

DIN EN 13001-3-1

ICS 53.020.20

Ersatz für
DIN 15018-1:1984-11,
DIN 15018-2:1984-11,
DIN CEN/TS 13001-3-1:2005-03
und
DIN CEN/TS 13001-3-1
Berichtigung 1:2006-11

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

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

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

Gesamtumfang 112 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Norm enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Sie beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ des Europäischen Komitees für Normung (CEN) ausgearbeiteten EN 13001-3-1:2012-03.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung wurden vom Lenkungsausschuss NA 060-22-10 AA „CEN/TC 147-ISO/TC 96 — Krane“ im Fachbereich Krane und Hebezeuge des Normenausschusses Maschinenbau (NAM) im DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., wahrgenommen.

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 Gemeinschaften 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.

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

Für die zitierten Internationalen Normen, sofern sie nicht als DIN ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, gibt es keine nationalen Entsprechungen.

Die in der englischen Fassung in 6.2.1, Aufzählung im letzten Absatz, angegebenen Titel von Tabelle H.1 und Tabelle H.2 weichen von den tatsächlichen Tabellentiteln in Anhang H des Dokuments ab. Der Fehler wurde in der deutschen Fassung korrigiert.

Änderungen

Gegenüber DIN CEN/TS 13001-3-1:2005-03, DIN CEN/TS 13001-3-1 Berichtigung 1:2006-11 und DIN 15018-1:1984-11 und DIN 15018-2:1984-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- CEN/TS zusammen mit der Berichtigung 1 in eine Norm überführt;
- Bemessungsgrundlagen dem Stand der Technik angepasst; d. h. eine Methodische Änderung, die die Methode der Grenzzustände und Teilsicherheiten in dieser Normenserie einsetzt im Gegensatz zur Methode der zulässigen Spannungen (DIN 15018), die die Sicherheit auf der Lastseite vorsieht, d. h., die einzelnen Lasten (f_i) werden jeweils mit den Teilsicherheiten (γ_p) beaufschlagt;
- Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie aufgenommen und den Grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG angepasst;
- Dokument vollständig überarbeitet und an die gültigen Gestaltungsregeln angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN 120-1: 1936xxxx-11

DIN 120-2: 1936-11

DIN 15018-1: 1974-04, 1984-11

DIN 15018-2: 1974-04, 1984-11

DIN CEN/TS 13001-3-1: 2005-03

DIN CEN/TS 13001-3-1 Berichtigung 1: 2006-11

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.

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-CENELEC 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, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, 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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	8
3.1 Begriffe	8
4 Allgemeines	11
4.1 Dokumentation.....	11
4.2 Werkstoffe für Bauteile	12
4.2.1 Werkstoffsorten und Werkstoffgüten	12
4.2.2 Kerbschlagzähigkeit.....	15
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.....	39
6.2.1 Charakteristische Ermüdungsfestigkeit.....	39
6.2.2 Schweißnahtgüte	41
6.2.3 Anforderungen an Ermüdungsversuche.....	42
6.3 Spannungsverläufe.....	42
6.3.1 Allgemeines	42
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	46
6.5.1 Anwendbare Verfahren	46

