

DIN EN 13001-3-1

ICS 53.020.20

Entwurf

Einsprüche bis 2009-05-02
Vorgesehen als Ersatz für
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 prEN 13001-3-1:2008**

Cranes –
General design –
Part 3-1: Limit States and proof of competence; German Version prEN 13001-3-1:2008

Grues –
Conception générale –
Partie 3-1: Etats limites et vérification de la sécurité des structures métalliques;
Version allemande prEN 13001-3-1:2008

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-03-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nam@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN, 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64 (Hausanschrift: Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main).

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

Gesamtumfang 104 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...¹⁾

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung des von der Arbeitsgruppe WG 2 „Konstruktion, allgemein“ im Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ des Europäischen Komitees für Normung (CEN) ausgearbeiteten prEN 13001-3-1:2008. Das Sekretariat wird von BSI, Vereinigtes Königreich gehalten.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung wurden vom Lenkungskreis „CEN/TC 147 – ISO/TC 96 – Krane“ des Normenausschusses Maschinenbau (NAM) im DIN wahrgenommen.

Diese Europäische Norm konkretisiert einschlägige Anforderungen von Anhang I der EG-Maschinenrichtlinie 98/37/EG (gültig bis 28. Dezember 2009) sowie mit Wirkung vom 29. Dezember 2009 der neuen EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG an erstmals im EWR in Verkehr gebrachte Krane, 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.

Für die in 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.

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 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Norm wurde an die ISO/FDIS 20332-1 weitgehend in Struktur und Inhalt angeglichen.

1) Wird bei Herausgabe als Norm festgelegt.

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

Grues — Conception générale — Partie 3-1 : Etats limites et vérification de la sécurité des structures métalliques

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

ICS: 53.020.20

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage:
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.2

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe	9
4 Allgemeines.....	12
4.1 Dokumentation.....	12
4.2 Werkstoffe	12
4.2.1 Bauteile	12
4.3 Schraubverbindungen.....	16
4.3.1 Schraubenwerkstoffe	16
4.3.2 Allgemeines.....	16
4.3.3 Schub- und Auflagerverbindungen.....	16
4.3.4 Gleitfeste Verbindungen	17
4.3.5 Zugbelastete Verbindungen	17
4.4 Steckbolzenverbindungen	17
4.5 Schweißverbindungen	18
4.6 Nachweis für Bauteile und Verbindungen	18
5 Nachweis der statischen Festigkeit.....	19
5.1 Allgemeines.....	19
5.2 Grenzwerte der Bemessungsspannungen und -kräfte.....	19
5.2.1 Allgemeines.....	19
5.2.2 Grenzwert der Bemessungsspannung von Bauteilen	20
5.2.3 Grenzwert der Bemessungskräfte in Schraubverbindungen.....	21
5.2.4 Grenzwert der Bemessungskräfte von Steckbolzenverbindungen.....	29
5.2.5 Grenzwert der Bemessungsspannungen von Schweißverbindungen.....	32
5.3 Durchführung des Nachweises	34
5.3.1 Nachweis für Bauteile	34
5.3.2 Nachweis für Schraubverbindungen	34
5.3.3 Nachweis für Steckbolzenverbindungen	35
5.3.4 Nachweis für Schweißverbindungen	35
6 Nachweis der Ermüdungsfestigkeit.....	36
6.1 Allgemeines.....	36
6.2 Grenzwert der Bemessungsspannungen.....	37
6.2.1 Charakteristische Ermüdungsfestigkeit.....	37
6.2.2 Schweißnahtgüte	39
6.2.3 Anforderungen an Ermüdungsversuche.....	40
6.3 Spannungsverläufe.....	41
6.3.1 Ermittlung der Spannungsverläufe.....	41
6.3.2 Häufigkeit des Auftretens von Spannungsspielen.....	41
6.3.3 Spannungsverlaufsparemeter	42
6.3.4 Bestimmung der S-Klassen des Spannungsverlaufsparemers.....	44
6.4 Durchführung des Nachweises	44
6.5 Ermittlung des Grenzwerts der zulässigen Schwingbreite	45
6.5.1 Anwendbare Methode	45
6.5.2 Direkte Anwendung des Spannungsverlaufsparemers.....	45
6.5.3 Anwendung der S-Klassen	45
6.5.4 Unabhängige gleichzeitig wirkende Normal- und/oder Schubspannungen	47
7 Nachweis der statischen Festigkeit von Hohlprofilträgerstößen	48

