

DIN EN 1993-1-9



ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-9: Ermüdung;
Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-9: Fatigue;
German version EN 1993-1-9:2005 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-9: Fatigue;
Version allemande EN 1993-1-9:2005 + AC:2009

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN EN 1993-1-9:2005-07;
mit DIN EN 1993-1-1:2010-12, DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3:2010-12,
DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-5:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12,
DIN EN 1993-1-10:2010-12, DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-11:2010-12 und
DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-1:2008-11;
Ersatz für DIN EN 1993-1-9 Berichtigung 1:2009-12

Gesamtumfang 43 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-9:2010-12

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-9:2005 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (Sp CEN/TC 250/SC 3)“ begleitet.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. April 2005 angenommen.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen **AC** **AC** angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-1-1:1993-04, DIN V ENV 1993-1-1/A1:2002-05 und DIN V ENV 1993-1-1/A2:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- b) in Teil 1-1, Teil 1-8, Teil 1-9 und Teil 1-10 aufgeteilt;
- c) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet und in einen eigenständigen Normteil überführt.

Gegenüber DIN EN 1993-1-9:2005-07, DIN EN 1993-1-9 Berichtigung 1:2009-12 und DIN 18800-1:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- d) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

DIN 1050: 1934-08, 1937xxxx-07, 1946-10, 1957x-12, 1968-06

DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1974-07

DIN 1073 Beiblatt: 1974-07

DIN 1079: 1938-01, 1938-11, 1970-09

DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934xxx-08, 1956-12, 1968-12

DIN 4101: 1937xxx-07, 1974-07

DIN 18800-1: 1981-03, 1990-11, 2008-11

DIN 18800-1/A1: 1996-02

DIN V ENV 1993-1-1: 1993-04

DIN V ENV 1993-1-1/A1: 2002-05

DIN V ENV 1993-1-1/A2: 2002-05

DIN EN 1993-1-9: 2005-07

DIN EN 1993-1-9 Berichtigung 1: 2009-12

DIN EN 1993-1-9:2010-12

— Leerseite —

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-9

Mai 2005

+AC

April 2009

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-1-1:1992

Deutsche Fassung

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

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

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. April 2004 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 1. April 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-9:2005 eingearbeitet.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2009 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 D

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Hintergrund des Eurocode-Programms	3
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	4
Nationale Fassungen der Eurocodes	5
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)	5
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-9	5
1 Allgemeines	6
1.1 Anwendungsbereich	6
1.2 Normative Verweisungen	6
1.3 Begriffe	7
1.3.1 Allgemeines	7
1.3.2 Parameter für die Ermüdungsbelastung	7
1.3.3 Ermüdungsfestigkeit	9
1.4 Formelzeichen	9
2 Grundlegende Anforderungen und Verfahren	10
3 Bemessungskonzepte	11
4 Ermüdungsbeanspruchungen	12
5 Berechnung der Spannungen	13
6 Berechnung der Spannungsschwingbreiten	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite der Nennspannungen	15
6.3 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite korrigierter Nennspannungen	15
6.4 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite für geschweißte Hohlprofilknoten	15
6.5 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite der Strukturspannungen (Kerbspannungen)	16
7 Ermüdungsfestigkeit	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Modifizierung der Ermüdungsfestigkeit	20
7.2.1 Nicht geschweißte oder spannungsarm geglühte geschweißte Konstruktionen unter Druckbeanspruchung	20
7.2.2 Größenabhängigkeit	21
8 Ermüdungsnachweis	21
Anhang A (normativ) Bestimmung von ermüdungsrelevanten Lastkenngrößen und Nachweisformate	36
A.1 Bestimmung von Belastungszyklen	36
A.2 Spannungszeitverlauf am Kerbdetail	36
A.3 Zählverfahren	36
A.4 Spektrum der Spannungsschwingbreiten	36
A.5 Anzahl der Spannungsschwingspiele bis zum Versagen	37
A.6 Nachweisformate	37
Anhang B (normativ) Ermüdungsfestigkeit bei Verwendung von Strukturspannungen (Kerbspannungen)	39

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-9:2005 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist verantwortlich für alle Eurocode-Teile.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-1-1.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Hintergrund des Eurocode-Programms

1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen.

Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und sie schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80'er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*;

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*;

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten*;

EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*;

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten*;

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

- 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 Aluminiumkonstruktionen*.

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und von EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanischer Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (EN's und ETA's)

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Spezialistenbeiträge erforderlich sein können.

-
- 2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Angaben in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die Europäische Zulassungen selbst zu schaffen.
 - 3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument
 - a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, in dem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
 - b) die Methode zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln,
 - c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr. 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr. 2.

Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, mit möglicherweise einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Diese national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte für γ -Faktoren und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische, geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten;
- Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere zur Wahl anbieten;

Des weiteren dürfen enthalten sein:

- Entscheidungen über die Anwendung der informativen Anhänge, und
- Verweise zu ergänzenden, nicht widersprechenden Informationen, die dem Nutzer bei der Anwendung der Eurocodes helfen.

Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAZ)

Die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ müssen konsistent sein. Insbesondere sollten die Hinweise, die mit den CE-Zeichen an den Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

Nationaler Anhang zu EN 1993-1-9

Diese Norm enthält alternative Methoden, Zahlenangaben und Empfehlungen in Verbindung mit Anmerkungen, die darauf hinweisen, wo Nationale Festlegungen getroffen werden können. EN 1993-1-9 wird bei der nationalen Einführung einen Nationalen Anhang enthalten, der alle national festzulegenden Parameter enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten im jeweiligen Land erforderlich sind

Eine nationale Wahl darf für folgende Abschnitte erfolgen:

- 1.1(2);
- 2(2);
- 2(4);
- 3(2);
- 3(7);
- 5(2);
- 6.1(1);
- 6.2(2);
- 7.1(3);
- 7.1(5);
- 8(4).

4) Siehe Artikel 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie, ebenso wie 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr. 1

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

(1) EN 1993-1-9 enthält Nachweisverfahren zur Prüfung der Ermüdungsfestigkeit von Bauteilen, Verbindungen und Anschlüssen, die unter Ermüdungsbeanspruchung stehen.

(2) Die Nachweisverfahren basieren auf Ergebnissen von Ermüdungsversuchen mit bauteilähnlichen Prüfkörpern mit geometrischen und strukturellen Imperfektionen, die von der Stahlproduktion und Bauteilherstellung herrühren (z. B. Herstellungstoleranzen und Eigenspannungen infolge Schweißens).

ANMERKUNG 1 Zu Toleranzen siehe EN 1090. Solange EN 1090 noch nicht veröffentlicht ist, darf die Wahl der Ausführungsnorm im Nationalen Anhang geregelt werden.

ANMERKUNG 2 Informationen zu Anforderungen an die Herstellungsüberwachung dürfen im Nationalen Anhang gegeben werden.

(3) Die Regelungen gelten für Bauteile, die nach EN 1090 ausgeführt werden.

ANMERKUNG Gegebenenfalls sind zusätzliche Anforderungen in den Kerbschlagtabellen angegeben.

(4) Die in EN 1993-1-9 angegebenen Nachweisverfahren gelten in gleicher Weise für Baustähle, nicht-rostende Stähle und ungeschützte wetterfeste Stähle, soweit in den Kerbfalltabellen keine anderen Angaben gemacht werden. EN 1993-1-9 gilt nur für Werkstoffe, die den Zähigkeitsanforderungen nach EN 1993-1-10 genügen.

(5) Diese Norm enthält das Nachweisverfahren mit Ermüdungsfestigkeitskurven (Wöhlerlinien). Andere Verfahren oder Konzepte wie das Kerbgrundkonzept oder das bruchmechanische Konzept werden in EN 1993-1-9 nicht behandelt.

(6) Andere Nachbehandlungsmethoden als Spannungsarmglühen zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit werden in dieser Norm nicht behandelt.

(7) Die in dieser Norm angegebenen Ermüdungsfestigkeiten gelten für Konstruktionen unter normalen atmosphärischen Bedingungen und ausreichendem Korrosionsschutz. Korrosionserscheinungen infolge Seewasser werden nicht behandelt; Zeitschäden aus hohen Temperaturen (>150 °C) werden ebenfalls nicht behandelt.

1.2 Normative Verweisungen

(1) Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend angeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderungen oder Überarbeitungen eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 1090, *Anforderungen für die Ausführung von Stahlbauten*

EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten — Teil 2: Brücken*

1.3 Begriffe

(1) Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die folgenden Begriffe.

1.3.1 Allgemeines

1.3.1.1

Ermüdung

Prozess der Rissbildung und des Rissfortschritts in einem Bauteil, hervorgerufen durch wiederholte Spannungsschwankungen

1.3.1.2

Nennspannung

Spannung im Grundwerkstoff oder einer Schweißnaht unmittelbar an der erwarteten Rissstelle, berechnet nach der elastischen Spannungstheorie ohne Berücksichtigung der örtlichen Kerbwirkung

ANMERKUNG Mit Spannungen sind Längsspannungen oder Schubspannungen, Hauptspannungen oder Vergleichsspannungen gemeint.

1.3.1.3

korrigierte Nennspannung

Nennspannung, vergrößert um den geometrischen Kerbfaktor k_f , der die geometrischen Abweichungen erfasst, die nicht im Kerbfall des Konstruktionsdetails berücksichtigt sind

1.3.1.4

Strukturspannung

Kerbspannung

maximale Hauptspannung im Grundwerkstoff unmittelbar an der potenziellen Rissstelle am Schweißnahtübergang einschließlich der lokalen Spannungsspitze aufgrund der geometrischen Ausbildung des Bauteils

ANMERKUNG Die Kerbwirkung infolge Nahtausbildung braucht nicht berücksichtigt zu werden, da diese in der Ermüdungsfestigkeitskurve enthalten ist, siehe Anhang B.

1.3.1.5

Eigenspannung

Die Eigenspannung ist eine ständige im Gleichgewicht befindliche Spannungsverteilung im Bauteil ohne äußere Lasteinwirkung. Eigenspannungen können vom Walzprozess, Schneiden, Schweißschumpf oder von Zwängungen aus dem Zusammenbau herrühren. Sie entstehen auch bei Überschreitung der Streckgrenze infolge äußerer Belastung.

1.3.2 Parameter für die Ermüdungsbelastung

1.3.2.1

Belastungszyklus

ein bestimmter Ablauf der Belastung auf ein Tragwerk, der zu einem Spannungs-Zeit-Verlauf führt, mit einer in der Regel definierten Anzahl von Wiederholungen während der Nutzungsdauer des Tragwerks

1.3.2.2

Spannungs-Zeit-Verlauf

gemessene oder berechnete Zeitfolge der Spannungen an einem bestimmten Tragwerkspunkt für einen Belastungszyklus

1.3.2.3

Rainflow-Methode

Zählverfahren zur Bestimmung des Spektrums der Spannungsschwingbreiten aus einem Spannungs-Zeit-Verlauf

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

1.3.2.4

Reservoir-Methode

Zählverfahren zur Bestimmung des Spektrums der Spannungsschwingbreiten aus einem Spannungs-Zeit-Verlauf

ANMERKUNG Zur mathematischen Vorgehensweise siehe Anhang A.

1.3.2.5

Spannungsschwingbreite

algebraische Differenz zwischen zwei Extremwerten einer Spannungsänderung in einem Spannungs-Zeit-Verlauf

1.3.2.6

Spektrum der Spannungsschwingbreiten

Darstellung der Auftretenshäufigkeit der Spannungsschwingbreiten verschiedener Größe aus Messungen oder Berechnungen für einen bestimmten Belastungszyklus

1.3.2.7

Bemessungsspektrum

Gesamtheit aller Spektren der Spannungsschwingbreiten während der Nutzungsdauer, die für den Ermüdungsnachweis zugrunde gelegt werden

1.3.2.8

Nutzungsdauer

Bezugszeitraum, für den mit ausreichender Zuverlässigkeit planmäßiges Verhalten des Tragwerks ohne Versagen durch Ermüdungsrisse verlangt wird

1.3.2.9

Lebensdauer (Zeitgröße)

voraussichtlicher Zeitraum mit der Gesamtzahl von Spannungsschwingspielen, die zu Ermüdungsversagen führen können

1.3.2.10

Miner-Regel

lineare Schadensakkumulationshypothese nach Palmgren-Miner

1.3.2.11

schadensäquivalente konstante Spannungsschwingbreite

konstante Spannungsschwingbreite, die nach der Miner-Regel zu derselben Lebensdauer führen würde wie das Spektrum nicht konstanter Spannungsschwingbreiten

ANMERKUNG Zur mathematischen Bestimmung der schadensäquivalenten konstanten Spannungsschwingbreite siehe Anhang A.