6.5.2	Direkte Anwendung des Spannungsverlaufsparmeters	46
6.5.3	Anwendung der S-Klassen	47
6.5.4	Unabhängige gleichzeitig wirkende Normal- und/oder Schubspannungen.....	48
7	Nachweis der statischen Festigkeit von Hohlprofilträgerstößen	49
8	Nachweis der elastischen Stabilität	49
8.1	Allgemeines	49
8.2	Knicken von druckbelasteten Stäben	49
8.2.1	Kritische Knicklast	49
8.2.2	Grenzwert der zulässigen Druckkraft.....	50
8.3	Beulen von Platten unter Druck- und Scherbeanspruchung.....	52
8.3.1	Allgemeines	52
8.3.2	Grenzwert der Bemessungsspannung mit Bezug auf die Längsspannung σ_x	53
8.3.3	Grenzwert der Bemessungsspannung mit Bezug auf die Querspannung σ_y	55
8.3.4	Grenzwert der Bemessungsspannung mit Bezug auf die Schubspannung τ	57
8.4	Durchführung des Nachweises.....	58
8.4.1	Druckbelastete Stäbe	58
8.4.2	Platten.....	58
Anhang A (informativ)	Grenzwert der Bemessungsscherkraft $F_{v,Rd}$ je Schraube und Schubebene in mehrschnittigen Verbindungen	60
Anhang B (informativ)	Vorgespannte Schrauben.....	61
Anhang C (normativ)	Schweißnahtbemessungsspannungen $\sigma_{W,Sd}$ und $\sigma_{W,Sd}$	63
C.1	Stumpfstoß.....	63
C.2	Kehlnaht	64
C.3	T-Stoß mit durchgeschweißter und nicht durchgeschweißter Naht	65
C.4	Effektive Verteilungslänge bei punktförmiger Belastung	66
Anhang D (normativ)	Werte der inversen Steigung m und der charakteristischen Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_c, \Delta\sigma_c$	67
Anhang E (normativ)	Berechnete Grenzwerte für Bemessungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{Rd}$ und $\Delta\sigma_{Rd,1}$	88
Anhang F (informativ)	Ermittlung von Spannungsspielen (Beispiel)	90
Anhang G (informativ)	Berechnung der Steifigkeit von zugbelasteten Verbindungen	92
Anhang H (informativ)	Hohlprofile	95
Anhang I (informativ)	Auswahl geeigneter Krannormen für den konkreten Anwendungsfall.....	107
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2006/42/EG	108
Literaturhinweise		109

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13001-3-1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2012 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt CEN/TS 13001-3-1:2004.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

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

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 von Maschinen;*
- *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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, 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 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).

EN 1990:2002, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

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*

EN 10045-1:1990, *Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren*

EN 10149-2:1995, *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 2: Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte Stähle*

EN 10149-3:1995, *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 3: Lieferbedingungen für normalgeglühte oder normalisierend gewalzte Stähle*

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 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 898-1:2009, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen — Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2009)*

EN ISO 5817:2007, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003 + Cor. 1:2006)*

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 und EN 1990:2002. Für die Definition der Lasten gilt ISO 4306:2007, Abschnitt 6.

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
F_K	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

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (2 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
$F_{t,Rd}$	Grenzwert der Bemessungszugkraft der Schraube
$F_{t,Sd}$	äußere Zugkraft je Schraube
$F_{v,Sd}$	Bemessungsscherkraft je Schraube und Schubebene
$F_{vp,Rd}$	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
f_K	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	Fließgrenze des Werkstoffs
f_{yb}	Fließgrenze der Schrauben
f_{yp}	Fließgrenze der Steckbolzen
h_d	Abstand zwischen Schweißstelle und Kontaktfläche der angreifenden Last
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 $m = 3$
$k_{\sigma x}, k_{\sigma y}, k_{\tau}$	Knickfaktoren
L	Länge des Elements (Knicken)
l_m	Messlänge
l_r	relevante Schweißnahtlänge
l_w	Schweißnahtlänge
M_{Rd}	Grenzwert des Bemessungsbiegemoments
M_{Sd}	Bemessungsbiegemoment

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (3 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
m	inverse Steigung der Wöhlerlinie
N	Druckkraft (Knicken)
NC	Kerbklasse
N_k	kritische Knicklast
N_{ref}	Referenzzahl der Spannungsspiele
$\min \sigma, \max \sigma$	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)

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen (4 von 4)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
$\kappa, \kappa_x, \kappa_y, \kappa_t$	Reduktionsbeiwerte (Knicken)
λ	Breite der Kontaktfläche in Schweißnahttrichtung
$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_t$	dimensionslose Schlankheit (Knicken)
ψ	Randspannungsverhältnisses (Knicken)
ΔF_b	Zusatzkraft
$\Delta \delta_t$	Zusatzdehnung
μ	Gleitreibungskoeffizient
ν	relative Gesamtzahl der Spannungsspiele (Normalisiert)
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 gegläht (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 gegläht (N) EN 10149-3.

Tabelle 2 enthält spezifische Werte für die Nennfestigkeit f_u , f_y und Grenzwerte für die Bemessungsspannung f_{Rd} (siehe 5.2). Die angegebenen Werte gelten für Temperaturen bis zu 150° C. Weitere Einzelheiten können den spezifischen Europäischen Normen entnommen werden.