8	Nachweis der elastischen Stabilität	48
8.1	Allgemeines	48
8.2	Knicken von druckbelasteten Stäben	48
8.2.1	Kritische Knicklast	48
8.2.2	Grenzwert der zulässigen Druckkraft	49
8.3	Beulen von Platten unter Druckbeanspruchung	51
8.4	Durchführung des Nachweises	53
8.4.1	Druckbelastete Stäbe	53
8.4.2	Platten mit Druckspannungen	53
Anhang A (informativ)	Grenzwert der Bemessungsscherkraft $F_{v,Rd}$ je Passschraube und Schubebene in mehrschnittigen Verbindungen	54
Anhang B (informativ)	Vorgespannte Schrauben	55
Anhang C (normativ)	Schweißnahtbemessungsspannung $\sigma_{W,Sd}$ und $\tau_{W,Sd}$	57
Anhang D (normativ)	Werte der inversen Steigung und charakteristischen Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_c$, $\Delta\tau_c$	61
Anhang E (normativ)	Berechnete Grenzwerte für Bemessungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{Rd}$	80
Anhang F (informativ)	Ermittlung von Spannungsspielen (Beispiel)	82
Anhang G (informativ)	Berechnung der Steifigkeit von zugbelasteten Verbindungen	84
Anhang H (informativ)	Hohlprofile	87
Anhang I (informativ)	Auswahl geeigneter Krannormen für den konkreten Anwendungsfall	99
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 98/37/EG	100
Anhang ZB (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EG-Richtlinie 2006/42/EG	101
Literaturhinweise		102
Bilder		
Bild 1 — Zuglast senkrecht zur Walzebene		21
Bild 2 — Darstellung zur Gleichung (7)		23
Bild 3 — Kraft-Dehnungs-Diagramm (Verspannungsdreieck)		26
Bild 5 — Steckbolzenverbindungen		31
Bild 6 — Verbundene Teile		32
Bild 7 — Darstellung der Wöhlerlinie $\Delta\sigma - N$ und von $\Delta\sigma_c$		38
Bild 8 — Darstellung der Klassifizierung der Spannungsverlaufparameter s für $m = 3$		43
Bild C.1 — Stumpfnahht		57
Bild C.2 — Abmessungen der Verbindungsstelle		58
Bild C.3 — Abmessungen der Verbindungsstellen		59
Bild C.4 — Punktförmige Last		60
Bild F.1 — Beispiel für Spannungsschwankungen, hervorgerufen durch Lastbewegungen während der Arbeitsvorgänge an einem Schiffsentlader		82
Bild G.1 — Arten von zugbelasteten Verbindungen		84
Bild G.2 — Richtwerte für den Lasteinleitungsfaktor α_L als eine Funktion der Verbindungsform		86
K-Knoten mit direkter Strebenverbindung		96
N-Knoten mit direkter Strebenverbindung		96
K-Knoten mit direkter Strebenverbindung		97
N-Knoten mit direkter Strebenverbindung		98

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen	9
Tabelle 2 — Spezifische Stahlwerte für Bauteile	13
Tabelle 3 — Kerbzähigkeitsparameter q_i	15
Tabelle 4 — Kerbfestigkeitsvorgabe und entsprechende Stahlgüte für Σq_i	15
Tabelle 5 — Güteklassen (Schraubenqualität)	16
Tabelle 6 — Spezifischer Widerstandsbeiwert für gleitfeste Verbindungen	24
Tabelle 8 — Beiwert α_w für Grenzwerte der Schweißnahtspannung	33
Tabelle 9 — Spezifischer Widerstandsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit γ_{mf}	37
Tabelle 10 — S-Klassen des Spannungsverlaufparameters s_3	43
Tabelle 11 — Werte des Spannungsverlaufparameters s_3 der S-Klassen	46
Tabelle 12 — Kritische Knicklast N_k für Eulersche Knickfälle	48
Tabelle 13 — Parameter α und zulässige Vorkrümmung für verschiedene Querschnitte	50
Tabelle 14 — Knickbeiwert k_σ	52
Tabelle 15 — Maximal zulässige Imperfektion f für Platten und Aussteifungen	53
Tabelle A.1 — Grenzwert der Bemessungsscherkraft $F_{v,Rd}$ je Passschraube und Schubebene in mehrschnittigen Verbindungen	54
Tabelle A.2 — Grenzwert der Bemessungsscherkraft $F_{v,Rd}$ am Schaft je Standardschraube und Schubebene in mehrschnittigen Verbindungen	54
Tabelle B.2 — Grenzwert der Bemessungsgleitkraft $F_{S,Rd}$ je Schraube und Reibungsschnittstelle unter Berücksichtigung einer Bemessungsvorspannkraft $F_{p,d} = 0,7 \times f_{yb} \times A_s$	56
Tabelle D.1 — Grundwerkstoff der Bauteile	61
Tabelle D.2 — Elemente von nicht geschweißten Verbindungen	63
Tabelle D.3 — Geschweißte Teile	64
Tabelle E.1 — Teile mit $m = 3$ und $\gamma_{mf} = 1,25$	80
Tabelle E.2 — Teile mit $m = 5$ und $\gamma_{mf} = 1,25$	81
Tabelle H.1 — Werte der inversen Steigung m der Wöhlerlinie $\Delta\sigma-N$ und der Grenzwert der zulässigen Schwingbreite $\Delta\sigma_c$ für Verbindungen und Stöße von Hohlprofilträgern, $m = 5$	87
Tabelle H.2 — Werte der inversen Steigung m der Wöhlerlinie $\Delta\sigma-N$ und Grenzwert der zulässigen Schwingbreite $\Delta\sigma_c$ für fachwerkartige Verbindungen von Hohlprofilträgern, $m = 5$	95

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13001-3-1:2008) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

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

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

Zum Zusammenhang mit EG-Richtlinien siehe informative Anhänge ZA und ZB, die Bestandteil dieses Dokuments sind.

Es wird darauf aufmerksam gemacht, dass Teile dieser Norm möglicherweise patentrechtlich geschützt sind. Die ISO haftet nicht dafür, diese Patentrechte, teilweise oder vollständig, aufzuzeigen.

Diese Europäische Norm ist ein Teil der EN 13001-Serie. 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 3-5: *Grenzzustände und Sicherheitsnachweise von Haken und Hakenflaschen.*

Die Anhänge C, D und E sind normativ. Die Anhänge A, B, F, G, H und I sind informativ.

