

DIN EN 13001-3-1

ICS 53.020.20

Ersatz für
DIN EN 13001-3-1:2013-12

**Krane –
Konstruktion allgemein –
Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken;
Deutsche Fassung EN 13001-3-1:2012+A2:2018**

Cranes –
General Design –
Part 3-1: Limit States and proof competence of steel structure;
German version EN 13001-3-1:2012+A2:2018

Appareils de levage à charge suspendue –
Conception générale –
Partie 3-1: Etats limites et vérification d'aptitude des charpentes en acier;
Version allemande EN 13001-3-1:2012+A2:2018

Gesamtumfang 134 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Diese Norm enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Sie beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten EN 13001-3-1:2012+A2:2018.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Arbeitsausschuss NA 060-22-10 AA „Lenkungsausschuss Krane und Hebezeuge“ und Spiegelausschuss NA 060-22-10-22 AK „Konstruktion, Ausrüstungen (SpA CEN/TC 147/WG 2“ im Fachbereich „Krane und Hebezeuge“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Krane und Hebezeuge sowie der Berufsgenossenschaften sind an der Erarbeitung beteiligt.

Diese Norm konkretisiert einschlägige Anforderungen von Anhang I der EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Maschinen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

Ab dem Zeitpunkt ihrer Bezeichnung als Harmonisierte Norm im Amtsblatt der Europäischen Union kann der Hersteller bei ihrer Anwendung davon ausgehen, dass er die von der Norm behandelten Anforderungen der Maschinenrichtlinie eingehalten hat (so genannte Vermutungswirkung).

Für die Anwendung wird darauf hingewiesen, dass unter dem Begriff „Kran“ alle Maschinen zum zyklischen Heben oder zum zyklischen Heben von an Haken oder anderen Lastaufnahmeeinrichtungen hängenden Lasten verstanden werden. Das bedeutet, dass diese Norm auch z. B. für Winden, die diese Definition erfüllen, anzuwenden ist.

Gegenüber der deutschen Fassung der EN 13001-3-1:2012+A1:2013 wurden die folgenden Benennungen korrigiert:

- Anhang D, 3.16: „Spannung in der Platte“ durch „Spannung im Stegbereich“ ersetzt;
- Anhang D, 3.9, 3.10, 3.17: „Schweißnahtkehle“ durch „Schweißnahtwurzel“ ersetzt.

Die im Abschnitt 2 und den Literaturhinweisen zitierten Europäischen Normen sind als DIN EN- bzw. DIN EN ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13001-3-1:2013-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) 4.2.1: es wurden neue Stahlgüter nach EN 10149-2 und nichtrostende Stähle nach EN 10088-2 hinzugefügt;
- b) 5.2.3.3: die Anwendung der Schraubenvorlaststreuung wurde geändert;
- c) 5.2.5: Tabelle 8 wurde geändert, um gleichwertige Werkstoffe für höchstfesten Stahl auszugrenzen;
- d) 6.1: hier wurden spezifische Widerstandsbeiwerte für die Ermüdungsfestigkeit angepasst und die Anforderungen an den Ermüdungsversuch geändert;
- e) 6.5.4: hier wurde die Gleichung zur Beurteilung der kombinierten Wirkung von Normal und Schubspannungen geändert;

- f) Anhang C wurde hinsichtlich der Berechnung von Kehlnähten optimiert;
- g) Anhang D: für die Kerbklassen D.1.1, D.1.2, D.3.29 und D.3.30 wurden die charakteristischen Ermüdungsfestigkeiten geändert.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13001-3-1: 2012-09, 2013-12

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Krane —
Konstruktion allgemein —
Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis
von Stahltragwerken

Cranes —
General Design —
Part 3-1: Limit States and proof competence
of steel structure

Appareils de levage à charge suspendue —
Conception générale —
Partie 3-1: Etats limites et vérification
d'aptitude des charpentes en acier

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 11. Februar 2012 angenommen und schließt Änderung 2 ein, die am 30. Oktober 2017 vom CEN angenommen wurde

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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Abkürzungen	9
4 Allgemeines	12
4.1 Dokumentation	12
4.2 Werkstoffe für Bauteile	13
4.2.1 Werkstoffsorten und Werkstoffgüten	13
4.2.2 Kerbschlagzähigkeit	16
4.3 Schraubverbindungen	17
4.3.1 Schraubenwerkstoffe	17
4.3.2 Allgemeines	17
4.3.3 Schub- und Auflagerverbindungen	18
4.3.4 Gleitfeste Verbindungen	18
4.3.5 Zugbelastete Verbindungen	18
4.4 Steckbolzenverbindungen	18
4.5 Schweißverbindungen	19
4.6 Nachweis für Bauteile und Verbindungen	19
5 Nachweis der statischen Festigkeit	20
5.1 Allgemeines	20
5.2 Grenzwerte der Bemessungsspannungen und -kräfte	20
5.2.1 Allgemeines	20
5.2.2 Grenzwert der Bemessungsspannung von Bauteilen	21
5.2.3 Grenzwert der Bemessungskräfte in Schraubverbindungen	22
5.2.4 Grenzwert der Bemessungskräfte von Steckbolzenverbindungen	30
5.2.5 Grenzwert der Bemessungsspannungen von Schweißverbindungen	34
5.3 Durchführung des Nachweises	36
5.3.1 Nachweis für Bauteile	36
5.3.2 Nachweis für Schraubverbindungen	36
5.3.3 Nachweis für Steckbolzenverbindungen	37
5.3.4 Nachweis für Schweißverbindungen	37
6 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit	38
6.1 Allgemeines	38
6.2 Grenzwert der Bemessungsspannungen	40
6.2.1 Charakteristische Ermüdungsfestigkeit	40
6.2.2 Schweißnahtgüte	41
6.2.3 Anforderungen an Ermüdungsversuche	42
6.3 Spannungsverläufe	43
6.3.1 Allgemeines	43
6.3.2 Häufigkeit des Auftretens von Spannungsspielen	43
6.3.3 Spannungsverlaufsparemeter	43
6.3.4 S-Klassen des Spannungsverlaufs	44

6.4	Durchführung des Nachweises	46
6.5	Ermittlung des Grenzwerts der zulässigen Schwingbreite	47
6.5.1	Anwendbare Verfahren	47
6.5.2	Direkte Anwendung des Spannungsverlaufparameters	47
6.5.3	Anwendung der S-Klassen	47
6.5.4	Kombinierte Wirkung von Normal- und Schubspannungen	49
7	Nachweis der statischen Festigkeit von Hohlprofilträgerstößen	49
8	Nachweis der elastischen Stabilität	49
8.1	Allgemeines	49
8.2	Knicken von druckbelasteten Stäben	50
8.2.1	Kritische Knicklast	50
8.2.2	Grenzwert der zulässigen Druckkraft	51
8.3	Beulen von Platten unter Druck- und Scherbeanspruchung	53
8.3.1	Allgemeines	53
8.3.2	Grenzwert der Bemessungsspannung mit Bezug auf die Längsspannung σ_x	54
8.3.3	Grenzwert der Bemessungsspannung mit Bezug auf die Querspannung σ_y	56
8.3.4	Grenzwert der Bemessungsspannung mit Bezug auf die Schubspannung τ	58
8.4	Durchführung des Nachweises	59
8.4.1	Druckbelastete Stäbe	59
8.4.2	Platten	59
Anhang A (informativ) Grenzwert der Bemessungsscherkraft $F_{v,Rd}$ je Schraube und Schubebene in mehrschnittigen Verbindungen		61
Anhang B (informativ) Vorgespannte Schrauben		62
Anhang C (normativ) Schweißnahtbemessungsspannungen $\sigma_{W,Sd}$ und $\tau_{W,Sd}$		64
C.1	Stumpfstoß	64
C.2	T-Stoß mit Kehlnat oder nicht durchgeschweißter Naht	65
C.3	Effektive Verteilungslänge bei punktförmiger Belastung	66
C.4	Andere Arten von Schweißnähten	67
Anhang D (normativ) Werte der inversen Steigung m und der charakteristischen Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_c, \Delta\tau_c$		68
Anhang E (normativ) Berechnete Grenzwerte für Bemessungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{Rd}$ und $\Delta\sigma_{Rd,1}$		106
Anhang F (informativ) Ermittlung von Spannungsspielen (Beispiel)		108
Anhang G (informativ) Berechnung der Steifigkeit von zugbelasteten Verbindungen		110
Anhang H (informativ) Hohlprofile		113
Anhang I (informativ) Auswahl geeigneter Krannormen für den konkreten Anwendungsfall		127
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2006/42/EG		128
Literaturhinweise		129

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13001-3-1:2012+A2:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Cranes - Safety“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] ist/sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument beinhaltet Änderung 1, die von CEN am 11. Mai 2013 genehmigt wurde.

Dieses Dokument beinhaltet Änderung 2, die von CEN am 30. Oktober 2017 genehmigt wurde.

Dieses Dokument ersetzt **A2** EN 13001-3-1:2012+A1:2013 **A2**.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen **A1** **A1** und **A2** **A2** gekennzeichnet.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

A1 CEN/TC 147/WG 2 hat eine neue Ausgabe von EN 13001-3-1 mit den folgenden Überarbeitungen erstellt:

- 4.2.1, Tabelle 2, gilt durchgehend und Anforderungen an weitere Werkstoffe wurden ergänzt, und
- zur Verbesserung des Dokumentes wurden redaktionelle Änderungen vorgenommen. **A1**

A2 CEN/TC 147/WG 2 hat eine neue konsolidierte Fassung von EN 13001-3-1 erstellt, um die Norm wie folgt anzupassen:

- In 4.2.1 wurden neue Stahlgüten nach EN 10149-2 und nichtrostende Stähle nach EN 10088-2 hinzugefügt.
- Die Anwendung der Schraubenvorlaststreuung in 5.2.3.3 wurde geändert.
- Tabelle 8 wurde geändert, um gleichwertige Werkstoffe für höchstfesten Stahl auszugrenzen.
- In 6.1 wurden die spezifischen Widerstandsbeiwerte für die Ermüdungsfestigkeit angepasst.
- Die Anforderungen an den Ermüdungsversuch wurden geändert.
- In 6.5.4 wurde die Gleichung zur Beurteilung der kombinierten Wirkung von Normal- und Schubspannungen geändert.
- Anhang C wurde hinsichtlich der Berechnung von Kehlnähten optimiert.
- Für die Kerbklassen D.1.1, D.1.2, D.3.29 und D.3.30 wurden die charakteristischen Ermüdungsfestigkeiten geändert.
- Mehrere kleinere Änderungen aus Gründen der redaktionellen und technischen Genauigkeit. **A2**

Diese Europäische Norm ist ein Teil der EN 13001-Serie *Krane — Konstruktion allgemein*. Die anderen Teile sind:

Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen;

Teil 2: Lasteinwirkungen;

Teil 3-2: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Drahtseilen in Seiltrieben;

Teil 3-3: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Rad/Schiene-Kontakten;

Teil 3-4: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis für Maschinenbauteile - Lager;

Teil 3-5: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von geschmiedeten Haken.

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

Einleitung

Diese Europäische Norm wurde erarbeitet und harmonisiert mit dem Ziel, als eines der Instrumente für die mechanische Konstruktion und den theoretischen Sicherheitsnachweis für Krane zu dienen, um den wesentlichen Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie in ihrer ergänzten Fassung zu entsprechen. Ferner schafft diese Norm Schnittstellen zwischen Betreiber (Käufer) und Konstrukteur sowie Konstrukteur und Hersteller von Bauteilen und soll somit eine Basis für die Auswahl von Kranen und Bauteilen bilden.

Diese Europäische Norm ist eine Norm des Typs C, wie in EN ISO 12100 definiert.

Die betreffenden Maschinen und Anlagen und der Umfang, in dem Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Gefährdungsereignisse abgedeckt werden, sind im Anwendungsbereich dieser Norm angegeben.

