.3

$\Delta\sigma_{Ed}$ is the design value of the applied stress range, see 7.3

(2) Constant amplitude stress ranges $\Delta\sigma_{Ed} < \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}$ may be neglected.

(3) For variable amplitude loading with normal stress ranges above and below the constant amplitude fatigue limit $\Delta\sigma_D$, the design value of endurance, $N_{i,Rd}$, corresponding to the stress range $\Delta\sigma_{i,Ed}$ should be determined for each stress range in the spectrum based on the extended fatigue resistance curves as follows:

$$N_{i,Rd} = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_C/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{i,Ed}} \right)^{m_1} \text{ for } \Delta\sigma_{i,Ed} \geq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (A.3)$$

$$N_{i,Rd} = N_D \left(\frac{\Delta\sigma_D/\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_{i,Ed}} \right)^{m_2} \text{ for } \Delta\sigma_L/\gamma_{Mf} \leq \Delta\sigma_{i,Ed} \leq \Delta\sigma_D/\gamma_{Mf} \quad (A.4)$$

where:

$\Delta\sigma_D$ is the constant amplitude fatigue limit at N_D , see Figures 8.1 to 8.3

$\Delta\sigma_L$ is the variable amplitude fatigue limit at N_L , see Figures 8.1 to 8.3

m_1 is the first slope parameter of the fatigue resistance curve, see Figures 8.1 to 8.3

m_2 is the slope parameter of the extended fatigue resistance curve, see Figures 8.1 to 8.3

$\Delta\sigma_{i,Ed}$ is the design value of the applied stress range, see 7.3

(4) Stress ranges in variable amplitude loading with $\Delta\sigma_{i,Ed} < \Delta\sigma_L/\gamma_{Mf}$ may be neglected.

(5) For either constant or variable amplitude loading with shear stress ranges, the design value of endurance, $N_{i,Rd}$, corresponding with the stress range $\Delta\tau_{i,Ed}$ should be determined for each stress range in the spectrum as follows:

$$N_{i,Rd} = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\tau_C/\gamma_{Mf}}{\Delta\tau_{i,Ed}} \right)^{m_1} \text{ for } \Delta\tau_{i,Ed} \geq \Delta\tau_D/\gamma_{Mf} \quad (A.5)$$

where:

$\Delta\tau_D$ is the constant amplitude fatigue limit at N_D , see Figure 8.4

m_1 is the slope parameter of the fatigue resistance curve, see Figure 8.4

$\Delta\tau_{i,Ed}$ is the design value of the applied stress range, see 7.3

(6) Stress ranges $\Delta\tau_{i,Ed} < \Delta\tau_D/\gamma_{Mf}$ may be neglected.

(7) The size effect due to thickness or other dimensional effects should be considered according to 8.3.1 of this standard.

NOTE Characteristic fatigue resistance values for the nominal stress method without consideration of size effects are given in Table A.1.

Table A.1 — Characteristic fatigue resistance values in N/mm² for curves in Figures 8.1 to 8.4

Figure	Detail category	Slope parameter		Characteristic CAFL at N_D [cycles]	Characteristic values [N/mm ²]		
		m_1	m_2		At 10 ⁴ cycles	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
8.1	180	5	9	2×10^6	519	180	116
	160				462	160	103
	140				404	140	90,6
	125				361	125	80,9
	112				323	112	72,5
	100				288	100	64,7
	90				260	90,0	58,3
	80				231	80,0	51,8
8.2a	160	3	5	5×10^6	936	118	64,8
	140				819	103	56,7
	125				731	92,1	50,6
	112				655	82,5	45,3
	100				585	73,7	40,5
	90				526	66,3	36,4
	80				468	58,9	32,4
	71				415	52,3	28,7
8.2b	63	3	5	1×10^7	368	36,8	23,2
	56				327	32,7	20,7
	50				292	29,2	18,4
	45				263	26,3	16,6
	40				234	23,4	14,8
	36				210	21,1	13,3
8.3	90	5	9	1×10^7	260	65,2	50,5
	71				205	51,5	39,8
	56				162	40,6	31,4
	50				144	36,2	28,1
	45				130	32,6	25,3
	35				104	26,1	20,2
8.4a	100	5	—	1×10^8	288	45,7	45,7
	80				231	36,6	36,6
8.4b	90	8	—	1×10^8	162	58,3	58,3

A.4.2 Endurance for the hot spot stress method

(1) When using the hot spot stress method, the design value of endurance $N_{i,Rd}$ for each stress range in the spectrum should be calculated using B.4.

NOTE When using B.4, characteristic fatigue resistance values are given in Table A.2.

Table A.2 — Characteristic fatigue resistance values in N/mm² for curves in Figures B.3 and B.4

Figure	Detail category	Slope parameter		Characteristic CAFL at N_D [cycles]	Characteristic values [N/mm ²]		
		m_1	m_2		At 10 ⁴ cycles	$\Delta\sigma_{HS,D}$	$\Delta\sigma_{HS,L}$
B.3	112	3	5	5×10^6	655	82,5	45,3
	100				585	73,7	40,5
	90				526	66,3	36,4
B.4	193	3,36	5	5×10^6	933	147	80,8
	178	3,30			884	134	73,9
	149	3,17			790	111	61,2
	128	3,07			717	94,6	52,0
	114	3,00			669	84,3	46,3
	97	2,90			601	70,4	38,7
	88	2,85			566	63,8	35,0
	74	2,75			509	53,3	29,3
	69	2,72			485	49,2	27,0

A.4.3 Endurance for the effective notch stress method

(1) When using the effective notch stress method the design value of endurance $N_{i,Rd}$ for each stress range in the spectrum should be calculated using C.4.

NOTE When using C.4, characteristic fatigue resistance values are given in Table A.3.

Table A.3 — Characteristic fatigue resistance values in N/mm² for curves in Figure C.2

Figure	Detail category	Slope parameter		Characteristic CAFL at N_D [cycles]	Characteristic values [N/mm ²]		
		m_1	m_2		At 10 ⁴ cycles	$\Delta\sigma_{ENS,D}$	$\Delta\sigma_{ENS,L}$
C.2	225	3	5	1×10^7	1316	132	83,3
	200				1170	117	73,8

A.4.4 Endurance for welded joints subjected to High Frequency Mechanical Impact Treatment

(1) When dealing with welded joints subjected to High Frequency Mechanical Impact Treatment, the design value of endurance $N_{i,Rd}$ for each stress range in the spectrum should be calculated using F.4.

NOTE When using F.4, characteristic fatigue resistance values are given in Table F.2 to Table F.7.

A.5 Fatigue verification

- (1) The verifications with respect to elastic behaviour, considering nominal stresses, given in 9.1 should be performed.
- (2) The verifications with respect to fatigue limit given in 9.3 of this standard may be used for infinite life design.

NOTE Stress ranges $\Delta\sigma_{\max,Ed}$ and $\Delta\tau_{\max,Ed}$ in 9.3 are $\max\Delta\sigma_{i,Ed}$ and $\max\Delta\tau_{i,Ed}$.

- (3) For finite life design, the design value of the damage D accumulated during the design service life should be calculated from:

$$D = \sum_i^n \frac{N_{i,Ed}}{N_{i,Rd}} \tag{A.6}$$

where

- $N_{i,Ed}$ is the number of cycles in the spectrum corresponding with the stress range $\Delta\sigma_{i,Ed}$ or $\Delta\tau_{i,Ed}$
- $N_{i,Rd}$ is the design value of endurance for the stress range $\Delta\sigma_{i,Ed}$ or $\Delta\tau_{i,Ed}$.

NOTE For the example of a four-band ordinary stress range spectrum according to Figure A.1, Figure A.2 gives the corresponding endurance values. The design values of the stress range $\Delta\sigma_{i,Ed}$ are plotted in these figures.

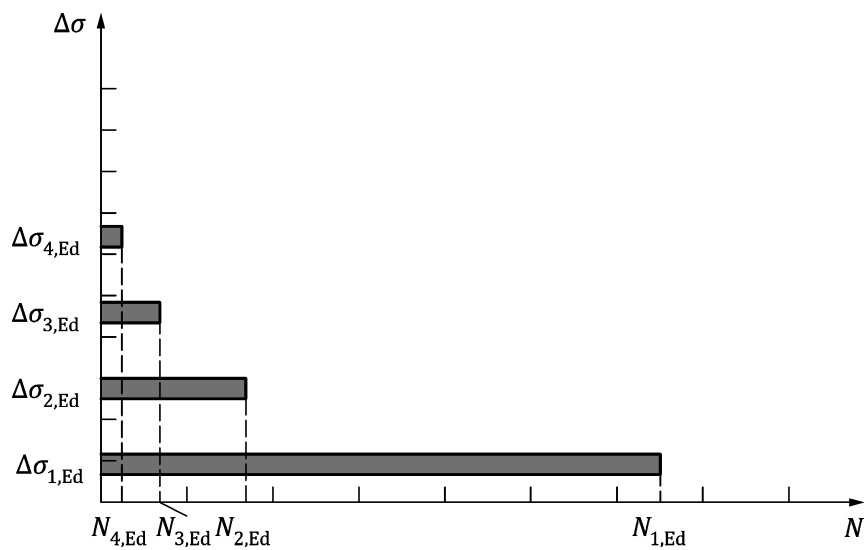
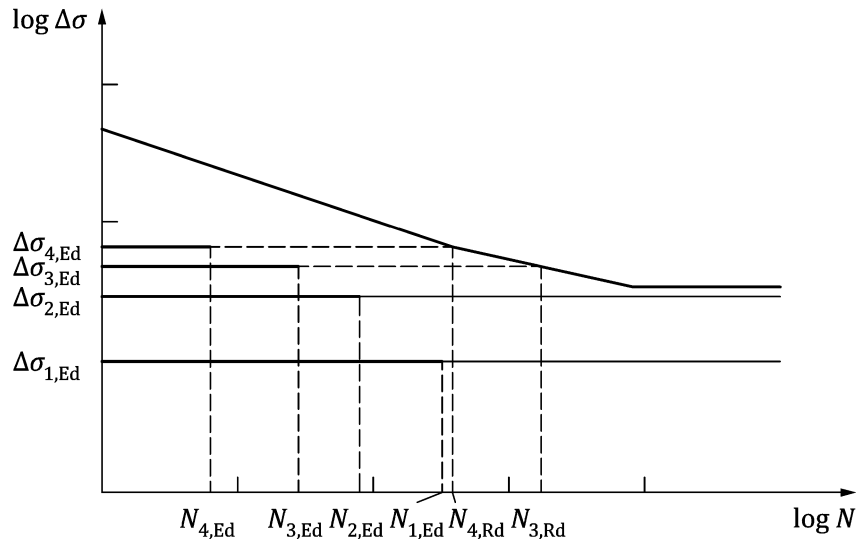


Figure A.1 — Example of a four-band ordinary stress range spectrum



NOTE

- The blue curve is the extended S-N curve.
- $N_{1,R}$ and $N_{2,R}$ are not provided because the corresponding stress ranges are below VAFL $\Delta\sigma_L$.

Figure A.2 — Example of determination of endurance for four bands of the spectrum

(4) The design value of the damage D should satisfy following relationship:

$$D \leq 1,0 \quad (\text{A.7})$$

(5) If the considered location of a constructional detail (see cracks indicated in Table 10.1 to Table 10.12) is subject to a combination of nominal normal and shear stresses, the fatigue verification should consider their combined effects as follows:

- a) If the normal and shear stresses simultaneously occur during each loading event, the principal stresses should be considered and the corresponding stress ranges should be verified according to Formula (A.7);
- b) If the normal and shear stresses do not simultaneously occur during each loading event, the components of damage should be added according to Miner's summation:
 - for failure in parent metal (including crack initiation at weld toes) subjected to nominal normal stress ranges $\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\sigma_z$ and nominal shear stress ranges $\Delta\tau_{xy}, \Delta\tau_{xz}, \Delta\tau_{yz}$:

$$\sum_{j=x,y,z} D_{j,\sigma} + \sum_{k=xy,xz,yz} D_{k,\tau} \leq 1,0 \quad (\text{A.8})$$

where:

$D_{j,\sigma}$ is the damage determined using Formula (A.6) for the ranges of the normal stress component σ_j with $j = x, y$ or z

$D_{k,\tau}$ is the damage determined using Formula (A.6) for the ranges of the shear stress component τ_k with $k = xy, yz$ or xz

- for weld failure (crack initiation at weld root) due to weld stresses according to 7.2(5):

$$D_{\sigma} + D_{\tau} \leq 1,0 \quad (\text{A.9})$$

where

D_{σ} is the damage determined using Formula (A.6) for normal stress ranges, and

D_{τ} is the damage determined using Formula (A.6) for shear stress ranges.