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 12100-1 definiert.

Die betreffenden Maschinen und Anlagen und der Umfang, in dem Gefahren abgedeckt werden, sind im Geltungsbereich 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 Teil 1 und Teil 2 anzuwenden. Sie spezifizieren allgemeine Bedingungen, Anforderungen und Methoden zur Vermeidung mechanischer Gefahren von Kranen durch Konstruktion und theoretische Nachweisverfahren.

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

Im Folgenden sind signifikante Gefahrensituationen und gefährliche Ereignisse 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 für Krane, die nach dem Datum der Zustimmung zu dieser Norm durch CEN gefertigt werden, und dient als Referenzgrundlage für Europäische Normen für spezielle Krantypen.

ANMERKUNG EN 13001-3-1 beinhaltet nur die Methode der Grenzzustände entsprechend EN 13001-1. Alternativ zu der hierin genannten Methode der Grenzzustände unter Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten, kann der zulässige Spannungsnachweis unter Verwendung des Gesamtsicherheitsbeiwertes nach Teil 1 und 2 auch für spezielle Krananlagen mit linearem Verhalten angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 1993-1-1:2005, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 10045-1:1989, *Metallische Werkstoffe – Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren*

EN 10025-1:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen*

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 normal geglühte, normalisierend gewalzte schweißgeeigneten Feinkornbaustählen*

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

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

EN 10149-1:1995, *Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen — Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen*

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 normal oder geglühte, normalisierend gewalzte Stähle*

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

EN 12345:1998, *Schweißen — Mehrsprachige Benennungen für Schweißverbindungen mit bildlichen Darstellungen (dreisprachig)*

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

EN 13001-2, *Krane — Konstruktion allgemein — Teil 2: Lasteinwirkungen*

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

EN 22553:1994, *Schweiß- und Löt Nähte — Symbolische Darstellung in Zeichnungen (ISO 2553:1992)*

prEN ISO 898-1:2006, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben (ISO/DIS 898-1:2006)*

EN ISO 4042:1999, *Verbindungselemente — Galvanische Überzüge (ISO 4042:1999)*

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

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

EN ISO 12100-1:2003, *Sicherheit von Maschinen — Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze — Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie (ISO 12100-1:2003)*

EN ISO 12100-2:2003, *Sicherheit von Maschinen — Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze — Teil 2: Technische Leitsätze (ISO 12100-2:2003)*

EN ISO 15330:1999, *Verbindungselemente — Verspannungsversuch zur Entdeckung von Wasserstoffversprödung — Verfahren mit parallelen Auflageflächen (ISO 15330:1999)*

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

ISO 286-2:1990, *ISO system of limits and fits — Part 2: Tables of standard tolerance grades and limit deviations for holes and shafts*

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

ISO 9587:1999, *Metallic and other inorganic coatings — Pretreatment of iron or steel to reduce the risk of hydrogen embrittlement*

3 Begriffe

3.1

Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in EN ISO 12100-1 und EN ISO 12100-2 angegebenen Begriffe und Definitionen und die Grunddefinitionen aus EN 1990-1. Für die Definition der Lasten gilt Abschnitt 6 in ISO 4306-1:1990

3.2

Symbole und Abkürzungen

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

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
A	Querschnitt
A_n	Nettoquerschnittsfläche
A_S	Spannungsquerschnitt einer Schraube
a	Plattenlänge
a_r	Relevante Schweißnahtdicke
b	Plattenbreite
D_o, D_i	Außen-, Innendurchmesser des Hohlbolzens
d	Durchmesser (Schrauben-, Steckbolzenschaft)
d_o	Lochdurchmesser
e_1, e_2	Abstände
F_b	Schraubenzugkraft
F_d	Grenzkraft
F_K	Charakteristischer Wert (Kraft)
F_p	Vorspannkraft einer Schraube
$F_{Rd, \sigma}$	Grenzwert der zulässigen Normalkraft
$F_{Rd, \tau}$	Grenzwert der zulässigen Scherkraft
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
$F_{s, Rd}$	Grenzwert der Bemessungsgleitkraft je Schraube und Reibungsschnittstelle
$F_{t, Rd}$	Grenzwert der Bemessungszugkraft der Schraube
$F_{v, Rd}$	Grenzwert der Bemessungsscherkraft je Schraube/Steckbolzen und Scherebene
$F_{v, Sd}$	Bemessungsscherkraft je Schraube/Steckbolzen und Schubebene
$F_{\sigma, \tau}$	Angreifende Normal-/Scherkraft

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
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_{yk}	Fließgrenze (Minimalwert) des Grundwerkstoffs oder Bauteils
f_{yp}	Fließgrenze der Steckbolzen
G_t	Masse der beweglichen Kranteile während eines repräsentativen Arbeitszyklus
h	Abstand zwischen Schweißstelle und Kontaktfläche der angreifenden Last
K_b	Steifigkeit der Schraube
K_c	Steifigkeit der Flansche
k^*	Verhältniszahl des spezifischen Spannungskollektivs
$k_{(m)}$	Spannungskollektivbeiwert, basierend auf m des betreffenden Bauteils
$k_{(m=3)}$	Spannungskollektivbeiwert, basierend auf m = 3
l_m	Messlänge
l_r	Relevante Schweißnahtlänge
l_w	Schweißnahtlänge
M_{Rd}	Grenzwert des Bemessungsbiegemoments
M_{Sd}	Bemessungsbiegemoment
m	Inverse Steigung der Wöhlerlinie
NC	Kerbklasse
$\min \sigma, \max \sigma$	Extremwerte der Spannung
P_S	Überlebenswahrscheinlichkeit
p_1, p_2	Abstände zwischen den Schraubenmitten
Q	Masse der maximalen Hublast
q	Kerbzähigkeitsparameter
R_d	Bemessungswiderstand
r	Laufgradradius
S_d	Bemessungsbeanspruchung
$s(m)$	Spannungsverlaufparameter
T	Temperatur
t	Dicke