Sollten Bestimmungen der vorliegenden Norm vom Typ C von denen, die in Normen vom Typ A oder Typ B festgelegt sind, abweichen, so sind die Bestimmungen der vorliegenden Norm vom Typ C denen der anderen Normen vorzuziehen; dies gilt für Maschinen, die nach den Bestimmungen der vorliegenden Norm vom Typ C konstruiert und gebaut sind.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm ist zusammen mit EN 13001-1 und EN 13001-2 anzuwenden. Sie legen allgemeine Bedingungen, Anforderungen und Methoden zur Vermeidung mechanischer Gefahren von Kranen durch Konstruktion und theoretische Nachweisverfahren fest.

ANMERKUNG Spezifische Anforderungen an spezielle Krantypen sind in der jeweiligen Europäischen Norm für den speziellen Krantyp enthalten.

Im Folgenden ist eine Liste der signifikanten Gefährdungssituationen und Gefährdungsereignisse aufgeführt, die Risiken für Personen bei Normaleinsatz und vorhersehbarem Missbrauch zur Folge haben könnten. Die Abschnitte 4 bis 8 dieser Norm enthalten Vorgaben zur Verminderung oder Ausschaltung von Risiken, die mit folgenden Gefahren verbunden sind:

- a) Überschreiten der Festigkeitsgrenzwerte (Fließen, Bruch, Ermüdung);
- b) Überschreiten der Temperaturgrenzwerte des Werkstoffs oder der Komponenten;
- c) elastische Instabilität des Krans oder seiner Teile (Knicken, Beulen).

Diese Europäische Norm gilt nicht für Krane, die vor dem Datum der Veröffentlichung dieser Norm als EN gefertigt werden, und dient als Referenzgrundlage für Europäische Normen für spezielle Krantypen (siehe Anhang I).

ANMERKUNG EN 13001-3-1 umfasst nur die Methode der Grenzzustände entsprechend EN 13001-1.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

 gestrichener Text 

EN 1993-1-8:2005, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

EN 10025-2:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 10025-3:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeigneten Feinkornbaustähle*

EN 10025-4:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeigneten Feinkornbaustähle*

EN 10025-6:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand*

EN 10029:2010, *Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an — Grenzabmaße und Formtoleranzen*

 gestrichener Text 

EN 10149-2:  2013 , *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle*

EN 10149-3:  2013 , Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 3: Lieferbedingungen für normalgeglühte oder normalisierend gewalzte Stähle

 EN 10088-2:2014, Nichtrostende Stähle — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung 

EN 10160:1999, Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen aus Stahl mit einer Dicke größer oder gleich 6 mm (Reflexionsverfahren)

EN 10163-1:2004, Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalzten Stahlerzeugnissen (Blech, Breitflachstahl und Profile) — Teil 1: Allgemeine Anforderungen

EN 10163-2:2004, Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalzten Stahlerzeugnissen (Blech, Breitflachstahl und Profile) — Teil 2: Blech und Breitflachstahl

EN 10163-3:2004, Lieferbedingungen für die Oberflächenbeschaffenheit von warmgewalzten Stahlerzeugnissen (Blech, Breitflachstahl und Profile) — Teil 3: Profile

EN 10164:2004, Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche — Technische Lieferbedingungen

EN 13001-1, Krane — Konstruktion allgemein — Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen

EN 13001-2, Kransicherheit — Konstruktion allgemein — Teil 2: Lasteinwirkungen

EN 20273:1991, Mechanische Verbindungselemente — Durchgangslöcher für Schrauben (ISO 273:1979)

 EN ISO 148-1:2016, Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren 

EN ISO 286-2:2010, Geometrische Produktspezifikation (GPS) — ISO-Toleranzsystem für Längenmaße — Teil 2: Tabellen der Grundtoleranzgrade und Grenzabmaße für Bohrungen und Wellen (ISO 286-2:2010)

 EN ISO 898-1:2013, Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen — Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013) 

 EN ISO 5817:2014, Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2014) 

EN ISO 9013:2002, Thermisches Schneiden — Einteilung thermischer Schnitte — Geometrische Produktspezifikation und Qualität (ISO 9013:2002)

EN ISO 12100:2010, Sicherheit von Maschinen — Allgemeine Gestaltungsleitsätze — Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010)

EN ISO 17659:2004, Schweißen — Mehrsprachige Benennungen für Schweißverbindungen mit bildlichen Darstellungen (ISO 17659:2002)

ISO 4306-1:2007, Cranes — Vocabulary — Part 1: General

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 12100:2010 $\overline{A_2}$ gestrichener Text $\overline{A_2}$.
Für die Definition der Lasten gilt ISO 4306:2007, Abschnitt 6.

3.2 Symbole und Abkürzungen

Die in diesem Teil der Norm EN 13001 verwendeten Symbole und Abkürzungen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (1 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
A	Querschnitt
A_n	Nettoquerschnittsfläche
A_S	Spannungsquerschnitt einer Schraube
A_S	Scherfläche des Bruchbereichs (Steckbolzenverbindungen)
a	Plattenlänge bei Knicken
a	Nahthöhe der Kehlnaht
a_r	effektive Schweißnahtdicke
b	Plattenbreite
c	Faktor des Randspannungsverhältnisses (Knicken)
D_o, D_i	Außen-, Innendurchmesser des Hohlbolzens
d	Durchmesser (Schrauben-, Steckbolzenschaft)
d_o	Lochdurchmesser
E	Elastizitätsmodul
F_b	Schraubenzugkraft
F_d	Grenzkraft
$\overline{A_1} F_k \overline{A_1}$	charakteristischer Wert (Kraft)
F_p	Vorspannkraft einer Schraube
F_{Rd}	Grenzwert der Bemessungskraft
F_e	äußere Kraft (an der Schraubverbindung)
$F_{b,Rd}$	Grenzwert der Bemessungsauflegerkraft
$F_{b,Sd}, F_{bi,Sd}$	Bemessungsauflegerkraft
$F_{cs,Rd}$	Grenzwert der Bemessungszugkraft
$F_{p,d}$	Bemessungsvorspannkraft
F_{cr}	Reduzierung der Druckkraft infolge der äußeren Spannung
$F_{t,Rd}$	Grenzwert der Bemessungszugkraft der Schraube
$F_{t,Sd}$	äußere Zugkraft je Schraube
$F_{v,Sd}$	Bemessungsscherkraft je Schraube und Schubebene

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (2 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
$F_{vp,Rd}$	Grenzwert der Bemessungsscherkraft je Steckbolzen und Scherebene
$F_{vp,Sd}$	Bemessungsscherkraft je Steckbolzen und Schubebene
$F_{s,Rd}$	Grenzwert der Bemessungsgleitkraft je Schraube und Schubebene
$F_{vs,Rd}$	Grenzwert der Bemessungsscherkraft des verbundenen Teils
$F_{vd,Sd}$	Bemessungskraft des verbundenen Teils
$F_{vt,Rd}$	Grenzwert der Bemessungszugkraft des verbundenen Teils
$F_{\sigma,\tau}$	angreifende Normal-/Scherkraft
f	maximale Imperfektion
f_d	Grenzspannung
$\langle A_1 \rangle f_k \langle A_1 \rangle$	charakteristischer Wert (Spannung)
f_{Rd}	Grenzwert der Bemessungsspannung
f_u	Bruchfestigkeit des Werkstoffs
f_{ub}	Bruchfestigkeit der Schrauben
$f_{w,Rd}$	Grenzwert der zulässigen Schweißnahtspannung
f_y	$\langle A_2 \rangle$ Fließgrenze des Werkstoffs, festgelegt oder gemessen $\langle A_2 \rangle$
f_{yb}	Fließgrenze der Schrauben
f_{yp}	$\langle A_2 \rangle$ Fließgrenze der Steckbolzen, festgelegt oder gemessen $\langle A_2 \rangle$
$\langle A_1 \rangle h_d$	Abstand zwischen Schweißstelle und Kontaktebene der angreifenden Last $\langle A_1 \rangle$
I, I_i	Flächenträgheitsmomente der Bauteile
k	Spannungskonzentrationsbeiwert (Steckbolzenverbindungen)
K_b	Steifigkeit der Schraube
K_c	Steifigkeit der verbundenen Teile
k^*	Verhältniszahl des spezifischen Spannungskollektivs
k_m	Spannungskollektivbeiwert, basierend auf m des betreffenden Bauteils
k_3	Spannungskollektivbeiwert, basierend auf $m = 3$
$k_{\sigma}, k_{\sigma y}, k_{\tau}$	Knickfaktoren
L	Länge des Elements (Knicken)
l_m	Messlänge
l_r	relevante Schweißnahtlänge
l_w	Schweißnahtlänge
M_{Rd}	Grenzwert des Bemessungsbiegemoments
M_{Sd}	Bemessungsbiegemoment
m	inverse Steigung der Wöhlerlinie
N	Druckkraft (Knicken)
NC	Kerbklasse

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (3 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
N_k	kritische Knicklast
N_{ref}	Referenzzahl der Spannungsspiele
min σ , max σ	Extremwerte der Spannung
P_S	Überlebenswahrscheinlichkeit
p	Einbrand der Schweißnaht
Q	Schubspannung (Ermittlung von Spannungsspielen)
q_i	Kerbzähigkeitsparameter
α	Querschnittsparameter (seitliches Knicken)
α_b	charakteristischer Beiwert für Auflagerverbindungen
α_L	Lasteinleitungsfaktor (Schraubverbindungen)
α_w	charakteristischer Beiwert für Spannungsgrenzwerte der Schweißnaht
γ_m	allgemeiner Widerstandsbeiwert
γ_{mf}	spezifischer Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit
γ_p	Teilsicherheitsbeiwert
γ_R	resultierender Widerstandsbeiwert
γ_S	spezifischer Widerstandsbeiwert
γ_{Rb}	resultierender Widerstandsbeiwert der Schraube
$\gamma_{sbb}, \gamma_{sbs}, \gamma_{sbt}$	spezifische Widerstandsbeiwerte von Schraubverbindungen
γ_{Rm}	resultierender Widerstandsbeiwert der Bauteile
γ_{sm}	spezifischer Widerstandsbeiwert der Bauteile
γ_{Rp}	resultierender Widerstandsbeiwert der Steckbolzen
$\gamma_{spm}, \gamma_{sps}, \gamma_{spb}, \gamma_{spt}$	spezifische Widerstandsbeiwerte der Steckbolzen
γ_{Rs}	resultierender Widerstandsbeiwert der gleitfesten Verbindung
γ_{ss}	spezifischer Widerstandsbeiwert der gleitfesten Verbindung
γ_{Rc}	resultierender Widerstandsbeiwert für die Spannung an Hohlprofilen
γ_{st}	spezifischer Widerstandsbeiwert für die Spannung an Hohlprofilen
γ_{Rw}	resultierender Widerstandsbeiwert der Schweißverbindung
γ_{sw}	spezifischer Widerstandsbeiwert der Schweißverbindung
δ_p	Dehnung durch Vorspannen
ϕ_2	dynamischer Beiwert
κ	Spreizwinkel (Raddruck)
$\kappa_x, \kappa_y, \kappa_z$	Reduktionsbeiwerte (Knicken)
λ	Breite der Kontaktfläche in Schweißnahtichtung
$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$	dimensionslose Schlankheit (Knicken)

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (4 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
ψ	Randspannungsverhältnis (Knicken)
ΔF_b	Zusatzkraft
$\Delta \delta_t$	Zusatzdehnung
μ	Gleitreibungskoeffizient
ν	relative Gesamtzahl der Spannungsspiele $\overline{A_1}$ gestrichener Text $\overline{A_1}$
ν_D	Durchmesserverhältnis
$\Delta \sigma_c$	charakteristischer Wert der Schwingbreite (Normalspannung)
$\Delta \tau_c$	charakteristischer Wert der Schwingbreite (Schubspannung)
σ_e	Bezugsspannung (Knicken)
σ_b	unterer Grenzwert der Schwingbreite
σ_u	oberer Grenzwert der Schwingbreite
σ_{Sd}	Bemessungsspannung (Normalspannung)
τ_{Sd}	Bemessungsspannung (Schubspannung)
$\sigma_{w,Sd}$	Bemessungsspannung der Schweißnaht (Normalspannung)
$\tau_{w,Sd}$	Bemessungsspannung der Schweißnaht (Schubspannung)
$\Delta \sigma_{Rd}$	Grenzwert der Bemessungsschwingbreite (Normalspannung)
$\Delta \sigma_{Rd,1}$	Grenzwert der Bemessungsschwingbreite für $k^* = 1$
$\Delta \tau_{Rd}$	Grenzwert der Bemessungsschwingbreite (Schubspannung)
$\Delta \sigma_{Sd}$	Bemessungsschwingbreite (Normalspannung)
$\Delta \tau_{Sd}$	Bemessungsschwingbreite (Schubspannung)

4 Allgemeines

4.1 Dokumentation

Die Dokumentation zum Sicherheitsnachweis muss umfassen:

- Bemessungsannahmen mit Berechnungsmodellen;
- anwendbare Lasten und Lastkombinationen;
- Werkstoffsorten und Werkstoffgüte;
- Schweißnahtgüte nach EN ISO 5817;
- Werkstoffe der Verbindungselemente;
- relevante Grenzzustände;
- Ergebnisse aus der Berechnung des Sicherheitsnachweises und Prüfungen, sofern anwendbar.