(6) If normal and shear nominal stresses cause the formation of fatigue cracks at different locations, a separate fatigue verification for both locations should be performed according to Formula (A.7).

Annex B **(normative)**

Hot spot stress method

B.1 Use of this annex

(1) This normative annex contains additional provisions to 6.1(3) for the determination of fatigue effects and corresponding fatigue resistances for the verification of welded constructional details using the hot spot stress method.

B.2 Scope and field of application

(1) This normative annex applies only to welded constructional details with a potential crack location at the weld toe.

NOTE 1 It does not apply for welded constructional details with potential cracks starting from the weld root. Either the nominal stress method or the effective notch stress method can be used for evaluating constructional details with a potential crack location at the weld root.

NOTE 2 Guidance on the modelling using FE analysis is given in EN 1993-1-14.

(2) This normative annex supplements and/or modifies the provisions according to Clause 9 and Annex A for the hot spot stress method.

NOTE The national annex can give conditions for the application of the methods given in this annex. It can give guidance on which method takes priority when the fatigue verification of a classified constructional detail by another method gives a different result.

(3) Verification of orthotropic bridge decks using geometrical stresses may be done according to TS 1993-1-901.

NOTE The National annex can give information on the use of TS 1993-1-901.

B.3 Fatigue action effect

B.3.1 Stresses from fatigue actions

(1) The hot spot stress should be calculated assuming linear-elastic material behaviour and an idealized geometry.

NOTE Guidance on the constructional detail geometry is given in EN 1993-1-14.

(2) The distinction between hot spot type “a”, type “b” and type “c” in Figure B.1 should be made for the determination of the hot spot stress to account for the stress distribution through thickness of the plate or wall thickness of the structural hollow section joint with the potential fatigue crack.

(3) Hot spot type “a”, indicating cracking at the weld toe on a plate surface or on a section, should be considered when the stress considerably varies through thickness of the plate with the potential fatigue crack.

(4) Hot spot type “b”, indicating cracking at a plate edge or a section, should be considered if the stress at the potential fatigue crack location (hot spot) is independent of the plate or cross-sectional wall thickness.

(5) Hot spot type “c”, indicating cracking in a structural hollow section, should be considered if the stress at the potential fatigue crack location (hot spot) is within a lattice girder joint made of structural hollow sections.

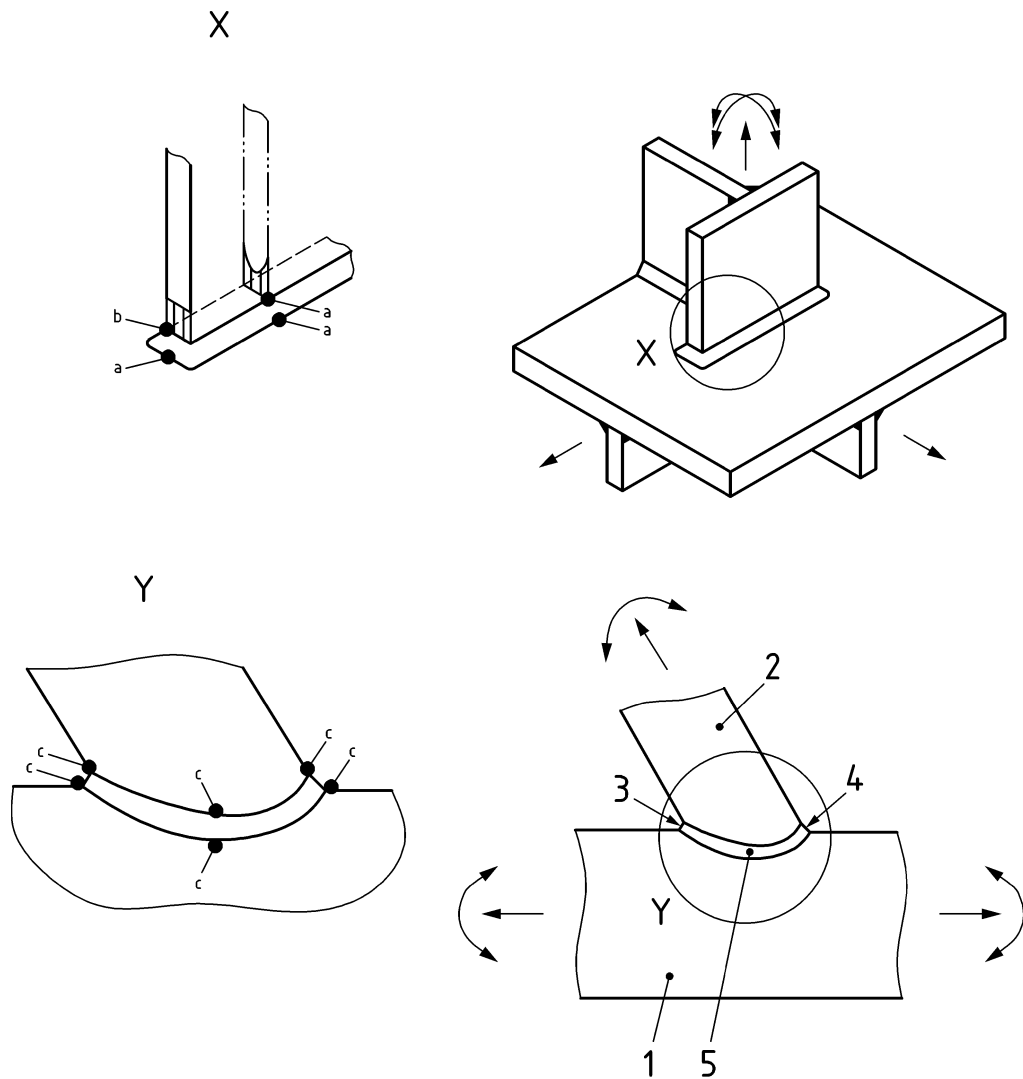


Figure B.1 — Definition of hot spot type “a”, “b” and “c”

(6) When calculating the hot spot stress type “c”, only the stress component perpendicular to the weld toe should be considered.

NOTE In case of hot spot type “a” and “b”, further guidance is given in B.3.2(6) to (8).

(7) For constructional details covered by Table B.1 and Table B.2, the stresses should be calculated as given in EN 1993-1-14.

B.3.2 Calculation of stress ranges

(1) The design value of the hot spot stress ranges $\Delta\sigma_{HS,Ed}$ should be determined from the load effect of the fatigue load model multiplied by the partial factor γ_{ff} .

(2) For fatigue design situations where the fatigue action effect is defined by an equivalent stress range, the design value of the hot spot stress range $\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}$ should be determined as follows:

$$\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \Delta\sigma_{HS} (\gamma_{ff} Q_{fat}) \quad (B.1)$$

where

$\Delta\sigma_{HS} (\gamma_{ff} Q_{fat})$ is the design value of the hot spot stress range caused by the fatigue actions specified in EN 1991

λ_i are damage equivalent factors depending on the spectra as specified in the relevant parts of EN 1993 and EN 1994, $i = 1$ to n

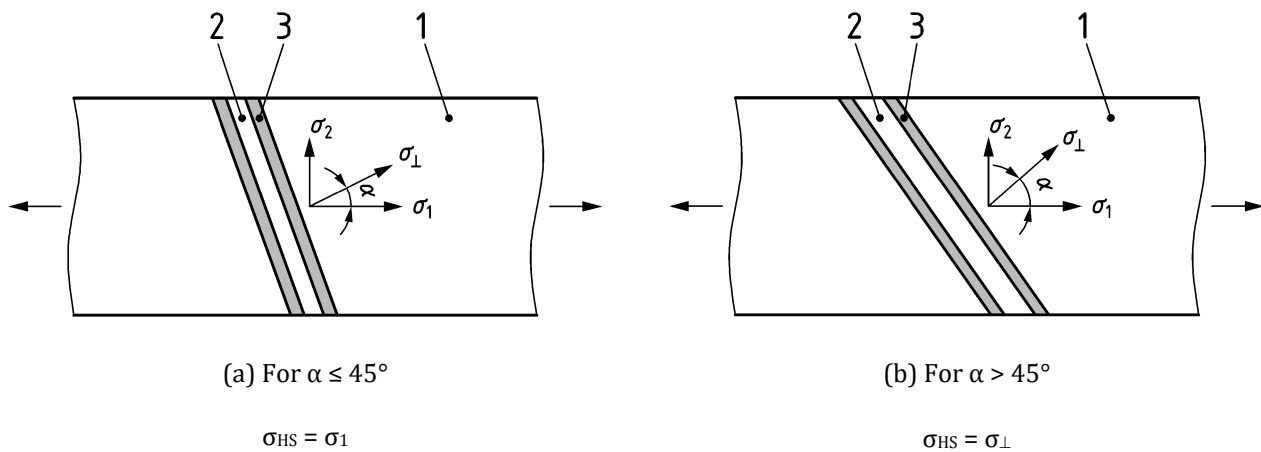
(3) For any other kind of stress range spectrum, the design value of each stress range $\Delta\sigma_{i,HS,Ed}$ in the spectrum should be determined in accordance with the method for $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ using A.3.2(2).

(4) In welded details which have been subjected to full thermal stress relief after all welding operations have been completed, the mean stress influence on the fatigue life may be taken into account by considering a reduced design value of each stress range in the design spectrum where part, or all, of the stress cycle is compressive as specified in 7.4.

(5) For calculation of hot spot stress range in hot spot types “a” and “b”, the principal stress range with the largest absolute stress difference should be used if its orientation is closer than $\alpha = \pm 45^\circ$ from that of the normal to the weld line as shown in Figure B.2.

NOTE When the principal stresses have the same sign, the maximum principal stress range can be used.

(6) Stress σ_1 should be replaced by σ_2 in Figure B.2 case of a compressive nominal stresses in the plate.



Key

- σ_1 : first principal stress
- σ_2 : second principal stress
- $\sigma_\perp$: stress perpendicular to the weld toe
- 1 Main plate
- 2 Attached plate
- 3 Weld

Figure B.2 — Stress components for hot spot stress ranges, planar view of a plate surface (in case of biaxial stress, σ_1 and σ_2 can be time-dependent)

(7) Where the orientation of the principal stress with the largest absolute stress difference does not satisfy the requirement in (5) and (6), the normal stress component acting perpendicular to the weld line should be used. Other stress components (e.g. parallel to the weld line) should be checked using the nominal stress method.

(8) Paragraphs (5) to (7) should also be applied in situations where the directions of principal stresses change during the load cycle. In this case, the principal stress range should be determined as the greatest algebraic difference between principal stresses planes no more than 45° apart.

(9) The calculated hot spot stress range should consider misalignments that exceed the more onerous of the tolerances indicated in the detail category tables and EN 1090-2. In cases of eccentricities in joints, the nominal value of eccentricity should be used.

NOTE To account for macro-geometric effects not included in the hot spot detail category, the stress range can be calculated directly by a FE analysis or indirectly accounted for by means of magnification factor k_f that is available for different geometries in Annex D or in the literature. The hot spot stress range can be calculated considering only the extent of misalignment that exceeds the more onerous of the tolerances indicated in the detail category tables and EN 1090-2.