1.3.2.12

Ermüdungsbelastung

eine Reihe von Einwirkungsparametern, die mit typischen Belastungszyklen bestimmt wurden und die Anordnung und Größe der Lasten, ihre relative Auftretenshäufigkeit und ihre Zeitfolge beschreiben

ANMERKUNG 1 Bei den Ermüdungseinwirkungen in EN 1991 handelt es sich um obere Grenzwerte, die anhand von Messauswertungen nach Anhang A bestimmt wurden.

ANMERKUNG 2 Die Einwirkungsparameter in EN 1991 sind entweder:

- Q_{\max}, n_{\max} , standardisiertes Spektrum oder
- $Q_{E, n_{\max}}$ bezogen auf n_{\max} oder
- $Q_{E, 2}$ bezogen auf $n = 2 \cdot 10^6$ Lastwechsel.

Dynamische Effekte sind, soweit nicht anders geregelt, in diesen Parametern enthalten.

1.3.2.13**schadensäquivalente konstante Ermüdungsbelastung**

vereinfachte konstante Ermüdungsbelastung, die nach der Miner-Regel zu der gleichen Lebensdauer führt wie die wirklichen Belastungszyklen mit veränderlicher Belastung

1.3.3 Ermüdungsfestigkeit**1.3.3.1****Ermüdungsfestigkeitskurve****Wöhlerlinie**

quantitative Beziehung zwischen den Spannungsschwingbreiten und der Anzahl der Spannungsspiele, die zum Ermüdungsversagen führen; sie wird für den Ermüdungsnachweis für einen bestimmten Kerbfall angewendet

ANMERKUNG Die Ermüdungsfestigkeiten in diesem Normenteil sind untere Grenzwerte, die anhand von Auswertungen von Ermüdungsversuchen mit bauteilähnlichen Prüfkörpern nach EN 1990, Anhang D bestimmt wurden.

1.3.3.2**Kerbfall**

Zahlenwert, der einem bestimmten Konstruktionsdetail für eine bestimmte Beanspruchung zugeordnet ist, um die Ermüdungsfestigkeitskurve für den Ermüdungsnachweis festzulegen (die Kerbfallzahl bezeichnet den Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_C$ in N/mm^2)

1.3.3.3**Dauerfestigkeit**

Grenze für die Schwingbreite der Längsspannung oder Schubspannung, unterhalb derer im Versuch mit konstanten Schwingbreiten kein Ermüdungsschaden auftritt. Bei variablen Spannungsschwingbreiten müssen alle Schwingbreiten unterhalb dieser Grenze liegen, damit kein Ermüdungsschaden auftritt.

1.3.3.4**Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit**

Grenze, unterhalb derer Spannungsschwingbreiten von Bemessungsspektren nicht mehr zur Akkumulation des Ermüdungsschadens beitragen

1.3.3.5**Lebensdauer (Anzahl der Spannungsschwingspiele)**

in Spannungsschwingspielen ausgedrückte Zeit bis zum Versagen bei Einwirkung konstanter Spannungsschwingbreiten

1.3.3.6**Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit**

konstante Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_C$ oder $\Delta\tau_C$ für einen bestimmten Kerbfall, die zu der Lebensdauer $N = 2 \times 10^6$ Schwingspiele gehört

1.4 Formelzeichen

$\Delta\sigma$	Spannungsschwingbreite (Längsspannungen);
$\Delta\tau$	Spannungsschwingbreite (Schubspannungen);
$\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$	schadensäquivalente konstante Spannungsschwingbreite bezogen auf n_{max} ;
$\Delta\sigma_{E,2}, \Delta\tau_{E,2}$	schadensäquivalente konstante Spannungsschwingbreite bezogen auf 2×10^6 Schwingspiele;
$\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$	Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit bei $N_C = 2 \times 10^6$ Schwingspielen;
$\Delta\sigma_D, \Delta\tau_D$	Dauerfestigkeit bei N_D Schwingspielen;

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

$\Delta\sigma_L, \Delta\tau_L$	Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit bei N_L Schwingspielen;
$\Delta\sigma_{eq}$	äquivalentes Spannungsschwingpiel bei Steganschlussdetails von orthotropen Platten;
$\Delta\sigma_{C,red}$	reduzierter Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit;
γ_{Ff}	γ -Faktor für die schadensäquivalenten Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$;
γ_{Mf}	γ -Faktor für die Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_C, \Delta\tau_C$;
m	Neigung der Ermüdungsfestigkeitskurve;
λ_i	Schadensäquivalenzfaktor;
ψ_1	Faktor für den häufig auftretenden Wert einer variablen Last;
Q_k	charakteristischer Wert einer einzeln auftretenden variablen Last;
k_s	Abminderungsfaktor für den Bezugswert der Ermüdungsfestigkeit zur Berücksichtigung der Größenabhängigkeit;
k_1	Erhöhungsfaktor für die Nennspannungsschwingbreite zur Berücksichtigung sekundärer Anschlussmomente in Fachwerken;
k_f	Kerbfaktor (Spannungskonzentrationsfaktor);
N_R	Lebensdauer, ausgedrückt als Anzahl von Spannungsschwingspielen mit konstanter Spannungsschwingbreite.

2 Grundlegende Anforderungen und Verfahren

(1) **AC** P **AC** Tragende Bauteile sind im Hinblick auf den Grenzzustand der Ermüdung so auszubilden, dass ihr Verhalten mit ausreichender Wahrscheinlichkeit während der gesamten Nutzungsdauer zufrieden stellend ist.

ANMERKUNG Für Tragwerke, die mit Ermüdungslasten nach EN 1991 und Ermüdungsfestigkeiten nach diesem Teil bemessen werden, darf diese Anforderung als erfüllt gelten.

- (2) Anhang A darf für die Bestimmung von Ermüdungslasten im Einzelfall verwendet werden, wenn
- in EN 1991 keine Ermüdungsbelastung angegeben wird oder
 - ein realistischeres Ermüdungslastmodell gefordert wird.

ANMERKUNG Anforderungen für die Bestimmung von Ermüdungslastmodellen dürfen im Nationalen Anhang gegeben werden.

(3) Ermüdungsversuche können durchgeführt werden

- um Ermüdungsfestigkeiten für Details zu bestimmen, die nicht in diesem Teil enthalten sind;
- um die Lebensdauer von Prototypen unter wirklichen oder schadensäquivalenten Ermüdungsbelastungen zu bestimmen.

(4) Bei der Durchführung und Auswertung von Ermüdungsversuchen ist in der Regel EN 1990 heranzuziehen, siehe auch 7.1.

ANMERKUNG Zu Anforderungen für die Bestimmung von Ermüdungslasten im Einzelfall siehe Nationaler Anhang.

(5) Der Ermüdungsnachweis in diesem Normenteil folgt dem üblichen Nachweiskonzept, bei dem Beanspruchungen und Beanspruchbarkeiten verglichen werden. Ein solcher Vergleich ist nur möglich, wenn die Ermüdungsbeanspruchungen mit Parametern der Ermüdungsfestigkeit nach diesem Normteil bestimmt werden.

(6) Die Ermüdungslasten werden entsprechend den Anforderungen des Ermüdungsnachweises bestimmt. Sie unterscheiden sich von denen für Tragfähigkeit- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise.

ANMERKUNG Treten Risse während der Betriebszeit auf, so bedeutet dies nicht notwendigerweise das Ende der Nutzungsdauer. Werden Risse repariert, ist hierbei besondere Sorgfalt erforderlich, um ungünstigere Kerbbedingungen als bereits vorhanden zu vermeiden.

3 Bemessungskonzepte

(1) Der Ermüdungsnachweis ist in der Regel nach einem der folgenden Konzepte durchzuführen:

- Konzept der Schadenstoleranz;
- Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung.

(2) Durch planmäßige Inspektionen und Wartung während der Nutzungsdauer des Tragwerks können eventuelle Ermüdungsschäden erkannt und beseitigt werden. Das Konzept der Schadenstoleranz sollte hier zu der geforderten Zuverlässigkeit für zufrieden stellendes Verhalten während der Nutzungsdauer führen.

ANMERKUNG 1 Das Konzept der Schadenstoleranz darf angewendet werden, wenn bei Auftreten von Ermüdungsrissen Lastumlagerungen im tragenden Querschnitt oder zwischen Bauteilen möglich sind.

ANMERKUNG 2 Die Bestimmungen für ein Inspektionsprogramm sind im Nationalen Anhang geregelt.

ANMERKUNG 3 Tragwerke, die nach diesem Normenteil konstruiert und bemessen und für die Werkstoffe nach EN 1993-1-10 gewählt werden sowie regelmäßige Überwachung vorgesehen ist, können als schadenstolerant angesehen werden.

(3) Das Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung gewährt in der Regel die geforderte Zuverlässigkeit für zufrieden stellendes Verhalten während der Nutzungsdauer, ohne dass planmäßige Inspektionen zum rechtzeitigen Erkennen von Ermüdungsschäden notwendig sind. Dieses Konzept ist in der Regel dann anzuwenden, wenn die lokale Ausbildung von Rissen in einer Bauteilkomponente zu unangekündigtem Versagen des Bauteils oder des gesamten Tragwerks führen kann.

(4) Bei Ermüdungsnachweisen nach diesem Normenteil kann die geforderte Zuverlässigkeit durch Festlegung des γ_{Mf} -Faktors für die Ermüdungsfestigkeit in Abhängigkeit von dem gewählten Bemessungskonzept und den Schadensfolgen erreicht werden.

(5) Die Ermüdungsfestigkeitswerte werden durch das konstruktive Detail mit seinen metallurgischen und geometrischen Kerbeffekten bestimmt. In den konstruktiven Details dieses Normenteils ist die wahrscheinliche Stelle der Rissbildung angegeben.

(6) Das angegebene Nachweisverfahren benutzt Ermüdungsfestigkeitswerte in Form von Wöhlerlinien für:

- Standardkerbfälle (Nennspannungen);
- Kerbfälle bei bestimmten Schweißdetails (Strukturspannungen).

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

(7) Die geforderte Zuverlässigkeit kann wie folgt erreicht werden:

a) Konzept der Schadenstoleranz:

- Wahl des konstruktiven Details, des Werkstoffs und des Beanspruchungsniveaus, so dass im unwahrscheinlichen Fall von Rissen ein langsames Risswachstum und große kritische Risslängen erreicht werden könnten;
- Konstruktionen mit Umlagerungsvermögen;
- Konstruktionen, die in der Lage sind, Rissentwicklungen zu hemmen;
- leichte Zugänglichkeit für regelmäßige Inspektionen.

b) Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung:

- Wahl der Konstruktion und des Beanspruchungsniveaus, so dass am Ende der rechnerischen Nutzungsdauer $\overline{\alpha C}$ Zuverlässigkeitswerte (β -Werte) mindestens so hoch wie bei Tragsicherheitsnachweisen gefordert $\overline{\alpha C}$ erreicht werden können.

ANMERKUNG Die Wahl des Bemessungskonzeptes, die Definitionen der Schadensfolgeklassen sowie die Zahlenwerte für γ_{Mf} dürfen im Nationalen Anhang geregelt werden. Empfohlene γ_{Mf} -Werte sind in Tabelle 3.1 angegeben.

Tabelle 3.1 — Empfehlungen für γ_{Mf} -Faktoren für die Ermüdungsfestigkeit

Bemessungskonzept	Schadensfolgen	
	niedrig	hoch
Schadenstoleranz	1,00	1,15
Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung	1,15	1,35

4 Ermüdungsbeanspruchungen

(1) Die Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Nennspannungen beruhen auf elastischem Verhalten von Bauteilen und Verbindungen; sie müssen in der Regel alle Lastwirkungen (auch Wirkungen aus Verformungen unter der Last) realistisch wiedergeben.