4.2 Werkstoffe für Bauteile

4.2.1 Werkstoffsorten und Werkstoffgüten

Europäische Normen legen Werkstoffe und spezifische Werte fest. Diese Norm enthält eine bevorzugte Auswahl.

Für Bauteile sollte Stahl nach folgenden Europäischen Normen verwendet werden:

- a) unlegierte Baustähle EN 10025-2;
- b) schweißbare Feinkornbaustähle in folgendem Zustand:
 - 1) normal geglüht (N) EN 10025-3;
 - 2) thermomechanisch behandelt (M) EN 10025-4;
- c) hochfeste Baustähle in gehärtetem Zustand EN 10025-6;
- d) hochfeste Baustähle für Kaltverformung in folgendem Zustand:
 - 1) thermomechanisch behandelt (M) EN 10149-2;
 - 2) normal geglüht (N) EN 10149-3;

ⓘ_{A2}

- e) austenitische nichtrostende Stähle EN 10088-2.

Wo nichtrostende Stähle geschweißt werden, sollte dem Schweißprozess und den Korrosionsvorgängen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Tabelle 2 gibt spezifische Werte für die Nennfestigkeit f_u , f_y an. Für Grenzwerte für die Bemessungsspannung f_{Rd} siehe 5.2. Die angegebenen Werte gelten für Temperaturen bis zu 100 °C für nichtrostende Stähle und bis zu 150 °C für alle sonstigen Stähle. Für weitere Angaben siehe die spezifische Europäische Norm. ⓘ_{A2}

ⓘ_{A1} gestrichener Text ⓘ_{A1}

Um die Anwendung der Nennwerte der Plattendicke in den Nachweisberechnungen zu ermöglichen, muss das untere Grenzabmaß der Platte gleich oder besser als das der Klasse A nach EN 10029:2010 sein. Andernfalls ist der tatsächliche Mindestwert für die Plattendicke zu verwenden. Um die Verwendung von Nennmaßen für andere Stahlerzeugnisse als Bleche zu ermöglichen, müssen deren untere Grenzabmaße innerhalb derer der zutreffenden Europäischen Normen für derartige Produkte liegen.

ⓘ_{A1} Es dürfen auch andere als in den vorstehend genannten Normen und in Tabelle 2 aufgeführte Stahlsorten und Stahlgüten verwendet werden, wenn die mechanischen Eigenschaften und die chemische Zusammensetzung so festgelegt werden, dass sie den entsprechenden Europäischen Normen entsprechen, und wenn der Werkstoff die folgenden Bedingungen erfüllt:

- der Bemessungswert von f_y für Werkstoffe mit $f_u/f_y < 1,05$ ist begrenzt auf $f_u/1,05$;
- prozentuale Bruchdehnung $A \geq 7\%$ auf einer Messlänge $L_0 = 5,65 \times \sqrt{S_0}$ (dabei ist S_0 die ursprüngliche Querschnittsfläche);
- die Schweißbarkeit oder Nichtschweißbarkeit des Werkstoffs ist festgelegt und bei beabsichtigtem Schweißen ist die Schweißbarkeit nachgewiesen;
- ist der Werkstoff zur Kaltumformung vorgesehen, sind die entsprechenden Werte angegeben. ⓘ_{A1}

ANMERKUNG Wo es notwendig erscheint, eine Überprüfung auf interne Fehler durchzuführen, sollten die Klassen nach EN 10160 festgelegt werden.

A₂

Tabelle 2 — Spezifische Stahlwerte für Bauteile

Stahl	Norm	Dicke	Nennfestigkeit	
		t	f_y	f_u
		mm	Fließgrenze N/mm ²	Bruchfestigkeit N/mm ²
S235	EN 10025-2	$t \leq 16$	235	340
		$16 < t \leq 40$	225	
		$40 < t \leq 100$	215	
		$100 < t \leq 150$	195	
S275		$t \leq 16$	275	430
		$16 < t \leq 40$	265	
		$40 < t \leq 63$	255	
		$63 < t \leq 80$	245	
		$80 < t \leq 100$	235	
		$100 < t \leq 150$	225	
S355		$t \leq 16$	355	490
		$16 < t \leq 40$	345	
		$40 < t \leq 63$	335	
		$63 < t \leq 80$	325	
		$80 < t \leq 100$	315	
		$100 < t \leq 150$	295	
S355	EN 10025-3 (N) EN 10025-4 (M)	$t \leq 16$	355	450
		$16 < t \leq 40$	345	
		$40 < t \leq 63$	335	
		$63 < t \leq 80$ (N)	325	
		$80 < t \leq 100$ (N)	315	
		$100 < t \leq 150$ (N)	295	
S420		$t \leq 16$	420	500
		$16 < t \leq 40$	400	
		$40 < t \leq 63$	390	
		$63 < t \leq 80$ (N)	370	
		$80 < t \leq 100$ (N)	360	
		$100 < t \leq 150$ (N)	340	
S460		$t \leq 16$	460	530
		$16 < t \leq 40$	440	
		$40 < t \leq 63$	430	
		$63 < t \leq 80$ (N)	410	
		$80 < t \leq 100$ (N)	400	

Stahl	Norm	Dicke	Nennfestigkeit	
		t	f_y	f_u
		mm	Fließgrenze N/mm ²	Bruchfestigkeit N/mm ²
S460	EN 10025-6	$3 < t \leq 50$	460	550
		$50 < t \leq 100$	440	
S500		$3 < t \leq 50$	500	590
		$50 < t \leq 100$	480	
S550		$3 < t \leq 50$	550	640
		$50 < t \leq 100$	530	
S620		$3 < t \leq 50$	620	700
		$50 < t \leq 100$	580	
S690		$3 < t \leq 50$	690	770
		$50 < t \leq 100$	650	760
S890		$3 < t \leq 50$	890	940
		$50 < t \leq 100$	830	880
S960		$3 < t \leq 50$	960	980
S315	EN 10149-3 EN 10149-2	alle t	315	390
S355			355	430
S420			420	480
S460	EN 10149-2	alle t	460	520
S500			500	550
S550			550	600
S600			600	650
S650		$t \leq 8$	650	700
		$t > 8$	630	
S700		$t \leq 8$	700	750
		$t > 8$	680	
S900		alle t	900	930
S960			960	980
X2CrNi18-9	EN 10088-2	$t \leq 75$	200 ^a	500 ^b
X5CrNi18-10			210 ^a	520 ^b
X2CrNi19-11			200 ^a	500 ^b
X2CrNiMo17-12-2			220 ^a	520 ^b
X5CrNiMo17-12-2			220 ^a	520 ^b
^a 0,2 %-Dehngrenze für Warmwalzblech (P)				
^b Zugfestigkeit für Warmwalzblech (P)				

^a 0,2 %-Dehngrenze für Warmwalzblech (P)

^b Zugfestigkeit für Warmwalzblech (P)

4.2.2 Kerbschlagzähigkeit

Ⓐ₂ Bei der Auswahl der Stahlsorte und Stahlgüte für die zugbelasteten Bauteile muss die Summe der Kerbschlagzähigkeitsparameter q_i berücksichtigt werden. In Tabelle 3 sind die Kerbschlagzähigkeitsparameter q_i für diverse Einflüsse angegeben. Tabelle 4 gibt die geforderte Stahlgüte und Kerbschlagarbeit/Prüftemperatur in Abhängigkeit von Σq_i an. Bei der Bewertung der Kerbschlagzähigkeit muss die Richtung der Beanspruchung berücksichtigt werden. Es dürfen auch andere als die in Tabelle 4 genannten Stahlsorten und Stahlgüten verwendet werden, wenn eine Kerbschlagarbeit/Prüftemperatur nach EN ISO 148-1 geprüft und festgelegt wurde und die in den ersten zwei Zeilen von Tabelle 4 angegebenen Anforderungen erfüllt sind. Ⓐ₂

Tabelle 3 — Kerbschlagzähigkeitsparameter q_i

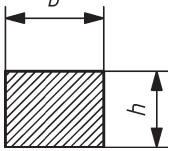
i	Einfluss		q_i
1	Betriebstemperatur T (°C)	$0 \leq T$	0
		$-10 \leq T < 0$	1
		$-20 \leq T < -10$	2
		$-30 \leq T < -20$	3
		$-40 \leq T < -30$	4
		$-50 \leq T < -40$	6
2	Fließgrenze f_y (N/mm ²)	$f_y \leq 300$	0
		$300 < f_y \leq 460$	1
		$460 < f_y \leq 700$	2
		$700 < f_y \leq 1\,000$	3
		$1\,000 < f_y \leq 1\,300$	4
3	Materialdicke t (mm) Äquivalente Dicke t für Stangen aus Vollmaterial: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> $t = \frac{d}{1,8}$ für $\frac{b}{h} < 1,8$; $t = \frac{b}{1,8}$	$t \leq 10$	0
		$10 < t \leq 20$	1
		$20 < t \leq 40$	2
		$40 < t \leq 60$	3
		$60 < t \leq 80$	4
		$80 < t \leq 100$	5
		$100 < t \leq 125$	6
		$125 < t \leq 150$	7
4	Charakteristischer Wert der Schwingbreite $\Delta\sigma_c$ (N/mm ²) (siehe Anhang D und Anhang H)	$\Delta\sigma_c > 125$	0
		$80 < \Delta\sigma_c \leq 125$	1
		$56 < \Delta\sigma_c \leq 80$	2
		$40 < \Delta\sigma_c \leq 56$	3
		$30 < \Delta\sigma_c \leq 40$	4
		$\Delta\sigma_c \leq 30$	5
5	Ausnutzung der statischen Festigkeit (siehe 5.3.1)	$\sigma_{Sd} > 0,75 \times f_{Rd\sigma}$	0
		$0,5 \times f_{Rd\sigma} < \sigma_{Sd}$ und $\sigma_{Sd} \leq 0,75 \times f_{Rd\sigma}$	-1
		$0,25 \times f_{Rd\sigma} < \sigma_{Sd}$ und $\sigma_{Sd} \leq 0,5 \times f_{Rd\sigma}$	-2
		$\sigma_{Sd} \leq 0,25 \times f_{Rd\sigma}$	-3



Tabelle 4 — Kerbschlagzähigkeitsvorgabe und entsprechende Stahlgüte für Σq_i

Anforderung an die Kerbschlagarbeit/Prüf-temperatur	$\Sigma q_i \leq 5$	$6 \leq \Sigma q_i \leq 8$	$9 \leq \Sigma q_i \leq 11$	$12 \leq \Sigma q_i \leq 14$
	27 J/+20 °C	27 J/0 °C	27 J/−20 °C	27 J/−40 °C
Stahlsorten und Stahlgüten, die die Anforderung an die Kerbschlagarbeit/Prüf-temperatur erfüllen				
EN 10025-2	JR	J0	J2	a
EN 10025-3	N	N	N	NL
EN 10025-4	M	M	M	ML
EN 10025-6	Q	Q	Q	QL
EN 10149-2	MC	MC	MC	a
EN 10149-3	NC	NC	NC	a
EN 10088-2	b	b	b	b
<p>^a Darf verwendet werden, wenn die Kerbschlagzähigkeit mindestens 27 J bei −40 °C beträgt, nach EN ISO 148-1 geprüft und festgelegt.</p> <p>^b Alle nach EN 10088-2 in Tabelle 2 aufgelisteten Stähle. Die Kerbschlagarbeit wird für diese Temperaturen nicht ausdrücklich in EN 10088-2 angegeben, die Anforderung an die Kerbschlagarbeit/Prüf-temperatur in Zeile 2 wird jedoch erfüllt.</p>				



4.3 Schraubverbindungen

4.3.1 Schraubenwerkstoffe

Für Schraubverbindungen sind Schrauben der Güteklasse (Schraubenqualität) 4.6, 5.6, 8.8, 10.9 oder 12.9 nach EN ISO 898-1:2013 zu verwenden. In Tabelle 5 sind die Festigkeitsnennwerte zur Verwendung für die Konstruktionsberechnungen angegeben:

Tabelle 5 — Güteklassen (Schraubenqualität)

Güteklasse (Schraubenqualität)	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9
f_{yb} N/mm ²	240	300	640	900	1 080
f_{ub} N/mm ²	400	500	800	1 000	1 200

ANMERKUNG Der Konstrukteur sollte den Schraubenlieferanten dazu auffordern, für Schrauben der Güteklasse 10.9 und 12.9 den Nachweis zu erbringen, dass diese den Sicherheitsanforderungen in Bezug auf Wasserstoffversprödung entsprechen. Die technischen Anforderungen sind in EN ISO 15330, EN ISO 4042 und ISO 9587 festgelegt.