Die Werkstoffeigenschaften müssen die Mindestanforderungen an die Duktilität wie folgt erfüllen:

- das Verhältnis $f_u/f_y \geq 1,05$; und
- prozentuale Bruchdehnung $A \geq 7\%$ auf einer Messlänge $L_0 = 5,65 \times \sqrt{S_0}$ (dabei ist S_0 die ursprüngliche Querschnittsfläche).

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.

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:

- das Verhältnis $f_u/f_y \geq 1,05$;
- prozentuale Bruchdehnung $A \geq 7\%$ auf einer Messlänge $L_0 = 5,65 \times \sqrt{S_0}$ (dabei ist S_0 die ursprüngliche Querschnittsfläche).
- wenn die Schweißbarkeit nachgewiesen wird.

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

Tabelle 2 — Spezifische Stahlwerte für Bauteile (1 von 3)

Stahl	Norm	Dicke t mm	Nennfestigkeit		Grenzwert für die Bemessungsspannung ($\gamma_{Rm} = 1,1$)	
			f_y Fließgrenze N/mm ²	f_u Bruchfestigkeit N/mm ²	f_{Rd} Normalspannung N/mm ²	f_{Rd} Schubspannung N/mm ²
S235	EN 10025-2	$t \leq 16$	235	340	214	123
		$16 < t \leq 40$	225		205	118
		$40 < t \leq 100$	215		195	113
		$100 < t \leq 150$	195		177	102
S275		$t \leq 16$	275	430	250	144
		$16 < t \leq 40$	265		241	139
		$40 < t \leq 63$	255		232	134
		$63 < t \leq 80$	245		223	129
		$80 < t \leq 100$	235		214	123
		$100 < t \leq 150$	225		205	118
S355		$t \leq 16$	355	490	323	186
		$16 < t \leq 40$	345		314	181
		$40 < t \leq 63$	335		305	176
		$63 < t \leq 80$	325		296	171
		$80 < t \leq 100$	315		287	166
		$100 < t \leq 150$	295		268	155

Tabelle 2 — Spezifische Stahlwerte für Bauteile (2 von 3)

Stahl	Norm	Dicke t mm	Nennfestigkeit		Grenzwert für die Bemessungsspannung ($\gamma_{Rm} = 1,1$)	
			f_y Fließgrenze	f_u Bruchfestigkeit	$f_{Rd\sigma}$ Normalspannung	$f_{Rd\tau}$ Schubspannung
			N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
S355	EN 10025-3 (N) EN 10025-4 (M)	$t \leq 16$	355	450	323	186
		$16 < t \leq 40$	345		314	181
		$40 < t \leq 63$	335		305	176
		$63 < t \leq 80$ (N)	325		295	171
		$80 < t \leq 100$ (N)	315		286	165
		$100 < t \leq 150$ (N)	295		268	155
S420		$t \leq 16$	420	500	382	220
		$16 < t \leq 40$	400		364	210
		$40 < t \leq 63$	390		355	205
		$63 < t \leq 80$ (N)	370		336	194
		$80 < t \leq 100$ (N)	360		327	189
		$100 < t \leq 150$ (N)	340		309	178
S460		$t \leq 16$	460	530	418	241
		$16 < t \leq 40$	440		400	231
		$40 < t \leq 63$	430		391	226
		$63 < t \leq 80$ (N)	410		373	215
		$80 < t \leq 100$ (N)	400		364	210
S460		EN 10025-6	$3 < t \leq 50$	460	550	418
$50 < t \leq 100$	440		400	231		
S500	$3 < t \leq 50$		500	590	455	262
	$50 < t \leq 100$		480		436	252
S550	$3 < t \leq 50$		550	640	500	289
	$50 < t \leq 100$		530		482	278
S620	$3 < t \leq 50$		620	700	564	325
	$50 < t \leq 100$		580		527	304
S690	$3 < t \leq 50$		690	770	627	362
	$50 < t \leq 100$		650		591	341
S890	$3 < t \leq 50$		890	940	809	467
	$50 < t \leq 100$		830		755	436
S960	EN 10025-6	$3 < t \leq 50$	960	980	873	504