(2) Bei Fachwerkträgern mit geschweißten Hohlprofilknoten darf von der Annahme gelenkiger Verbindungen an den Anschlüssen ausgegangen werden. Wenn die Spannungen infolge äußerer Lasten auf Bauteile zwischen den Knoten berücksichtigt werden, dürfen die Wirkungen von sekundären Anschlussmomenten aus der Steifigkeit der Verbindungen mit k_1 -Faktoren nach 6.4 berücksichtigt werden, $\overline{\alpha C}$ siehe Tabelle 4.1 für Kreisquerschnitte, Tabelle 4.2 für Rechteckquerschnitte; bei diesen Querschnitten sind die geometrischen Einschränkungen in Tabelle 8.7 zu beachten. $\overline{\alpha C}$

Tabelle 4.1 — k_1 -Faktoren für Hohlprofile mit Kreisquerschnitten bei Belastung in der Fachwerksebene

Knotenausbildung		Gurte	Pfosten	Diagonalen
Anschlüsse mit Spalt	K-Knoten	1,5	$\overline{\alpha C} - \overline{\alpha C}$	1,3
	N-Knoten/KT-Knoten	1,5	1,8	1,4
Anschlüsse mit Überlappung	K-Knoten	1,5	$\overline{\alpha C} - \overline{\alpha C}$	1,2
	N-Knoten/KT-Knoten	1,5	1,65	1,25

Tabelle 4.2 — k_1 -Faktoren für Hohlprofile mit Rechteckquerschnitt
bei Belastung in der Fachwerksebene

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

AC ANMERKUNG 1 AC Zur Begriffserklärung der Knotenausbildungen siehe EN 1993-1-8.

AC ANMERKUNG 2 Gültigkeitsgrenzen für die Geometrie:

Bei ebenen Knoten mit Kreisquerschnitten (K-, N-, KT-Knoten):

$$0,30 \leq \beta \leq 0,60$$

$$12,0 \leq \gamma \leq 30,0$$

$$0,25 \leq \tau \leq 1,00$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

Bei Knoten mit Rechteckquerschnitten (K-, N-, KT-Knoten):

$$0,40 \leq \beta \leq 0,60$$

$$6,25 \leq \gamma \leq 12,5$$

$$0,25 \leq \tau \leq 1,00$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

AC

5 Berechnung der Spannungen

- (1) Spannungen sind in der Regel auf Gebrauchsniveau zu bestimmen.
- (2) Querschnitte der Querschnittsklasse 4 sind für Ermüdungslasten nach EN 1993-1-5 nachzuweisen.

ANMERKUNG 1 Hinweise sind EN 1993-2 bis EN 1993-6 zu entnehmen.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang darf Gültigkeitsgrenzen für Klasse-4-Querschnitte angeben.

(3) Nennspannungen sind in der Regel an der Stelle der potenziellen Rissentstehung zu bestimmen. Abweichungen von den Konstruktionsdetails in den Tabellen 8.1 bis 8.10, die zusätzliche Spannungskonzentrationen erzeugen, werden durch (mit Spannungskonzentrationsfaktoren k_f) korrigierten Nennspannungen nach 6.3 berücksichtigt.

(4) Bei Verwendung von Strukturspannungen (Kerbspannungen) für die Details in Tabelle B.1 sind die Spannungen nach 6.5 zu ermitteln.

(5) Die maßgebenden Spannungen im Grundwerkstoff sind:

- die Längsspannungen σ ;
- die Schubspannungen τ .

ANMERKUNG Bei gleichzeitiger Wirkung von Längs- und Schubspannungen AC siehe 8(3). AC

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

(6) Die maßgebenden Spannungen in den Schweißnähten sind, siehe Bild 5.1:

- die Längsspannungen σ_{wf} quer zur Nahtachse: $\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2}$;
- die Schubspannungen τ_{wf} längs der Nahtachse: $\tau_{wf} = \tau_{\parallel f}$;

für die in der Regel zwei getrennte Nachweise zu führen sind.

ANMERKUNG Diese Vorgehensweise unterscheidet sich von den Tragsicherheitsnachweisen von Kehlnähten nach EN 1993-1-8.

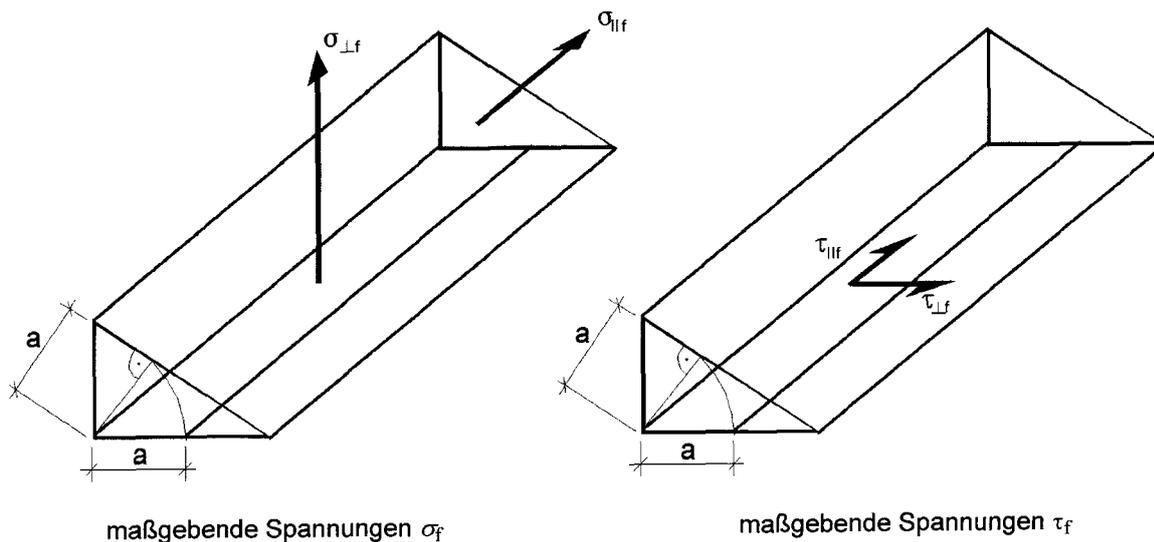


Bild 5.1 — Maßgebende Spannungen in Kehlnähten

6 Berechnung der Spannungsschwingbreiten

6.1 Allgemeines

(1) Der Ermüdungsnachweis ist in der Regel auf der Basis der Spannungsschwingbreiten zu führen mit:

- Nennspannungen für die Kerbfälle nach Tabelle 8.1 bis Tabelle 8.10;
- korrigierten Nennspannungen, z. B. bei abrupten Querschnittsänderungen in der Nähe der Rissentstehung, die nicht in den Tabellen 8.1 bis Tabelle 8.10 enthalten sind;
- Strukturspannungen (Kerbspannungen), wo große Spannungsgradienten am Schweißnahtübergang entsprechend Tabelle B.1 auftreten.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf weitere Informationen zu Nennspannungen, korrigierten Nennspannungen und Strukturspannungen (Kerbspannungen) geben. Kerbfälle für Strukturspannungen (Kerbspannungen) sind im Anhang B angegeben.

(2) Der für den Ermüdungsnachweis maßgebende Bemessungswert der Spannungsschwingbreite wird in der Regel durch die Spannungsschwingbreite $\gamma_{ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}$ bezogen auf $N_C = 2 \times 10^6$ Schwingspiele ausgedrückt.

6.2 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite der Nennspannungen

(1) Der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite für Nennspannungen $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ und $\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}$ ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta \sigma(\gamma_{Ff} Q_k) \quad (6.1)$$

$$\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta \tau(\gamma_{Ff} Q_k)$$

Dabei ist

$\Delta \sigma(\gamma_{Ff} Q_k), \Delta \tau(\gamma_{Ff} Q_k)$ die Spannungsschwingbreite aus den Ermüdungsbelastungen nach EN 1991;

λ_i die Schadensäquivalenzfaktoren abhängig von den Bemessungsspektren der Anwendungsteile von EN 1993 sind.

(2) Wenn keine λ_i -Werte zur Verfügung stehen, dürfen die Bemessungswerte der Nennspannungen nach Anhang A bestimmt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Informationen in Ergänzung zum Anhang A geben.

6.3 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite korrigierter Nennspannungen

(1) Der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite der korrigierten Nennspannungen $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ und $\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}$ ist in der Regel wie folgt zu bestimmen:

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = k_f \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta \sigma(\gamma_{Ff} Q_k) \quad (6.2)$$

$$\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2} = k_f \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_i \cdot \dots \cdot \lambda_n \cdot \Delta \tau(\gamma_{Ff} Q_k)$$

Dabei ist

k_f der Spannungskonzentrationsfaktor zur Berücksichtigung der lokalen Spannungserhöhung in Bezug auf die Kerbfallsituation der Bezugs-Wöhlerlinie ist.

ANMERKUNG k_f -Werte können der Literatur entnommen oder durch geeignete Finite Element Berechnungen ermittelt werden.

6.4 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite für geschweißte Hohlprofilknoten

(1) Wenn kein genauere Nachweis geführt wird, sollte der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite für die korrigierten Nennspannungen $\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E,2}$ mit dem vereinfachten Verfahren in 4(2) bestimmt werden

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = k_1 (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^*) \quad (6.3)$$

Dabei ist

$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^*$ der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite, gerechnet mit dem vereinfachten Fachwerksmodell mit gelenkigen Anschlüssen;

k_1 der Vergrößerungsfaktor nach Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2.

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

**6.5 Bemessungswert der Spannungsschwingbreite der Strukturspannungen
(Kerbspannungen)**

(1) Der Bemessungswert der Spannungsschwingbreite von Strukturspannungen $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ wird in der Regel ermittelt mit

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = k_f (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^*) \quad (6.4)$$

Dabei ist

k_f der Spannungskonzentrationsfaktor.

7 Ermüdungsfestigkeit

7.1 Allgemeines

(1) Für Nennspannungen werden die Ermüdungsfestigkeiten durch eine Reihe von $(\log \Delta\sigma_R) - (\log N)$ -Kurven und $(\log \Delta\tau_R) - (\log N)$ -Kurven bestimmt, wobei jede Kurve einer bestimmten Kerbfallkategorie zugeordnet wird. Jeder Kerbfall ist durch die Kerbfallkategorie gekennzeichnet, die den Bezugswert $\Delta\sigma_C$ oder $\Delta\tau_C$ in N/mm^2 der Ermüdungsfestigkeitskurve bei 2 Millionen Spannungsspielen darstellt.

(2) Die Ermüdungsfestigkeitskurven für konstante Spannungsschwingbreiten sind definiert durch:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{mit } m = 3 \text{ für } N \leq 5 \times 10^6, \text{ siehe Bild 7.1}$$

$$\Delta\tau_R^m N_R = \Delta\tau_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{mit } m = 5 \text{ für } N \leq 10^8, \text{ siehe Bild 7.2}$$

Dabei ist

$$\Delta\sigma_D = \left(\frac{2}{5}\right)^{1/3} \cdot \Delta\sigma_C = 0,737 \Delta\sigma_C \quad \text{die Dauerfestigkeit, siehe Bild 7.1;}$$

$$\Delta\tau_L = \left(\frac{2}{100}\right)^{1/5} \cdot \Delta\tau_C = 0,457 \Delta\tau_C \quad \text{der Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit, siehe Bild 7.2.}$$

(3) Bei Spannungsspektren mit Längsspannungsschwingbreiten oberhalb und unterhalb der Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$ ist in der Regel der Ermüdungsschaden mit den erweiterten Ermüdungsfestigkeitskurven zu ermitteln.