4.3.2 Allgemeines

Schraubverbindungen im Sinne dieser Norm sind Verbindungen zwischen Bauteilen und/oder Elementen mithilfe von Schrauben.

Im Allgemeinen sind Schraubverbindungen schlüsselfest anzuziehen.

Wenn ein Verrutschen (z. B. hervorgerufen durch Schwingungen oder Wechselbelastung) die Geometrie nachteilig verändern kann, sind die Schrauben so festzuziehen, dass ein Verrutschen ausreichend verhindert wird oder die Verbindungsflächen sind gegen Verdrehen zu sichern (z. B. durch Verwendung mehrerer Schrauben).

4.3.3 Schub- und Auflagerverbindungen

Schub- und Auflagerverbindungen im Sinne dieser Norm sind Verbindungen, bei denen die Lasten senkrecht zur Schraubenachse wirken und Schub- und Auflagerspannungen an den Schrauben sowie Auflagerspannungen an den verbundenen Teilen erzeugen, wobei

- das Spiel zwischen Schraube und Bohrloch den Toleranzen $h13$ und $H11$ (oder kleiner) nach EN ISO 286-2:2010 entsprechen muss, wenn Schrauben einem Lastwechsel ausgesetzt sind oder ein Verrutschen die Geometrie nachteilig verändern kann;
- in anderen Fällen auch größere Toleranzen nach EN 20273 gewählt werden können;
- keine spezielle Oberflächenbehandlung der Kontaktflächen notwendig ist.

4.3.4 Gleitfeste Verbindungen

Gleitfeste Verbindungen im Sinne dieser Norm sind Verbindungen, bei denen die Lasten durch Reibung zwischen den Verbindungsflächen übertragen werden, und bei denen:

- hochfeste Schrauben der Güteklasse (Schraubenqualität) 8.8, 10.9 oder 12.9 verwendet werden müssen;
- die Schrauben durch ein kontrolliertes Verfahren angezogen werden müssen, bis sie den spezifischen Vorspannungszustand erreicht haben;
- die Oberflächenbeschaffenheit der Kontaktflächen festgelegt und entsprechend berücksichtigt werden muss;
- zusätzlich zu den genormten Löchern auch überdimensionierte oder Langlöcher verwendet werden können.

4.3.5 Zugbelastete Verbindungen

Zugbelastete Verbindungen im Sinne dieser Norm sind Verbindungen, bei denen

- die Lasten in Richtung der Schraubenachse wirken und Axialspannungen in den Schrauben erzeugen;
- hochfeste Schrauben der Güteklassen (Schraubenqualität) 8.8, 10.9 oder 12.9 durch ein kontrolliertes Verfahren verwendet und festgezogen werden, bis sie den spezifischen Vorspannungszustand erreicht haben.

ANMERKUNG Zugbelastete Schrauben, die nicht vorgespannt sind, werden wie Bauteile behandelt.

4.4 Steckbolzenverbindungen

Steckbolzenverbindungen im Sinne dieser Norm sind Verbindungen, bei denen die verbundenen Teile gedreht werden können. Dabei werden nur runde Steckbolzen berücksichtigt.

Die Anforderungen dieser Norm gelten für Steckbolzenverbindungen, die Lasten tragen. Sie gelten beispielsweise nicht für Verbindungen, die nur ein praktisches Befestigungsmittel darstellen.

Das Spiel zwischen dem Steckbolzen und dem Bohrloch muss den Toleranzen $h13$ und $H13$ (oder kleiner) nach EN ISO 286-2:2010 entsprechen. Bei Lasten mit wechselnden Richtungen sind kleinere Toleranzen zu wählen.

Alle Steckbolzen werden mit Sicherungselementen versehen, die eine Verschiebung im Bohrloch verhindern.

Um eine örtliche Verkrümmung (Wölbung) zu vermeiden, ist die Steifigkeit der verbundenen Teile zu berücksichtigen.

4.5 Schweißverbindungen

Schweißverbindungen im Sinne dieser Norm sind Verbindungen zwischen Bauteilen und/oder Komponenten, die durch Schmelzschweißen hergestellt werden und bei denen die verbundenen Teile mindestens eine Dicke von 3 mm haben (mit Ausnahme von Hohlprofilen, siehe Anhang H).

Dabei sind die Bewertungsgruppen nach EN ISO 5817 und geeignete Verfahren für eine zerstörungsfreie Prüfung anzuwenden, um die Einhaltung der Anforderungen an die Bewertungsgruppen sicherzustellen.

In der Regel müssen lasttragende Schweißverbindungen mindestens der Bewertungsgruppe C zugehörig sein. Bewertungsgruppe D ist nur für Verbindungen zulässig, bei denen ein örtliches Versagen der Schweißnaht nicht zu einem Versagen des Tragwerks oder zu einem Herunterfallen der Last führen würde.

Die Begriffe für Schweißverbindungen sind der Norm EN ISO 17659 zu entnehmen.

Selbst wenn die Verteilung der Spannungen über die gesamte Schweißnahtlänge nicht gleichmäßig ist, kann im Sinne der vorliegenden Norm von einer gleichmäßigen Verteilung ausgegangen werden, wobei die effektive Schweißnahtlänge das 150fache der Schweißnahtdicke a nicht überschreiten darf.

Eigenspannungen und Spannungen, die keine Kräfte quer zur Schweißnaht übertragen, brauchen bei der Auslegung von Schweißnähten, die statischen Einflüssen ausgesetzt sind, nicht berücksichtigt werden. Das gilt insbesondere für Normalspannungen, die parallel zur Achse der im Grundwerkstoff eingebetteten Schweißnaht wirken.

ANMERKUNG Wenn die statische Zugfestigkeit eines Stumpfstoßes geprüft wird, darf die Prüfung durchgeführt werden, ohne dass die Schweißnahtüberhöhung entfernt wurde.

4.6 Nachweis für Bauteile und Verbindungen

Es ist nachzuweisen, dass die Bemessungsspannungen oder Kräfte S_d nicht größer sind als die Bemessungswiderstände R_d :

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

Die Bemessungsspannungen oder Kräfte S_d müssen mithilfe relevanter Lasten, Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerten nach EN 13001-2 bestimmt werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Bemessungswiderstände R_d als Grenzwerte der Spannung f_d oder der Grenzkraft F_d dargestellt.

Für Bauteile und Verbindungen sind folgende Nachweise zu erbringen:

- statischer Festigkeitsnachweis nach Abschnitt 5;
- Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nach Abschnitt 6;
- Festigkeitsnachweis für Hohlprofilträgerstöße nach Abschnitt 7;
- Nachweis der elastischen Stabilität nach Abschnitt 8.

ANMERKUNG Verformung und Schwingungsverhalten von Tragwerken sollte unter Berücksichtigung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs des Krans begrenzt werden.

5 Nachweis der statischen Festigkeit

5.1 Allgemeines

Der rechnerische Nachweis der statischen Festigkeit soll übermäßige Verformungen infolge des Fließverhaltens des Werkstoffes oder durch Verrutschen der Verbindungen mit Reibschluss sowie elastische Instabilität (siehe Abschnitt 8) und Bruch der Bauteile und Verbindungen verhindern. Mit den in EN 13001-2 genannten dynamischen Beiwerten werden äquivalente statische Lasten erzeugt und damit dynamische Lasteinwirkungen simuliert.

Die Berechnung der maximalen Tragfähigkeit mithilfe der Plastizitätstheorie ist in dieser Norm nicht zulässig.

Der Nachweis ist für Bauteile und Verbindungen unter Berücksichtigung der ungünstigsten Lasteinwirkungen aus Lastkombinationen A, B oder C nach EN 13001-2 und mithilfe der Grenzwerte nach 5.2 zu erbringen.

Diese Norm basiert nur auf Nennspannungen, d. h. Spannungen, die mithilfe der traditionellen elastischen Theorie der Festigkeitslehre berechnet werden, die im Allgemeinen lokale Unregelmäßigkeiten der Spannung vernachlässigt. Die Anwendung alternativer Verfahren zur Spannungsberechnung, wie der FE-Analyse, bei denen die für den Nachweis im Rahmen dieser Norm angegebenen Spannungen verwendet werden, kann zu übermäßig konservativen Ergebnissen führen.

5.2 Grenzwerte der Bemessungsspannungen und -kräfte

5.2.1 Allgemeines

Die Grenzwerte der Bemessungsspannungen und -kräfte werden wie folgt berechnet:

Grenzwerte der Bemessungsspannung $f_{Rd} = \text{Funktion}(f_k, \gamma_R)$ oder (2)

Grenzwert der Bemessungskraft $F_{Rd} = \text{Funktion}(F_k, \gamma_R)$ (2)

Dabei ist

f_k oder F_k charakteristische Werte (oder Nennwerte);

γ_R der Gesamtwiderstandsbeiwert $\gamma_R = \gamma_m \times \gamma_s$;

γ_m der allgemeine Widerstandsbeiwert $\gamma_m = 1,1$ (siehe EN 13001-2);

γ_s der spezifische Widerstandsbeiwert für die in den folgenden Abschnitten genannten Bauteile.

ANMERKUNG f_{Rd} und F_{Rd} sind äquivalent zu R/γ_m in EN 13001-1.