B.4 Fatigue resistance

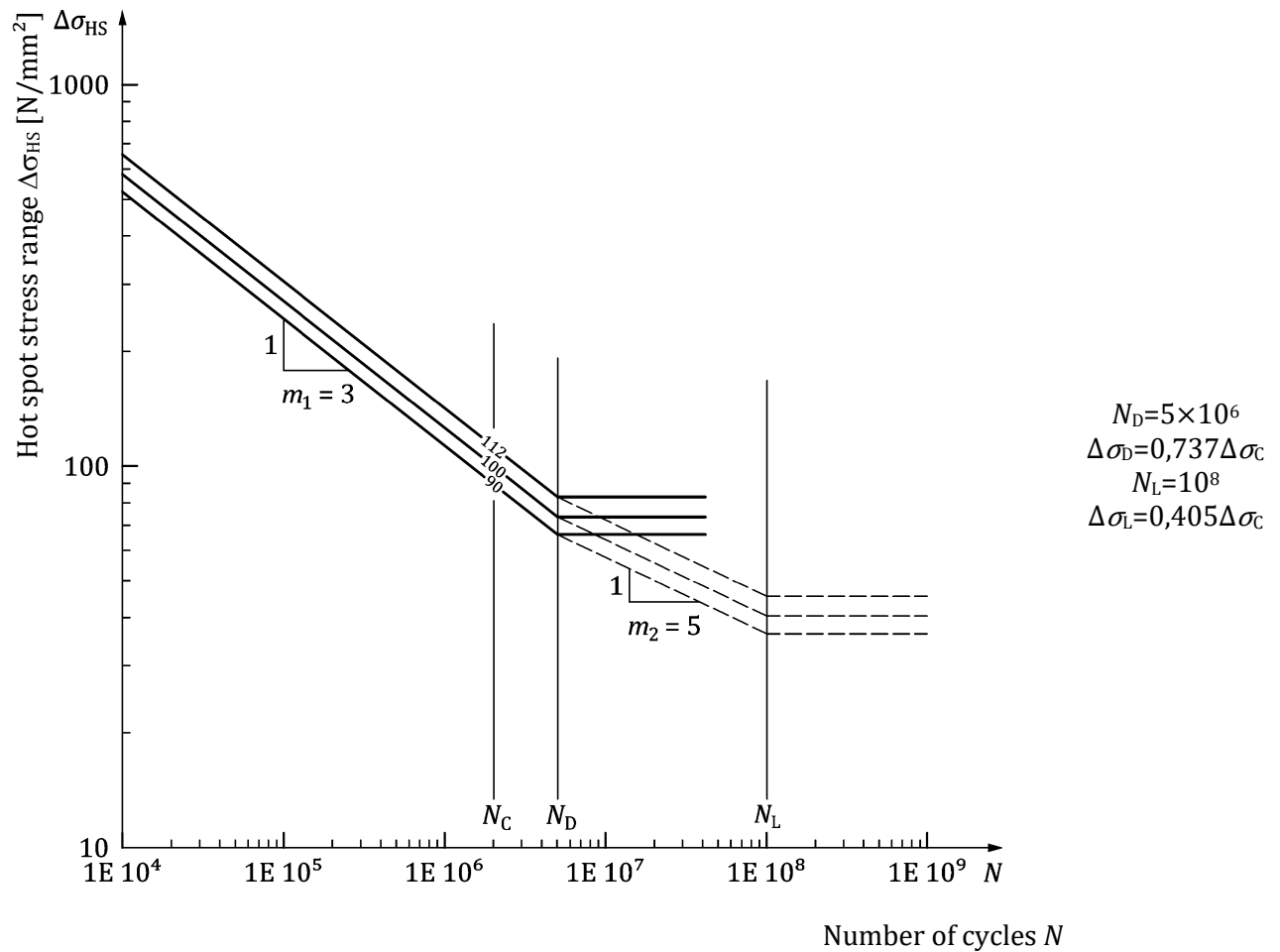
B.4.1 Fatigue resistance curves

(1) The characteristic fatigue resistance curves for hot spot stress ranges in Figure B.3 should be used for details in plated structures and for details in sections, and combinations of sections. The characteristic fatigue resistance curves for hot spot stress ranges in Figure B.4 should be used for lattice girder joints made of structural hollow sections .

NOTE Further information on resistance curves for lattice girder joints made of structural hollow sections can be found in ISO 14347.

(2) The fatigue resistance curves for hot spot stress ranges under constant and variable amplitude loading should be determined in accordance with the recommendation in 8.2(1).

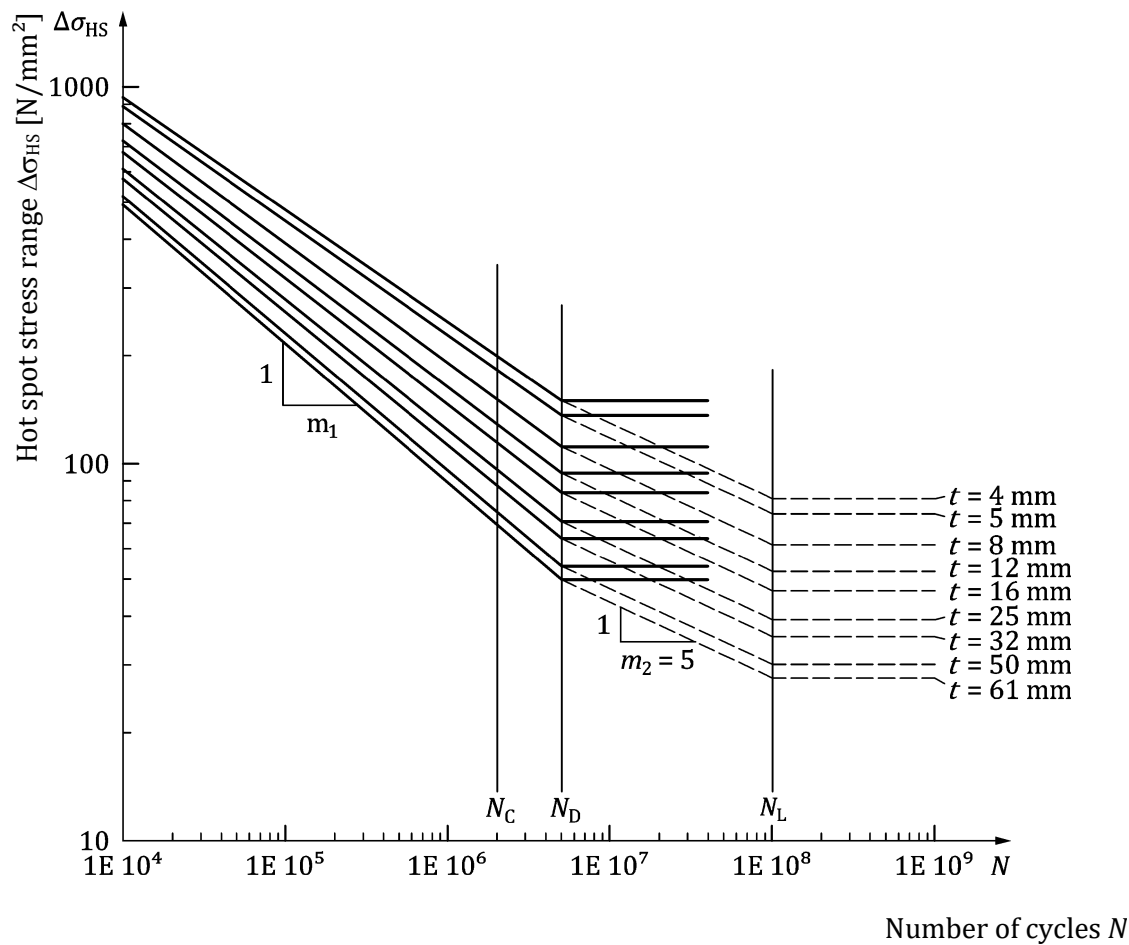
NOTE A summary of the characteristic fatigue resistance values can be found in Annex A.



$$\Delta\sigma_{HS,D} = 0,737 \Delta\sigma_{HS,C} \quad \Delta\sigma_{HS,L} = 0,405 \Delta\sigma_{HS,C} \quad (\text{values are given in Table A.2})$$

$$N_C = 2 \times 10^6 \text{ cycles}, N_D = 5 \times 10^6 \text{ cycles}, N_L = 10^8 \text{ cycles}$$

Figure B.3 — Characteristic fatigue resistance curves for hot spot stress ranges in conjunction with Table B.1, types “a” and “b”



$\Delta\sigma_{HS,D}, \Delta\sigma_{HS,L}$: values are given in Table A.2

$N_C = 2 \times 10^6$ cycles, $N_D = 5 \times 10^6$ cycles, $N_L = 10^8$ cycles

Figure B.4 — Characteristic fatigue resistance curves for hot spot stress ranges in conjunction with Table B.2 (type “c”, lattice girder joints made of structural hollow sections)

B.4.2 Classification of constructional details

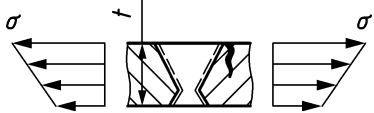
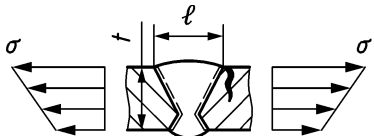
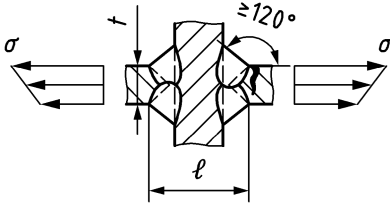
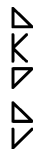
(1) For the application of the hot spot stress method, constructional details should be classified in accordance with the following tables:

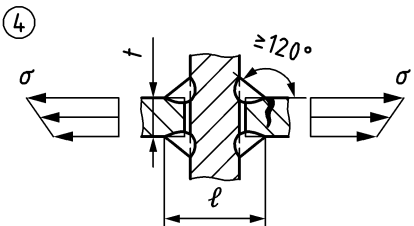
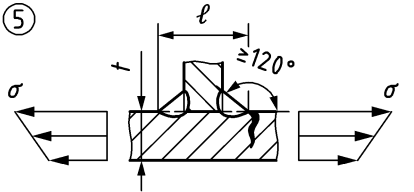
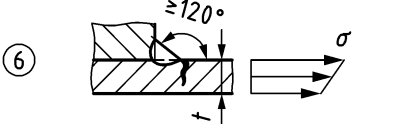
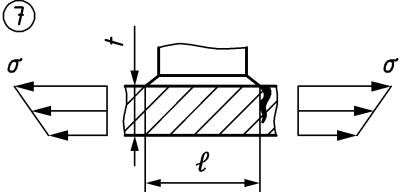
- Table B.1 for details with potential fatigue cracks at the weld toes of:
 - butt welds,
 - fillet welded attachments,
 - fillet welds in cruciform joints.
- Table B.2 for details with cracks at weld toes of lattice girder joints made of structural hollow sections.

NOTE The hot spot stress reference detail method can be used as an alternative to classify a constructional detail. Further guidance is given in Annex G.

(2) The classifications of fillet welded details may be applied to convex, concave or flat weld caps, although the illustrations only show one indicative weld profile type.

Table B.1 — Detail categories for use with hot spot stress method, types “a” and “b”

Detail category	$\beta^{(1)}$	Constructional detail	Weld symbol	Description	Supplementary Requirements
112	0,1	① 		① Full penetration butt joint, welded from both sides, ground flush. Only for evaluation of misalignment effects	Weld all-around ground flush to plate surface in direction of stress, where relevant, after removing weld run-off pieces Misalignment due to fabrication to be neglected if $\leq 5\%$ of plate thickness, see also B.3.2(9).
100	0,2	② 		② Full penetration butt joint, welded from both sides, In case of butt-welded splices in structural hollow sections, welded from one side.	Fabrication: Welding position PA. Smooth transition of weld to plate surface Plate edges ground parallel to direction of stress, where relevant, after removing weld run-off pieces Misalignment due to fabrication to be neglected if $\leq 5\%$ of plate thickness, see also B.3.2(9). Modelling: FE model should include weld convexity of weld cap.
100	0,3	③ 		③ Cruciform joint with full penetration butt welds, welded from both sides	Weld flank angle $\geq 120^\circ$, see Note 2. The eccentricity of the load carrying plates due to fabrication to be neglected if $\leq 15\%$ of the thickness of the intermediate plate, see also B.3.2(9)

Detail category	$\beta^1)$	Constructional detail	Weld symbol	Description	Supplementary Requirements
90	0,3			④ Cruciform joint with load-carrying partial penetration butt welds and fillet welds	Fabrication: Weld flank angle $\geq 120^\circ$, see Note 2. The eccentricity of the load carrying plates due to fabrication to be neglected if $\leq 15\%$ of the thickness of the intermediate plate, see also B.3.2(9) Modelling: FE model with full connectivity between the plates independent of the weld type. For partial penetration butt welds or fillet welds, weld root failure should be checked using ③ of Tab. 10.6, see Note 3.
100	0,3			⑤ Non load-carrying fillet welds	Weld flank angle $\geq 120^\circ$.
100	0,3			⑥ Cover plate ends and similar joints.	Weld flank angle $\geq 120^\circ$.
100	-			⑦ Type "b" joint with longitudinal attachment.	Fillet or full penetration weld.

