

DIN V ENV 1993-1-1 (EC 3) - Stahlbau

Inhaltsverzeichnis	Seite	Seite
1 Einleitung	8.1	
1.1 Europäische Stahlbau-Normung	8.1	5.4.3 Beanspruchung durch Druckkraft
1.2 Formelzeichen	8.1	5.4.4 Beanspruchung durch einaxiale Biegung ohne Querkraft
1.3 Abmessungen und Profilachsen	8.3	5.4.5 Beanspruchung durch Querkraft
1.4 Koordinaten, Schnittgrößen und Verschiebungen	8.3	5.4.6 Beanspruchung durch Biegung und Querkraft
2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung	8.4	5.4.7 Beanspruchung durch Biegung und Längskraft ohne Querkraft
2.1 Grundlegende Anforderungen	8.4	5.4.8 Beanspruchung durch Biegung, Querkraft und Längskraft
2.1.1 Grenzzustände und Bemessungssituationen	8.4	5.5 Stabilitätsnachweise für Bauteile
2.1.2 Einwirkungen	8.4	5.5.1 Allgemeines
2.1.3 Beanspruchungen	8.5	5.5.2 Beanspruchung durch eine zentrische Druckkraft
2.1.4 Werkstoffeigenschaften	8.5	5.5.3 Beanspruchung durch Biegung
2.2 Anforderungen an Entwurf, Berechnung und Bemessung	8.6	5.5.4 Beanspruchung durch Biegung und Zugkraft
2.2.1 Nachweisbedingungen für Grenzzustände der Tragfähigkeit	8.6	5.5.5 Beanspruchung durch Biegung und Druckkraft
3 Werkstoffeigenschaften	8.9	5.5.6 Knicklängen
3.1 Nennwerte für Baustähle	8.9	6 Verbindungen mit vorwiegend ruhender Beanspruchung
3.2 Kriterien zur Wahl der Stahlsorte	8.9	6.1 Grundlagen
3.2.1 Allgemeine Regelungen	8.9	6.1.1 Bemessungsannahmen
3.2.2 Schweißbeignung	8.10	6.1.2 Klassifizierung von Verbindungen
3.2.3 Bruchzähigkeit	8.10	6.2 Verbindungen mit Schrauben
3.3 Nennwerte für Schrauben und Muttern	8.10	6.2.1 Allgemeine Regeln
4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	8.11	6.2.2 Beanspruchbarkeiten von Schrauben ..
4.1 Verformungen	8.11	6.2.3 Querschnittsschwächung durch Schraubenlöcher
4.2 Dynamische Auswirkungen	8.11	6.3 Verbindungen mit Schweißnähten
5 Grenzzustände der Tragfähigkeit ...	8.12	6.3.1 Allgemeine Regeln
5.1 Grundlagen	8.12	6.3.2 Geometrie und Abmessungen
5.1.1 Allgemeines	8.12	6.3.3 Ermittlung der Beanspruchungen
5.1.2 Bemessung von Tragwerken	8.12	6.3.4 Grenzkraft einer Schweißnaht
5.1.3 Bauteilnachweise	8.12	6.3.5 Sonstige Regelungen
5.1.4 Anschlüsse und Verbindungen	8.12	7 Hilfstafeln zur Bemessung gewalteter I-Profile nach EC 3
5.1.5 Ermüdung	8.12	7.1 Vorbemerkungen
5.2 Berechnung der Schnittgrößen	8.13	7.2 Erläuterungen
5.2.1 Tragwerksberechnung	8.13	7.2.1 Abmessungen
5.2.2 Berechnungsannahmen	8.14	7.2.2 Querschnittswerte
5.2.3 Imperfektionen	8.15	7.2.3 Beanspruchbarkeiten (Grenzschnittgrößen für Stahlsorte S 235
5.2.4 Stabilität gegen seitliches Ausweichen	8.17	7.2.4 Querschnittsklasse (QKL) für Stahlsorte S 235
5.2.5 Stabilität von Tragwerken	8.18	Hilfstafeln für:
5.3 Einstufung in Querschnittsklassen	8.19	IPEa-, IPE-, IPEo- und IPEv-Profile
5.3.1 Grundlagen	8.19	HEAA-, HEA-, HEB- und HEM-Profile
5.4 Beanspruchbarkeit der Querschnitte ...	8.24	
5.4.1 Querschnittswerte	8.24	
5.4.2 Beanspruchung durch Zugkraft	8.25	

1 Einleitung

1.1 Europäische Stahlbau-Normung

Die europäischen Regelwerke (Eurocodes) verfolgen das Ziel eines einheitlichen, bauartübergreifenden Sicherheitskonzepts, das in den Ländern der Europäischen Gemeinschaft zur Bemessung und Konstruktion von Tragwerken eingeführt werden soll.