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
W_{el}	Elastisches Widerstandsmoment
α	Charakteristischer Beiwert für Auflagerverbindungen
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
γ_{sb}	Spezifischer Widerstandsbeiwert der Schraube
γ_{Rm}	Resultierender Widerstandsbeiwert der Bauteile
γ_{sm}	Spezifischer Widerstandsbeiwert der Bauteile
γ_{Rp}	Resultierender Widerstandsbeiwert der Steckbolzen
γ_{sp}	Spezifischer Widerstandsbeiwert 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
ϕ_2	Dynamischer Beiwert
κ	Spreizwinkel
λ	Breite der Kontaktfläche in Schweißnahttrichtung
δ_p	Dehnung durch Vorspannen
ΔF_b	Zusatzkraft
$\Delta \delta$	Zusatzdehnung
μ	Gleitreibungskoeffizient
V	Relative Gesamtzahl der Spannungsspiele (normal gegläht)
V_D	Durchmesserverhältnis
$\Delta \sigma_c$	Charakteristischer Wert der Schwingbreite (Normalspannung)
$\Delta \tau_c$	Charakteristischer Wert der Schwingbreite (Schubspannung)
σ_{Sd}	Bemessungsspannung (Normalspannung)
τ_{Sd}	Bemessungsspannung (Schubspannung)
$\sigma_{w, Sd}$	Bemessungsspannung der Schweißnaht (Normalspannung)

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbole, Abkürzungen	Bezeichnung
$\tau_{w, Sd}$	Bemessungsspannung der Schweißnaht (Schubspannung)
$\Delta\sigma_{Rd}$	Zulässige (Grenzwert) Schwingbreite (Normalspannung)
$\Delta\sigma_{Rd,1}$	Grenzwert der Bemessungsschwingbreite für $k^* = 1$
$\Delta\tau_{Rd}$	Zulässige (Grenzwert) Schwingbreite (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,
- Werkstoffeigenschaften,
- Schweißnahtgüte nach EN ISO 5817,
- Eigenschaften der Verbindungselemente,
- relevante Grenzzustände.

4.2 Werkstoffe

4.2.1 Bauteile

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

Für Bauteile sind Stähle entsprechend den folgenden Europäischen Normen zu verwenden:

- Unlegierte Baustähle EN 10025-2
- Schweißbare Feinkornbaustähle in folgendem Zustand:
 - Normal gegläht (N) EN 10025-3
 - Thermomechanisch behandelt (M) EN 10025-4
- Hochfeste Baustähle in gehärtetem Zustand EN 10025-6
- Hochfeste Baustähle für Kaltverformung in folgendem Zustand:
 - Thermomechanisch behandelt (M) EN 10149-2
 - 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 Europäischen Normen entnommen werden.

Es können auch andere als in den vorgenannten Normen und in Tabelle 2 aufgeführte Stahlsorten und Stahlgüten verwendet werden, wenn die mechanischen Eigenschaften und die chemische Zusammensetzung durch den Hersteller sichergestellt werden und diese mit den einschlägigen Europäischen Normen übereinstimmen. Im Bedarfsfall muss die Schweißbarkeit durch den Stahlhersteller demonstriert werden.

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 Kerbzähigkeitsparameter q_i für diverse Einflüsse aufgeführt. Tabelle 4 enthält die Sollwerte für die Stahlqualität 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 der Stahlhersteller eine Kerbschlagarbeit/Prüftemperatur entsprechend EN10045-1 sichergestellt und zertifiziert.

Tabelle 2 — Spezifische Stahlwerte für Bauteile

Stahl	Norm	Dicke t mm	Nennfestigkeit		Grenzwert für die Bemessungsspannung für $\gamma_{Rm}=1,1$	
			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
S235		$t \leq 16$	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	EN 10025-2	$t \leq 16$	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		$T < 16$	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	EN 10025-3 (N) EN 10025-4 (M)	$t < 16$	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		$t < 16$	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