¹⁾ The thickness correction only applies to hot spot type a, see B.4.3.

NOTE 1 Fatigue resistance curve with slope parameter $m_1 = 3$ unless otherwise stated in detail category

NOTE 2 For load carrying attachments with partial penetration butt welds or fillet welds, for weld sizes $a > 0,7 t$ weld root failure should also be checked.

NOTE 3 Effective full penetration butt welds according to EN 1993-1-8 are considered as partial penetration butt welds in respect of fatigue.

Table B.2 — Detail categories for use with hot spot stress method for lattice girder joints made of structural hollow sections, type “c”, including a thickness correction

Detail category	Thickness $t^{1)}$ [mm]	Constructional detail	Requirements	
193 $m_1=3,36$	4	① CHS and RHS joints	①, ② and ③ Stop-starts for non-continuous welds should not be located at points of high stress concentration. ② and ③ Partial or full penetration welds are recommended.	
178 $m_1=3,30$	5			
149 $m_1=3,17$	8			
128 $m_1=3,07$	12	② CHS and RHS joints	Fillet welds only if $a \geq t$ and if local dihedral angle at the intersection between the brace and the chord surfaces does not exceed 120°. For further guidance, see ISO 14347.	
114 $m_1=3,00$	16			
97 $m_1=2,90$	25	③ CHS joints		
88 $m_1=2,85$	32			
74 $m_1=2,75$	50			
69 $m_1=2,72$	61			
1) The thickness of the member, brace or chord, in which the potential crack develops. NOTE Fatigue resistance curves have variable slopes, Figure B.4 and Formulae (B.2) and (B.3).				

B.4.3 Fatigue resistance modification

(1) For hot spot type “a”, where the plate or wall thickness is greater than the reference thickness, the stress range should be modified by the application of a thickness factor that should be determined as follows:

$$k_s = \left(\frac{t_{\text{ref}}}{t_{\text{eff}}} \right)^\beta \text{ for } t > t_{\text{ref}} \quad (\text{B.2})$$

where:

t_{ref} reference thickness equal to 25mm for plated structures and for details in sections and combinations of sections. For structural hollow sections (details with geometries as in Table 10.7 only), the reference thickness is 16mm

t thickness of element through which a potential crack can develop

β thickness exponent on fatigue resistance.

t_{eff} effective thickness

(2) The effective thickness for details of Table B.1 should be calculated as follows:

- For details 1 and 6: $t_{\text{eff}} = t$
- For details 2, 3, 4, 5: $t_{\text{eff}} = \min (14 + 0,66\ell; t)$ for $t_{\text{eff}} \geq t_{\text{ref}}$ (B.3) where the parameters where the parameters t_{eff} , ℓ and t are measured in mm and ℓ and t are defined in Table B.1 and Figure B.5.

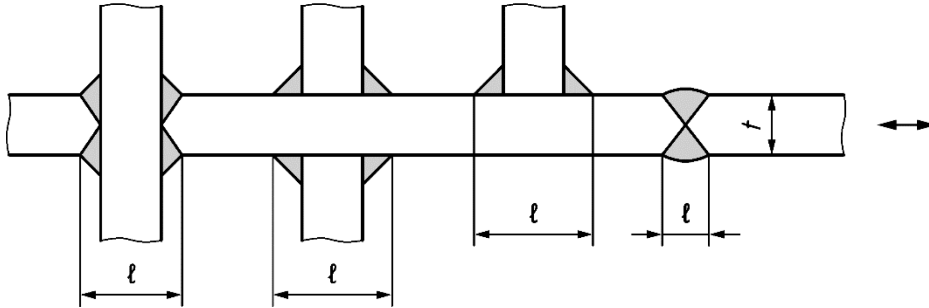


Figure B.5 — Definition of attachment length in details 3, 4, 5 and weld width in details 1, 2 of Table B.2.

B.5 Fatigue verification

(1) Within a constructional detail with different potential crack locations, fatigue verification may require the use of different design stress methods. In those cases, each fatigue verification shall be made with reference to the value of the fatigue resistance relevant for that method.

NOTE For example, potential weld root cracking under shear stresses is verified according to the nominal stress method, while potential weld toe cracking under normal stresses is verified according to the hot spot stress method of this annex.

(2) For verification with the equivalent constant stress range $\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}$, the hot spot stress range of a constructional detail should satisfy following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}}{\Delta\sigma_{HS,C}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (\text{B.4})$$

(3) Where no data for $\Delta\sigma_{e,2,HS,Ed}$ is available the verification format in Annex A may be used.

(4) An infinite life for constructional details may be assumed if the maximum stress range of the applied hot spot stress spectrum $\Delta\sigma_{\text{max},HS,Ed}$ satisfies following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{\text{max},HS,Ed}}{\Delta\sigma_{HS,D}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (\text{B.5})$$

Annex C (normative)

Effective notch stress method

C.1 Use of this annex

(1) This normative annex contains additional provisions to 6.1(3) for the determination of fatigue load effects and corresponding fatigue resistances for the verification of welded constructional details using the effective notch stress method.

C.2 Scope and field of application

(1) This normative annex applies to welded constructional details with potential crack location at the weld toe or the weld root.

NOTE Guidance on the calculation of effective notch stress using FE analysis is given in EN 1993-1-14.

(2) This normative annex only covers welded constructional details with plate thicknesses $t \geq 5$ mm.

(3) This normative annex does not cover fatigue verification of parent metal away from weld toes or of welded details with mild notches.

NOTE A mild notch is one for which the effective notch stress is less than 2 times the nominal stress. This can e.g. be the case in transverse butt welds with small or no weld convexity and small eccentricity.

(4) This normative annex does not cover fatigue verification of welded details with potential crack locations at the root or inner weld imperfections respecting the weld quality levels given in 8.2(2).

(5) This normative annex supplements and/or modifies the provisions according to Clause 9 and Annex A for the effective notch stress method.

NOTE The national annex can give conditions for the application of the methods given in this annex. It can give guidance on which method takes priority when the fatigue verification of a classified constructional detail by another method gives a different result.

C.3 Fatigue action effect

C.3.1 Stresses from fatigue action

(1) The effective notch stress should be calculated assuming linear-elastic material behaviour and an idealized weld geometry.

(2) Butt welds should be modelled with a weld toe angle of $\theta = 30^\circ$, see Figure C.1. Fillet welds should be modelled with a weld toe angle of $\theta = 45^\circ$. The cases designed for other angles should be modelled with the nominal values of these angles.

NOTE The weld toe angle θ can be calculated as the complementary angle of the weld toe flank angle.

(3) The effective notch stress should be obtained by rounding the weld toe or root with a notch of radius, $r = 1$ mm, see Figure C.1.

NOTE Guidance on the rounding of the weld toe and root is given in EN 1993-1-14.

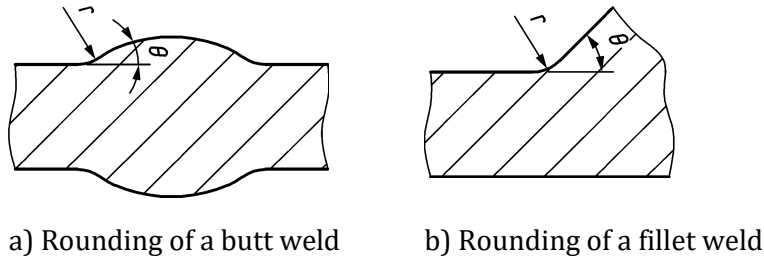


Figure C.1 — Weld toe angle and rounding of weld toe for different types of welded details

C.3.2 Calculation of stress ranges

(1) The design value of the effective notch stress ranges $\Delta\sigma_{ENS,Ed}$ should be determined considering the load effect from the fatigue load model multiplied by the partial factor γ_{Ff} .

(2) For fatigue design situations where the fatigue action effect is defined by an equivalent stress range, the design value of the effective notch stress range, $\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}$, should be determined as follows:

$$\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_i \dots \lambda_n \Delta\sigma_{ENS} (\gamma_{Ff} Q_{fat}) \quad (C.1)$$

where:

$\Delta\sigma_{ENS} (\gamma_{Ff} Q_{fat})$ is the design value of the effective notch stress range caused by the fatigue actions specified in EN 1991

λ_i are damage equivalent factors depending on the spectra as specified in the relevant parts of EN 1993 and EN 1994, $i = 1$ to n

(3) For any other kind of stress range spectrum, the design value of each stress range $\Delta\sigma_{i,ENS,Ed}$ in the spectrum should be determined in accordance with the method for $\Delta\sigma_{e,2,Ed}$ using 7.3.2(1) and the verification method of Annex A should be used.

(4) In welded details which have been subjected to full thermal stress relief after all welding operations have been completed, the mean stress influence on the fatigue life may be taken into account by considering a reduced design value of each stress range in the design spectrum where part, or all, of the stress cycle is compressive as specified in 7.4.

(5) The effective notch stress range may be calculated using either:

- Principal stress (PS), as the maximum difference of the principal stress range,
- Equivalent von Mises (EVM): as the maximum von Mises equivalent stress range calculated from the range of notch stress components.

(6) The calculated effective notch stress range should consider misalignments that exceed the more onerous of the tolerances indicated in the detail category tables and EN 1090-2. In cases of eccentricities in joints, the nominal value of eccentricity should be used.

NOTE To account for macro-geometric effects, the effective notch stress range can be calculated directly by a FE analysis or indirectly accounted for by means of stress concentration factor k_f that is available for different geometries in Annex D or in the literature. The effective notch stress range can be calculated considering only the extent of misalignment that can exceed the more onerous of the tolerances indicated in the detail category tables and EN 1090-2.

C.4 Fatigue resistance

C.4.1 Fatigue resistance curves

- (1) The characteristic fatigue resistance curves for effective notch stress ranges in Figure C.2 should be used for details calculated using the PS or the EVM.
- (2) The fatigue resistance curve under constant and variable amplitude loading should be determined in accordance with the principle for $\Delta\sigma$ using 8.1(1).