Die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten erfolgt nach Eurocode 3:

Teil 1-1	Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für Hochbauten	Teil 4	Tank- und Silobauwerke, Rohrleitungen
Teil 1-2	Brandschutz	Teil 5	Pfähle aus Stahl
Teil 1-3	Kaltgeformte dünnwandige Bauteile	Teil 6	Kranbauwerke
Teil 2	Brückenbauwerke und Blechträger	Teil 7	Stahlwasserbau
Teil 3	Türme, Maste und Schornsteine	Teil 8	Landwirtschaftlicher Stahlbau

Die Teile 1-2 bis 8 befinden sich z. Z. in Vorbereitung.

Teil 1-1 wurde im April 1993 als DIN V ENV 1993-1-1 in Deutschland veröffentlicht und darf in Verbindung mit dem nationalen Anwendungsdokument DAS-Richtlinie 103 (11.93) probeweise angewendet werden. Die in dieser Richtlinie enthaltenen Regelungen und Verweise auf Normen und technische Baubestimmungen sind in den folgenden Abschnitten entsprechend berücksichtigt.

1.2 Formelzeichen

Lateinische Großbuchstaben

<i>A</i>	Fläche
<i>A</i>	Außergewöhnliche Einwirkung
<i>B</i>	Schraubenkraft
<i>C</i>	-vermögen; Konstante; Faktor
<i>E</i>	Beanspruchung; Elastizitätsmodul
<i>F</i>	Einwirkung (mit Index <i>d</i> oder <i>k</i>)
<i>F</i>	Kraft
<i>G</i>	Ständige Einwirkung; Schubmodul
<i>I</i>	Flächenmoment 2. Grades (früher Trägheitsmoment)
<i>K</i>	Steifigkeitsfaktor (I/L)
<i>L</i>	Länge; Spannweite; Systemlänge
<i>M</i>	Biegemoment
<i>N</i>	Längskraft
<i>Q</i>	Veränderliche Einwirkung
<i>R</i>	Beanspruchbarkeit; Reaktion
<i>S</i>	Schnittgrößen; Schnittkräfte (mit Index <i>d</i> oder <i>k</i>)
<i>S</i>	Steifigkeit (Schubsteifigkeit, Rotationssteifigkeit ... mit Indizes <i>v</i> , <i>j</i> ...)
<i>T</i>	Torsionsmoment; Temperatur
<i>V</i>	Querkraft
<i>W</i>	Widerstandsmoment
<i>X</i>	Werkstoffkennwert

Lateinische Kleinbuchstaben

<i>a</i>	Abstand; geometrischer Wert
<i>a</i>	Nahtdicke einer Kehlnaht (mit Index <i>w</i>)

<i>a</i>	Flächenverhältnis
<i>b</i>	Breite
<i>c</i>	Abstand; Überstand
<i>d</i>	Durchmesser; Nutzhöhe
<i>e</i>	Exzentrizität; Ausmitte; Verschiebung der neutralen Achse
<i>e</i>	Randabstand; Endabstand
<i>f</i>	Festigkeit (eines Werkstoffes)
<i>g</i>	Breite des Zugfeldes; Spaltbreite
<i>g</i>	gleichmäßig verteilte Eigenlast ¹⁾
<i>h</i>	Höhe
<i>i</i>	Trägheitsradius; Integerzahl
<i>k</i>	Beiwert; Faktor; Hilfswert (siehe 5.4.6) ²⁾
<i>l</i>	Länge; Stützweite; Knicklänge
<i>m</i>	Anzahl der Zwischenräume in einer Lochkette ²⁾
<i>n</i>	Verhältnis von Längskräften oder -spannungen
<i>n</i>	Anzahl ...
<i>q</i>	gleichmäßig verteilte Verkehrslast ¹⁾
<i>r</i>	Radius
<i>r</i>	gleichmäßig verteilte resultierende Last ²⁾
<i>s</i>	Abstand
<i>s</i>	gleichmäßig verteilte Schneelast ¹⁾
<i>t</i>	Dicke
<i>uu</i>	Hauptachse bei Winkelprofilen
<i>vv</i>	Nebenachse bei Winkelprofilen
<i>w</i>	gleichmäßig verteilte Windlast ¹⁾
<i>xx, yy, zz</i>	Koordinatenachsen

Griechische Großbuchstaben

Δ Differenz ... (vor dem Hauptsymbol)

Griechische Kleinbuchstaben

α Winkel; Verhältnis; Faktor
 α Temperaturdehnzahl
 β Winkel; Verhältnis; Faktor
 γ Teilsicherheitsbeiwert; Verhältnis
 δ Auslenkung; Verformung
 ε Dehnung; Beiwert = $(235 / f_y)^{1/2}$
 η Beiwert (in EC 3 Anhang E)
 θ Winkel; Neigung
 λ Schlankheitsverhältnis; Verhältnis
 μ Reibbeiwert; Faktor
 ν Poissonzahl
 ρ Reduktionsbeiwert; spezifische Masse
 σ Längsspannung
 τ Schubspannung
 ϕ Rotation; Neigung; Verhältnis
 χ Reduktionsbeiwert (Knickbeiwert)
 ψ Spannungsverhältnis; Reduktionsbeiwert
 Ψ Kombinationsbeiwert zur Bestimmung repräsentativer Werte von veränderlichen Einwirkungen