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Stahl	Norm	Dicke t mm	Nennfestigkeit		Grenzwert für die Bemessungsspannung für $\gamma_{Rm}=1,1$	
			f_y Fließ- grenze N/mm ²	f_u Bruch- festigkeit N/mm ²	$f_{Rd\sigma}$, Normal- spannung N/mm ²	$f_{Rd\tau}$, Schub- spannung N/mm ²
S460	EN 10025-6	3 < $t \leq 50$ 50 < $t \leq 100$	460 440	550	418 400	241 231
S500		3 < $t \leq 50$ 50 < $t \leq 100$	500 480	590	455 436	262 252
S550		3 < $t \leq 50$ 50 < $t \leq 100$	550 530	640	500 482	289 278
S620		3 < $t \leq 50$ 50 < $t \leq 100$	620 580	700	564 527	325 304
S690		3 < $t \leq 50$ 50 < $t \leq 100$	690 650	770 760	627 591	362 341
S890		3 < $t \leq 50$ 50 < $t \leq 100$	890 830	940 880	809 755	467 436
S960		3 < $t \leq 50$	960	980	873	504
S315	EN 10149–2 (M)	alle t	315	390	286	165
S355			355	430	323	186
S420			420	480	382	220
S460 (M)			460	520	418	241
S500 (M)			500	550	455	262
S550 (M)			550	600	500	289
S600 (M)			600	650	545	315
S650 (M)	EN 10149-3 (N)	$t \leq 8$ $t > 8$	650 630	700	591 573	341 331
S700 (M)		$t \leq 8$ $t > 8$	700 680	750	636 618	367 357

Tabelle 3 — Kerbzähigkeitsparameter q_i

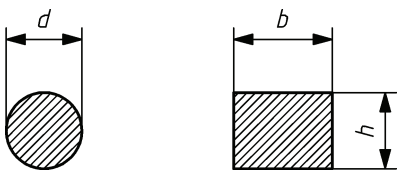
i	Einfluss		q_i
1	Temperatur T (°C)	$0 \leq T$	0
		$-20 \leq T < 0$	1
		$-40 \leq T < -20$	2
		$-50 \leq T < -40$	4
2	Fließgrenze f_y (N/mm ²)	$f_y \leq 300$	0
		$300 < f_y \leq 460$	1
		$460 < f_y \leq 700$	2
		$700 < f_y \leq 1\,000$	3
		$1\,000 < f_y$	4
3	Materialdicke t (mm) Äquivalente Dicke für 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
		$20 < t \leq 50$	2
		$50 < t \leq 100$	3
		$t > 100$	4
4	Spannungskonzentration und Kerbkategorie $\Delta\sigma_c$ [N/mm ²] (siehe Anhang D und Anhang I)	$\Delta\sigma_c > 125$	0
		$80 < \Delta\sigma_c \leq 125$	1
		$56 < \Delta\sigma_c \leq 80$	2
		$\Delta\sigma_c \leq 56$	3

Tabelle 4 — Kerbfestigkeitsvorgabe und entsprechende Stahlgüte für $\sum q_i$

	$\sum q_i \leq 3$	$4 \leq \sum q_i \leq 6$	$7 \leq \sum q_i \leq 9$	$\sum q_i \geq 10$
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	NC, MC	NC, MC	NC, MC	a)
a) Kann verwendet werden, wenn der Stahlhersteller eine Kerbschlagarbeit/Prüftemperatur von mindestens 27 Joule bei – 40°C entsprechend EN 10045-1 gewährleistet und zertifiziert.				

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 zu verwenden. In Tabelle 5 sind die Festigkeitsnennwerte angegeben:

Tabelle 5 — Güteklassen (Schraubenqualität)

Güteklasse (Schrauben- qualität)	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 Im Bedarfsfall muss der Schraubenlieferant dem Konstrukteur für Schrauben der Güteklasse 10.9 und 12.9 den Nachweis 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 mit Hilfe von Schrauben, bei denen

- die Schrauben so stark angezogen werden müssen, dass sie die Verbindungsflächen fest zusammendrücken, um Schwingungen, Wechsellasten oder Lastschwankungen standzuhalten oder ein Verrutschen zu vermeiden, was zu nachteiligen Änderungen in der Geometrie führen kann;
- andere Schraubverbindungen auch mittels Schraubenschlüssel festgezogen sein können;
- die Verbindungsflächen gegen Verdrehen zu sichern sind (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 muss den Toleranzen h13 und H11 (oder kleiner) nach ISO 286-2 entsprechen, 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;
- nur der Schaftteil ohne Gewinde in den Auflagerberechnungen effektiv berücksichtigt wird;
- keine spezielle Oberflächenbehandlung der Kontaktflächen erforderlich 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, 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 spezifiziert 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 Schraubenachse wirken und Axialspannungen in der Schraube erzeugen, wobei

- vorgespannte Verbindungen mit hochfesten Schrauben der Güteklassen (Schraubenqualität) 8.8, 10.9 oder 12.9 durch ein kontrolliertes Verfahren festgezogen werden, bis sie den spezifischen Vorspannungszustand erreicht haben;
- die zusätzliche Schraubenspannung, die durch Hebelwirkung infolge der Geometrie der Verbindungsstelle erzeugt werden kann, zu berücksichtigen ist;
- der Ermüdungszustand der Schrauben infolge der Spannungsschwankungen an der Schraube, die durch Konstruktionsmerkmale der Verbindung, z. B. Steifigkeit der verbundenen Teile oder Hebelwirkung beeinträchtigt werden, ermittelt wird.

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 ISO 286-2 entsprechen. Bei Lasten mit wechselnden Richtungen sind kleinere Toleranzen zu wählen.

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

Zur Gewährleistung der Drehbarkeit von Steckbolzenverbindungen unter Lasteinwirkung muss das Sicherungselement eine axiale Verschiebung des Steckbolzens 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.

Dabei sind die Qualitätsstufen nach EN ISO 5817 zu beachten und geeignete Verfahren für eine zerstörungsfreie Prüfung anzuwenden, um die Einhaltung der spezifizierten Qualitätsanforderungen zu gewährleisten.