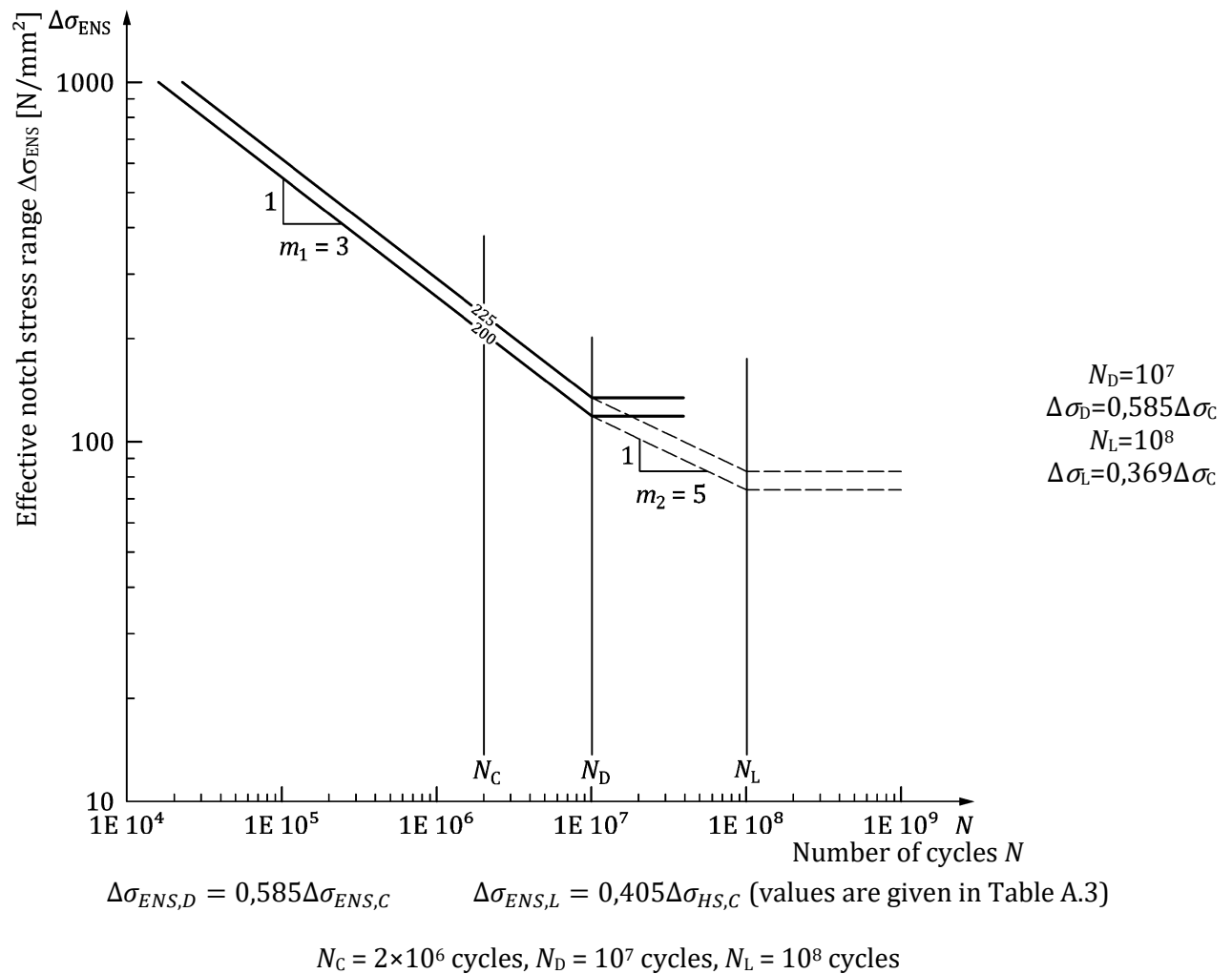
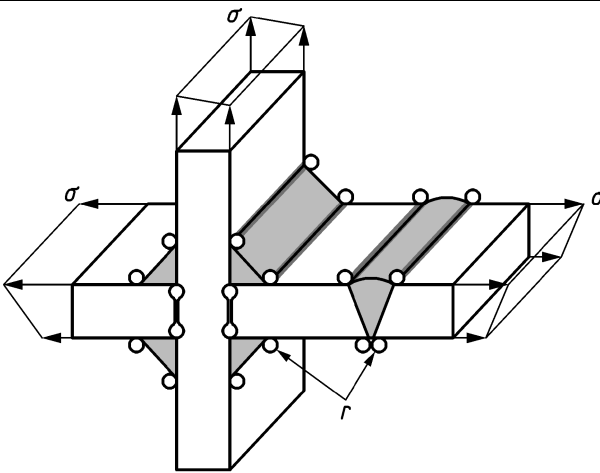


Figure C.2 — Characteristic fatigue resistance curves for effective notch stress ranges (PS and VM methods)

C.4.2 Classification of constructional details

- (1) The constructional detail categories in Table C.1 should be used with the effective notch stress ranges and the relevant calculation of stresses (with PS or EVM).

Table C.1 — Detail categories for use with effective notch stress method

Detail category	Constructional detail	Stress components / Description	Supplementary requirements
225		<u>PS.</u> Notch as-welded. Effective notch radius equal to 1mm replacing weld toe and weld root notch	For misalignment see C.3.2(6).
200		<u>EVM.</u> Notch as-welded. Effective notch radius equal to 1mm replacing weld toe and weld root notch	
NOTE Fatigue resistance curve with slope $m_1 = 3$			

C.5 Fatigue verification

- (1) The equivalent constant effective notch stress range should be compared with the fatigue relevant resistance curve (PS or EVM).
- (2) It should be checked that the fatigue resistance of the parent metal is not exceeded in the direct vicinity of the weld (e.g. using the nominal stress method and the fatigue strength relevant for that method).
- (3) For verification with the equivalent constant stress range $\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}$, the effective notch stress range of a constructional detail should satisfy following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}}{\Delta\sigma_{ENS,C}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

(C.2)

- (4) Where no data for $\Delta\sigma_{e,2,ENS,Ed}$ is available the verification format in Annex A may be used.
- (5) An infinite life for constructional details may be assumed if the maximum stress range of the applied effective notch stress spectrum $\Delta\sigma_{max,ENS,Ed}$ satisfies following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{max,ENS,Ed}}{\Delta\sigma_{ENS,D}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

(C.3)

Annex D (informative)

Recommendations for magnification factors k_1 and stress concentration factors k_f

D.1 Use of this annex

(1) This informative annex provides supplementary guidance to 7.3.2 and 8.3 for magnification factors k_1 and stress concentration factors k_f .

NOTE National choice on the application of this informative annex is given in the national annex. If the national annex contains no information on the application of this informative annex, it can be used.

D.2 Scope and field of application

(1) This informative annex covers magnification factors k_1 and stress concentration factors k_f for the calculation of modified nominal stresses.

D.3 Secondary moments in lattice girders

(1) For lattice girders made of hollow sections the modelling may be based on a simplified truss model with continuous chords and pinned braces. Provided that the stresses due to external loading applied to members between joints are taken into account, the effects from secondary moments due to the stiffness of the connection may be considered by the use of k_1 factors according to:

- Table D.1 for circular hollow sections;
- Table D.2 for rectangular hollow sections;

where these sections are subject to the geometrical restrictions according to Table 10.8.

Table D.1 — k_1 factors for circular hollow sections under in-plane loading

Type of joint		Chords	Verticals	Diagonals
Gap joints	K type	1,5	–	1,3
	N type / KT type	1,5	1,8	1,4
Overlap joints	K type	1,5	–	1,2
	N type / KT type	1,5	1,65	1,25

Table D.2 — k_1 factors for rectangular hollow sections under in-plane loading

Type of joint		Chords	Verticals	Diagonals
Gap joints	K type	1,5	–	1,5
	N type / KT type	1,5	2,2	1,6
Overlap joints	K type	1,5	–	1,3
	N type / KT type	1,5	2,0	1,4

NOTE For the definition of joint types see EN 1993-1-8.

D.4 Flanges of I-section girders with transitions in thickness or width

(1) For the details with transverse butt welds (details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ and ㉒ of Table 10.4, also Figure D.1 and Figure D.2) the recommended stress concentration factor k_f is defined as follows:

$$k_f = k_{f,N} k_{f,m} \quad (D.1)$$

where:

$k_{f,N}$ is the stress concentration factor for the plate membrane stress effect

$k_{f,m}$ is the stress concentration factor for the plate bending stress effect

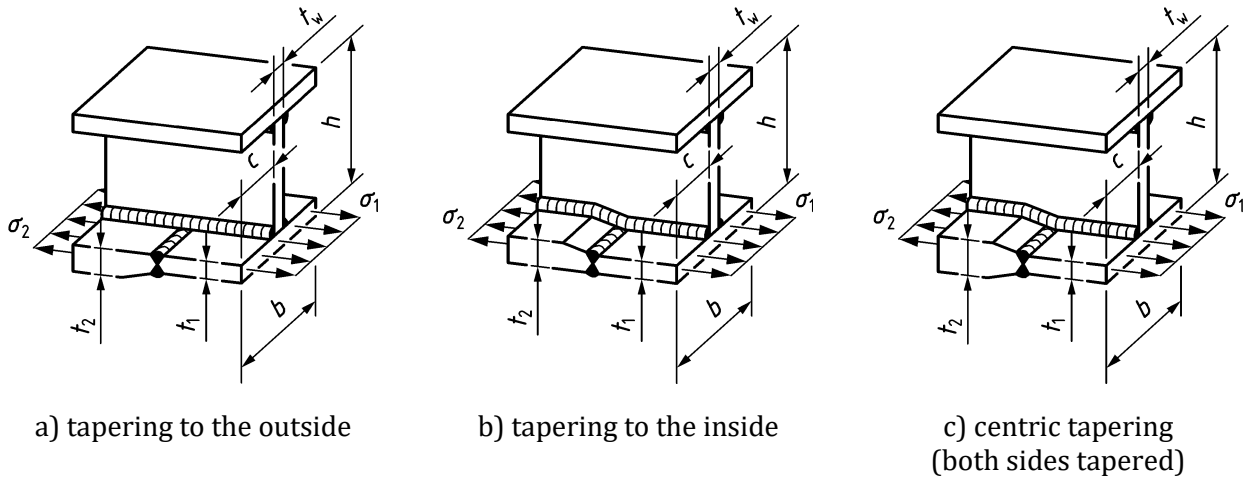


Figure D.1 — Flange thickness tapering in girders

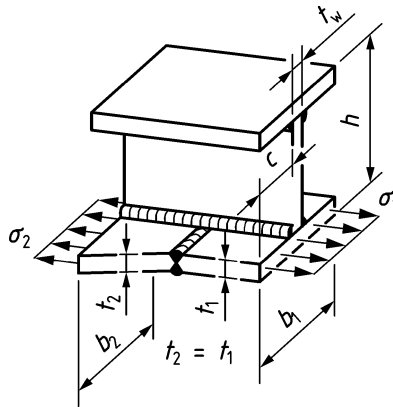


Figure D.2 — Flange width tapering in girders

(2) The stress concentration factor $k_{f,N}$ for the plate membrane stress effect is determined as follows:

- Details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ with thickness tapering to the outside or to the inside or with centric tapering (Figure D.1 a), b) and c)) and detail ㉒:

$$k_{f,N} = 1 + \alpha \left(\frac{\sigma_2 t_2}{\sigma_1 t_1} - 1 \right) \quad (D.2)$$

where

$\alpha = 0,5$ for details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ with thickness tapering to the outside or with centric tapering and detail ㉒;

$\alpha = 0,33$ for details ⑱, ⑲, ⑳ and ㉑ with thickness tapering to the inside.

- Details ⑱, ⑲, ⑳ and ㉑ with width tapering (Figure D.2):

$$k_{f,N} = 1 + 0,5 \left(\frac{\sigma_2 b_2}{\sigma_1 b_1} - 1 \right) \quad (D.3)$$

NOTE The stresses σ_1 and σ_2 are calculated along the centreline of the flanges. The resultant normal forces in the flanges are not identical due to the displacement of cross-section centroids.

(3) The stress concentration factor $k_{f,m}$ for the plate bending stress effect, due to the eccentricity of the plates of the girders, should be determined as follows:

- Details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ with thickness tapering to the outside or to the inside (Figure D.1 a) and b)):

$$k_{f,m} = \frac{1}{\beta} \left(1 + \frac{\lambda \left(\frac{t_2}{t_1} - 1 \right)}{2 \left(1 + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^n \right)} \right) \geq 1,0 \quad (D.4)$$

where:

$$\beta = 1,25 \quad (\text{recommended value})$$

$$\lambda = 4 + (c/t_1)/10 \leq 6$$

- Details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ with centric tapering (Figure D.1 c)), details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ with width tapering (Figure D.2) and detail ㉒:

$$k_{f,m} = 1,0 \quad (D.5)$$

(4) The recommended stress concentration factors should only be applied if the following requirements for the throat weld between web and flange are fulfilled:

- Girders have no cope holes in the web in proximity of the transverse butt joint of the flange.

NOTE For girders with cope holes the above recommended stress concentration factors do not apply.

- Where the change of normal forces in the flanges is not considered in the design of the longitudinal weld, longitudinal full penetration butt welds or double fillet welds with $a \geq t_w/2$ within a distance of $0,5 h$ on each side of the transverse butt weld are provided for.

NOTE The change of normal force in the flange is $b (\sigma_2 t_2 - \sigma_1 t_1)$ for the cases covered by Figure D.1 and $(b_2 \sigma_2 t_2 - b_1 \sigma_1 t_1)$ for those covered by Figure D.2.

- Where the additional vertical stresses σ_z in the longitudinal weld are not considered in the design, longitudinal full penetration butt welds within a distance of $0,5 h$ on each side of the transverse butt weld are provided for.

NOTE Additional vertical stresses σ_z can occur in cases with flange thickness tapering in girders to the inside (Figure D.1 a)) or to the outside (Figure D.1 b)).

D.5 Thickness transitions in plates

(1) For the details with transverse butt welds of plates with tapered thickness transitions and no vertical support of the plates (details ⑱, ⑲, ⑳, ㉑ of Table 10.4, also Figure D.3) the stress concentration factor k_f should be determined as follows:

$$k_f = \left(1 + \frac{6e}{t_1} \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}} \right) \quad (\text{D.6})$$

where

e is the eccentricity of centrelines.