5.2.2 Grenzwert der Bemessungsspannung von Bauteilen

Der Grenzwert der Bemessungsspannung f_{Rd} , der der Konstruktion von Bauteilen zugrunde gelegt wird, muss wie folgt berechnet werden:

$$f_{Rd\sigma} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}} \quad \text{bei Normalspannungen} \quad (3)$$

$$f_{Rd\tau} = \frac{f_y}{\gamma_{Rm}\sqrt{3}} \quad \text{bei Schubspannungen} \quad (4)$$

mit $\gamma_{Rm} = \gamma_m \times \gamma_{sm}$

Dabei ist

f_y $\square A_2$ der Wert der Fließgrenze des Werkstoffs $\square A_2$;

γ_{sm} der spezifische Widerstandsbeiwert für den Werkstoff, d. h.

für ungewalzten Werkstoff:

$$\gamma_{sm} = 0,95;$$

für gewalzten Werkstoff (z. B. Platten und Profile):

$$\gamma_{sm} = 0,95 \quad \text{bei Spannungen in der Walzebene};$$

$$\gamma_{sm} = 0,95 \quad \text{bei Druck- und Schubspannungen.}$$

Bei Zugspannungen senkrecht zur Walzebene (siehe Bild 1) gilt:

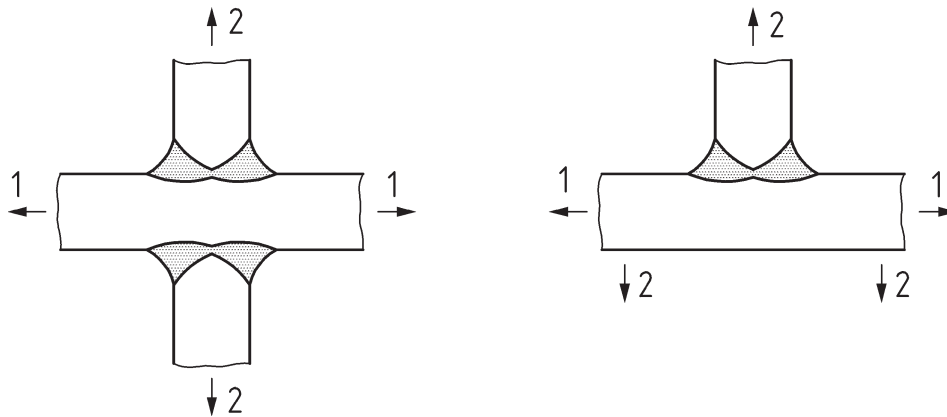
Der Werkstoff hält senkrechte Lasten aus und weist keine lamellenartigen Defekte auf.

$$\gamma_{sm} = 1,0 \quad \square A_2 \text{ bei einer Blechdicke } < 15 \text{ mm oder für Werkstoffe der Güteklasse Z25 oder besser nach EN 10164:2004 } \square A_2;$$

$$\gamma_{sm} = 1,16 \quad \text{für Werkstoff der Güteklasse Z15 nach EN 10164:2004};$$

$$\gamma_{sm} = 1,34 \quad \text{für Werkstoffe ohne Klassifizierung der Güte nach EN 10164, jedoch in Übereinstimmung mit den Klassen S2 und E3 von EN 10160:1999};$$

$$\gamma_{sm} = 1,50 \quad \text{ohne Klassifizierung der Güte der Gesamtdickeneigenschaften.}$$



Legende

$\langle A_2 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_2 \rangle$

1 ist die Richtung der Walzebene

2 ist die Richtung der Spannung $\langle A_2 \rangle$ gestrichener Text $\langle A_2 \rangle$

Bild 1 — $\langle A_2 \rangle$ Zugspannung $\langle A_2 \rangle$ senkrecht zur Walzebene

5.2.3 Grenzwert der Bemessungskräfte in Schraubverbindungen

5.2.3.1 Schub- und Auflagerverbindungen

5.2.3.1.1 Allgemeines

Der Widerstand einer Verbindung wird als unterer Kraftgrenzwert der einzelnen Verbindungselemente angenommen.

Neben der Tragfähigkeit der Verbindungselemente müssen weitere Grenzzustände in den meistbelasteten Abschnitten anhand des Widerstandsbeiwerts des Grundwerkstoffs geprüft werden.

Nur der Schaftteil ohne Gewinde wird in den Auflagerberechnungen effektiv berücksichtigt.

5.2.3.1.2 Schraubenscherkraft

Der Grenzwert der Bemessungsscherkraft $F_{v,Rd}$ je Schraube und Schubebene ist wie folgt zu berechnen:

$$F_{v,Rd} = \frac{f_{yb} \times A}{\gamma_{Rb} \times \sqrt{3}} \quad (5)$$

mit $\gamma_{Rb} = \gamma_m \times \gamma_{sbs}$

Dabei ist

f_{yb} die Fließgrenze (Nennwert) des Schraubenwerkstoffs (siehe Tabelle 5);

A die Querschnittsfläche des Schraubenschaftes in der Schubebene;

γ_{sbs} der spezifische Widerstandsbeiwert für Schraubverbindungen;

$\gamma_{sbs} = 1,0$ bei mehrschnittigen Verbindungen;

$\gamma_{sbs} = 1,3$ bei einschnittigen Verbindungen.

In Anhang A sind Grenzwerte für Bemessungsscherkräfte von ausgewählten Schraubengrößen angegeben.

5.2.3.1.3 Auflagerkraft der Schrauben und verbundenen Teile

Der Grenzwert der Bemessungsaullagerkraft $F_{b,Rd}$ je Schraube ist wie folgt zu berechnen:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_y \times d \times t}{\gamma_{Rb}} \quad (6)$$

mit $\gamma_{Rb} = \gamma_m \times \gamma_{sbb}$

Mit der Anforderung

$$e_1 \geq 1,5 \times d_0 \quad (7)$$

und mit folgenden Empfehlungen für die Platte:

$$e_2 \geq 1,5 \times d_0$$

$$p_1 \geq 3,0 \times d_0$$

$$p_2 \geq 3,0 \times d_0$$

Dabei ist

f_y die Fließgrenze (Mindestwert) des Grundwerkstoffs und der Schraube (Tabelle 2, Tabelle 5);

d der Schaftdurchmesser der Schraube;

d_0 der Lochdurchmesser;

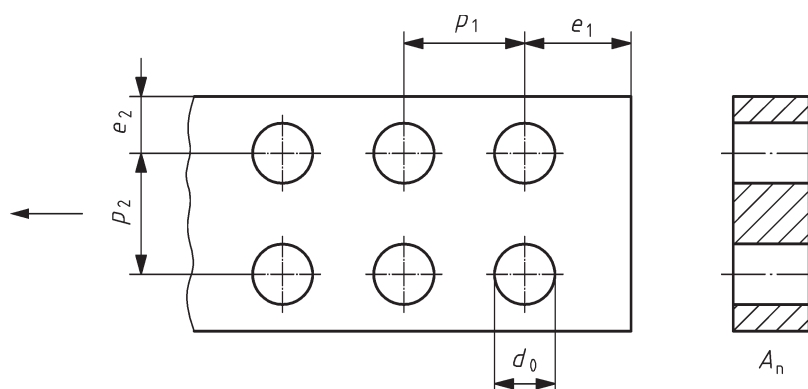
t die Dicke des verbundenen Teils, der Kontakt zum Schraubenteil ohne Gewinde hat;

γ_{sbb} der spezifische Widerstandsbeiwert für Schraubverbindungen;

$\gamma_{sbb} = 0,7$ für mehrschnittige Schubverbindungen;

$\gamma_{sbb} = 0,9$ für einschnittige Schubverbindungen;

p_1, p_2, e_1, e_2 sind Abstände (siehe Bild 2).



Legende

p_1, p_2, e_1, e_2 sind die in Gleichung (7) verwendeten Abstände.
Pfeil zeigt die Richtung der Kraft an.

Bild 2 — Darstellung zur Gleichung (7)

5.2.3.1.4 Spannung in den verbundenen Teilen

Der Grenzwert der Bemessungszugspannung je verbundenem Teil, die auf den Nettoquerschnitt wirkt, muss unter Berücksichtigung des Fließverhaltens $F_{cs,Rd}$ wie folgt berechnet werden:

$$F_{cs,Rd} = \frac{f_y \times A_n}{\gamma_{Rc}} \quad (8)$$

mit

$$\gamma_{Rc} = \gamma_m \times \gamma_{st}$$

Dabei ist

A_n die Nettoquerschnittsfläche im Bereich der Schrauben- oder Steckbolzenlöcher (siehe Bild 2);

γ_{st} der spezifische Widerstandsbeiwert für die Zugspannung an den Hohlprofilen; $\gamma_{st} = 1,2$.

5.2.3.2 Gleitfeste Verbindungen

Der Widerstand einer Verbindung muss durch die Summe der Grenzkkräfte der einzelnen Verbindungselemente ermittelt werden.

Für gleitfeste Verbindungen ist der Grenzwert der Bemessungsgleitkraft $F_{s,Rd}$ je Schraube und Reibungsschnittstelle wie folgt zu berechnen:

$$F_{s,Rd} = \frac{\mu \times (F_{p,d} - F_{cr})}{\gamma_{Rs}} \quad (9)$$

mit

$$\gamma_{Rs} = \gamma_m \times \gamma_{ss}$$

Dabei ist

μ der Gleitreibungskoeffizient;

$\mu = 0,50$ für Oberflächen aus glänzender Metallschicht, mit Stahlkies oder Sand abgestrahlt, ohne Unebenheiten;

$\mu = 0,50$ für Oberflächen, mit Stahlkies oder Sand abgestrahlt und mit Aluminium überzogen;

$\mu = 0,50$ für Oberflächen, mit Stahlkies oder Sand abgestrahlt und mit einem Metallüberzug aus einem zinkhaltigen Metall versehen;

$\mu = 0,40$ für Oberflächen, mit Stahlkies oder Sand abgestrahlt und mit einer 50 µm bis 80 µm dicken Alkali-Zink-Silikat-Schicht versehen;

$\mu = 0,40$ für Oberflächen, feuerverzinkt und leicht abgestrahlt;

$\mu = 0,30$ für Oberflächen, metallisch glänzend, durch Abbürsten mit einer Drahtbürste;

$\mu = 0,25$ für Oberflächen, gereinigt und mit Haftgrund behandelt;

$\mu = 0,20$ für Oberflächen, von Rost, Öl und Schmutz befreit (Mindestanforderung);

$F_{p,d}$ die Bemessungsvorspannkraft;

F_{cr} die Reduktion der Druckkraft infolge der äußeren Zugkraft an der Verbindung (zur Vereinfachung gilt $F_{cr} = F_e$).

Es ist sicherzustellen, dass die angewendete Vorspannkraft größer als oder gleich der zulässigen Bemessungsvorspannkraft ist.

γ_{ss} ist der spezifische Widerstandsbeiwert für Verbindungen mit Reibschluss (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 — Spezifischer Widerstandsbeiwert γ_{ss} für gleitfeste Verbindungen

Auswirkung bei Verrutschen der Verbindung	Locharten			
	Normlöcher ^a	Überdimensionale Löcher ^b und Langlöcher mit kurzem Schlitz ^c	Langlöcher mit langem Schlitz ^c	Langlöcher mit langem Schlitz ^d
Eine Gefährdung entsteht	1,14	1,34	1,63	2,00
Keine Gefährdung entsteht	1,00	1,14	1,41	1,63
^a Löcher mit Lochspiel nach Toleranzklasse mittel nach EN 20273:1991 ^b Löcher mit Lochspiel nach Toleranzklasse grob nach EN 20273:1991 ^c Langlöcher mit Schlitz senkrecht zur Krafrichtung ^d Langlöcher mit Schlitz parallel zur Krafrichtung Langlöcher mit kurzem Schlitz: Lochlänge entspricht maximal dem 1,25fachen des Schraubendurchmessers. Langlöcher mit langem Schlitz: Lochlänge ist größer als das 1,25fache des Schraubendurchmessers. Zur Verringerung des Drucks unter der Schraube oder Mutter sind entsprechende Unterlegscheiben zu verwenden.				

In Tabelle B.2 sind Grenzwerte für die Bemessungsgleitkräfte angegeben, die z. B. einen spezifischen Widerstandsbeiwert für den Reibschluss von $\gamma_{ss} = 1,14$ und eine Bemessungsvorspannkraft nach folgender Gleichung zugrunde legen:

$$F_{p,d} = 0,7 \times f_{yb} \times A_s,$$

Dabei ist

f_{yb} die Fließgrenze (Nennwert) des Schraubenwerkstoffs (Tabelle 5);

A_s der Spannungsquerschnitt der Schraube (Tabelle B.2).

5.2.3.3 Zugbelastete Verbindungen

In diesem Unterabschnitt wird der Grenzzustand einer Schraube in einer Verbindung festgelegt. Die verbundenen Teile und ihre Schweißnähte müssen nach den allgemeinen Regeln für Bauteile berechnet werden, wobei die Schraubenvorspannung wie eine Belastungskomponente berücksichtigt wird.

Die Nachweisberechnung muss für eine Schraube erfolgen, die in der Verbindung einer maximalen äußeren Kraft ausgesetzt ist, wobei die Kraftverteilung in einer Verbindung aus mehreren Schrauben und die Hebelwirkung entsprechend zu berücksichtigen sind.

Bei Berechnungen des Sicherheitsnachweises für eine vorgespannte Verbindung ist die Steifigkeit der Schraube und der verbundenen Teile zu berücksichtigen, siehe Bild 3. Außerdem sind aufgrund der Verbindungskonstruktion die verschiedenen Kraftwege der äußeren Druckkraft zu berücksichtigen, siehe Bild 4.