Tabelle 2 — Spezifische Stahlwerte für Bauteile (3 von 3)

Stahl	Norm	Dicke t mm	Nennfestigkeit		Grenzwert für die Bemessungsspannung ($\gamma_{Rm} = 1,1$)	
			f_y Fließgrenze N/mm ²	f_u Bruchfestigkeit N/mm ²	$f_{Rd\sigma}$ Normalspannung N/mm ²	$f_{Rd\tau}$ Schubspannung N/mm ²
S315	EN 10149-2 (M)	alle t	315	390	286	165
S355			355	430	323	186
S420			420	480	382	220
S460 (M)	EN 10149-3 (N)		460	520	418	241
S500 (M)			500	550	455	262
S550 (M)			550	600	500	289
S600 (M)	EN 10149-2 (M)	alle t	600	650	545	315
S650 (M)		$t \leq 8$	650	700	591	341
		$t > 8$	630		573	331
S700 (M)	EN 10149-3 (N)	$t \leq 8$	700	750	636	367
		$t > 8$	680		618	357

4.2.2 Kerbschlagzähigkeit

Bei der Auswahl der Stahlsorte und Stahlgüte für die zugbelasteten Bauteile ist die Summe der Kerbschlagzähigkeitsparameter q_i zu berücksichtigen. In Tabelle 3 sind die Kerbschlagzähigkeitsparameter q_i für diverse Einflüsse aufgeführt. Tabelle 4 enthält die Sollwerte für die Stahlgüte und Kerbschlagarbeit/Prüftemperatur in Abhängigkeit von Σq_i . Es können aber auch andere als die in Tabelle 4 genannten Stahlsorten und Stahlgüten verwendet werden, wenn eine Kerbschlagarbeit/Prüftemperatur nach EN 10045-1 geprüft und festgelegt wurde.

Tabelle 3 — Kerbschlagzähigkeitsparameter q_i

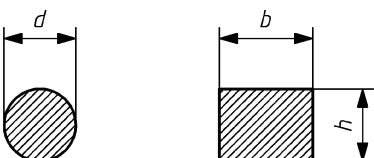
i	Einfluss		q_i
1	Betriebstemperatur T (° C)	$0 \leq T$	0
		$-10 \leq T < 0$	1
		$-20 \leq T < -10$	2
		$-30 \leq T < -20$	3
		$-40 \leq T < -30$	4
		$-50 \leq T < -40$	6
2	Fließgrenze f_y (N/mm ²)	$f_y \leq 300$	0
		$300 < f_y \leq 460$	1
		$460 < f_y \leq 700$	2
		$700 < f_y \leq 1\,000$	3
		$1\,000 < f_y \leq 1\,300$	4
3	Materialdicke t (mm) Äquivalente Dicke t für Stangen aus Vollmaterial:  $t = \frac{d}{1,8}$ 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

	$\Sigma q_i \leq 5$	$6 \leq \Sigma q_i \leq 8$	$9 \leq \Sigma q_i \leq 11$	$12 \leq \Sigma q_i \leq 14$
Sollwert der Kerbschlagarbeit/ Prüftemperatur	27 J/+20°C	27 J/0°C	27 J/-20°C	27 J/-40°C
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
^a Darf verwendet werden, wenn die Kerbschlagzähigkeit mindestens 27 J bei -40°C beträgt, nach EN 10045-1 geprüft und festgelegt.				

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 898-1:2009 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 gewährleistet Sicherheit vor übermäßigen Verformungen infolge des Fließverhaltens des Werkstoffes oder durch Verrutschen der Verbindungen mit Reibschluss sowie vor elastischer Instabilität (siehe Abschnitt 8) und Bruch der Bauteile und Verbindungen. 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:

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

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

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 der Mindestwert der Fließgrenze des Werkstoffs (siehe Tabelle 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):