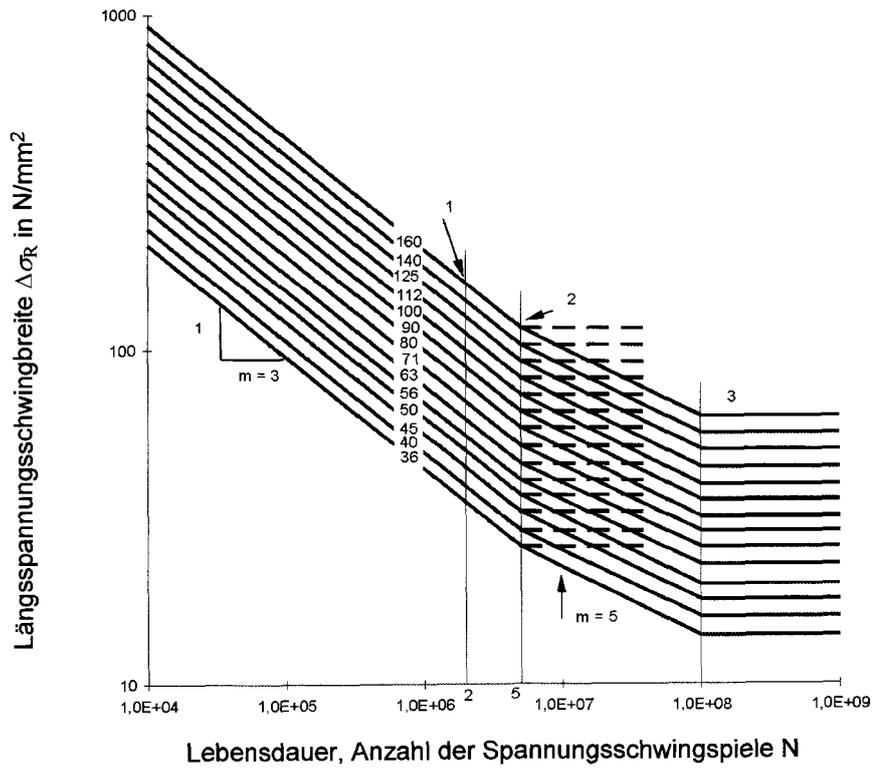
$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_C^m 2 \times 10^6 \quad \text{mit } m = 3 \text{ für } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_D^m 5 \times 10^6 \quad \text{mit } m = 5 \text{ für } 5 \times 10^6 \leq N \leq 10^8$$

Dabei ist

$$\Delta\sigma_L = \left(\frac{5}{100}\right)^{1/5} \times \Delta\sigma_D = 0,549 \Delta\sigma_D \quad \text{der Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit, siehe Bild 7.1.}$$

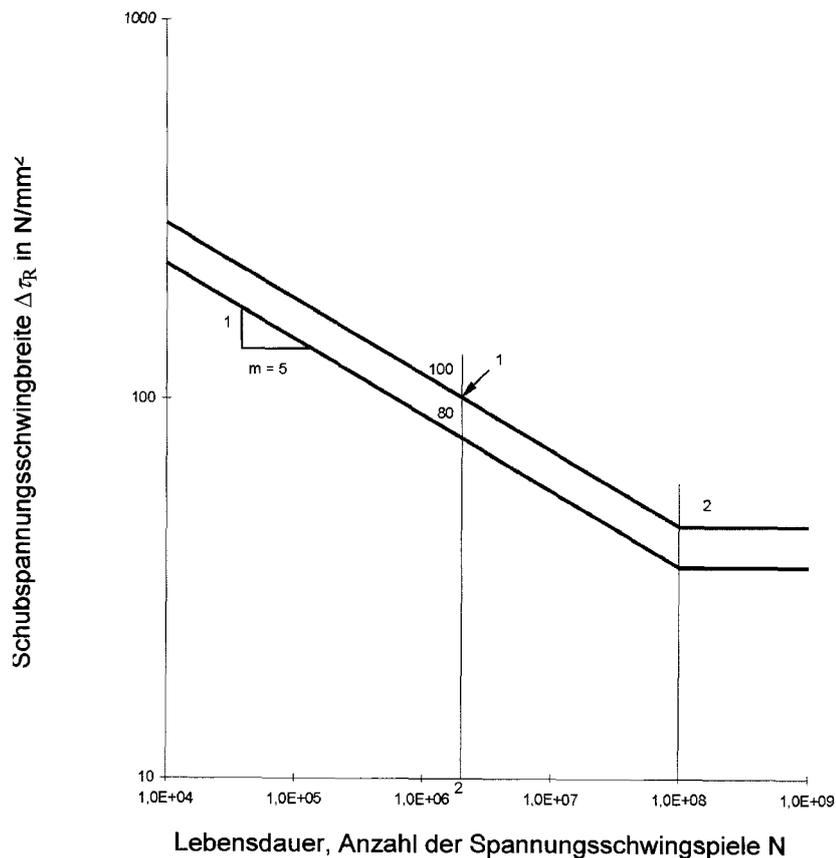
DIN EN 1993-1-9:2010-12
 EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)



Legende

- 1 Kerbfall $\Delta\sigma_C$
- 2 Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$
- 3 Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_L$

Bild 7.1 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Längsspannungsschwingbreiten

**Legende**

- 1 Kerbfall $\Delta\tau_C$
2 Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\tau_L$

Bild 7.2 — Ermüdungsfestigkeitskurve für Schubspannungsschwingbreiten

ANMERKUNG 1 Soweit Ergebnisse von Ermüdungsversuchen benutzt wurden, um den Bezugswert $\Delta\sigma_C$ für einen bestimmten Kerbfall zu bestimmen, ist $\Delta\sigma_C$ für 2 Millionen Spannungsspiele statistisch als 95 %-Quantil für Überleben mit etwa 75 % Vertrauenswahrscheinlichkeit ermittelt worden. Dabei wurden Standardabweichungen, Probekörpergröße und Eigenspannungen berücksichtigt. Die Anzahl der Proben (mindestens 10) wurde nach EN 1990, Anhang D berücksichtigt.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang darf die Ermittlung der Ermüdungsfestigkeit für den Einzelfall regeln, wenn die Auswertung nach den Vorgaben in Anmerkung 1 erfolgt.

ANMERKUNG 3 Die Testdaten einiger Kerbdetails lassen sich nicht eindeutig den Ermüdungsfestigkeitskurven in Bild 7.1 zuordnen. Die Kerbfallkategorien, die mit einem Stern gekennzeichnet sind, wurden eine Kategorie tiefer eingestuft, um die Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$ den Ergebnissen von Versuchen anzupassen. Die Kerbfallkategorien $\Delta\sigma_C$ dürfen in diesen Fällen um eine Kategorie angehoben werden, wenn die S-N-Kurve mit $m = 3$ bis zur Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_C^*$ bei $N_D^* = 10^7$ verlängert wird, siehe Bild 7.3.

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

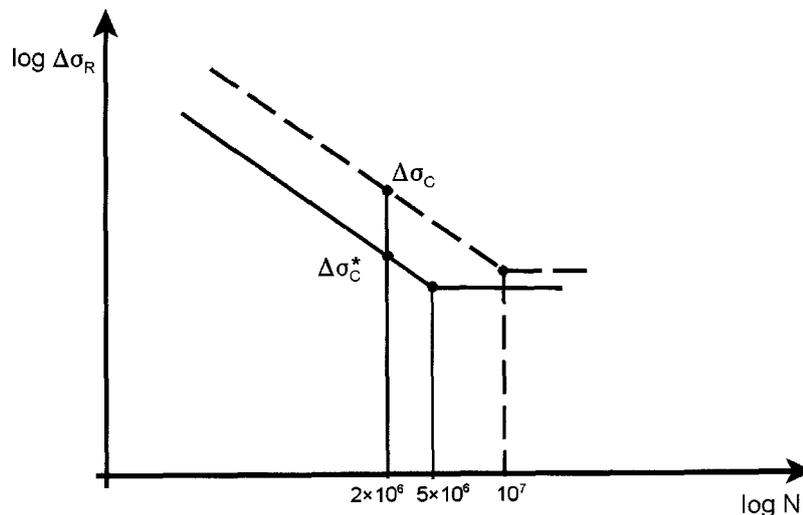


Bild 7.3 — Alternative Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_C$ für Kerbfälle, die mit $\Delta\sigma_C^*$ bezeichnet sind

(4) Die Kerbfalkategorien $\Delta\sigma_C$ und $\Delta\tau_C$ für Nennspannungen sind wie folgt angegeben:

- Tabelle 8.1 für ungeschweißte Bauteile und Anschlüsse mit mechanischen Verbindungsmitteln;
- Tabelle 8.2 für geschweißte zusammengesetzte Querschnitte;
- Tabelle 8.3 für quer laufende Stumpfnähte;
- Tabelle 8.4 für angeschweißte Anschlüsse und Steifen;
- Tabelle 8.5 für geschweißte Stöße;
- Tabelle 8.6 für Hohlprofile;
- Tabelle 8.7 für geschweißte Knoten von Fachwerkträgern;
- Tabelle 8.8 für orthotrope Platten mit Hohlrippen;
- Tabelle 8.9 für orthotrope Platten mit offenen Rippen;
- Tabelle 8.10 für die Obergurt-Stegblech Anschlüsse von Kranbahnträgern.

(5) Die Kerbfalkategorien $\Delta\sigma_C$ für Strukturspannungen (Kerbspennungen) werden in Anhang B angegeben.

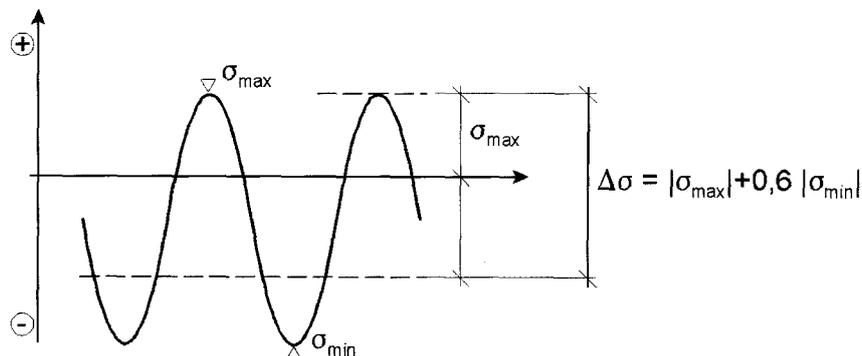
ANMERKUNG Kerbfalkategorien $\Delta\sigma_C$ und $\Delta\tau_C$ für Kerbdetails, die nicht in Tabelle 8.1 bis Tabelle 8.10 und im Anhang B enthalten sind, dürfen im Nationalen Anhang angegeben werden.

7.2 Modifizierung der Ermüdungsfestigkeit

7.2.1 Nicht geschweißte oder spannungsarm geglühte geschweißte Konstruktionen unter Druckbeanspruchung

(1) Bei nicht geschweißten Konstruktionen oder bei geschweißten Konstruktionen, die spannungsarm geglüht werden, darf der Mittelspannungseinfluss auf die Ermüdungsfestigkeit dadurch berücksichtigt werden, dass die Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{E,2}$ im Ermüdungsnachweis reduziert wird, wenn sie ganz oder teilweise im Druckbereich liegt.

(2) Die reduzierte Spannungsschwingbreite darf als Summe des Zuganteils der Spannungsschwingbreite und 60 % des Druckanteils der Spannungsschwingbreite ermittelt werden, siehe Bild 7.4.



Legende

- + Zugspannungen
- Druckspannungen

Bild 7.4 — Modifizierte Spannungsschwingbreiten für nicht geschweißte und spannungsarm geglühte geschweißte Konstruktionen

7.2.2 Größenabhängigkeit

(1) Die Größenabhängigkeit aus Effekten der Blechdicke oder anderer Abmessungen ist in der Regel entsprechend Tabelle 8.1 bis Tabelle 8.10 zu berücksichtigen. Die Ermüdungsfestigkeit lautet dann:

$$\Delta\sigma_{C,\text{red}} = k_s \Delta\sigma_C \quad (7.1)$$

8 Ermüdungsnachweis

(1) Die Spannungsschwingbreiten für Nennspannungen, korrigierte Nennspannungen oder Strukturspannungen (Kerbspannungen) infolge der häufig auftretenden Lasten $\psi_1 Q_k$, siehe EN 1990, sind in der Regel zu begrenzen durch:

$$\Delta\sigma \leq 1,5 f_y \quad \text{für Längsspannungen;} \quad (8.1)$$

$$\Delta\tau \leq 1,5 f_y / \sqrt{3} \quad \text{für Schubspannungen.}$$

(2) Folgende Ermüdungsnachweise sind zu führen:

$$\frac{\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

und

$$\frac{\gamma_{FF} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \leq 1,0.$$

(8.2)

ANMERKUNG Die Tabellen 8.1 bis 8.9 erfordern für einige Kerbfälle die Verwendung von Spannungsschwingbreiten für Hauptspannungen.

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

(3) Bei gleichzeitiger Wirkung von Längs- und Schubspannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{E,2}$ und $\Delta\tau_{E,2}$ ist in der Regel nachzuweisen, dass

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}}\right)^5 \leq 1,0 \quad (8.3)$$

falls nicht bei den Kerbfallkategorien in Tabelle 8.8 und Tabelle 8.9 ein anderes Nachweisformat angegeben ist.

(4) Wenn keine Angaben zu $\Delta\sigma_{E,2}$ oder $\Delta\tau_{E,2}$ vorliegen, darf der Nachweis nach Anhang A erfolgen.