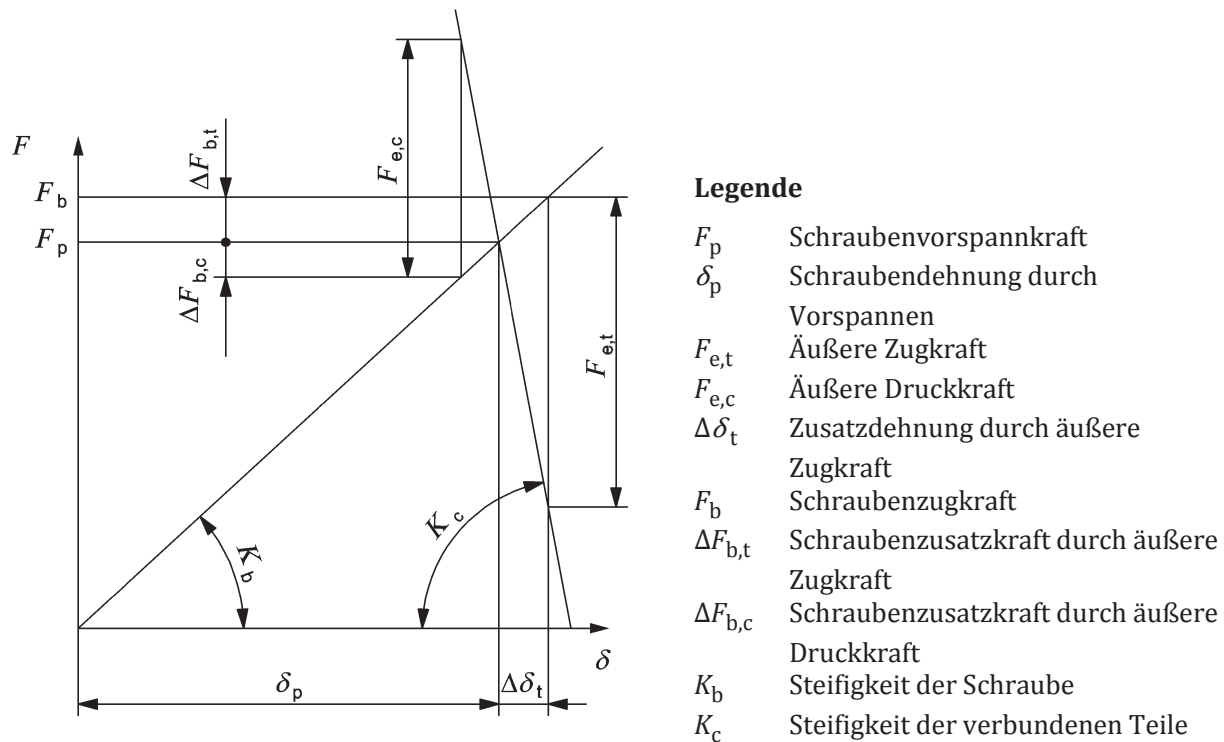
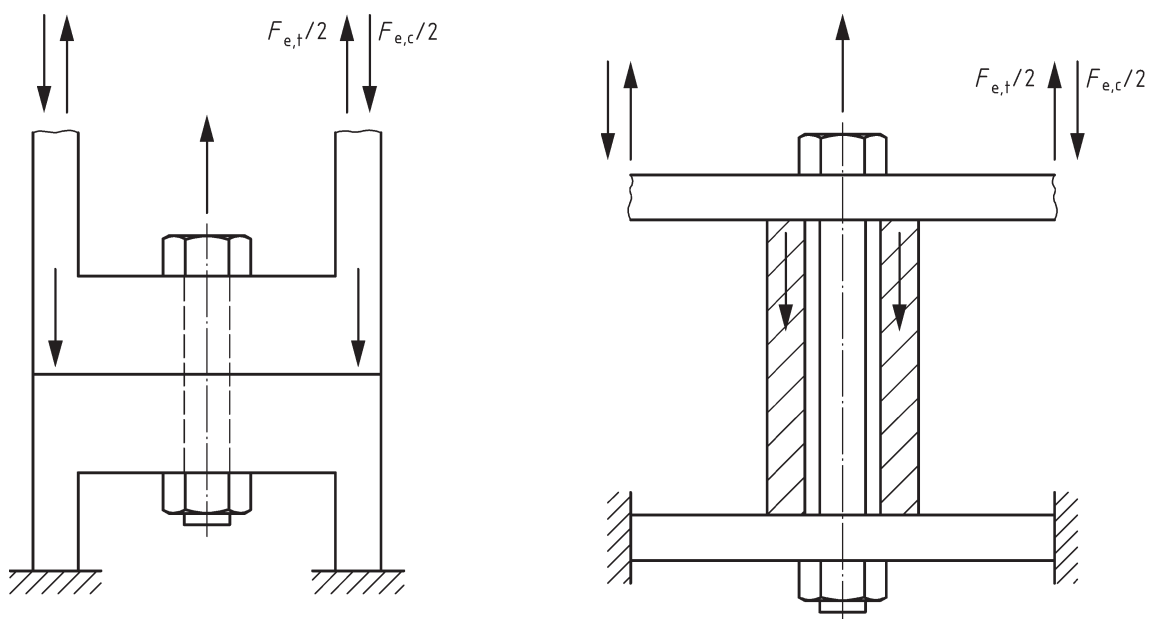


Bild 3 — Kraft-Dehnungs-Diagramm (Verspannungsdreieck)



- a) Die äußere Druckkraft hat keinen Einfluss auf die Druckzone unterhalb der Schraube. b) Die äußere Druckkraft wird über die Druckzone unterhalb der Schraube übertragen.

Zur Vereinfachung wird in dem Bild eine symmetrische Last mit der Schraube in der Mitte angenommen.

Bild 4 — Alternative Lastwege der äußeren Druckkraft

Es werden zwei separate Bemessungsgrenzwerte für die äußeren Schraubenzuglasten betrachtet:

- 1) Die resultierende Schraubenkraft aus der äußeren Kraft und der maximalen Bemessungsvorspannung dürfen den Grenzwert der Bemessungszugspannung nach Gleichung (10) nicht überschreiten.
- 2) Die Verbindung, die der resultierenden Schraubenkraft aus der äußeren Kraft ausgesetzt ist und eine minimale Bemessungsvorspannung hat, darf nicht klaffen (keine Lücke). Siehe dazu Gleichung (11).

Für zugbelastete Verbindungen ist nachzuweisen, dass die äußere Bemessungszugkraft der Schraube $F_{e,t}$ keine der beiden Grenzwerte der Bemessungskräfte $F_{t1,Rd}$ oder $F_{t2,Rd}$ überschreitet. Siehe auch 5.3.2.

Der Grenzwert der Bemessungszugkraft je Schraube in Bezug auf die Fließgrenze der Schraube wird wie folgt berechnet:

$$F_{t1,Rd} = \frac{F_y / \gamma_{Rb} - F_{p,max}}{\Phi} \quad (10)$$

mit

$$\Phi = \frac{K_b}{K_b + K_c}$$

und

$$\gamma_{Rb} = \gamma_m \times \gamma_{sbt} \text{ und } F_y = f_{yb} \times A_s$$

Dabei ist

- F_y die Kraft an der Fließgrenze der Schraube;
- $F_{p,max}$ der maximale Wert der Vorspannung (siehe Gleichung (12));
- f_{yb} die Fließgrenze des Schraubenwerkstoffs;
- A_s der Spannungsquerschnitt des Gewindeteils der Schraube;
- Φ der Verspannungsfaktor der Verbindung, siehe Anhang G;
- γ_{sbt} der spezifische Widerstandsbeiwert für zugbelastete Verbindungen, $\gamma_{sbt} = 0,91$.

Der Grenzwert der Bemessungszugkraft je Schraube in Bezug auf das Klaffen wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$F_{t2,Rd} = \frac{F_{p,min}}{\gamma_{Rb} \cdot (1 - \Phi)} \quad (11)$$

Dabei ist

- $F_{p,min}$ der Mindestwert der Vorspannung (siehe Gleichung (13)).

Die Schwankung der Vorspannung aufgrund von Streuung wird durch die maximalen und minimalen Werte der Vorspannung wie folgt berücksichtigt:

$$F_{p,\max} = (1 + s) \times F_{p,d} \quad \text{und} \quad (12)$$

$$F_{p,\min} = (1 - s) \times F_{p,d} \quad (13)$$

Dabei ist

$F_{p,d}$ der Nennwert der Bemessungsvorspannung;

$F_{p,\max}$ der maximale Wert der Vorspannung;

$F_{p,\min}$ der minimale Wert der Vorspannung;

$\langle A_2 \rangle s$ die Vorlaststreuung,

$s = 0,23$ kontrolliertes Festziehen mit Messung des Anzugsdrehmoments

$s = 0,18$ kontrolliertes Festziehen mit Messung des Drehwinkels

$s = 0,09$ kontrolliertes Festziehen mit Messung der Kraft an der Schraube oder der Dehnung.

Werden mehrere identische und gleichmäßig belastete Schrauben in einer Verbindung eingesetzt, darf die Streuung zur Berechnung von $F_{p,\min}$ in Gleichung (13) angenommen werden als:

$s = 0,23/\sqrt{n}, s \geq 0,10$ bei kontrolliertem Festziehen mit Messung des Anzugsdrehmoments;

$s = 0,18/\sqrt{n}, s \geq 0,10$ bei kontrolliertem Festziehen mit Messung des Drehwinkels;

$s = 0,09/\sqrt{n}, s \geq 0,05$ bei kontrolliertem Festziehen mit Messung der Kraft an der Schraube oder der Dehnung;

und wobei

n die Anzahl der identischen Schrauben mit identischer Schraubenvorspannung und gleichmäßiger Belastung im betrachteten Sicherheitsnachweis ist.

$\langle A_2 \rangle$

Der Nennwert der Bemessungsvorspannung $F_{p,d}$ darf die in Tabelle 7 angegebenen Werte nicht überschreiten. Ansonsten kann jeder beliebige Wert der Vorspannung für eine spezielle Verbindung gewählt werden.



Tabelle 7 — Obergrenzen der Vorspannung nach dem Vorspannungsverfahren

Art des Vorspannungsverfahrens	Obergrenze des Nennwerts der Bemessungsvorspannung $F_{p,d}$
Verfahren, bei denen die Schraube einem Drehmoment ausgesetzt wird	$0,7 F_y$
Verfahren, bei denen Zugspannung nur direkt auf die Schraube aufgebracht wird Für Verfahren mit direkt aufgebrachter Zugspannung ist die Nennvorspannung, gleich $0,85 \cdot F_y$, die verbleibende Vorspannung, die nach dem möglichen Verlust der aufgebrachten Vorspannung während des Spannvorgangs, mit einer anfänglich aufgebrachten Vorspannung gleich $0,9 \cdot F_y$, erreicht wird.	$0,85 F_y$



Angaben zu den Anzugsdrehmomenten sind in Tabelle B.1 enthalten.

Zur Berechnung der Schraubenzusatzkraft ist der Lastweg der äußeren Druckkraft zu berücksichtigen, siehe Bild 4. Die Schraubenzusatzkraft ist allgemein nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\Delta F_b = \Phi \times (F_{e,t} + F_{e,c}) \quad (14)$$

Dabei ist

- ΔF_b die Schraubenzusatzkraft;
- Φ der Verspannungsfaktor;
- $F_{e,t}$ die äußere Zugkraft (die auf die Verbindung wirkt);
- $F_{e,c}$ die äußere Druckkraft (die auf die Verbindung wirkt). Diese bleibt unberücksichtigt (d. h. $F_{e,c}$ wird in der Gleichung gleich null gesetzt), wenn die äußere Druckkraft nicht auf die Druckzone unter der Schraube, wie in Fall a) übertragen wird); siehe Bild 4.

Die Schraubenzusatzkraft ΔF_b ist beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit von Schrauben nach Abschnitt 6 zu verwenden.