Indizes

A außergewöhnlich
a durchschnittlich (Streckgrenze)
a,b... erste, zweite ... Alternative
b Basis
b Lochleibung; Knicken
b Schraube; Träger; Bindeblech
C Vermögen; Auswirkungen
c Beton; Stütze; Querschnitt
cr Verzweigung
d Bemessungswert; Diagonale
dst destabilisierend
E Beanspruchung (mit Index d oder k)
E Euler
eff wirksam
e wirksam (mit weiterem Index)
el elastisch
ext äußere (externe)
f Flansch; Verbindungsmittel
g brutto
G ständige Einwirkung
h Höhe; höher
h horizontal
i innen
inf kleiner; unterer ...
i, j, k Indizes (stellvertretend für Zahlen)

j Knoten
k charakteristischer Wert
I unterer ...
L längs
LT Biegedrillknicken
M Werkstoff
M (bei Berücksichtigung des) Biegemoments
m Biegung; Mittel-
max Maximum
min Minimum
N (bei Berücksichtigung der) Längskraft
n normal
net netto
nom Nennwert
o Loch; Ausgangswert; außen
o örtliches Beulen
o Momentennullpunkt
ov Überlappung
p Blech; Bolzen; Futter
p Vorspannung (Kraft)
p partiell; (Durchstanz-); Scherkraft
pl plastisch
Q veränderliche Einwirkung
R Widerstand (Beanspruchbarkeit)
r Niet; Aussteifung
rep repräsentativer ...
red reduzierter Wert ²⁾
S Schnittgröße
s Zugspannung (Fläche)
s Schlupf; Stockwerk
s steif; Steife
ser Gebrauchstauglichkeit
stb stabilisierend
sup ober; oberer ...
t Zug (alternativ: ten)
t Torsion (alternativ: tor)
u Querschnittshauptachse bei L-Profilen
u (Grenz-) Zugfestigkeit
ult Grenzzustand (der Tragfähigkeit)
V (bei Berücksichtigung der) Querkraft
v Schub; vertikal
v Querschnittsnebenachse bei L-Profilen
vec vektoruell
w Stegblech; Schweißen; Verwölbung
x Längsachse des Bauteiles; Ausdehnung
y Fließ-; Streck-
y Querschnittsachse
z Querschnittsachse
 σ Längsspannung
 τ Schubspannung

¹⁾ Formelzeichen nach EC 1 ²⁾ ergänztes Formelzeichen

Zusammensetzung von Formelzeichen mit mehreren Indizes

Reihenfolge:	Beispiel:
1. Hauptparameter	$M; N; V$
2. unterschiedliche Arten	el; pl; eff;
3. Richtungssinn	v; h
4. Achse ¹⁾	x; y; z
5. Ort	1; 2; 3
6. Art	R; S
7. Grad	d; k
8. Index (Zähler)	1; 2 oder i; j

Punkte dürfen zur paarweisen Trennung von Indizes benutzt werden. Ausgenommen sind Indizes mit mehr als einem Buchstaben und die Kombinationen Rd, Sd usw.

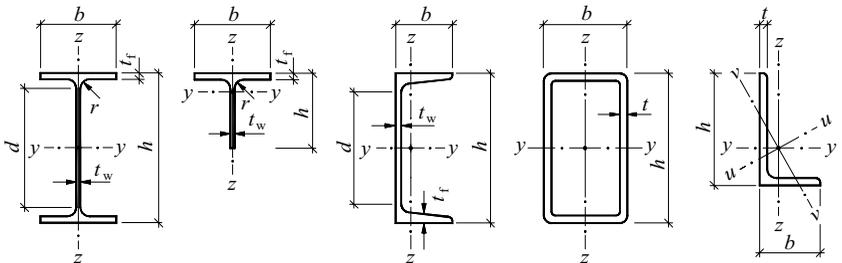
Unterschiedliche Indextypen zur Beschreibung eines Parameters dürfen durch Komma getrennt werden z. B. $\gamma_{G,j}$, $Q_{k,i}$ usw.