In der Regel sind Schweißverbindungen der Qualitätsstufe C zulässig, wenn die Stähle eine maximale Fließgrenze von 400 N/mm² haben und ein statischer Festigkeitsnachweis erbracht wurde.

Qualitätsstufe 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 in den meisten Fällen von einer gleichmäßigen Verteilung ausgegangen werden. Es können aber auch andere Spannungsverteilungen angenommen werden, vorausgesetzt, diese erfüllen die Grundanforderungen eines Gleichgewichts und einer Kontinuität und sind adäquat zur tatsächlichen Verformungskennlinie der Verbindung.

Eigenspannungen und Spannungen, die nicht an der Übertragung von Kräften beteiligt sind, müssen bei der Auslegung von Schweißnähten, die statischen Einflüssen ausgesetzt sind, unberücksichtigt bleiben. Das gilt insbesondere für Normalspannungen, die parallel zur Achse der im Grundwerkstoff eingebetteten Schweißnaht wirken.

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 zulässigen Spannungen oder Kräfte S_d müssen mittels relevanter Lasten, Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte 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, außer für Kranteile mit Werten des Spannungsverlaufparameters s unter 0,001 (siehe 6.3.3).
- Festigkeitsnachweis für Hohlprofilträgerstöße nach Abschnitt 7;
- Nachweis der elastischen Stabilität nach Abschnitt 8.

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 mit Hilfe 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 mit Hilfe der Widerstände nach 5.2 zu erbringen.

In dieser Norm werden nur Nennspannungen berücksichtigt, d. h. Spannungen, die mit Hilfe der traditionellen elastischen Theorie der Festigkeitslehre berechnet werden. Der Einfluss örtlicher Spannungskonzentrationen bleibt unberücksichtigt. 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} = Funktion (f_k , γ_R) oder

Grenzwert der Bemessungskraft F_{Rd} = Funktion (F_k , γ_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 Sonderbauteile.

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 errechnet werden:

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

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

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

Dabei ist

f_{yk} der Mindestwert der Fließgrenze des Werkstoffs (siehe Tabelle 2)

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

für ungewalzten Werkstoff

$$\gamma_{sm} = 1,0$$

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

$$\gamma_{sm} = 1,0 \text{ bei Spannungen in der Walzebene}$$

$$\gamma_{sm} = 1,0 \text{ bei Druck- und Schubspannungen}$$

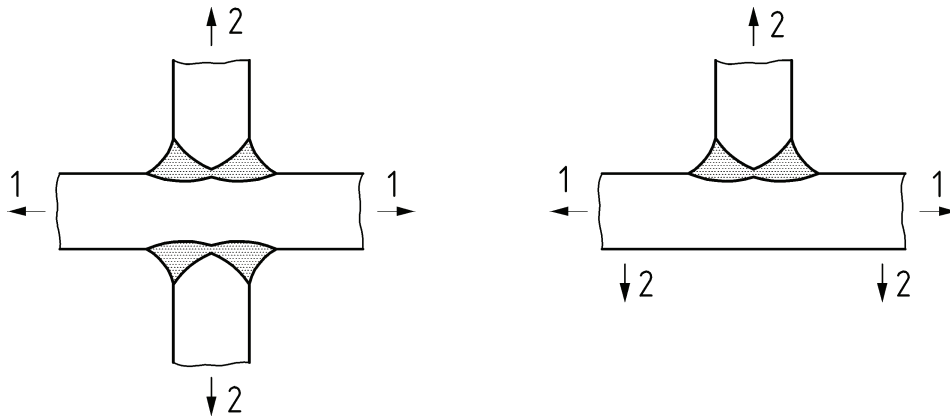
Bei Zugspannungen senkrecht zur Walzebene (siehe Bild 1) gilt:

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

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

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

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



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

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

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.

5.2.3.1.2 Schraubenscherkraft

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

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

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

Dabei ist

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

A die Querschnittsfläche des Schraubenschaftes in der Schubebene

γ_{sb} der spezifische Widerstandsbeiwert für Schraubverbindungen

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

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

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

5.2.3.1.3 Auflagerungskraft der Schrauben und verbundenen Teile

Der Grenzwert der Bemessungsaullagerungskraft $F_{b,Rd}$ je Schraube lässt sich wie folgt berechnen:

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

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

$$\alpha = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right. \quad (7)$$

Dabei gelten folgende Vorgaben für die Platte:

$$e_1 \geq 2,0 \times d_0$$

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

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

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

Dabei ist

f_{ub}	die Bruchfestigkeit (Nennwert) der Schraube (Tabelle 5)
f_u	die Bruchfestigkeit (Nennwert) des Werkstoffs der verbundenen Teile (Tabelle 2)
f_y	die Fließgrenze (Mindestwert) des Grundwerkstoffs (Tabelle 2)
d	der Schaftdurchmesser der Schraube
t	die Dicke des verbundenen Teils, der Kontakt zum Schraubenteil ohne Gewinde hat
γ_{sb}	der spezifische Widerstandsbeiwert für Schraubverbindungen
	$\gamma_{sb} = 0,7$ für mehrschnittige Schubverbindungen
	$\gamma_{sb} = 0,9$ für einschnittige Schubverbindungen
p_1, p_2, e_1, e_2	sind Abstände (siehe Bild 2)