ANMERKUNG 1 Die in Anhang A dargestellten Regelungen für Längsspannungsschwingspiele \boxed{AC} können auch analog für Schubspannungsschwingspiele \boxed{AC} verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Hinweise zur Anwendung von Anhang A dürfen im Nationalen Anhang gegeben werden.

Tabelle 8.1 — Ungeschweißte Bauteile und Anschlüsse mit mechanischen Verbindungsmitteln

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
160	<p>ANMERKUNG Der Kerbfall 160 ist der höchst mögliche; kein Kerbfall kann bei irgendeiner Anzahl an Spannungsschwingspielen eine höhere Ermüdungsfestigkeit erreichen.</p>	<p>AC Gewalzte oder gepresste Erzeugnisse: AC</p> <p>1) AC Bleche und Flachstähle mit gewalzten Kanten; AC</p> <p>2) AC Walzprofile mit gewalzten Kanten; AC</p> <p>3) Nahtlose rechteckige oder runde Hohlprofile.</p>	<p>Kerbfälle 1) bis 3): Scharfe Kanten, Oberflächen- und Walzfehler sind durch Schleifen zu beseitigen und ein nahtloser Übergang herzustellen.</p>
140		<p>Gescherte oder brenngeschnittene Bleche:</p> <p>4) Maschinell brenngeschnittener Werkstoff mit nachträglicher mechanischer Bearbeitung</p> <p>5) Maschinell brenngeschnittener Werkstoff mit seichten und regelmäßigen Brennriefen oder von Hand brenngeschnittener Werkstoff mit nachträglicher mechanischer Bearbeitung.</p> <p>Maschinell brenngeschnittener Werkstoff der Schnittqualität entsprechend EN 1090.</p>	<p>4) Alle sichtbaren Randkerben sind zu beseitigen, Schnittflächen zu überschleifen und Kanten zu brechen.</p> <p>Riefen infolge mechanischer Bearbeitung (z. B. Schleifen) müssen parallel zu den Spannungen verlaufen.</p> <p>Kerbfälle 4) und 5): Einspringende Ecken sind durch Schleifen (Neigung $\leq 1/4$) zu bearbeiten oder durch einen entsprechenden Spannungskonzentrationsfaktor zu berücksichtigen keine Ausbesserungen durch Verfüllen mit Schweißgut</p>
125		<p>6) und 7) AC Gewalzte oder gepresste Erzeugnisse entsprechend der Kerbfälle 1), 2), 3) AC</p>	<p>Kerbfälle 6) und 7): $\Delta\tau$ berechnet nach: $\tau = \frac{V S(t)}{I t}$</p>
Für Kerbfall 1–5 ist bei Einsatz von wetterfestem Stahl der nächsttiefere Kerbfall zu verwenden.			
112		<p>8) Symmetrische zweischnittige Verbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben.</p> <p>8) Symmetrische zweischnittige Verbindung mit vorgespannten Injektionsschrauben</p>	<p>8) $\Delta\sigma$ ist am Bruttoquerschnitt zu ermitteln.</p> <p>8) ... Bruttoquerschnitt ...</p>
90		<p>9) Zweischnittige Verbindung mit Passschrauben.</p> <p>9) Zweischnittige Verbindung mit nicht vorgespannten Injektionsschrauben.</p> <p>10) Einschnittige Verbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben.</p>	<p>9) ... Nettoquerschnitt ...</p> <p>9) ... Nettoquerschnitt ...</p> <p>10) ... Bruttoquerschnitt ...</p>
		<p>10) Einschnittige Verbindung mit vorgespannten Injektionsschrauben.</p> <p>11) Bauteile mit Löchern unter Biegung und Normalkraft.</p>	<p>10) ... Bruttoquerschnitt ...</p> <p>10) ... Nettoquerschnitt ...</p> <p>11) ... Nettoquerschnitt ...</p>
		<p>11) Bauteile mit Löchern unter Biegung und Normalkraft.</p> <p>12) Einschnittige Verbindung mit Passschrauben.</p>	<p>11) ... Nettoquerschnitt ...</p> <p>12) ... Nettoquerschnitt ...</p>
80		<p>12) Einschnittige Verbindung mit nicht vorgespannten Injektionsschrauben.</p> <p>13) Einschnittige oder symmetrische zweischnittige Verbindung mit Lochspiel und nicht vorgespannten Schrauben. Keine Lastumkehr.</p>	<p>12) ... Nettoquerschnitt ...</p> <p>12) ... Nettoquerschnitt ...</p> <p>13) ... Nettoquerschnitt ...</p>
50		<p>13) Einschnittige oder symmetrische zweischnittige Verbindung mit Lochspiel und nicht vorgespannten Schrauben. Keine Lastumkehr.</p>	<p>13) ... Nettoquerschnitt ...</p>

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 8.1 (fortgesetzt)

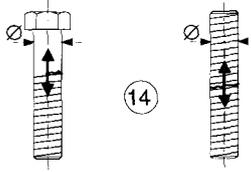
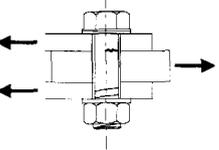
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
50	<p>Größenabhängigkeit für $\phi > 30$ mm: $k_s = (30/\phi)^{0,25}$</p> 	<p>14) Schrauben und Gewindestangen mit gerolltem oder geschnittenen Gewinde unter Zug. Bei großen Durchmessern (Ankerschrauben) muss der Größeneffekt mit k_s berücksichtigt werden.</p>	<p>14) $\Delta\sigma$ ist am Spannungsquerschnitt der Schraube zu ermitteln. Biegung und Zug infolge Abstützkräften sowie weitere Biegespannungen (z. B. sekundäre Biegespannungen) sind zu berücksichtigen. Bei vorgespannten Schrauben darf die reduzierte Spannungsschwingbreite berücksichtigt werden.</p>
100 $m=5$		<p>Schrauben in ein- oder zweischnittigen Scher-Lochleibungsverbindungen (Gewinde nicht in der Scherfläche) 15) – Passschrauben – Schrauben ohne Lastumkehr (Schraubengüten 5.6, 8.8 oder 10.9)</p>	<p>15) $\Delta\tau$ ist am Schaftquerschnitt zu ermitteln.</p>

Tabelle 8.2 — Geschweißte zusammengesetzte Querschnitte

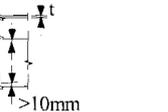
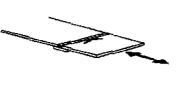
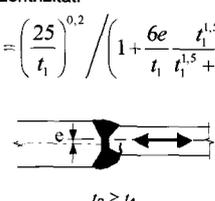
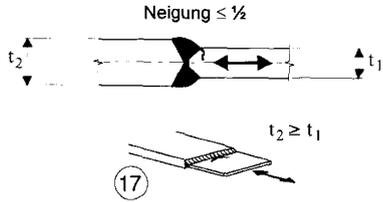
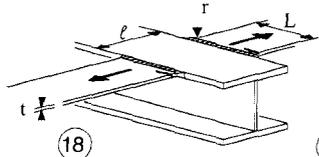
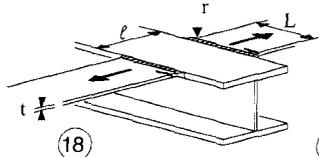
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
125		Durchgehende Längsnähte: 1) $\overline{\text{AC}}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert $\overline{\text{AC}}$ beidseitig durchgeschweißte Nähte. 2) $\overline{\text{AC}}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte $\overline{\text{AC}}$ Kehlnähte. Die Enden von aufgeschweißten Gurtplatten sind gem. Kerbfall 6) oder 7) in Tabelle 8.5 nachzuweisen.	Kerbfälle 1) und 2): Es dürfen keine Schweißansatzstellen vorhanden sein, ausgenommen bei Durchführung einer Reparatur mit anschließender Überprüfung der Reparaturschweißung.
112		3) $\overline{\text{AC}}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte $\overline{\text{AC}}$ Doppelkehlnähte oder beidseitig durchgeschweißte Nähte, beide mit Ansatzstellen. 4) $\overline{\text{AC}}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert $\overline{\text{AC}}$ einseitig durchgeschweißte Naht mit nicht unterbrochener Schweißbadsicherung, aber ohne Ansatzstellen.	4) Weist dieser Kerbfall Ansatzstellen auf, ist er der Kerbgruppe 100 zuzuordnen.
100		5) Handgeschweißte Kehlnähte oder HV-Nähte oder DHV-Nähte. 6) $\overline{\text{AC}}$ Von Hand oder mit Automaten oder voll mechanisiert $\overline{\text{AC}}$ einseitig durchgeschweißte Nähte, speziell bei Hohlkästen.	5) und 6) Zwischen Flansch und Stegblech ist eine sehr gute Passgenauigkeit erforderlich. Dabei ist bei HV-Nähten das Stegblech so anzuschragen, dass die Wurzel ausreichend und ohne Herausfließen von Schweißgut erfasst werden kann.
100		7) $\overline{\text{AC}}$ Ausgebesserte automaten- oder voll mechanisiert geschweißte $\overline{\text{AC}}$ oder handgeschweißte Kehlnähte oder Stumpfnähte nach Kerbfall 1) bis 6).	7) Durch Nachschleifen aller sichtbaren Fehlstellen durch einen Spezialisten sowie einer entsprechenden Überprüfung kann der ursprüngliche Kerbfall wiederhergestellt werden.
80		8) Unterbrochene Längsnähte.	8) $\Delta\sigma$ wird mit der Längsspannung im Flansch berechnet.
71		9) Längsnähte, Kehlnähte oder unterbrochene Nähte mit Freischnitten (kleiner 60 mm). Bei Freischnitten > 60 mm gilt Kerbfall 1) in Tabelle 8.4.	9) $\Delta\sigma$ wird mit der Längsspannung im Flansch berechnet.
125		10) Längsbeanspruchte Stumpfnäht, beidseitig in Lastrichtung blecheben geschliffen, 100 % ZFP.	
112		10) Ohne Schleifen und ohne Ansatzstellen.	
90		10) Mit Ansatzstellen.	
140		11) $\overline{\text{AC}}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte $\overline{\text{AC}}$ Längsnaht in Hohlprofilen ohne Ansatzstellen.	11) $\overline{\text{AC}}$ gestrichener Text $\overline{\text{AC}}$ Wanddicke $t \leq 12,5$ mm
125		11) $\overline{\text{AC}}$ Mit Automaten oder voll mechanisiert geschweißte $\overline{\text{AC}}$ Längsnaht in Hohlprofilen ohne Ansatzstellen.	11) Wanddicke $t > 12,5$ mm
90		11) Mit Ansatzstellen.	

Werden die Kerbfälle 1 bis 11 mit voll mechanisierter Schweißung ausgeführt, gelten die Kerbfallkategorien für Automaten-schweißung.