¹⁾ i. d. R. bezogen auf den Hauptparameter

Beispiele für Formelzeichen

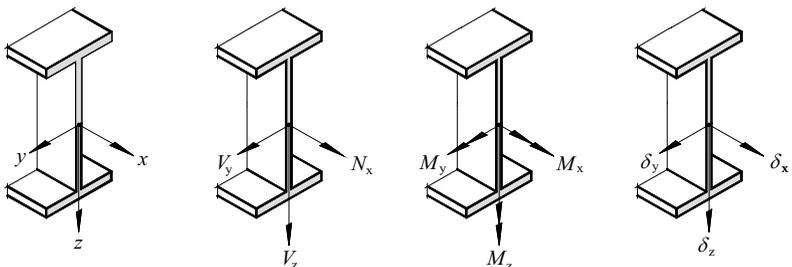
$M_{y,Sd}$	Bemessungswert des Biegemomentes um die y-Achse
$M_{Vy,Rd}$	Grenzbiegemoment um die y-Achse unter Berücksichtigung der Querkraft (Die Achsangabe „y“ bezieht sich auf den Hauptparameter „M“)
$V_{pl,z,Rd}$	Grenzquerkraft im plastischen Zustand in Richtung der z-Achse
$A_{f,net}$	Nettoquerschnittsfläche des Flansches
$F_{t,Sd,ser}$	Bemessungswert der Zugkraft im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

1.3 Abmessungen und Profilachsen



1.4 Koordinaten, Schnittgrößen und Verschiebungen (nach DIN 1080)

Koordinaten	Querkräfte (V) Längskraft (N)	Biegemomente	Verschiebungen
-------------	--	--------------	----------------



2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung

2.1 Grundlegende Anforderungen

Ein Tragwerk muß so bemessen und ausgebildet werden, daß es

- mit annehmbarer Wahrscheinlichkeit die geforderten Gebrauchseigenschaften behält und
- mit angemessener Zuverlässigkeit den Einwirkungen und Einflüssen standhält, die während seiner Ausführung und Nutzung auftreten können, sowie eine angemessene Dauerhaftigkeit im Verhältnis zu seinen Unterhaltskosten aufweist.

Außerdem muß ein Tragwerk so ausgebildet sein, daß durch Ereignisse wie Explosionen, Aufprall oder Folgen menschlichen Versagens keine Schäden auftreten, die in keinem Verhältnis zur Schadensursache stehen.

Die genannten Anforderungen müssen durch die Wahl geeigneter Werkstoffe, eine zutreffende Bemessung und zweckmäßige bauliche Durchbildung sowie durch die Festlegung von Überwachungsverfahren für die Fertigung, die Ausführung und die Nutzung des Bauwerks erreicht werden.

2.1.1 Grenzzustände und Bemessungssituationen

Grenzzustände sind Zustände, bei deren Überschreitung das Tragwerk die angenommenen Entwurfsanforderungen nicht länger erfüllt.

● **Grenzzustände der Tragfähigkeit** sind diejenigen Zustände, die im Zusammenhang mit dem Einsturz oder anderen Formen des Tragwerksversagens die Sicherheit von Menschen gefährden können. Hierzu gehören, bezogen auf das Tragwerk oder eines seiner Teile einschließlich der Lager und Fundamente,

- der Verlust des Gleichgewichtes
- das Versagen durch übermäßige Verformung, durch Bruch oder Verlust der Stabilität.

● **Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit** sind diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung die festgelegten Bedingungen für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt sind. Berücksichtigt werden sollten:

- Verformungen und Durchbiegungen, die das Erscheinungsbild oder die planmäßige Nutzung eines Tragwerkes beeinträchtigen bzw. Schäden an nichttragenden Bauteilen und Installationen sowie Betriebsstörungen verursachen,
- Schwingungen, die Unbehagen bei Menschen oder Schäden am Bauwerk verursachen und die Funktionsfähigkeit einschränken.

● **Bemessungssituationen** werden wie folgt eingeteilt:

- ständige Situationen, entsprechend den normalen Nutzungsbedingungen des Tragwerkes,
- vorübergehende Situationen, z. B. Situationen im Bauzustand bzw. während der Instandsetzung,
- außergewöhnliche Situationen.

2.1.2 Einwirkungen

Eine Einwirkung F ist:

- eine Kraft (Last), die auf das Tragwerk einwirkt (direkte Einwirkung), oder
- ein Zwang (indirekte Einwirkung), z. B. durch Temperatureinwirkung oder Setzungen.

Einteilung der Einwirkungen

Nach ihrer zeitlichen Veränderlichkeit sind zu unterscheiden:

- ständige Einwirkungen G , z. B. Eigenlast, Ausrüstungen, feste Einbauten usw.,
- veränderliche Einwirkungen Q , z. B. Nutzlasten, Wind- oder Schneelasten,
- außergewöhnliche Einwirkungen A , z. B. Explosionen oder Anprall von Fahrzeugen.

Nach ihrer räumlichen Veränderlichkeit sind zu unterscheiden:

- ortsfeste Einwirkungen, z. B. Eigenlast,
- ortsveränderliche Einwirkungen, z. B. bewegliche Nutzlasten, Windlasten und Schneelasten.

● Charakteristische Werte der Einwirkungen

Als charakteristische Werte F_k gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Anwendungsnormen, insbesondere der Normen der Reihe DIN 1055, und ggf. der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien.

Dort nicht oder unvollständig angegebene Einwirkungen sind in Abstimmung mit der Bauaufsicht festzulegen.