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

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

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

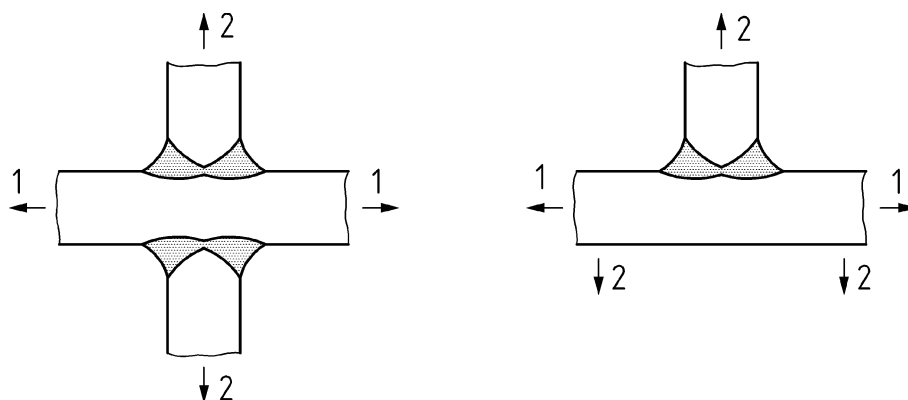
Der Werkstoff hält senkrechte Lasten aus und weist keine lamellenartigen auf.

$$\gamma_{sm} = 1,0 \text{ bei einer Blechdicke } < 15 \text{ mm oder für Werkstoffe der Güteklasse Z25 oder Z35 nach EN 10164:2004;}$$

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

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

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



Legende

In Bild 1 ist eine Zuglast senkrecht zur Walzebene dargestellt, wobei

- 1 die Richtung der Walzebene ist
- 2 die Richtung der Spannung/Last ist.

Bild 1 — Zuglast 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 Bemessungsauflegerkraft $F_{b,Rd}$ 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;

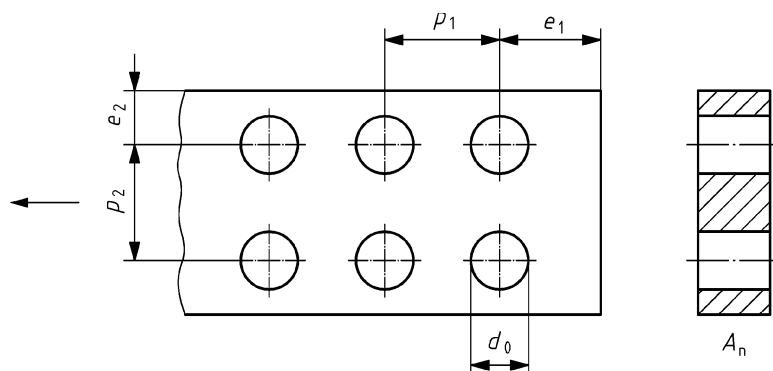
t die Dicke des verbundenen Teils, der Kontakt zum Schraubenteil ohne Gewinde hat;

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			
	Norm-löcher ^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 Kraftrichtung

^d Langlöcher mit Schlitz parallel zur Kraftrichtung

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.