Tabelle 8.3 — Quer laufende Stumpfnähte

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
112	<p>Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p>	<p><u>Ohne Schweißbadsicherung:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Querstöße in Blechen und Flachstählen. 2) Vor dem Zusammenbau geschweißte Flansch- und Stegstöße in geschweißten Blechträgern. 3) Vollstöße von Walzprofilen mit Stumpfnähten ohne Freischnitte. 4) Querstöße in Blechen oder Flachstählen, abgeschrägt in Breite oder Dicke mit einer Neigung $\leq 1/4$. 	<ul style="list-style-type: none"> – Alle Nähte blechen in Lastrichtung geschliffen. – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließend zu entfernen, Blechränder sind blechen in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung mit ZFP. <p><u>Kerbfall 3):</u> Walzprofile mit denselben Abmessungen ohne Toleranzunterschiede</p>
90	<p>Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p>	<ol style="list-style-type: none"> 5) Querstöße von Blechen oder Flachstählen. 6) Vollstöße von Walzprofilen mit Stumpfnähten ohne Freischnitte. 7) Querstöße von Blechen oder Flachstählen, abgeschrägt in Breite oder Dicke mit einer Neigung $\leq 1/4$. Der Übergang muss kerbfrei ausgeführt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> – Die Nahtüberhöhung muss ≤ 10 % der Nahtbreite und mit verlaufendem Übergang in die Blechoberfläche ausgeführt werden. – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließend zu entfernen, Blechränder sind blechen in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung mit ZFP. <p><u>Kerbfälle 5 und 7:</u> Die Nähte sind in Wannenlage zu schweißen.</p>
90	<p>Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p>	<ol style="list-style-type: none"> 8) Vollstöße von Walzprofilen mit Stumpfnähten mit Freischnitten. 	<ul style="list-style-type: none"> – Alle Nähte blechen in Lastrichtung geschliffen. – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließen zu entfernen, Blechränder sind blechen in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung mit ZFP. – Walzprofile mit denselben Abmessungen ohne Toleranzunterschiede
80	<p>Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$</p>	<ol style="list-style-type: none"> 9) Querstöße in geschweißten Blechträgern ohne Freischnitte. 10) Vollstöße von Walzprofilen mit Stumpfnähten mit Freischnitten. 11) Querstöße in Blechen, Flachstählen, Walzprofilen oder geschweißten Blechträgern. 	<ul style="list-style-type: none"> – Die Nahtüberhöhung muss ≤ 20 % der Nahtbreite und mit verlaufendem Übergang in die Blechoberfläche ausgeführt werden. – keine Schweißnahtnachbehandlung – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließen zu entfernen, Blechränder sind blechen in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung mit ZFP. <p><u>Kerbfall 10:</u> Die Nahtüberhöhung muss ≤ 10 % der Nahtbreite und mit verlaufendem Übergang in die Blechoberfläche ausgeführt werden.</p>
63		<ol style="list-style-type: none"> 12) Querstöße in Walzquerschnitten (ohne Freischnitt). 	<ul style="list-style-type: none"> – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließen zu entfernen, Blechränder sind blechen in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung

Tabelle 8.3 (fortgesetzt)

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
36		13) Einseitig geschweißte Stumpfnähte.	13) Ohne Schweißbadsicherung.
71	Blechdickenabh. f. $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$ 	13) Einseitig geschweißte Stumpfnähte mit Inspektion der Wurzel-lage durch ZFP.	
71	Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$  	<u>Mit Schweißbadsicherung:</u> 14) Querstöße 15) Querstöße von Blechen, abgeschragt in Breite oder Dicke mit einer Neigung $\leq 1/4$. Auch gültig für gekrümmte Bleche.	<u>Kerbfälle 14) und 15):</u> Die Kehlnaht, mit der die Schweißbadsicherung angeschweißt wird, muss mindestens 10 mm von den Rändern des beanspruchten Bleches entfernt enden. Die Heftnaht muss innerhalb der späteren Stumpfnah liegen.
50	Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm: $k_s = (25/t)^{0,2}$ 	16) Quernähte mit verbleibender Schweißbadsicherung, abgeschragt in Breite oder Dicke mit einer Neigung $\leq 1/4$. Auch gültig für gekrümmte Bleche.	16) Wenn eine gute Passgenauigkeit nicht sichergestellt ist oder wenn die Anschlussnähte der Wurzelunterlage ≤ 10 mm von den Blechrändern entfernt enden.
71	Blechdickenabhängigkeit für $t > 25$ mm und/oder Berücksichtigung der Exzentrizität: $k_s = \left(\frac{25}{t_1}\right)^{0,2} \left/ \left(1 + \frac{6e}{t_1} \frac{t_1^{1,5}}{t_1^{1,5} + t_2^{1,5}}\right)\right.$ 	 Neigung $\leq 1/2$ $t_2 \geq t_1$	17) Quernaht zwischen Blechen unterschiedlicher Dicke ohne Übergang und ohne Exzentrizität.
AC 40 AC		18) Quernaht an sich kreuzenden Gurten	<u>Kerbfälle 18) und 19):</u> Die Ermüdungsfestigkeit senkrecht zur Lastrichtung ist nach Tabelle 8.4, Kerbfall 4 oder 5 nachzuweisen.
wie 4 in Tabelle 8.5		19) Mit Übergang entsprechend Tabelle 8.4, Kerbfall 4.	

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 8.4 — Angeschweißte Anschlüsse und Steifen

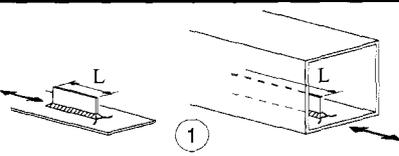
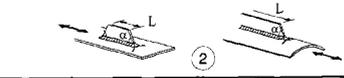
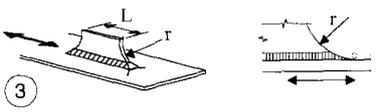
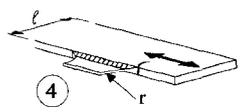
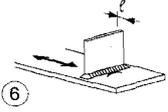
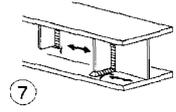
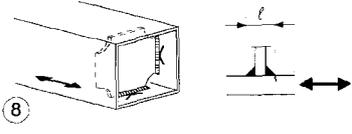
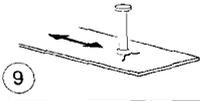
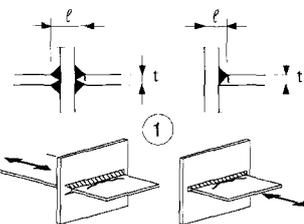
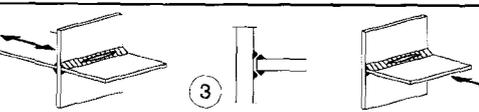
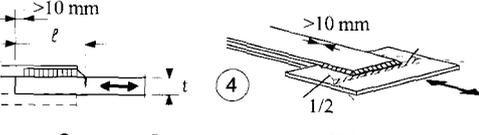
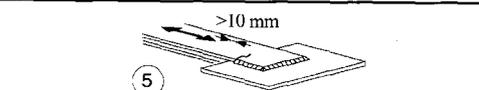
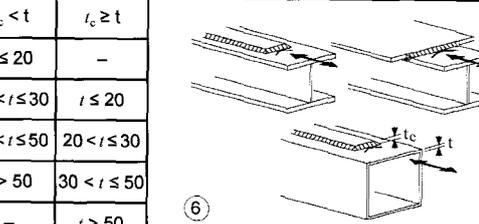
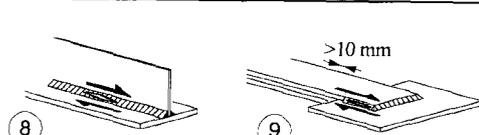
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen	
80	$L \leq 50 \text{ mm}$		Längsrippen: 1) Die Kerbgruppe hängt von der Länge L der Längsrippe ab. Die Dicke der Steifen muss kleiner sein als ihre Höhe, sonst siehe Tabelle 8.5, Kerbfall 5 oder 6.	
71	$50 < L \leq 80 \text{ mm}$			
63	$80 < L \leq 100 \text{ mm}$			
56	$L > 100 \text{ mm}$			
71	$L > 100 \text{ mm}$ $\alpha < 45^\circ$		2) Längsrippen an ebenen oder gekrümmten Blechen	
80	$r > 150 \text{ mm}$		3) Längsgeschweißte Anschlussbleche mit Ausrundung an ebenen oder gekrümmten Blechen, Endverstärkung der Kehlnaht (voll durchgeschweißt); Länge der Verstärkungsnah $> r$.	Kerbfälle 3) und 4): Am Knotenblech muss ein gleichmäßiger Übergang hergestellt werden, und zwar vor dem Schweißen mit dem Radius r durch maschinelle Bearbeitung oder Brennschneiden und nach dem Schweißen durch Schleifen der Schweißzone parallel zur Lastrichtung, so dass der Schweißnahtübergang der Quernaht vollständig entfernt ist.
90	$\frac{r}{\ell} \geq \frac{1}{3}$ <small>AC</small> oder $r > 150 \text{ mm}$		4) An den Blech- oder Trägerflanschrändern angeschweißtes Knotenblech.	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{\ell} \leq \frac{1}{3}$ <small>AC</small>			
50	$\frac{r}{\ell} < \frac{1}{6}$ <small>AC</small>			
40			5) Ohne Nachbehandlung, ohne Ausrundungsradius.	
80	$\ell \leq 50 \text{ mm}$		Quersteifen: 6) Quersteifen auf Blechen 7) Vertikalsteifen in Walz- oder geschweißten Blechträgern.	Kerbfälle 6) und 7): Die Schweißnahtenden sind sorgfältig zu schleifen, um Einbrandkerben zu entfernen.
71	$50 < \ell \leq 80 \text{ mm}$			
71	$50 < \ell \leq 80 \text{ mm}$		8) Am Steg oder Flansch angeschweißte Querschotte in Kastenträgern. Nicht für Hohlprofile. Die Kerbfälle gelten auch für Ringsteifen.	7) Wenn die Steife, Fall 7) links, im Stegblech abschließt, wird $\Delta\sigma$ mit den Hauptspannungen berechnet.
80			9) Einfluss geschweißter Kopfbolzendübel auf den Grundwerkstoff.	

Tabelle 8.5 — Geschweißte Stöße

Kerbfall	Konstruktionsdetail		Beschreibung	Anforderungen
80	$l < 50$	alle t	 <p>Kreuz- und T-Stöße: 1) Riss am Schweißnahtübergang in voll durchgeschweißten Stumpfnähten und allen nicht durchgeschweißten Nähten.</p>	<p>1) Nach Prüfung frei von Diskontinuitäten und Exzentrizitäten außerhalb der Toleranzen nach EN 1090.</p> <p>2) $\Delta\sigma$ ist mit korrigierten Nennspannungsschwingbreiten zu ermitteln.</p> <p>3) Es sind 2 Ermüdungsnachweise erforderlich: zum einen der Nachweis gegen Riss der Schweißnahtwurzel mit Spannungen nach Abschnitt 5 mit Kerbgruppe 36* für σ_w und Kerbgruppe 80 für τ_w, zum anderen der Nachweis des Nahtüberganges mit Bestimmung von $\Delta\sigma$ in den belasteten Blechen.</p>
71	$50 < l \leq 80$	alle t		
63	$80 < l \leq 100$	alle t		
56	$100 < l \leq 120$	alle t		
56	$l > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$ $l > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$		
40	$l > 300$	$t > 50$		
wie Kerbfall 1 in Tabelle 8.5	<p>verformbares Anschlussblech</p> 		<p>2) Riss am Schweißnahtübergang, ausgehend von der Kante des Anschlussbleches, mit Spannungskonzentrationen an den Schweißnahtenden infolge Blechverformungen.</p>	<p><u>Kerbfälle 1) bis 3):</u></p> <p>Die Ausmittigkeit der belasteten Bleche muss $\leq 15\%$ der Dicke des Zwischenblechs sein.</p>
36*			<p>3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005. <u>AE</u></p>	
wie Kerbfall 1 in Tabelle 8.5	 <p>Spannungsfläche im Hauptblech: Neigung = 1/2</p>		<p><u>3) Wurzelriss bei nicht voll durchgeschweißten T-Stößen oder Kehlnähten oder in T-Stößen nach Bild 4.6 in EN 1993-1-8:2005. <u>AE</u></u></p> <p><u>4) Anschlüsse mit überlappenden Bauteilen:</u> 4) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.</p>	<p>4) Berechnung von $\Delta\sigma$ im Hauptblech mit der in der Skizze gezeigten Fläche.</p> <p>5) Berechnung von $\Delta\sigma$ in den überlappenden Laschen.</p> <p><u>Kerbfälle 4) und 5):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Schweißnahtenden müssen ≥ 10 mm vom Blechende entfernt sein. - Ein Schubabriss in der Schweißnaht ist mit Kerbfall 8) zu überprüfen.
45*			<p>5) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.</p>	
56*	$l_c < t$	$l_c \geq t$		<p>6) Wenn die Lamellen breiter sind als der Flansch, ist eine Stirnnaht, die sorgfältig ausgeschliffen wird, um Einbrandkerben zu entfernen, erforderlich.</p> <p>Die minimale Lamellenlänge beträgt 300 mm.</p> <p>Für kürzere Lamellen siehe Abstufung für Kerbfall 1.</p>
50	$t \leq 20$	-		
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
36	-	$t > 50$		
56	<p>verstärkte Stirnnaht</p> 		<p>7) Gurtlamellen auf Walzprofilen und geschweißten Blechträgern.</p> <p>5) l_c ist die Minillänge der Verstärkungsnaht.</p>	<p>7) Die Stirnnaht ist blecheben zu schleifen. Zusätzlich ist für $l_c > 20$ mm die Lamelle mit einer Neigung $< 1/4$ auszubilden.</p>
80 $m=5$			<p>8) Durchgehende Kehlnähte, die einen Schubfluss übertragen, wie z. B. Halskehlnähte zwischen Stegblech und Flansch bei geschweißten Blechträgern.</p> <p>9) Mit Kehlnähten geschweißte Laschenverbindung.</p>	<p>8) $\Delta\tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen zu berechnen.</p> <p>9) $\Delta\tau$ ist auf die Schweißnahtdicke bezogen unter Berücksichtigung der Gesamtlänge der Schweißnaht zu berechnen. Schweißnahtenden müssen ≥ 10 mm vom Blechende entfernt sein.</p>

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 8.5 (fortgesetzt)

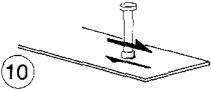
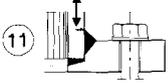
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
siehe EN 1994-2 (90 $m=8$)		<u>Schweißnähte unter Querkraftbeanspruchung:</u> 10) Kopfbolzendübel in Verbundwirkung	10) $\Delta\tau$ wird am Nennquerschnitt des Dübels ermittelt.
71		11) Ringflanschanschluss mit zu 80 % durchgeschweißten Stumpfnähten.	11) Der Schweißnahtübergang ist zu überschleifen. $\Delta\sigma$ wird am Rohrquerschnitt berechnet.
40		12) Ringflanschanschluss mit Kehlnähten	12) $\Delta\sigma$ wird am Rohrquerschnitt berechnet.