Bei **ständigen Einwirkungen** mit einem großen Variationskoeffizienten oder ständigen Einwirkungen, die sich während der Nutzungsdauer ändern können, ist ein oberer Wert $G_{k,\text{sup}}$ und ein unterer Wert $G_{k,\text{inf}}$ zu berücksichtigen. Sonst ist ein einzelner charakteristischer Wert G_k ausreichend.

Bei **veränderlichen Einwirkungen** entspricht der charakteristische Wert Q_k entweder

- dem oberen Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, oder dem unteren Wert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit nicht erreicht wird, oder
- dem festgelegten Wert.

Bei **außergewöhnlichen Einwirkungen** entspricht der charakteristische Wert A_k i. allg. einem festgelegten Wert.

● Repräsentative Werte der veränderlichen Einwirkungen

Der repräsentative Wert einer veränderlichen Einwirkung entspricht je nach Bemessungssituation bzw. Kombination von Einwirkungen dem charakteristischen Wert der veränderlichen Einwirkung oder dem Produkt aus einem Kombinationsbeiwert ψ und dem charakteristischen Wert der Einwirkung.

● Bemessungswerte der Einwirkungen

Der Bemessungswert einer Einwirkung ergibt sich durch Multiplikation eines Teilsicherheitsbeiwertes für diese Einwirkung mit dem charakteristischen Wert der Einwirkung in der Form:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k$$

Über den Teilsicherheitsbeiwert werden z. B. die Möglichkeit ungünstiger Abweichungen der Einwirkungen, Unsicherheiten in der Ermittlung der Schnittgrößen oder Unsicherheiten bei Annahme des betreffenden Grenzzustandes berücksichtigt.

Beispiele für Bemessungswerte einer

- ständigen Einwirkung $G_d = \gamma_G \cdot G_k$
- veränderlichen Einwirkung $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k$ oder $Q_d = \gamma_Q \cdot \psi_i \cdot Q_k$
- außergewöhnlichen Einwirkung $A_d = \gamma_A \cdot A_k$

Gegebenenfalls sind für die ständigen und veränderlichen Einwirkungen obere und untere Bemessungswerte zu berücksichtigen.

2.1.3 Beanspruchungen

Beanspruchungen sind Reaktionen des Tragwerkes auf die Einwirkungen, z. B. innere Kräfte und Momente, Spannungen und Verformungen. Die Bemessungswerte der Beanspruchungen werden mit den Bemessungswerten der Einwirkungen, den geometrischen Größen und, falls erforderlich, mit den maßgeblichen Werkstoffeigenschaften ermittelt.

2.1.4 Werkstoffeigenschaften

Die charakteristischen Werte der Werkstoffeigenschaften X_k von Stahltragwerken entsprechen i. allg. den unter festgelegten Bedingungen geprüften und in den Werkstoffnormen angegebenen Nennwerten. Der Bemessungswert X_d einer Werkstoffeigenschaft ergibt sich aus:

$$X_d = X_k / \gamma_M, \text{ wobei } \gamma_M \text{ der Teilsicherheitsbeiwert der Beanspruchbarkeit ist.}$$

Für Stahltragwerke ergibt sich der Bemessungswert der Widerstandsseite R_d i. allg. direkt aus den charakteristischen Werten der Werkstoffeigenschaften und den geometrischen Größen zu:

$$R_d = R(R_k, a_k, \dots) / \gamma_M, \text{ wobei die geometrischen Größen } a_k \text{ i. allg. den Nennwerten entsprechen.}$$

2.2 Anforderungen an Entwurf, Berechnung und Bemessung

Unter Berücksichtigung aller maßgebenden Bemessungssituationen und Lastfälle ist nachzuweisen, daß die maßgebenden Grenzzustände nicht überschritten werden. Die Berechnung ist unter Verwendung geeigneter Berechnungsmodelle, die das Tragverhalten in Übereinstimmung mit der erreichbaren Ausführungsgenauigkeit und der Zuverlässigkeit der Eingangsdaten ausreichend genau vorhersagen können, durchzuführen.

2.2.1 Nachweisbedingungen für Grenzzustände der Tragfähigkeit

● Grenzzustand „Statisches Gleichgewicht, Lageverschiebung oder Tragwerksverformung“

Bei der Untersuchung ist nachzuweisen, daß die Bedingung

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab} \quad \text{erfüllt ist.} \quad \begin{array}{l} E_{d,dst} \quad \text{Auswirkungen der destabilisierenden Einwirkungen} \\ E_{d,stab} \quad \text{Auswirkungen der stabilisierenden Einwirkungen} \end{array}$$

Für den **Nachweis des statischen Gleichgewichts** gilt:

Destabilisierende (ungünstige) Einwirkungen müssen mit ihrem oberen und stabilisierende (günstige) Einwirkungen mit ihrem unteren Bemessungswert eingesetzt werden. Stabilisierende Einwirkungen dürfen nur dann in der entsprechenden Kombination angesetzt werden, wenn die angenommene Auswirkung mit hinreichender Sicherheit vorhersehbar ist.