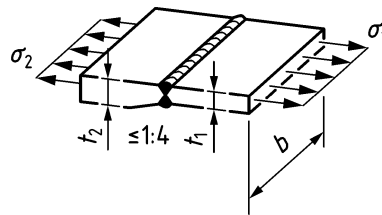


Figure D.3 — Tapered thickness transitions without vertical support of the plates

D.6 Shell structures

(1) Stress concentration factors for shell structures may be derived using prEN 1993-1-6.

Annex E (informative)

Recommendations for preloaded bolts and rods subject to tension

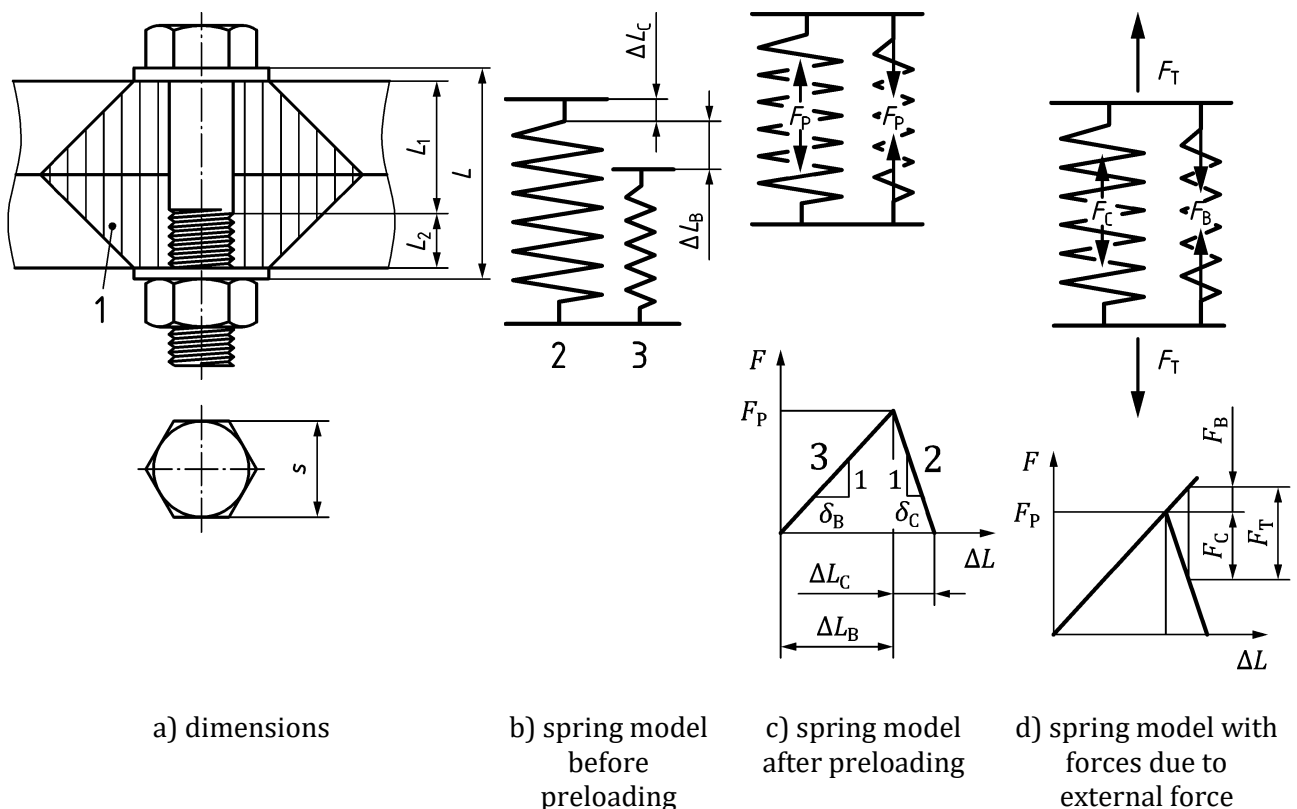
E.1 Use of this annex

(1) This informative annex provides supplementary guidance to 7.2 on the principles of calculation of the forces (neglecting partial factors) in preloaded bolts and rods subject to tension.

NOTE National choice on the application of this informative annex is given in the national annex. If the national annex contains no information on the application of this informative annex, it can be used.

E.2 Scope and field of application

(1) This informative annex covers a simplified calculation method for preloaded bolts or rods under a centrally applied external tensile force in order to account for the beneficial influence of preloading under fatigue action effects.



Key

- 1 volume of clamped components under compression due to preloading
- 2 spring representing stiffness of clamped components
- 3 spring representing stiffness of bolt or rod

Figure E.1 — Preloaded bolted joint

NOTE 1 The simplified calculation method using a spring model calculates the distribution of forces between bolt or rod and clamped components in a preloaded bolted joint or joint with rod under a centrally applied external tensile force, see Figure E.1 a). In the absence of an external force, due to the preloading of the joint, the clamped components are exposed to compression and the bolt to tension, see Figure E.1 c). If an external tensile force F_T is applied to the joint, it is distributed between the bolt or rod and the clamped components based on the ratio of elastic stiffness (inverse of flexibility) illustrated as springs in Figure E.1 b) to d). Due to the external force, the compression of the clamped components due to preloading reduces by F_C while the tensile force of the bolt or rod due to preloading increases by F_B , see Figure E.1 d). As the spring representing the clamped components has a greater stiffness it carries a relatively greater portion of the applied external force than the bolt or rod. This is favourable in cases where F_T is a fatigue action effect.

NOTE 2 EN 1993-1-14 can be used for a more accurate analysis based on finite elements.

E.3 Simplified calculation method

(1) For bolts or rods with preloading force $F_{P,c}$, the simplified calculation method may be taken into account provided that the following condition applies to the reduction of the compressive force F_C on the clamped components due to a external tensile force F_T centrally applied to the joint (Figure E.1 d)),

$$F_C \leq F_{P,c} \quad (\text{E.1})$$

where:

$F_{P,c}$ is the preloading force of the bolt or rod

F_C is the reduction of the compressive force of the clamped components due to F_T

F_T is the external tensile force applied to the preloaded bolted joint or joint with rod

(2) The additional tensile force F_B on the bolt or rod and the reduction of the compressive force F_C on the clamped components due to the external tensile force F_T may be determined as follows:

$$F_B = \frac{\delta_c}{\delta_b + \delta_c} F_T \quad (\text{E.2})$$

$$F_C = \frac{\delta_b}{\delta_b + \delta_c} F_T \quad (\text{E.3})$$

where:

δ_b is the flexibility of the bolt or rod

δ_c is the flexibility of clamped components

(3) The flexibility of the bolt or rod δ_b and the flexibility of the clamped components δ_c may be determined as follows (Figure E.1 a)):

$$\delta_b = \frac{L_1}{E (1,1 A_S)} + \frac{L_2}{E A} \quad (\text{E.4})$$

$$\delta_c = \frac{L}{A_p E} \quad (\text{E.5})$$

where:

L_1 is the bolt length without thread according to Figure E.1 a)

L_2 is the bolt length with thread according to Figure E.1 a)

L is the total thickness of clamped components including washers (Figure E.1 a))

A_s is the stress area of the bolt or rod according to EN 1993-1-8

A is the area of the shank of the bolt or rod

A_p is the base area of compressed volume of the clamped components due to preload (truncated cone)

(4) The base area of compressed volume of the clamped components (truncated cone in Figure E.1 a)) due to preload may be determined as follows:

$$A_p = \frac{\pi}{4} \left\{ \left(s + \frac{L}{10} \right)^2 - d_0^2 \right\} \quad (\text{E.6})$$

where:

s is the width across flats (wrench size)

d_0 is the hole diameter of the bolt or rod

L is the total thickness of clamped components including washers (Figure E.1 a))

NOTE Instead of Formulae (E.4) and (E.5), more accurate bolt and plate assembly flexibilities δ_b and δ_c can be obtained according to VDI 2230 or using a model of the structure.

(5) Where bearing surfaces between clamped plates are not flat the effects of plate assembly flexibility should be taken into account.

NOTE Plate assembly flexibility can be determined according to VDI 2230 or using a model of the structure.

Annex F (informative)

Fatigue design of welded joints subjected to High Frequency Mechanical Impact Treatment

F.1 Use of this annex

(1) This informative annex provides supplementary guidance to 6.1(3) and 8.4.2(1) for taking into account the High Frequency Mechanical Impact Treatment carried out on welded joints in the verification of the fatigue design situation.

NOTE The national choice on the application of this informative annex is given in the national annex. If the national annex contains no information on the application of this informative annex, it can be used.

F.2 Scope and field of application

(1) This informative annex applies to post-weld treatment of the constructional details in Table F.1 through qualified High Frequency Mechanical Impact (HFMI) technologies whose beneficial effect on the fatigue resistance may be taken into account for the fatigue verification.

NOTE 1 The covered constructional details are those with potential crack location at the weld toes in as-welded state. Therefore, a post-weld treatment of the weld toes affects the fatigue resistance beneficially.

NOTE 2 The applied stress ratio affects the behaviour of HFMI treated details.

(2) This informative annex covers qualified post-weld treatment technologies and the resulting improved fatigue resistances from such treatment.

NOTE 1 Qualified post-weld treatment technologies whose effectiveness has been proved by experimental research are (as listed in 3.1.4.13): HiFIT (High Frequency Impact Treatment), PIT (Pneumatic Impact Treatment), UIT (Ultrasonic Impact Treatment).

NOTE 2 Other treatment technologies do not fall in the scope of this annex unless the national annex gives different provisions.

(3) This informative annex covers improved fatigue resistance following the requirements for application given in F.6.

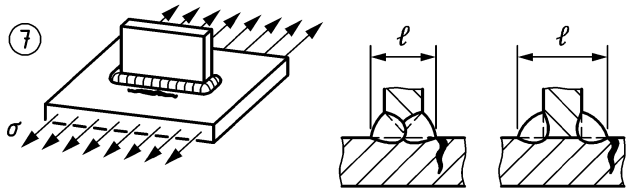
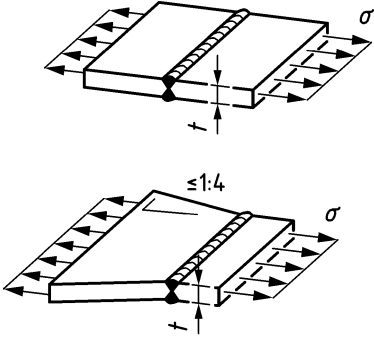
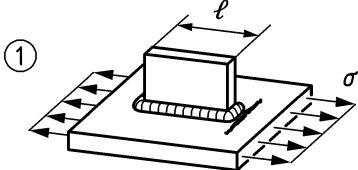
(4) This informative annex only covers welded constructional details with plate thicknesses $t \geq 5$ mm.

(5) This informative annex applies to steels covered by EN 1993-1-1; it does not apply to weathering steels according to EN 10025-5 and stainless steels according to EN 10088.

NOTE Conditions for the application on other steels and welded detail can be specified by the national annex.

(6) This informative annex applies for fatigue verification that is carried out according to the provisions given in Clause 9 and in Annex A.

Table F.1 — Constructional details

Design of the constructional detail	Weld symbol	Description
 (not all cases presented)		Transverse stiffener Tab. 10.5, Details (7) to (10)
 (not all cases presented)		Transverse butt weld Tab. 10.4, Details (2), (3), (19) and (22)
 L = attachment length (not all cases presented)		Longitudinal stiffener Tab. 10.5, Details (1) and (2)

F.3 Fatigue action effect

F.3.1 Stresses from fatigue actions

- (1) The applied stresses should be calculated in accordance with the requirements in 7.1.
- (2) The applied stresses should be calculated including the static load effects from the frequent combination of actions.

NOTE The fatigue resistance tables in F.4.2 contain limitations of applied stresses

F.3.2 Calculation of the stress ranges

- (1) For fatigue design situations where the fatigue action effect is defined by an equivalent stress range, the design value of the nominal stress range $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$ should be determined as follows:

$$\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \lambda_{HFMI} \Delta\sigma (\gamma_{ff} Q_{fat}) \quad (F.1)$$

and $\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n \leq \lambda_{max}$

where:

- $\Delta\sigma(\gamma_{ff} Q_{fat})$ is the design value of the normal stress range caused by the simplified fatigue load model specified by EN 1991 ($= \sigma_{FLM,max} - \sigma_{FLM,min}$)
- λ_i are damage equivalent factors depending on the spectra as specified in the relevant parts of EN 1993 and EN 1994, $i = 1, 2, \dots, n$
- λ_{max} is the maximum λ -value taking into account of the fatigue limit, as specified in the relevant parts of EN 1993 and EN 1994
- λ_{HFMI} is the factor to consider the mean stress effect in spectrum, see F.7

NOTE The national annex can give alternative methods to calculate $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$ or λ_{HFMI} . The following conservative value may be recommended $\lambda_{HFMI} = 2,0$.