5.2.3.4 Auflagerverbindungen, die Lastkombinationen von Schub- und Zugspannungen ausgesetzt sind

Für Schrauben, die in Auflagerverbindungen sowohl Zug- als auch Scherkräften ausgesetzt sind, müssen folgende Grenzwerte für die aufgebrachten Kräfte eingehalten werden:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (15)$$

Dabei ist

- $F_{t,Sd}$ die äußere Zugkraft je Schraube;
- $F_{t1,Rd}$ der Grenzwert der Zugkraft je Schraube (siehe 5.2.3.3);
- $F_{v,Sd}$ die Bemessungsscherkraft je Schraube und Schubebene;
- $F_{v,Rd}$ der Grenzwert der Scherkraft je Schraube und Schubebene (siehe 5.2.3.1.2).

5.2.4 Grenzwert der Bemessungskräfte von Steckbolzenverbindungen

5.2.4.1 Grenzwert des Bemessungsbiegemoments von Steckbolzen

Der Grenzwert des Bemessungsbiegemoments ist wie folgt zu berechnen:

$$M_{\text{Rd}} = \frac{W_{\text{el}} \times f_{\text{yp}}}{\gamma_{\text{Rp}}} \quad (16)$$

mit

$$\gamma_{\text{Rp}} = \gamma_{\text{m}} \times \gamma_{\text{spm}}$$

Dabei ist

W_{el} das elastische Widerstandsmoment des Steckbolzens;

f_{yp} die Fließgrenze (Mindestwert) des Steckbolzenwerkstoffs;

γ_{spm} der spezifische Widerstandsbeiwert des Biegemoments von Steckbolzenverbindungen,
 $\gamma_{\text{spm}} = 1,0$.

5.2.4.2 Grenzwert der Bemessungsscherkraft von Steckbolzen

Der Grenzwert der Bemessungsscherkraft von Steckbolzen je Schubebene ist wie folgt zu berechnen:

$$F_{\text{vp,Rd}} = \frac{1}{u} \times \frac{A \times f_{\text{yp}}}{\sqrt{3} \times \gamma_{\text{Rp}}} \quad (17)$$

mit

$$\gamma_{\text{Rp}} = \gamma_{\text{m}} \times \gamma_{\text{sps}}$$

Dabei ist

u der Formfaktor;

$$u = \frac{4}{3} \quad \text{für massive Steckbolzen;}$$

$$u = \frac{4}{3} \times \frac{1 + \nu_{\text{D}} + \nu_{\text{D}}^2}{1 + \nu_{\text{D}}^2} \quad \text{für Hohlbolzen.}$$

Dabei ist

$$\nu_{\text{D}} = \frac{D_{\text{i}}}{D_{\text{o}}};$$

D_{i} der Innendurchmesser des Bolzens;

D_{o} der Außendurchmesser des Bolzens;

A die Querschnittsfläche des Bolzens;

γ_{sps} der spezifische Widerstandsbeiwert der Scherkraft von Steckbolzenverbindungen;

$\gamma_{\text{sps}} = 1,0$ für mehrschnittige Schubverbindungen A2 (siehe Bild 5) A2 ;

$\gamma_{\text{sps}} = 1,3$ für einschnittige Schubverbindungen.

5.2.4.3 Grenzwert der Bemessungsauflegerkraft von Steckbolzen und verbundenen Teilen

Der Grenzwert der Bemessungsauflegerkraft ist wie folgt zu berechnen:

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b \times d \times t \times f_y}{\gamma_{Rp}} \quad (18)$$

mit

$$\gamma_{Rp} = \gamma_m \times \gamma_{spb}$$

Dabei ist

$$\alpha_b = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{yp}}{f_y} ; \\ 1,0 \end{array} \right.$$

f_y die Fließgrenze (Mindestwert) des Werkstoffs der verbundenen Teile;

f_{yp} die Fließgrenze (Mindestwert) des Steckbolzenwerkstoffs;

d der Bolzendurchmesser;

t die Mindestdicke der verbundenen Teile, d. h. $2 \times t_1$ oder t_2 in Bild 5;

γ_{spb} der spezifische Widerstandsbeiwert für die Auflagerkraft von Steckbolzenverbindungen;

$\gamma_{spb} = 0,6$ wenn die verbundenen Teile in mehrschnittigen Schubverbindungen durch Befestigungselemente wie Außenmuttern an den Bolzenenden fest zusammengehalten werden;

$\gamma_{spb} = 0,9$ für einschnittige Schubverbindungen oder wenn die verbundenen Teile in mehrschnittigen Schubverbindungen nicht fest zusammengehalten werden.

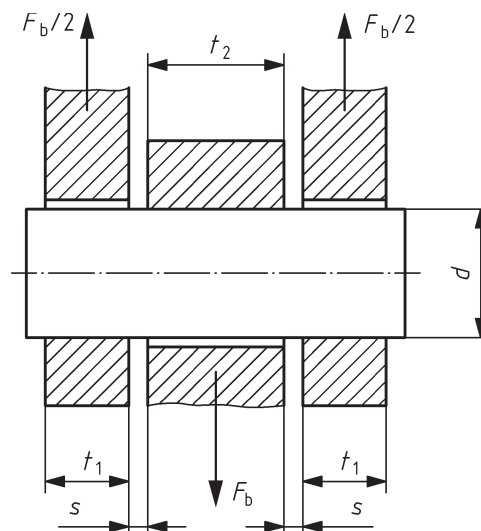


Bild 5 — Steckbolzenverbindungen

ANMERKUNG 1 Im Falle einer deutlichen Bewegung zwischen Steckbolzen und Auflagefläche sollte zur Verringerung des Verschleißes der Grenzwert unterhalb des berechneten Werts des Grenzwerts der Auflagerkraft ausgewählt werden.

ANMERKUNG 2 Bei wechselnder Richtung der Last sollte ein übermäßiges Spiel in der Verbindung verhindert werden.

5.2.4.4 Grenzwert der Bemessungskraft von verbundenen Teilen unter Berücksichtigung der Scherkraft

Der Grenzwert der Bemessungskraft in einer Ausfallart, wobei ein Werkstoffstück herausbricht, muss auf der Schubspannung in einem kritischen Bereich beruhen. Im Allgemeinen wird von einer gleichförmigen Verteilung der Schubspannung ausgegangen.

Der Grenzwert der Bemessungsschubkraft wird wie folgt berechnet:

$$F_{vs,Rd} = \frac{A_s \times f_y}{\gamma_m \times \sqrt{3}} \quad (19)$$

mit

$A_s = 2 \times s \times t$ für eine symmetrische Konstruktion, wie in Bild 6 a) und c);

$A_s = (s_1 + s_2) \times t$ für eine Konstruktion, wie in Bild 6 b) (sowohl s_1 als auch s_2 müssen größer als c sein).

Dabei ist

f_y die Fließgrenze des Werkstoffs des betrachteten Bauteils;

A_s die Scherfläche des Bruchbereichs;

s, s_1, s_2 $\sqrt{A_2}$ die Scherlängen des Bruchbereichs. Für Konstruktionen nach Bild 6 entspricht der Bruchbereich A-A und die Scherlängen werden durch eine 40-Grad-Vorgabe, wie angegeben, bestimmt. Die Verbindung sollte so proportioniert sein, dass c oder s gleich oder größer $0,8 \times d$ ist, es sei denn, Prüfungen oder Nachweise unterstützen eine unterschiedliche Aufteilung; $\sqrt{A_2}$

t die Dicke des Teils.

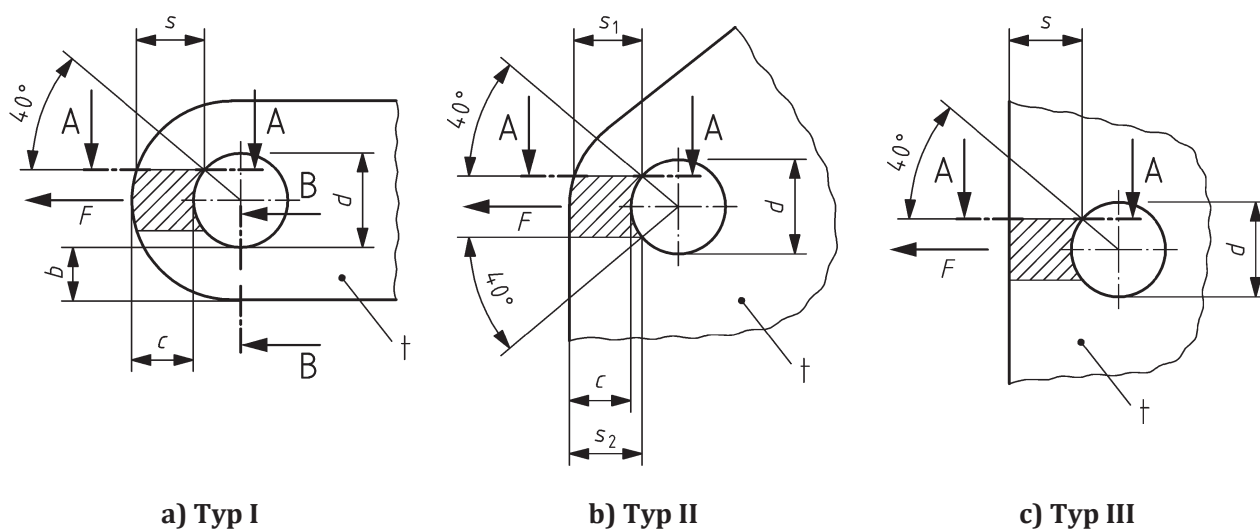


Bild 6 — Verbundene Teile

5.2.4.5 Grenzwert der Bemessungskraft von verbundenen Teilen unter Berücksichtigung der Zugspannung

Die Konstruktion muss auf der maximalen Zugspannung an der Innenfläche des Steckbolzenlochs beruhen. Eine Spannungskonzentration aufgrund der Geometrie des Steckbolzenlochs muss berücksichtigt werden.

Der Grenzwert der Bemessungskraft für die Konstruktion in Übereinstimmung mit Bild 6 a) wird wie folgt bestimmt:

$$F_{vt,Rd} = \frac{2 \times b \times t \times f_y}{k \times \gamma_m \times \gamma_{spt}} \quad (20)$$

mit

$$\gamma_{spt} = \frac{0,95}{\sqrt{k}} \times \frac{1,38 \times f_y}{f_u}$$

Dabei ist

- f_y die Fließgrenze des Werkstoffs des betrachteten Bauteils;
- f_u die Bruchfestigkeit des Werkstoffs des betrachteten Bauteils;
- γ_{spt} der spezifische Widerstandsbeiwert für die Spannung an Steckbolzenverbindungen;
- k der Spannungskonzentrationsbeiwert, d. h. das Verhältnis von der maximalen Spannung zur mittleren Spannung in dem Bereich. Für eine Konstruktion mit den geometrischen Maßen $1 \leq c/b \leq 2$ und $0,5 \leq b/d \leq 1$ (siehe Bild 6 a)), kann der Spannungskonzentrationsbeiwert Bild 7 entnommen werden. Für das Freimaß zwischen dem Loch und dem Bolzen werden die Toleranzen H11/h11 oder enger nach EN ISO 286-2:2010 angenommen. Im Fall von größeren Freimaßen sind größere Werte für k anzuwenden.