Die Eigenlasten von nicht verbundenen Tragwerken oder nichttragenden Bauteilen sollten als verschiedene ständige Einwirkungen behandelt werden. Es sollte berücksichtigt werden, daß nichttragende Bauteile ausgebaut bzw. versetzt werden können.

Gemäß DASt Ri 103 (NAD) ist zusätzlich die Lagesicherheit nach DIN 18 800-1 (11.90) nachzuweisen.

● Grenzzustand „Bruch oder übermäßige Verformung“

Es ist nachzuweisen, daß die Bedingung

$$S_d \leq R_d \quad \text{erfüllt ist.} \quad \begin{array}{l} S_d \quad \text{Bemessungswert einer Schnittgröße} \\ R_d \quad \text{zugehöriger Bemessungswert der Beanspruchbarkeit} \end{array}$$

● Grenzzustand „Übergang des Tragwerks in eine kinematische Kette“

Es ist nachzuweisen, daß die kinematische Kette nicht auftritt, bevor die Einwirkungen ihre Bemessungswerte überschreiten. Dabei sind alle Tragwerkeigenschaften mit ihren Bemessungswerten einzubeziehen.

● Grenzzustand „Verlust der Stabilität infolge Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung“

Der Stabilitätsverlust darf nicht auftreten, bevor die Einwirkungen ihre Bemessungswerte überschreiten. Dabei sind alle Tragwerkeigenschaften mit ihren Bemessungswerten einzubeziehen. Zusätzlich ist der Grenzzustand „Bruch oder übermäßige Verformung“ zu untersuchen.

● Grenzzustand „Ermüdungsbruch“

Es muß nachgewiesen werden, daß der Schädigungsindikator D_d nicht das in EC 3 Abschnitt 9 angegebene Maß überschreitet.

2.2.1.1 Bemessungswerte der Einwirkungen zur Berechnung der Beanspruchungen

Bei der Kombination von Einwirkungen sind ständige Einwirkungen, die die Auswirkungen der veränderlichen Einwirkungen verstärken (d. h. ungünstige Auswirkungen hervorrufen), mit ihren oberen Bemessungswerten zu berücksichtigen. Dagegen sind die unteren Bemessungswerte anzunehmen, wenn ständige Einwirkungen die Auswirkungen der veränderlichen Einwirkungen abschwächen (d. h. günstige Auswirkungen hervorrufen).

Wenn eine einzelne ständige Einwirkung von Ort zu Ort stark variiert, müssen die günstigen und ungünstigen Anteile dieser Einwirkung als getrennte Einwirkungen betrachtet werden, besonders, wenn das statische Gleichgewicht nachgewiesen wird (siehe Fußnote ¹⁾ zu Tafel 8.7a).

Bei Durchlaufträgern und Rahmentragwerken darf ein einheitlicher Bemessungswert für die Eigenlast des Tragwerkes in allen Feldern angesetzt werden. Dies gilt nicht für den Nachweis des statischen Gleichgewichtes von Auskragungen.

2.2.1.2 Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Tragfähigkeit

Für Beanspruchungen muß gewährleistet sein, daß

$$E_d \leq C_d \text{ erfüllt ist. } E_d \text{ Bemessungswert einer besonders zu betrachtenden Beanspruchung}$$

$$C_d \text{ Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für diese Beanspruchung}$$

Für jeden Lastfall sind die Bemessungswerte der Beanspruchungen nach folgenden Kombinationsregeln mit den Bemessungswerten der Einwirkungen zu bestimmen:

– **Ständige und vorübergehende**

Bemessungssituationen, ausgenommen

die Nachweise auf Ermüdung:

Vereinfachte Kombinationsregeln für diese Bemessungssituation siehe Seite 8.8

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

– **Außergewöhnliche**

Bemessungssituationen:

$$\sum_j \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } A_d \text{ "+" } \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

"+" bedeutet „in Kombination mit ...“

$G_{k,j}$ charakteristische Werte der ständigen Einwirkungen

$Q_{k,1}$ charakteristischer Wert einer der veränderlichen Einwirkungen

$Q_{k,i}$ charakteristische Werte der weiteren veränderlichen Einwirkungen

A_d Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung

$\gamma_{G,j}$ Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen siehe Tafel 8.7a

$\gamma_{GA,j}$ wie $\gamma_{G,j}$, jedoch für außergewöhnliche Bemessungssituationen ($\gamma_{GA,j} = 1,0$)

$\gamma_{Q,i}$ Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen siehe Tafel 8.7a

ψ Kombinationsbeiwert; ψ_0 , ψ_1 und ψ_2 siehe Tafel 8.7b

Tafel 8.7a Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen

Auswirkung	ständige Einwirkungen	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen γ_Q	
	γ_G	führende veränderliche Einwirkung	begleitende veränderliche Einwirkungen
günstige Auswirkung $\gamma_{F,inf}$	1,0 ¹⁾	²⁾	³⁾
ungünstige Auswirkung $\gamma_{F,sup}$	1,35 ¹⁾	1,5	1,5

¹⁾ Sind günstige und ungünstige Anteile einer ständigen Einwirkung als eigenständige Einwirkungen zu betrachten, gilt für den günstigen Teil $\gamma_{G,inf} = 1,1$ und für den ungünstigen Teil $\gamma_{G,sup} = 1,35$ unter der Voraussetzung, daß bei Ansatz von $\gamma_{G,inf} = 1,0$ für beide Teile keine ungünstigeren Auswirkungen auftreten.