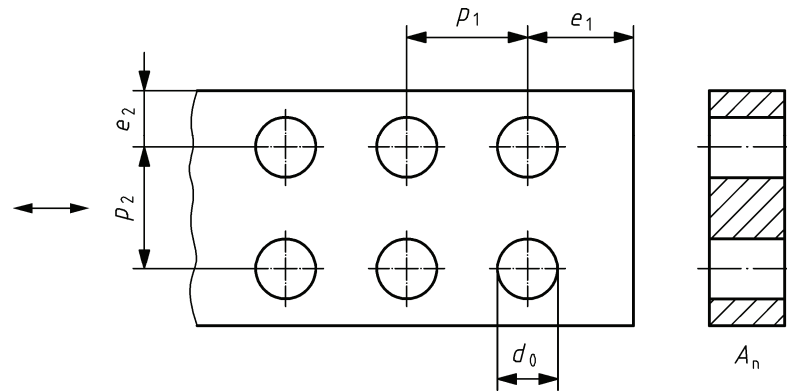


Bild 2 — Darstellung zur Gleichung (7)

5.2.3.1.4 Spannung in den verbundenen Teilen

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

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

mit

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

Dabei ist

A_n die Nettoquerschnittsfläche 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, mit einer Drahtbürste oder durch Flammstrahlen gereinigt
- $\mu = 0,25$ 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 Spannung an der Verbindung (zur Vereinfachung gilt $F_{cr} = F_e$).

Es ist zu gewährleisten, dass die angewandte Vorspannkraft größer als oder gleich der zulässigen Vorspannkraft ist.

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

Tabelle 6 — Spezifischer Widerstandsbeiwert 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
Sicherheit würde gewährleistet	1,14	1,34	1,63	2,00
Sicherheit würde nicht gewährleistet	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 Formel zugrunde legen:

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

Dabei ist

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

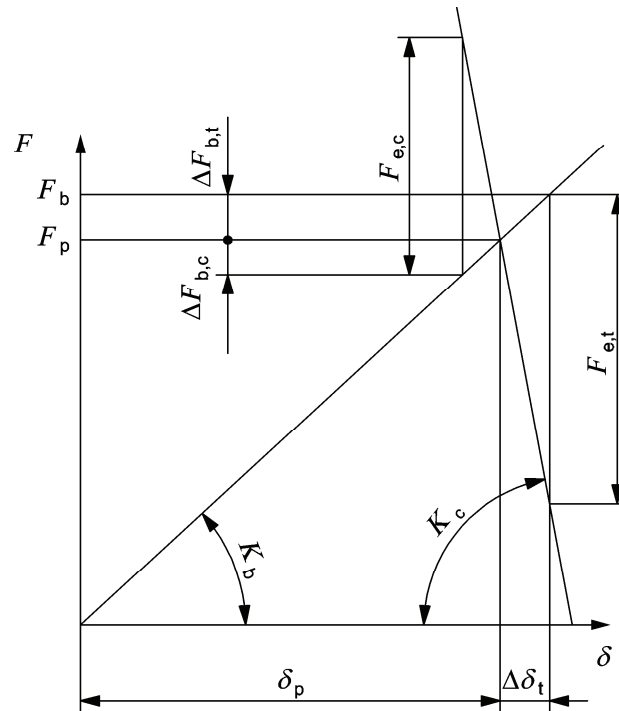
A_s der Spannungsquerschnitt der Schraube.

5.2.3.3 Zugbelastete Verbindungen

In diesem Abschnitt wird der Grenzzustand einer Schraube in einer Verbindung spezifiziert. 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.

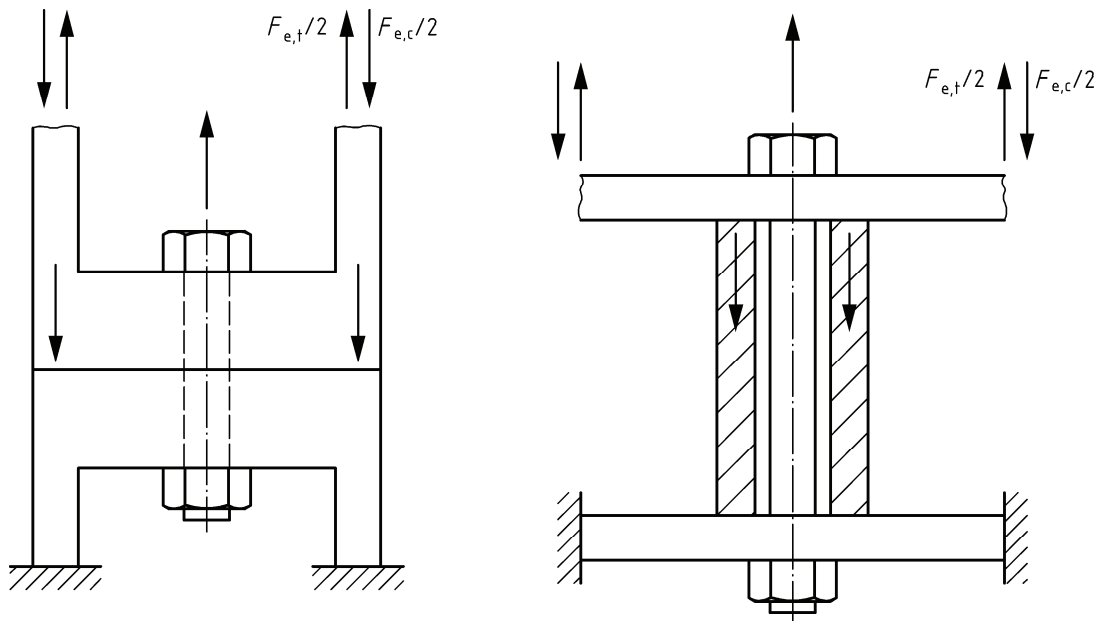
Beim Sicherheitsnachweis für eine vorgespannte Verbindung ist die Steifigkeit der Schraube und der verbundenen Teile zu berücksichtigen. Siehe dazu Bild 3. Außerdem ist aufgrund der Verbindungs-konstruktion der Kraftweg der äußeren Druckkraft zu berücksichtigen. Siehe dazu Bild 4.