(2) In case of fatigue action effect expressed as a load spectrum, the treatment of variable amplitude loading is given in F.7.

F.4 Fatigue resistance

F.4.1 Fatigue resistance curves

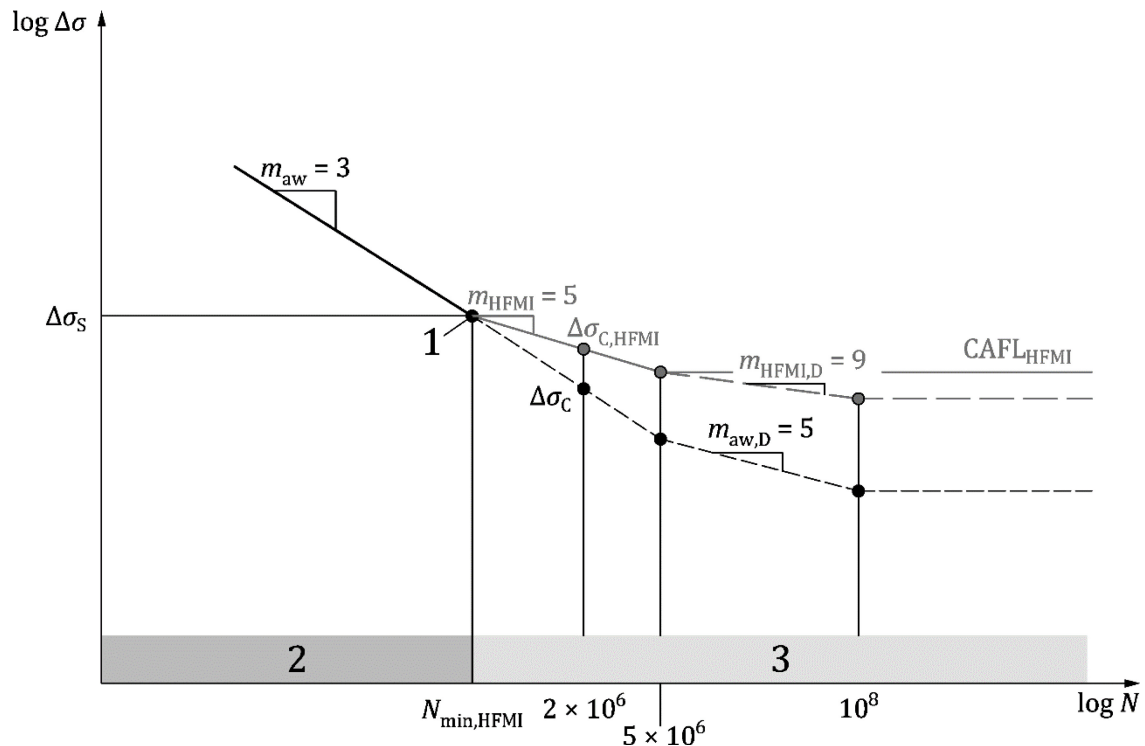
(1) The characteristic fatigue resistance curves in Figure F.1 should be used for HFMI treated details.

NOTE For numbers of cycles $N < 5 \times 10^6$, the improved fatigue resistance curve of HFMI treated constructional details has a slope parameter $m_{HFMI} = 5$. For numbers of cycles $5 \times 10^6 < N \leq 10^8$, the improved fatigue resistance curve of HFMI treated constructional details has a slope parameter $m_{HFMI,D} = 9$ (Figure F.1).

(2) For stress range $\Delta\sigma_s$ and corresponding $N_{min,HFMI}$, the fatigue resistance curve for as-welded state and for HFMI treated state intersect in Figure F.1. The HFMI fatigue resistance curves should only be used for stress range below $\Delta\sigma_s/\gamma_{Mf}$ or number of cycles $N > N_{min,HFMI}$.

(3) For stress range above or equal to $\Delta\sigma_s/\gamma_{Mf}$ or for $N \leq N_{min,HFMI}$, the as-welded fatigue resistance should be used (no improvement of the fatigue resistance).

(4) The minimum cycles $N_{min,HFMI}$ and the related stress range $\Delta\sigma_s$ provided by Tables F.3, F.5 and F.7 should be used for the considered constructional details.



Key

- 1 Intersection (threshold)
- 2 No effect
- 3 Beneficial effect of HFMI treatment

Figure F.1 — Fatigue resistance curves for HFMI treated state

F.4.2 Classification of constructional details

F.4.2.1 General

(1) The detail category of HFMI treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI},C}$ in Tables F.2, F.4 and F.6 that are dependent on steel grade f_y and stress ratio R may be used.

(2) As an alternative to the tabulated values given in Tables F.2, F.4 and F.6 the detail category of HFMI treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI},C}$ may be calculated for any yield strength f_y and stress ratio R according to F.4.3.

(3) The steel grade is decisive for the detail category. It may be assumed that a reduction of the nominal yield strength depending on the material thickness does not affect the detail category.

NOTE The national annex can specify a reduction of the nominal yield strength in function of the material thickness.

(4) Linear interpolation may be used for stress ratios R different from those given in the tables unless the less favourable limit value is chosen.

F.4.2.2 Transverse stiffener

Table F.2 — Reference value of detail category of HFMI treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}}$ of transverse stiffeners due to qualified HFMI treatments for the nominal stress method

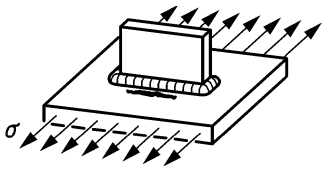
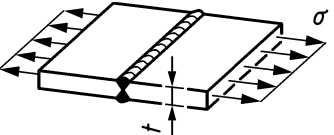
	Detail category ^{a) c)}		
	Stress ratio R [-] ^{b)}		
Steel grade according to EN 10025	-1,0	0,1	0,5
S235 ≤ S < S355	125	125	80
S355 ≤ S < S650	160	140	90
S650 ≤ S ≤ S700	160	160	125
^{a)} Table applies for $\ell \leq 50\text{mm}$; if $50 < \ell \leq 80\text{mm}$, $\Delta\sigma_{\text{C,HFMI}}$ should be reduced by one fatigue detail category. ^{b)} For other stress ratios R, linear interpolation is allowed. ^{c)} Limitations of applied stresses calculated according to F.3.1 : $-0,7 f_y < \sigma \leq f_y$			

Table F.3 — Threshold for beneficial effect of HFMI treatment for transverse stiffeners (Figure F.1)

Transverse stiffener	Detail category		Threshold for beneficial effect of HFMI	
	As-welded	HFMI-treated	Maximum stress range	Minimum number of cycles
	$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{\text{HFMI},c}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_s$ [N/mm ²]	$N_{\text{min,HFMI}}$ [-]
$50 < \ell \leq 80\text{mm}$	71	80	96	817100
		90	128	337800
		100	167	153250
		112	222	65500
		125	292	28750
		140	388	12300
		160	542	4500
$\ell \leq 50\text{mm}$	80	90	107	826600
		100	140	375000
		112	186	160300
		125	244	70350
		140	324	30100
		160	453	11050

F.4.2.3 Transverse butt weld

Table F.4 — Reference value of detail category of HFMI treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI}}$ of transverse butt welds without or with tapering in width or in thickness (slope $\leq 1:4$) due to qualified HFMI treatments for the nominal stress method

	Detail category ^{b) c)}		
	Stress ratio R [-] ^{a)}		
Steel grade according to EN 10025	-1,0	0,1	0,5
$S235 \leq S < S355$	140	140	90
$S355 \leq S < S650$	160	160	100
$S650 \leq S \leq S700$	160	160	140

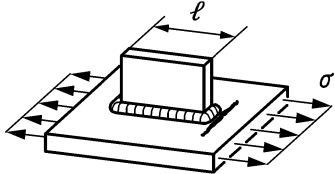
^{a)} For other stress ratios R , linear interpolation is allowed.
^{b)} For $t_{\text{min}} > 25\text{mm}$, $\Delta\sigma_{\text{C,HFMI}}$ should be reduced by $k_s = (25/t_{\text{min}})^{0,2}$
^{c)} Limitations of applied stresses calculated according to F.3.1: $-0,9 f_y < \sigma \leq f_y$

Table F.5 — Threshold for beneficial effect of HFMI-treatment for transverse butt welds (Figure F.1)

Transverse butt weld	Detail category		Threshold for beneficial effect of HFMI-treatment	
	As-welded	HFMI-treated	Maximum stress range	Minimum number of cycles
	$\Delta\sigma_c$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{\text{HFMI},c}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_s$ [N/mm ²]	$N_{\text{min,HFMI}}$ [-]
$t \leq 25\text{mm}^{\text{a})}$	90	100	117	907200
		112	155	387900
		125	205	170200
		140	272	72750
		160	379	26750
^{a)} For $t > 25\text{mm}$, $\Delta\sigma_{c,\text{HFMI}}$ should be reduced by $k_s = (25/t)^{0,2}$				

F.4.2.4 Longitudinal stiffener

Table F.6 — Reference value of detail category of HFMI treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI},c}$ of longitudinal stiffener due to qualified HFMI treatments for the nominal stress method

	Detail category ^{a),d) e)}		
	Stress ratio R [-] ^{c)}		
Steel grade according to EN 10025	-1,0	0,1	0,5
$S235 \leq S < S355$	b)	b)	b)
$S355 \leq S < S650$	100	100	71
$S650 \leq S \leq S700$	125	125	80

^{a)} Table is valid for any stiffener length.

^{b)} No improved detail category due to missing data base.

^{c)} For other stress ratios R , linear interpolation is allowed.

^{d)} For longitudinal stiffener in pure bending, the detail category of HFMI-treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI},c}$ should be reduced by one detail category.

^{e)} Limitations of applied stresses calculated according to F.3.1: $-0,5 f_y < \sigma \leq f_y$

Table F.7 — Threshold for beneficial effect of HFMI treatment for longitudinal stiffener (Figure F.1)

Longitudinal stiffener	Detail category		Threshold for beneficial effect of HFMI-treatment	
	As-welded	HFMI-treated	Maximum stress range	Minimum number of cycles
	$\Delta\sigma_{\text{C}}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}}$ [N/mm ²]	$\Delta\sigma_{\text{s}}$ [N/mm ²]	$N_{\text{min,HFMI}}$ [-]
$\ell > 100\text{mm}^{\text{a)}}$	63	80	114	333400
		90	154	137800
		100	200	62500
		112	265	26700
		125	349	11750
a) See footnote 1 of Table F.6				

F.4.3 Alternative formulae for determination of detail category

(1) As an alternative to the tabulated values given in Tables F.2, F.4 and F.6 the detail category of HFMI treated details $\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}}$ may be calculated for any yield strength f_y and stress ratio R using the fatigue resistance in these tables for S355 and $R = 0,1$ as a reference value modified as follows:

$$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}} = f_1 f_2 \Delta\sigma_{\text{HFMI,C,ref}} \quad (\text{F.2})$$

where:

$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C}}$ is the detail category of HFMI treated detail of any yield strength f_y and any stress ratio R ;

$\Delta\sigma_{\text{HFMI,C,ref}}$ is the detail category for same detail with $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ and $R = 0,1$ as specified in Tables F.2, F.4 and F.6;

f_1 is the modification factor accounting for the effect of yield strength f_y determined as follows:

$$f_1 = 1 + \frac{0,1(f_y - 355)}{\Delta\sigma_{\text{HFMI,C,ref}}} \quad (\text{F.3})$$

f_2 is the modification factor accounting for the effect of stress ratio R determined as follows:

$$f_2 = \frac{1}{0,5R^2 + 0,95R + 0,9} \quad \text{if } 0,1 < R < 1,0, \quad \text{otherwise } f_2 = 1,0 \quad (\text{F.4})$$

(2) When calculating the modification factor f_1 , the nominal value for yield strength f_y may be used without correction for plate thickness.