²⁾ Nach EC 1 ist im Normalfall $\gamma_{Q,inf} = 0$ anzunehmen.

Tafel 8.7b Kombinationsbeiwerte ψ_i

Einwirkung	Kombinationsbeiwert		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkehrslast auf Decken			
– Wohnräume; Büroräume; Verkaufsräume bis 50 m ² ; Flure; Balkone; Räume in Krankenhäusern	0,7	0,5	0,3
– Versammlungsräume; Garagen und Parkhäuser; Turnhallen; Tribünen; Flure in Lehrgebäuden; Büchereien; Archive	0,8	0,8	0,5
– Ausstellungs- und Verkaufsräume; Geschäfts- und Warenhäuser	0,8	0,8	0,8
Windlasten	0,6	0,5	0
Schneelasten	0,7	0,2	0
alle anderen Einwirkungen	0,8	0,7	0,5

● Vereinfachte Kombinationsregeln für den Hochbau

Für **ständige und vorübergehende Bemessungssituationen**, ausgenommen die Nachweise auf Ermüdung, dürfen Einwirkungen wie folgt kombiniert werden:

- wenn nur **eine** veränderliche Einwirkung berücksichtigt wird:

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}$$

Der jeweils ungünstigere Wert ist maßgebend.

- wenn **zwei oder mehrere** veränderliche Einwirkungen berücksichtigt werden:

$$\sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } 0,9 \cdot \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

Für **außergewöhnliche Bemessungssituationen** gilt die auf Seite 8.7 angegebene Kombinationsregel.

Teilsicherheitsbeiwerte der Beanspruchbarkeiten für den Tragfähigkeitsnachweis

Die Teilsicherheitsbeiwerte sind in den entsprechenden Abschnitten angegeben.

2.2.2 Nachweisbedingungen für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Es ist nachzuweisen, daß die Bedingung $E_d \leq C_d$ oder $E_d \leq R_d$ erfüllt ist.

E_d Bemessungswert der Beanspruchungen, die auf der Grundlage nachstehender Kombinationsregeln bestimmt werden.

C_d Für die Bemessung maßgebender Nennwert oder maßgebende Funktion bestimmter Werkstoffigenschaften, die auch den Bemessungsschnittgrößen zugrunde liegen.

R_d Bemessungswert der Beanspruchbarkeit.

2.2.2.1 Einwirkungskombinationen für Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit:

- **Seltene Kombination**

$$\sum_j G_{k,j} \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- **Häufige Kombination**

$$\sum_j G_{k,j} \text{ "+" } \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

- **Quasi-ständige Kombination**

$$\sum_j G_{k,j} \text{ "+" } \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kombinationsbeiwerte ψ nach Tafel 8.7b.

● Vereinfachte Kombinationsregeln für den Hochbau

Bei Tragwerken des Hochbaus darf die **seltene Kombination** wie folgt vereinfacht werden:

- wenn **nur die ungünstigste** veränderliche Einwirkung berücksichtigt wird:

$$\sum_j G_{k,j} \text{ "+" } Q_{k,1}$$

Der jeweils ungünstigere Wert ist maßgebend.

- wenn **zwei oder mehrere ungünstige** veränderliche Einwirkungen berücksichtigt werden:

$$\sum_j G_{k,j} \text{ "+" } 0,9 \cdot \sum_{i \geq 1} Q_{k,i}$$

Beide Regeln dürfen auch als Ersatz für die o. a. **häufige Kombination** verwendet werden.

Teilsicherheitsbeiwerte der Beanspruchbarkeiten für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Sofern in speziellen Abschnitten nichts anderes festgelegt ist, gilt $\gamma_M = 1$.

Hinweis: Die Anwendung der Kombinationsregeln ist in einen Beispiel (Einfeldträger mit Auskrümmung) auf Seite 8.31 angegeben.

3 Werkstoffeigenschaften

3.1 Nennwerte für Baustähle

Für Tragwerke, die nach EC 3 nachgewiesen werden, sind warmgefertigte Erzeugnisse, die den in Tafel 8.9a genannten Werkstoffnormen entsprechen, zugelassen. Die angegebenen Nennwerte sind als charakteristische Werte für die Bemessung anzunehmen.