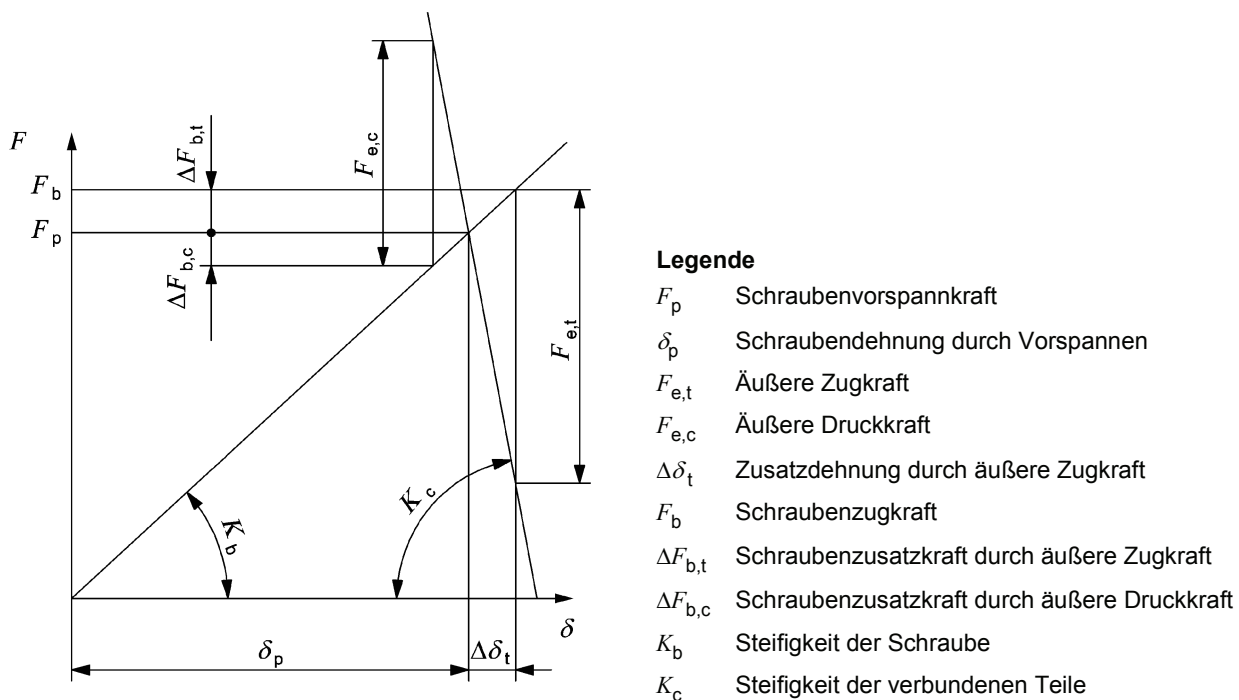
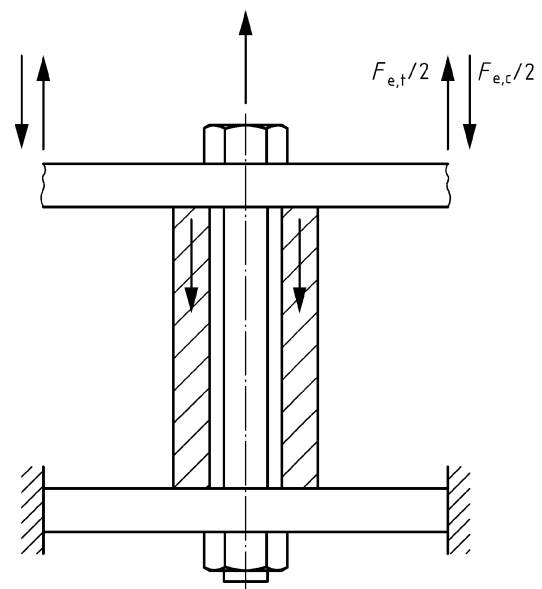
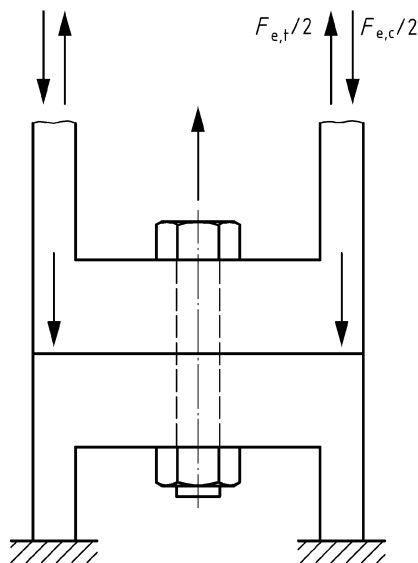


Bild 3 — Kraft-Dehnungs-Diagramm (Verspannungsdreieck)



- 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

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

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;
- s die Vorlaststreuung;
- $s = 0,23$ kontrolliertes Festziehen mit Messung des Drehwinkels oder Anzugsdrehmoments;
- $s = 0,09$ kontrolliertes Festziehen mit Messung der Kraft an der Schraube oder der Dehnung.

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**

Vorspannungsverfahren	Obergrenze der Vorspannung
Verfahren, bei die Schraube einem Drehmoment ausgesetzt wird	$0,7 F_y$
Verfahren, bei dem nur die direkte Zugspannung auf die Schraube aufgebracht wird ANMERKUNG Für Verfahren mit direkter Spannung entspricht die Nennvorspannung der Eigenvorspannung nach einem möglichen Verlust der aufgebrachten Vorspannung während des Spannungsvorgangs.	$0,9 F_y$

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:

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

mit

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

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,
 $\gamma_{spm} = 1,0$.