F.4.4 Fatigue resistance modification

(1) A thickness correction may be neglected since it is already included in Tables F.2, F.4 and F.6.

(2) The correction for steel grade f_y and the stress ratio R should be made according to F.4.2 to F.4.4.

F.5 Fatigue verification

(1) For verification with the equivalent constant stress range $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$, the nominal stress ranges from HFMI treated constructional details should satisfy the following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}}{\Delta\sigma_{HFMI,C}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (F.5)$$

(2) Stress components that are not perpendicular to the HFMI treated weld toe shall be verified in accordance with the procedures for welded details according to Clause 9.

(3) Where no data for $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$ is available the calculation should be made in accordance with F.7.

(4) An infinite life for constructional details may be assumed if the maximum stress range of the applied nominal stress spectrum $\Delta\sigma_{max,HFMI,Ed}$ satisfies following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{max,HFMI,Ed}}{\Delta\sigma_{HFMI,D}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (F.6)$$

(5) In case of the combination of normal and shear stresses, the fatigue verification should consider their combined effects by adding the components of damage according to Miner's summation with respect to cracking at weld toe subjected to nominal normal stress ranges $\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\sigma_z$ and nominal shear stress ranges $\Delta\tau_{xy}, \Delta\tau_{xz}, \Delta\tau_{yz}$:

$$\sum_{j=x,y,z} \left(\frac{\Delta\sigma_{j,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{j,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\sigma} + \sum_{k=xy,xz,yz} \left(\frac{\Delta\tau_{k,e,2,Ed}}{\Delta\tau_{k,C}/\gamma_{Mf}} \right)^{m_\tau} \leq 1,0 \quad (F.7)$$

where:

- m_σ is the first slope parameter m_1 of the fatigue resistance curve for the considered constructional detail under normal stress loading
- m_τ is the first slope parameter m_1 of the fatigue resistance curve for the considered constructional detail under shear stress loading
- $\Delta\sigma_{x,C}$ corresponds to the detail category for stresses acting perpendicularly to the weld toe of HFMI treated details $\Delta\sigma_{HFMI,C}$

(6) Where normal and shear stresses may cause the formation of fatigue cracks at different locations, a separate fatigue verification for both locations should be performed.

F.6 Requirements for application

F.6.1 Requirements for welds before HFMI treatment

(1) The requirement from the original detail category tables for a detail before HFMI treatment should be met.

(2) The weld toes to be treated shall be accessible for treatment.

(3) The post-weld treatment that change the weld toe geometry should not be applied before HFMI treatment.

NOTE Such treatments are grinding, TIG welding and vibration method [9].

(4) Cleaning of the welds (e.g. removal of weld spatter) to comply with quality requirements of EN 1090-2 is permitted. The weld toes to be treated should be visible after cleaning.

F.6.2 Requirements for welds after HFMI treatment

(1) Any further post-weld treatment should not be applied after HFMI treatment (e.g. grinding, TIG welding, stress relief treatment, vibration method [9]).

NOTE The beneficial effect of HFMI treatment is mainly based on the introduction of compressive residual stresses. These stresses can be relieved by a further post-weld treatment afterwards.

(2) Blast cleaning for surface preparations for corrosion protection is permitted.

(3) Thermal treatments to straighten welded components is not permitted.

(4) Hot dip galvanizing of HFMI treated constructional details is not permitted.

(5) The limitations in Formula (9.3) should also be satisfied during manufacturing and assembly.

F.6.3 Quality control

(1) HFMI treatments should only be performed by trained and qualified operators.

(2) The qualification of operators should be based on suitable training related to the device manufacturer.

NOTE Guidance on training can be found in the literature [4],[9],[10].

(3) For HFMI treatment, a visual inspection of HFMI treatment (trace of indentation) should be carried out by the operator and welding supervisor (extent of inspection: 100%). It should be ensured that the relevant weld toes have been completely treated and that the original weld toe notches have been entirely removed.

NOTE Guidance on visual inspection of HFMI treated details can be found in the literature [4],[9],[10].

(4) The HFMI treated sections should be marked in the constructional execution documents.

F.7 Treatment of variable amplitude loading

(1) When using the design spectrum, the applied stress range $\Delta\sigma_i$ should be multiplied by γ_{Ff} and the fatigue resistance $\Delta\sigma_{HFMI,C}$ divided by γ_{Mf} . Annex A provides fatigue verification formats for fatigue action effect expressed as a stress range spectrum.

(2) For HFMI treated details subject to variable amplitude loading where the mean stress (or stress ratio R) for each stress range is known, the design value of a modified equivalent stress range that accounts for the mean stress effect may be determined as follows:

$$\Delta\sigma_{eq,R,Ed} = \sqrt[5]{\frac{\sum (n_i (\Delta\sigma_{i,Ed} / f_{2,i})^5)}{\sum n_i}} \quad (F.6)$$

where:

$f_{2,i}$ is the modification factor for stress ratio effect for the cycle i calculated acc. to Formula (F.4)

$\Delta\sigma_{i,Ed}$ is the stress range for the i^{th} stress in the spectrum (design values)

n_i is the number of cycles associated with the stress range $\Delta\sigma_{i,Ed}$.

(3) The design value of the equivalent stress range at 2×10^6 cycles $\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed}$ may be determined as follows:

$$\Delta\sigma_{e,2,HFMI,Ed} = \frac{\sum n_i}{2 \times 10^6} \Delta\sigma_{eq,R,Ed} \quad (F.7)$$

where

$\sum n_i$ is the total number of cycles of the spectrum.

(4) The detail category to be used in fatigue verification based on $\Delta\sigma_{eq,R,Ed}$ should be determined as follows:

$$\Delta\sigma_{HFMI,C} = f_1 \Delta\sigma_{HFMI,C,ref} \quad (F.8)$$

(5) When using an equivalent stress range based on a simplified fatigue load model of EN 1991 and appropriate λ -values, the factor to consider the mean stress effect in spectrum, λ_{HFMI} , may be determined as follows:

$$\lambda_{HFMI} = \frac{\Delta\sigma_{eq,R,Ed}}{\Delta\sigma_{eq,Ed}} \text{ but } 1,0 \leq \lambda_{HFMI} \leq 2,0 \quad (F.9)$$

where:

$\Delta\sigma_{eq,R,Ed}$ is the modified equivalent stress range that accounts for the mean stress effect according to Formula (F.6)

$\Delta\sigma_{eq,Ed}$ is the design value of the equivalent stress range acc. to Formula (F.6) but setting $f_{2,i} = 1,0$

NOTE More guidance can be found in ref. [3], including values for λ_{HFMI} , in case of road bridges.

Annex G (informative)

Hot spot stress reference detail method

G.1 Use of this annex

(1) This informative annex provides complementary guidance to B.4.2(1) to the application the hot spot stress method for fatigue verification using a reference detail.

NOTE The national choice on the application of this informative annex is given in the national annex. If the national annex contains no information on the application of this informative annex, it can be used.

G.2 Scope and field of application

(1) This informative annex covers non-classified details as similar as possible to reference details, which satisfy the requirements of Tables 10.1 to 10.11 and Table B.2.

NOTE Further guidance on the application of this method can be found in ref. [1].

(2) This informative annex applies for fatigue verification that is carried out according to the provisions given in Clause 9 and in Annex A.

G.3 Fatigue action effect

(1) Fatigue action effect should be calculated in accordance with B.3.

G.4 Fatigue resistance

(1) The calculation procedure for the determination of the fatigue resistance should be as follows:

- Select a reference detail with known fatigue resistance from the detail category tables, which is as similar as possible to the detail to be verified with respect to geometric, weld quality and loading parameters;
- Identify the type of stress in which the fatigue resistance is expressed. This is usually the nominal stress;
- Establish a FEM model of the reference detail and the detail to be verified with the same type of meshing and elements following the recommendations given in EN 1993-1-14;
- Use the reference detail and the detail to be verified with the stress identified in b);
- Determine the hot spot stress ranges $\Delta\sigma_{HS,ref}$ of the reference detail and the hot spot stress ranges $\Delta\sigma_{HS,nc}$ of the non-classified detail to be verified;
- The detail category of the non-classified detail to be verified $\Delta\sigma_{HS,C,nc}$ is determined from the detail category of the reference detail $\Delta\sigma_{HS,C,ref}$ as follows:

$$\Delta\sigma_{HS,C,nc} = \frac{\Delta\sigma_{HS,ref}}{\Delta\sigma_{HS,nc}} \Delta\sigma_{HS,C,ref} \quad (G.1)$$

(2) Where control measurements are taken to verify the calculated stresses on the non-classified detail or the reference detail, strain gauges should be positioned outside the heat affected zone.

G.5 Fatigue verification

(1) For the fatigue verification of the detail, the slope parameters m_1 , m_2 and the number of cycles N_D of the reference detail may be assumed.

(2) For verification with respect to reference value, the normal stress ranges for a non-classified constructional detail should satisfy the following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{HS,e,2,Ed}}{\Delta\sigma_{HS,C,nc}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (G.2)$$

(3) When no data for $\Delta\sigma_{HS,e,2,Ed}$ are available the verification format in Annex A may be used.

(4) An infinite life for constructional details may be assumed if the maximum stress range of the applied normal stress spectrum satisfies following relationship:

$$\frac{\Delta\sigma_{\max, HS, Ed}}{\Delta\sigma_{HS,D,nc}/\gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad (G.3)$$

Bibliography

References contained in recommendations (i.e. “should” clauses)

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes highly recommended choices or course of action of this document. Subject to national regulation and/or any relevant contractual provisions, alternative documents could be used/adopted where technically justified. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

- [1] EN 10163-2, *Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections - Part 2: Plate and wide flats*;
- [2] EN 10163-3, *Delivery requirements for surface condition of hot-rolled steel plates, wide flats and sections - Part 3: Sections*;
- [3] EN 10210, *Hot finished steel structural hollow sections*;
- [4] EN 10219, *Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels*;
- [5] EN ISO 2553, *Welding and allied processes — Symbolic representation on drawings — Welded joints*;
- [6] EN ISO 5817, *Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections*;
- [7] EN ISO 6947, *Welding and allied processes — Welding positions*;
- [8] EN ISO 9013, *Thermal cutting — Classification of thermal cuts — Geometrical product specification and quality tolerances*;
- [9] ISO 14347, *Fatigue – Design procedure for welded hollow section joints – recommendations*.

References contained in possibilities (i.e. “can” clauses) and notes

The following documents are cited informatively in the document, for example in “can” clauses and in notes.

- [1] Hobbacher, A.F.: Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components Second Edition, IIW document IIW-2259-15, 2016.
- [2] Kuhlmann, U., Breunig, S., Ummenhofer, T., Weidner, P.: Entwicklung einer DAST-Richtlinie für höherfrequente Hämmervverfahren, DAST-AiF-IGF-Nr. 17886, Final report, 2017.
- [3] Shams-Hakimi, P., Carlsson, F., Al-Emrani, M., Al-Karawi, H.: Assessment of in-service stresses in steel bridges for high-frequency mechanical impact applications, Engineering Structures, Elsevier, Vol. 241, 112498, May 2021.
- [4] Kuhlmann, U., Breunig, S., Götz, L.: Untersuchungen zur Auswirkung variierender Ausführungsqualitäten einer HFH-Nachbehandlung und Beurteilung einfacher Methoden zur Überprüfung der Nachbehandlungsspur, Schlussbericht, BAW;
http://www.baw.de/content/publikationen/www-dokumente-oeffentlich/0/2019_01_30_Schlussbericht_Final.pdf.
- [5] VDI 2230-1: Systematic calculation of highly stressed bolted joints – Joints with one cylindrical bolt; Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure, 2015.
- [6] EN 1994, Design of Composite Steel and Concrete Structures.

- [7] EN ISO 14732, Welding personnel – Qualification testing of welding operators and weld setters for mechanized and automatic welding of metallic materials.
- [8] CEN/TR 14599:2005: Terms and definitions for welding purposes in relation with EN 1792, CEN, June 2005.
- [9] DAST Richtlinie 026, Ermüdungsbemessung bei Anwendung höherfrequenter Hämmerverfahren, Stahlbau Verlag, 2019, ISBN 978-3-941687-37-0.
- [10] Marquis, G. B., and Barsoum, Z: IIW Recommendations for the HFMI Treatment: For Improving the Fatigue Strength of Welded Joints. IIW Collection, Springer Publishers, 2016, ISBN 978-981-10-2503-7.