Tabelle 8.6 — Hohlprofile ($t \leq 12,5$ mm)

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
71		1) Ringflanshanschluss mit zusammengedrücktem Endquerschnitt, Stumpfnah (X-Naht).	1) $\Delta\sigma$ ist am Rohrquerschnitt zu berechnen. Rohrdurchmesser <200 mm
71		2) Rohr-Blech-Anschluss, Rohr geschlitzt und an das Blech geschweißt, Loch am Schlitzende.	2) $\Delta\sigma$ ist am Rohrquerschnitt zu berechnen. Schürbe in der Schweißnaht sind nach Tabelle 8.5, Kerbfall 8) nachzuweisen.
63			
71		<u>Quernähte:</u> 3) Stöße von Rundhohlprofilen mit durchgeschweißten Stumpfnähten.	<u>Kerbfälle 3) und 4):</u> - Nahtüberhöhung $\leq 10\%$ der Schweißnahtdicke mit verlaufendem Übergang in das Grundmaterial. - In Wannennlage geschweißte Nähte und nachweisbar frei von erkennbaren Fehlern außerhalb der Toleranzen nach EN 1090. - Konstruktionsdetails mit $t > 8$ mm dürfen 2 Kerbfalkategorien höher eingestuft werden.
56		4) Stöße von Rechteckhohlprofilen mit durchgeschweißten Stumpfnähten.	
71		<u>Nicht tragende Schweißnähte:</u> 5) Mit Kehlnähten an ein anderes Bauteil angeschweißte runde oder rechteckige Hohlprofile.	5) - Nicht tragende Schweißnähte. - Querschnittsbreite parallel zur Spannungsrichtung $l \leq 100$ mm. - für andere Fälle siehe Tabelle 8.4.
50		<u>Tragende Schweißnähte:</u> 6) Kopfplattenstoß von Rundhohlprofilen mit durchgeschweißten Nähten.	<u>Kerbfälle 6) und 7):</u> - Tragende Schweißnähte. - Schweißnahtinspektion und nachweisbar frei von erkennbaren Fehlern außerhalb der Toleranzen nach EN 1090. - Konstruktionsdetails mit Wanddicken $t > 8$ mm dürfen eine Kerbfalkategorie höher eingestuft werden.
45		7) Kopfplattenstoß von Rechteckhohlprofilen mit durchgeschweißten Nähten.	
40		8) Kopfplattenstoß von Rundhohlprofilen mit Kehlnähten.	<u>Kerbfälle 8) und 9):</u> - Tragende Schweißnähte. - Wanddicken $t \leq 8$ mm.
36		9) Kopfplattenstoß von Rechteckhohlprofilen mit Kehlnähten.	

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 8.7 — Geschweißte Knoten von Fachwerkträgern

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Anforderungen
90 $m = 5$	<p>Anschluss mit Spalt: Kerbfetail 1): K- und N-Knoten, Rundhohlprofile:</p>	<p>Kerbfälle 1) und 2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es sind getrennte Nachweise für Gurte und Diagonalen zu führen. - Bei Zwischenwerten von t_0/t_i ist zwischen den Kerbgruppen linear zu interpolieren. - Bei Diagonalen mit $t \leq 8$ mm sind Kehlnähte erlaubt. - t_0 und $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ - $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_0/b_0 \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_0/d_0 \leq 1,0$ - $b_0 \leq 200$ mm - $d_0 \leq 300$ mm - $-0,5h_0 \leq e_{vp} \leq 0,25h_0$ - $-0,5d_0 \leq e_{vp} \leq 0,25d_0$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_0$ oder $\leq 0,02d_0$ <p>[$e_{o/p}$: Ausmittigkeit rechtwinklig zur Verbandsebene]</p>
45 $m = 5$	<p>$t_0/t_i = 1,0$</p>	
71 $m = 5$	<p>Anschluss mit Spalt: Kerbfetail 2): K- und N-Knoten, Rechteckprofile:</p>	<p>Kerbfälle 2):</p> <p>$0,5(b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1(b_0 - b_i)$ und $g \geq 2t_0$</p>
36 $m = 5$	<p>$t_0/t_i = 1,0$</p>	
71 $m = 5$	<p>Anschluss mit Überlappung: Kerbfetail 3): K-Knoten, Rechteck- oder Rundhohlprofile:</p>	<p>Kerbfälle 3) und 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> - 30 % \leq Überlappung \leq 100 % - Überlappung = $(g/p) \times 100$ % - Es sind getrennte Nachweise für Gurte und Diagonalen zu führen. - Bei Zwischenwerten von t_0/t_i ist zwischen den Kerbgruppen linear zu interpolieren.. - Bei Diagonalen mit $t \leq 8$ mm sind Kehlnähte erlaubt. - t_0 und $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ - $d_0/t_0 \cdot t_0/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_0/b_0 \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_0/d_0 \leq 1,0$ - $b_0 \leq 200$ mm - $d_0 \leq 300$ mm - $-0,5h_0 \leq e_{vp} \leq 0,25h_0$ - $-0,5d_0 \leq e_{vp} \leq 0,25d_0$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_0$ oder $\leq 0,02d_0$ <p>[$e_{o/p}$: Ausmittigkeit rechtwinklig zur Verbandsebene]</p>
56 $m = 5$	<p>$t_0/t_i = 1,0$</p>	
71 $m = 5$	<p>Anschluss mit Überlappung: Kerbfetail 4): N-Knoten, Rechteck- oder Rundhohlprofile:</p>	<p>Definition von p und q:</p>
50 $m = 5$	<p>$t_0/t_i = 1,0$</p>	

Tabelle 8.8 — Orthotrope Platten mit Hohlrippen

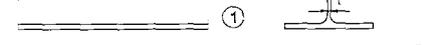
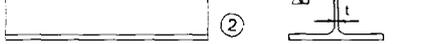
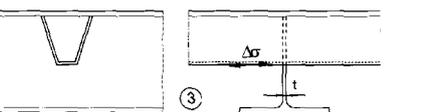
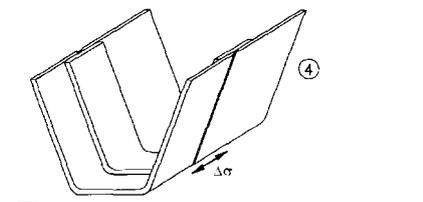
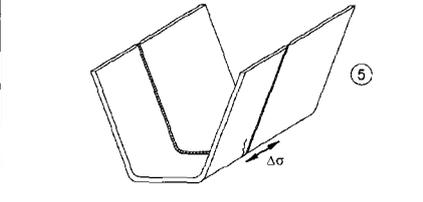
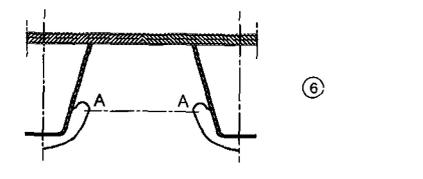
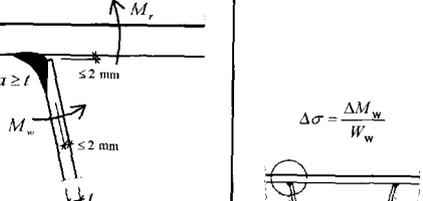
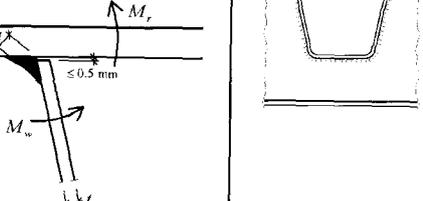
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
80	$t \leq 12 \text{ mm}$ 	1) Durchgehende Längsrippe mit Ausschnitt im Querträger.	1) Der Nachweis ist mit der Längsspannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ in der Rippe zu führen.
71	$t > 12 \text{ mm}$ 		
80	$t \leq 12 \text{ mm}$ 	2) Durchgehende Längsrippe ohne Ausschnitt im Querträger.	2) Der Nachweis ist mit der Längsspannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ in der Rippe zu führen.
71	$t > 12 \text{ mm}$ 		
36		3) Längsrippen am Querträger stoßen.	3) Der Nachweis ist mit der Längsspannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ in der Rippe zu führen.
71		4) Rippenstoß, voll durchgeschweißte Stumpfnah mit Badsicherung.	4) Der Nachweis ist mit der Längsspannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ in der Rippe zu führen. [AC] Die Haftnah der Badsicherung ist nur innerhalb der späteren Stumpfnah zulässig. [AC]
112	wie 1, 2, 4 in Tabelle 8.3 	5) Von beiden Seiten voll durchgeschweißte Stumpfnah ohne Badsicherung.	5) Der Nachweis ist mit der Längsspannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ in der Rippe zu führen. [AC] gestrichener Text [AC]
90	wie 5, 7 in Tabelle 8.3		
80	wie 9, 11 in Tabelle 8.3		
71		6) Kritischer Schnitt im Querträgersteg mit Ausschnitten.	6) Der Nachweis ist mit der Spannungsschwingbreite im kritischen Schnitt unter Berücksichtigung von Vierendeel Effekten zu führen. ANMERKUNG Wird die Spannungsschwingbreite nach EN 1993-2, 9.4.2.2(3) ermittelt, darf Kerbfall 112 verwendet werden.
71	 $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$	<u>Naht zwischen Deckblech und trapez- oder V-förmiger Rippe:</u> 7) Versenkte Naht mit $a \geq t$	7) Der Nachweis ist mit der Spannungsschwingbreite infolge Blechbiegung zu führen. W_w ist mit t zu berechnen.
50		8) Kehlnaht oder nicht voll durchgeschweißte Naht, wenn nicht durch Kerbfall 7) abgedeckt.	8) Der Nachweis ist mit der Spannungsschwingbreite infolge Biegung in der Schweißnaht oder im Blech zu führen. W_w ist mit a zu berechnen.