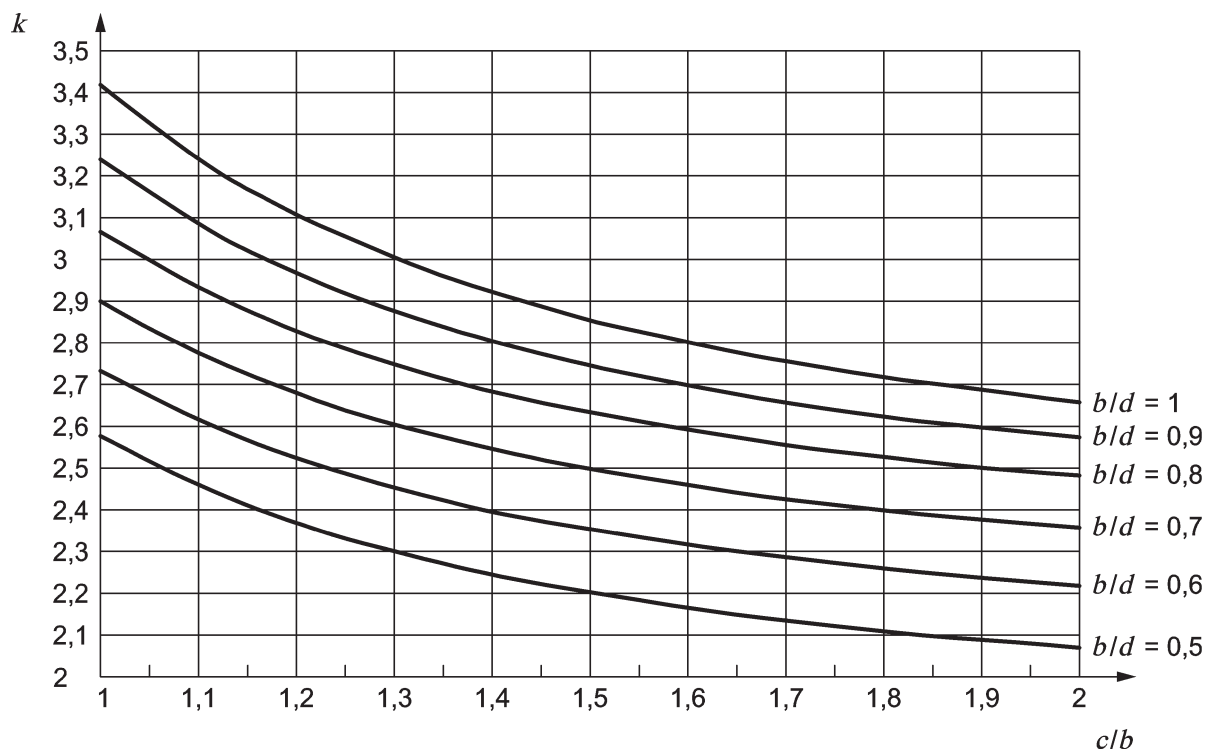


Bild 7 — Spannungskonzentrationsbeiwerte für einen bestimmten Steckbolzenverbindungstyp

ANMERKUNG Zugbeanspruchungen oder Zugkomponenten von Wechsellasten brauchen nur in diesem Abschnitt berücksichtigt werden. Dennoch können Situationen mit Wechsellasten zusätzliche Betrachtungen erfordern, wenn sie übermäßiges Spiel zur Folge haben oder die Funktionalität der Verbindung beeinträchtigen (siehe 5.2.4.3).

5.2.5 Grenzwert der Bemessungsspannungen von Schweißverbindungen

Der Grenzwert der zulässigen Schweißnahtspannung $f_{w,Rd}$, der bei der Konstruktion von Schweißverbindungen Anwendung findet, hängt von folgenden Faktoren ab:

- Schweißgrundwerkstoff und Schweißzusatzstoffe;
- Art der Schweißnaht;
- Art der Spannung, die nach Anhang C bewertet wird;
- Schweißnahtgüte.

Entsprechend der Nummer der Gleichung, die in Tabelle 8 angegeben ist, ist der Grenzwert der Schweißnahtbemessungsspannung $f_{w,Rd}$ wie folgt zu berechnen:

$$f_{w,Rd} = \frac{\alpha_w \times f_y}{\gamma_m} \quad (21)$$

oder

$$f_{w,Rd} = \frac{\alpha_w \times f_{uw}}{\gamma_m} \quad (22)$$

Dabei ist

- α_w ein Beiwert, der in Tabelle 8 angegeben ist und von der Art der Schweißnaht, vom Spannungstyp und Werkstoff abhängig ist;
- f_y der Mindestwert der Fließgrenze der betreffenden verbundenen Teile;
- f_{uw} die Bruchfestigkeit des Schweißwerkstoffs (gesamtes Schweißgut).



Tabelle 8 — Beiwert für Grenzwerte der Schweißnahtspannung

Art des Schweißwerkstoffs	Spannungsrichtung	Art der Schweißnaht	Art der Spannung	Nummer der Gleichung	α_w		
					$f_y \leq 420$ N/mm ²	$f_y > 420$ $f_y < 930$ N/mm ²	$f_y \geq 930$ N/mm ²
Gleichwertig (f_y bezieht sich auf die verschweißten Teile)	Spannung senkrecht zur Schweißnaht-richtung	Durchgeschweißte Naht	Zug oder Druck	21	1,0		b
		Nicht durchgeschweißte Naht ^a	Zug oder Druck	21	0,90		b
	Spannung parallel zur Schweißnaht-richtung	Alle Schweißnähte	Schub	21	0,60		b
Nicht gleichwertig (f_y bezieht sich auf den Schweißwerkstoff)	Spannung senkrecht zur Schweißnaht-richtung	Durchgeschweißte Naht	Zug oder Druck	22	0,80	0,85	0,90
		Nicht durchgeschweißte Naht ^a	Zug oder Druck	22	0,70	0,75	0,80
	Spannung parallel zur Schweißnaht-richtung	Alle Schweißnähte	Schub	22	0,45	0,50	0,50
<p>Die Werte von α_w gelten für Schweißnähte der Bewertungsgruppe C nach EN ISO 5817:2014 oder besser.</p> <p>Der Nachweis der verbundenen Teile, in Übereinstimmung mit 5.3.1, ist immer zusätzlich zum Nachweis der Schweißnaht, in Übereinstimmung mit 5.3.4, erforderlich. Bei verbundenen Teilen aus unterschiedlichen Werkstoffen ist der Nachweis für jedes Teil separat zu erbringen.</p> <p>Siehe EN ISO 17659 für die Definition einer durchgeschweißten Naht und einer nicht durchgeschweißten Naht.</p> <p>Gleichwertiger Schweißwerkstoff: Schweißwerkstoff, dessen Bruchfestigkeit gleich oder besser als die der verbundenen Teile ist.</p> <p>Nicht gleichwertiger Schweißwerkstoff: Schweißwerkstoff, dessen Bruchfestigkeit geringer als die der verbundenen Teile ist.</p> <p>Die geschweißten Verbindungsstellen zusammengesetzter Bauteile, wie z. B. Flansch-Steg-Verbindungen, können ohne Berücksichtigung der Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse angeordnet werden, Bedingung ist jedoch, dass die Schweißnähte so ausgelegt sind, dass sie die Scherkräfte, die zwischen diesen Teilen erzeugt werden, aufnehmen können.</p> <p>^a Eine asymmetrische Schweißnaht wird nicht empfohlen. Wird sie dennoch verwendet, müssen verbundene Bauteile so gestützt werden, dass die Einwirkung einer Lastexzentrizität auf die Schweißnähte vermieden wird.</p> <p>^b Gleichwertige Schweißwerkstoffe für höchstfeste Stähle stehen nicht ohne Weiteres zur Verfügung.</p>							

5.3 Durchführung des Nachweises

5.3.1 Nachweis für Bauteile

Für die Konstruktion von Bauteilen ist nachzuweisen, dass

$$\sigma_{Sd} \leq f_{Rd\sigma} \text{ und } \tau_{Sd} \leq f_{Rd\tau} \quad (23)$$

Dabei sind

σ_{Sd}, τ_{Sd} die Bemessungsspannungen. Anstelle der Bemessungsspannung kann die Vergleichsspannung nach von Mises (GEH-Hypothese) angewendet werden;

$f_{Rd\sigma}, f_{Rd\tau}$ die entsprechenden Grenzwerte der Bemessungsspannungen nach 5.2.2. Falls der Wert nach von Mises angewendet wird, ist $f_{Rd\sigma}$ der Grenzwert der Bemessungsspannung.

Im Falle von ebenen Spannungszuständen, für die die Spannungen nach von Mises keine Anwendung finden, muss zusätzlich nachgewiesen werden, dass

$$\left(\frac{\sigma_{Sd,x}}{f_{Rd\sigma,x}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Sd,y}}{f_{Rd\sigma,y}} \right)^2 - \frac{\sigma_{Sd,x} \times \sigma_{Sd,y}}{f_{Rd\sigma,x} \times f_{Rd\sigma,y}} + \left(\frac{\tau_{Sd}}{f_{Rd\tau}} \right)^2 \leq 1 \quad (24)$$

Dabei sind

x, y die Indizes für die orthogonalen Richtungen der Spannungskomponenten.

Räumliche Spannungszustände können auf den ungünstigsten ebenen Spannungszustand reduziert werden.

5.3.2 Nachweis für Schraubverbindungen

Für jede Ausfallart einer Verbindung ist für das am meisten beanspruchte Bauteil nachzuweisen, dass

$$F_{Sd} \leq F_{Rd} \quad (25)$$

Dabei ist

F_{Sd} die Bemessungskraft des Elements je nach Art der Verbindung, z. B.

$F_{e,t}$ für zugbelastete Verbindungen (siehe 5.2.3.3);

F_{Rd} der Grenzwert der Bemessungskraft nach 5.2.3, je nach Art der Verbindung, d. h.

$F_{v,Rd}$ Grenzwert der Bemessungsscherkraft;

$F_{b,Rd}$ Grenzwert der Bemessungsauflagerkraft;

$F_{s,Rd}$ Grenzwert der Bemessungsgleitkraft;

$F_{cs,Rd}$ Grenzwert der Bemessungszugkraft je verbundenem Teil;

$F_{t1,Rd}, F_{t2,Rd}$ Grenzwerte der Bemessungszugkraft.

ANMERKUNG Die Aufteilung der Gesamtlast auf die einzelnen Teile einer Verbindung sollte beachtet werden.

5.3.3 Nachweis für Steckbolzenverbindungen

Für Steckbolzen und verbundene Teile ist nachzuweisen, dass:

$$\begin{aligned} M_{Sd} &\leq M_{Rd} \\ F_{vp,Sd} &\leq F_{vp,Rd} \\ F_{bi,Sd} &\leq F_{b,Rd} \\ F_{vd,Sd} &\leq F_{vs,Rd} \\ F_{vd,Sd} &\leq F_{vt,Rd} \end{aligned} \quad (26)$$

Dabei ist

M_{Sd}	der Bemessungswert des Biegemoments von Steckbolzen;
M_{Rd}	der Grenzwert des Bemessungsbiegemoments nach 5.2.4.1;
$F_{vp,Sd}$	der Bemessungswert der Scherkraft von Steckbolzen;
$F_{vp,Rd}$	der Grenzwert der Bemessungsscherkraft nach 5.2.4.2;
$F_{bi,Sd}$	der ungünstigste Bemessungswert der Auflagerkraft am Anschlussblech von Steckbolzenverbindungen;
$F_{b,Rd}$	der Grenzwert der Bemessungsscherkraft nach 5.2.4.3;
$F_{vd,Sd}$	die Bemessungskraft im verbundenen Teil;
$F_{vs,Rd}$	der Grenzwert der Bemessungsscherkraft im verbundenen Teil nach 5.2.4.4;
$F_{vt,Rd}$	der Grenzwert der Bemessungszugkraft des verbundenen Teils nach 5.2.4.5.

ANMERKUNG In Verbindungen mit mehreren Steckbolzen sollte die Aufteilung der Gesamtlast auf die einzelnen Komponenten beachtet werden.

In Ermangelung einer ausführlichen Analyse darf für eine konservative Annahme folgende Gleichung verwendet werden:

$$M_{Sd} = \frac{F_b}{8} \times (2 \times t_1 + t_2 + 4 \times s) \quad (27)$$

Dabei ist

F_b , t_1 , t_2 und s wie in Bild 5 dargestellt.

5.3.4 Nachweis für Schweißverbindungen

Für die Auslegung der Schweißnaht ist nachzuweisen, dass:

$$\sigma_{w,sd} \text{ und } \tau_{w,sd} \leq f_{w,Rd} \quad (28)$$

Dabei ist

$\tau_{w,sd}$, $\sigma_{w,sd}$	die Bemessungsspannungen der Schweißnaht (siehe Anhang C);
$f_{w,Rd}$	der entsprechende Grenzwert der Bemessungsspannung der Schweißnaht nach 5.2.5.