5.2.4.2 Grenzwert der Bemessungsscherkraft von Steckbolzen

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

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

mit

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

Dabei ist

u der Formfaktor;

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

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

$$\text{Dabei ist } \nu_D = \frac{D_1}{D_0};$$

D_1 der Innendurchmesser des Bolzens;

D_0 der Außendurchmesser des Bolzens;

A die Querschnittsfläche des Bolzens;

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

$\gamma_{sps} = 1,0$ für mehrschnittige Schubverbindungen;

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

5.2.4.3 Grenzwert der Bemessungslagerkraft von Steckbolzen und verbundenen Teilen

Der Grenzwert der Bemessungslagerkraft 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

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

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.

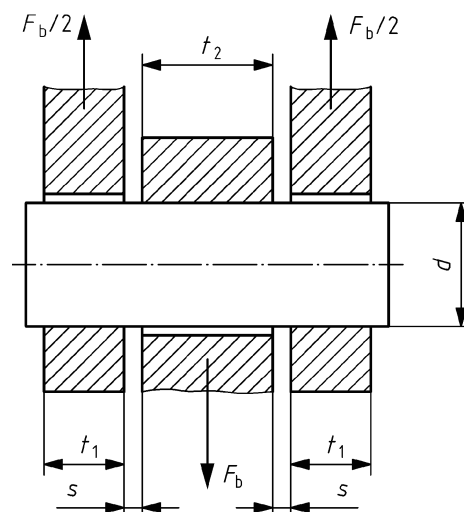


Bild 5 — Steckbolzenverbindungen

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 die Scherlängen des Bruchbereichs. Für Konstruktionen nach Bild 6 entsprechen die Bruchbereiche A-A und die Scherlängen werden durch eine 40-Grad-Vorgabe, wie angegeben, bestimmt;

t die Dicke des Teils.

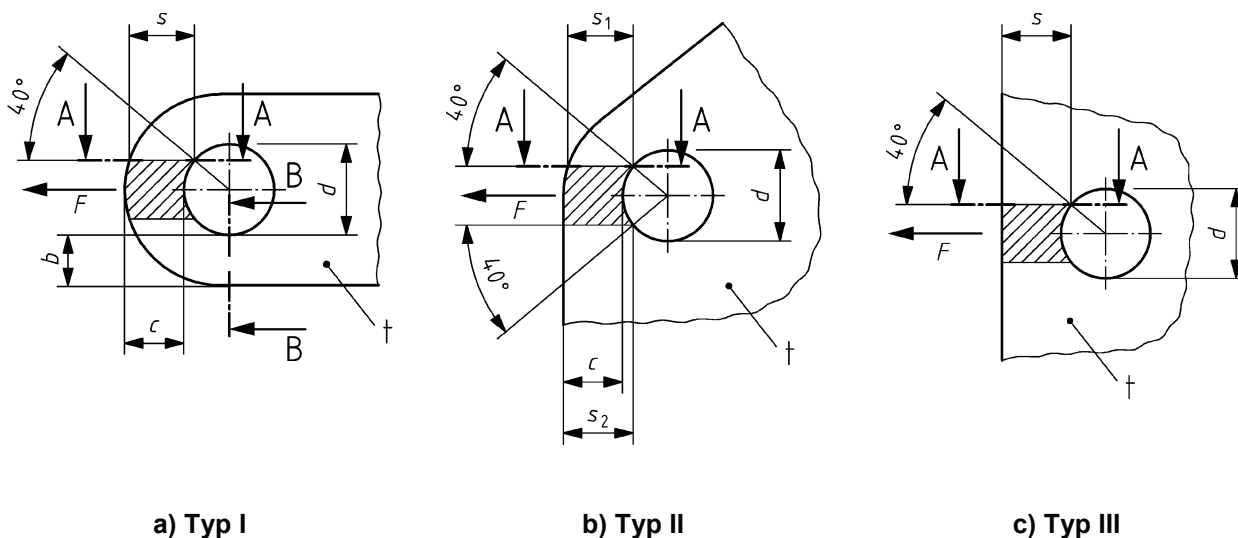


Bild 6 — Verbundene Teile