Tabelle 8.9 — Orthotrope Platten mit offenen Rippen

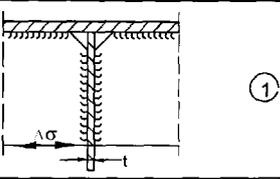
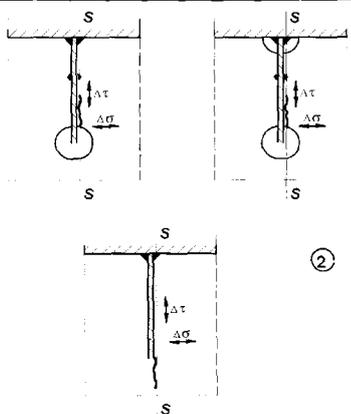
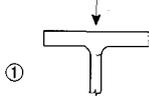
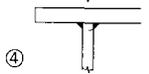
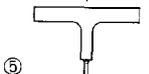
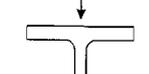
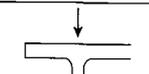
Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
80	$t \leq 12 \text{ mm}$		<p>1) Anschluss einer Längsrippe an den Querträger.</p> <p>1) Der Nachweis ist mit der Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma$ in der Rippe infolge Biegung zu führen.</p>
71	$t > 12 \text{ mm}$		
56		<p>2) Anschluss einer durchgehenden Längsrippe an den Querträger.</p> $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_s}{W_{net,s}}$ $\Delta\tau = \frac{\Delta V_s}{A_{w,net,s}}$ <p>Spannungsschwingspiele zwischen den Längsrippen sind ebenfalls entsprechend EN 1993-2 nachzuweisen.</p>	<p>2) Der Nachweis ist mit der Kombination der Spannungsschwingbreite $\Delta\tau$ infolge Querkraft und der Spannungsschwingbreite infolge Biegung $\Delta\sigma$ im Querträgersteg mit einer äquivalenten Spannungsschwingbreite zu führen:</p> $\Delta\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma + \sqrt{\Delta\sigma^2 + 4\Delta\tau^2} \right)$

Tabelle 8.10 — Obergurt-Stegblech Anschlüsse von Kranbahnträgern

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
160		1) Gewalzte I- oder H-Querschnitte.	1) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ im Steg infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.
71		2) Voll durchgeschweißter T-Stumpfstoß.	2) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ im Steg infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.
36*		3) Nicht voll durchgeschweißter T-Stumpfstoß oder wirksam voll durchgeschweißter T-Stumpfstoß in Übereinstimmung mit EN 1993-1-8	3) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ in der Schweißnaht infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.
36*		4) Kehlnähte	4) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ in der Schweißnaht infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.
71		5) Gurt aus einem T-Profil mit voll durchgeschweißtem T-Stumpfstoß.	5) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ im Steg infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.
36*		6) Gurt aus einem T-Profil mit nicht voll durchgeschweißtem T-Stumpfstoß oder wirksam voll durchgeschweißtem T-Stumpfstoß in Übereinstimmung mit EN 1993-1-8	6) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ in der Schweißnaht infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.
36*		7) Gurt aus einem T-Profil mit Kehlnähten.	7) Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ in der Schweißnaht infolge vertikaler Druckkräfte aus Radlasteinleitung.

Anhang A **(normativ)**

Bestimmung von ermüdungsrelevanten Lastkenngrößen und Nachweisformate

A.1 Bestimmung von Belastungszyklen

(1) Typische Last-Zeit-Verläufe können aus Erfahrungswerten ähnlicher Lastsituationen angesetzt werden, solange diese eine konservative Abschätzung aller erwarteten Belastungszyklen innerhalb der Nutzungsdauer darstellen, siehe Bild A.1 a).

A.2 Spannungszeitverlauf am Kerbdetail

(1) Aus den Belastungszyklen sollte ein Spannungszeitverlauf am Kerbdetail unter Berücksichtigung der Art und des Verlaufs der Einflusslinien sowie dynamischer Vergrößerungsfaktoren ermittelt werden, siehe Bild A.1 b).

(2) Spannungszeitverläufe dürfen auch auf der Basis von Messungen an ähnlichen Tragwerken oder durch eine dynamische Berechnung des Tragwerkes bestimmt werden.

A.3 Zählverfahren

(1) Spannungszeitverläufe können durch folgende Zählverfahren bestimmt werden:

- Rainflow-Methode;
- Reservoir-Methode, siehe Bild A.1 c).

Hierbei werden folgende Parameter bestimmt:

- die Spannungsschwingbreiten sowie deren Anzahl;
- die Mittelspannung, falls der Mittelspannungseinfluss zu berücksichtigen ist.

A.4 Spektrum der Spannungsschwingbreiten

(1) Ein Spektrum der Spannungsschwingbreiten wird bestimmt, indem die Spannungsschwingbreiten mit der zugehörigen Anzahl der Schwingspiele in absteigender Reihenfolge geordnet werden, siehe Bild A.1 d).

(2) Bei der Bestimmung der Spektren der Spannungsschwingbreiten dürfen Spitzenwerte der Spannungsschwingbreiten vernachlässigt werden, wenn diese weniger als 1 % der Gesamtschädigung ausmachen; dies gilt auch für kleine Spannungsschwingbreiten, wenn diese unterhalb des Schwellenwertes der Ermüdungsfestigkeit liegen.

(3) Spektren der Spannungsschwingbreiten können entsprechend ihrer Völligkeit standardisiert werden, z. B. mit den normierten Achsen $\Delta\sigma = 1,0$ und $\Sigma n = 1,0$.

A.5 Anzahl der Spannungsschwingspiele bis zum Versagen

(1) Werden die Bemessungsspektren der Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_i$, multipliziert mit γ_{Ff} und die Ermüdungsfestigkeitswerte $\Delta\sigma_C$, dividiert durch γ_{Mf} zur Bestimmung der Lebensdauerwerte N_{Ri} verwendet, so darf die Schadenakkumulation wie folgt durchgeführt werden:

$$D_d = \sum_i^n \frac{n_{Ei}}{N_{Ri}} \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

n_{Ei} die Anzahl der Spannungsschwingspiele, bezogen auf den Streifen i mit der Spannungsschwingbreite $\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i$;

N_{Ri} die Lebensdauer als Anzahl der Schwingspiele, bezogen auf die Bemessungs-Wöhlerlinie $\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf} - N_R$ für die Spannungsschwingbreite $\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i$.

(2) Mit der Annahme gleicher Schädigung D_d darf das Bemessungsspektrum der Spannungsschwingbreiten in ein beliebiges äquivalentes Bemessungsspektrum der Spannungsschwingbreiten umgerechnet werden. So kann z. B. nach der Umwandlung in eine äquivalente konstante Spannungsschwingbreite eine weitere Transformation in eine äquivalente Ermüdungslast Q_e , abhängig von der Anzahl der Spannungsschwingspiele $n_{\max} = \sum n_i$, oder in $Q_{E,2}$ mit $N_C = 2 \times 10^6$ Spannungsschwingspielen erfolgen.

A.6 Nachweisformate

(1) In der Regel ist der Ermüdungsnachweis auf der Grundlage der Schadensakkumulation erbracht, wenn

— bei Anwendung der Schadensakkumulation:

$$D_d \leq 1,0 \quad (\text{A.2})$$

— bei der Anwendung der Spannungsschwingbreite:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma_{E,2} \leq \sqrt[m]{D_d} \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist $m = 3$.

DIN EN 1993-1-9:2010-12
EN 1993-1-9:2005 + AC:2009 (D)

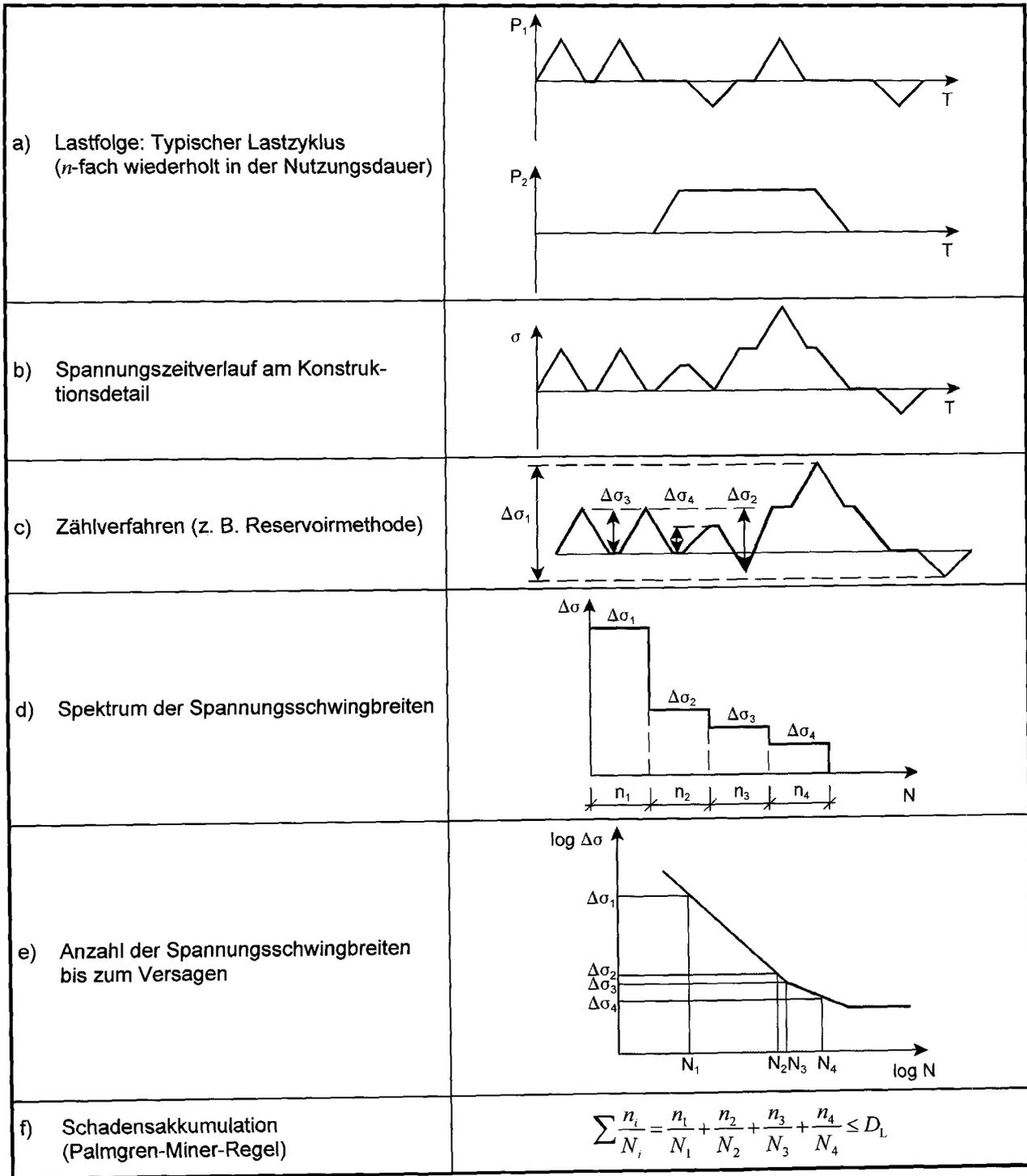


Bild A.1 — Schadensakkumulation

Anhang B (normativ)

Ermüdungsfestigkeit bei Verwendung von Strukturspannungen (Kerbspannungen)

(1) Die Kerbfälle für die Anwendung des Verfahrens mit Strukturspannungen (Kerbspannungen) sind in Tabelle B.1 für folgende Orte der Rissbildung zusammengestellt:

- Nahtübergang von Stumpfnähten;
- Nahtübergang von Kehlnähten an Anschlüssen;
- Nahtübergang von Kehlnähten in Kreuzstößen.

Tabelle B.1 — Kerbfälle bei Verwendung von Strukturspannungen (Kerbspannungen)

Kerbfall	Konstruktionsdetail	Beschreibung	Anforderungen
112		1) Voll durchgeschweißte Stumpfnäht.	1) – Alle Nähte blecheben in Lastrichtung geschliffen. – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließen zu entfernen, Blechränder sind blecheben in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung mit ZFP. – Für Exzentrizitäten siehe Anmerkung 1 unten.
100		2) Voll durchgeschweißte Stumpfnäht.	2) – Nähte nicht blecheben geschliffen – Schweißnaht- und -auslaufstücke sind zu verwenden und anschließen zu entfernen, Blechränder sind blecheben in Lastrichtung zu schleifen. – Beidseitige Schweißung. – Für Exzentrizitäten siehe Anmerkung 1 unten.
100		3) Kreuzstoß mit voll durchgeschweißten K-Nähten.	3) – Anstellwinkel $\leq 60^\circ$. – Für Exzentrizitäten siehe Anmerkung 1 unten.
100		4) Unbelastete Kehlnähte.	4) Anstellwinkel $\leq 60^\circ$, siehe auch Anmerkung 2.
100		5) Enden von Anschlussblechen und Längssteifen.	5) Anstellwinkel $\leq 60^\circ$, siehe auch Anmerkung 2
100		6) Enden von Gurtlamellen und ähnliche Anschlüsse.	6) Anstellwinkel $\leq 60^\circ$, siehe auch Anmerkung 2
90		7) Kreuzstöße mit belasteten Kehlnähten.	7) – Anstellwinkel $\leq 60^\circ$. – Für Exzentrizitäten siehe Anmerkung 1 unten. – siehe auch Anmerkung 2

ANMERKUNG 1 In Tabelle B.1 sind keine Exzentrizitäten enthalten; diese müssen bei der Spannungsermittlung explizit berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Tabelle B.1 gilt nicht für Rissbildung an der Nahtwurzel, gefolgt von Risswachstum durch die Naht.

ANMERKUNG 3 Anstellwinkel der Schweißnaht ist in EN 1090 definiert.