mit

F_p	Schraubenvorspannkraft
δ_p	Schraubendehnung durch Vorspannen
$F_{e,t}$	Äußere Zugkraft
$F_{e,c}$	Äußere Druckkraft
$\Delta \delta_t$	Zusatzdehnung durch äußere Zugkraft
F_b	Schraubenzugkraft
$\Delta F_{b,t}$	Schraubenzusatzkraft durch äußere Zugkraft
$\Delta F_{b,c}$	Schraubenzusatzkraft durch äußere Druckkraft
Slope K_b	Steifigkeit der Schraube
Slope K_c	Steifigkeit der verbundenen Teile

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 unter Einwirkung der äußeren Kraft und bei maximaler Bemessungsvorspannung darf die Schraubenkraft an der Fließgrenze nach Gleichung (10) nicht überschreiten.
- 2) Die Verbindung, die einer 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

$$\gamma_{Rb} = \gamma_m \times \gamma_{sb} \text{ and } F_y = f_{yb} \times A_s$$

Dabei ist

F_y	die Kraft an der Fließgrenze der Schraube,
$F_{p,max}$	der maximale Wert der Bemessungsvorspannung,
f_{yb}	die Fließgrenze des Schraubenwerkstoffs,
A_s	der Spannungsquerschnitt des Gewindeteils der Schraube,
Φ	die Verspannungsfaktor der Verbindung, siehe auch Anhang G,
γ_{sb}	der spezifische Widerstandsbeiwert für zugbelastete Verbindungen, $\gamma_{sb} = 0,91$

ANMERKUNG Der Lastenleitungsbeiwert α_L kann bei Berechnung des Beiwertes Φ nach Anhang G berücksichtigt werden.

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

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

Dabei ist

$F_{p,min}$	der Mindestwert der Bemessungsvorspannung.
-------------	--

Die Streuung der Vorspannung wird durch die maximalen und minimalen Werte der Bemessungsvorspannung wie folgt berücksichtigt:

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

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

Dabei ist

F_{pn}	der Nenn- oder Sollwert der angelegten Vorspannung,
$F_{p,max}$	der maximale Wert der Bemessungsvorspannung,
$F_{p,min}$	der minimale Wert der Bemessungsvorspannung,
$\pm s$	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 Vorspannung $F_{p,n}$ ist auf die in Tabelle 7 angegebenen Werte begrenzt. Ansonsten kann jeder beliebige Wert der Vorspannung für eine spezielle Verbindung gewählt werden.

Tabelle 7 — Maximaler Nennwert der Vorspannung nach dem Vorspannungsverfahren

Vorspannungsverfahren	Maximaler Nennwert der Vorspannung
Verfahren, bei dem das Drehmoment auf die Schraube aufgebracht wird	$0,7 F_y$
Verfahren, bei dem nur die direkte Zugspannung auf die Schraube aufgebracht wird	$0,9 F_y$

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 Formel 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
$F_{e,c}$	die äußere Druckkraft. 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

$F_{t,Rd}$ 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 $\gamma_{Rp} = \gamma_m \times \gamma_{sp}$

Dabei ist

- W_{el} das elastische Widerstandsmoment des Steckbolzens
 f_{yp} die Fließgrenze (Mindestwert) des Steckbolzenwerkstoffs
 γ_{sp} der spezifische Widerstandsbeiwert des Biegemoments von Steckbolzenverbindungen $\gamma_{sp} = 1,0$

5.2.4.2 Grenzwert der Bemessungsscherkraft von Steckbolzen

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

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

mit $\gamma_{Rp} = \gamma_m \times \gamma_{sp}$

Dabei ist

- u der Formfaktor
 $u = \frac{4}{3}$ für massive Steckbolzen
 $u = \frac{4}{3} \times \frac{1 + \nu_D + \nu_D^2}{1 + \nu_D^2}$ für Hohlbolzen
Dabei ist $\nu_D = \frac{D_i}{D_o}$,
 D_i der Innendurchmesser des Bolzens
 D_o der Außendurchmesser des Bolzens
 A die Querschnittsfläche des Bolzens
 γ_{sp} der spezifische Widerstandsbeiwert der Scherkraft von Steckbolzenverbindungen
 $\gamma_{sp} = 1,0$ für mehrschnittige Schubverbindungen
 $\gamma_{sp} = 1,3$ für einschnittige Schubverbindungen

5.2.4.3 Grenzwert der Bemessungsauflegerkraft von Steckbolzen und verbundenen Teilen

Der Grenzwert der Bemessungsauflegerkraft ist wie folgt zu berechnen:

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

mit $\gamma_{Rp} = \gamma_m \times \gamma_{sp}$

Dabei ist

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