Eine Zuordnung der Stahlsortenbezeichnung nach DIN EN 10 027 zu den früher in Deutschland verwendeten Kurzbezeichnungen ist DASt Ri 103 Tabelle R2 zu entnehmen.

Tafel 8.9a Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgefertigte Erzeugnisse in N/mm²

Werkstoffnorm	Stahlsorte nach DIN EN 10 025 EC 3		Erzeugnisdicke t ¹⁾			
			$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}^2$	
			f_y	f_u	f_y	f_u
DIN EN 10 025	S 235	Fe 360	235	360	215	340
	S 275	Fe 430	275	430	255	410
	S 355	Fe 510	355	510	335	490
DIN EN 10 113	S 275 N (M)	Fe E 275	275	390	255	370
	S 355 N (M)	Fe E 355	355	490	335	470

¹⁾ Für Erzeugnisse mit größeren, hier nicht aufgeführten Dicken sind die Nennwerte den entsprechenden Werkstoffnormen zu entnehmen.
²⁾ 63 mm für Bleche und andere Flachprodukte gemäß den Lieferbedingungen nach DIN EN 10 113-3
Die Nennwerte für ebenfalls zugelassene hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle St E 460 und St E 690 sind DASt Ri 011 zu entnehmen.

Für kaltgeformte Erzeugnisse gelten die Regelungen nach DASt Ri 016.

Tafel 8.9b Werkstoffkennwerte für Stahl

Elastizitätsmodul	E	210 000 N/mm ²
Schubmodul	G	81 000 N/mm ²
Poissonsche Zahl	ν	0,3
Temperaturdehnzahl	α	$12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Dichte	ρ	7 850 kg/m ³

Charakteristische Werte zur Berechnung des Grenzdruckes nach Hertz in Stahlslagern mit nicht mehr als 2 Rollen (gemäß DASt Ri 103):

Werkstoff	$\sigma_{H,k}$ in N/mm ²
S 235	800
S 355; GS - 52	1000
C 35 N	900

3.2 Kriterien zur Wahl der Stahlsorte

3.2.1 Allgemeine Regelungen

Für die verwendeten Erzeugnisse müssen Bescheinigungen nach DIN 50 049 vorliegen. In Abhängigkeit von dem Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Beanspruchungen gelten folgende Regelungen.

Elastisches Berechnungsverfahren:

Für geschweißte Konstruktionen aus S 235 Gütegruppe JR, JR G1, JR G2, JO, J2 G3 und J2 G4 und für untergeordnete Bauteile darf auf eine Bescheinigung nach DIN 50 049 verzichtet werden.

Plastisches Berechnungsverfahren:

Die Werkstoffeigenschaften sind durch ein Werksprüfzeugnis zu belegen. Für Bleche und Breitflachstähle in geschweißten Bauteilen mit $t > 30$ mm, die im Bereich der Schweißnaht auf Zug beansprucht werden, muß der Aufschweißbiegeversuch nach Stahl-Eisen-Prüfblatt 1390 durchgeführt und durch ein Abnahmezeugnis belegt sein.

3.2.2 Schweißbeignung

Besondere Anforderungen an die Schweißbeignung der Stahlsorten S 235, S 275 und S 355 sind bei der Bestellung anzugeben, da für diese Sorten nach DIN EN 10 025 bei ungünstiger Ausnutzung der Liefertoleranzen eine Eignung nicht in allen Fällen vorausgesetzt werden kann.

Nach DASt Ri 103 ist die Schweißbeignung von Erzeugnissen aus S 355 durch ein Abnahmeprüfzeugnis zu belegen, das den in Abschnitt 0.5.4 dieser Richtlinie genannten Anforderungen entspricht.

3.2.3 Bruchzähigkeit

Um bei der niedrigsten Betriebstemperatur Spröbruch auszuschließen, muß das Material eine ausreichende Bruchzähigkeit aufweisen. Ein entsprechender Zähigkeitsnachweis kann nach EC 3 Anhang C geführt werden, wenn die Wahl der Stahlgütegruppe in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen und der niedrigsten Betriebstemperatur nicht nach Tafel 8.10a erfolgt.

Die Auswahl der Stahlsorte darf auch nach DASt Ri 009 „Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten“ erfolgen.

Tafel 8.10a Maximale Dicke statisch belasteter Bauteilelemente in mm
ohne Verweis auf EC 3 Anhang C

Stahlsorte und Gütegruppe nach DIN EN 10 025 ²⁾ EC 3		Betriebsbedingungen ¹⁾ und niedrigste Betriebstemperatur					
		S1 0 °C	S2 0 °C	S1 -10 °C	S2 -10 °C	S1 -20 °C	S2 -20 °C
S 235 JR	Fe 360 B	150	41	108	30	74	22
S 235 JO	Fe 360 C	250	110	250	75	187	53
S 235 J2	Fe 360 D	250	250	250	212	250	150
S 355 JR	Fe 510 B	40	12	29	9	21	6
S 355 JO	Fe 510 C	106	29	73	21	52	16
S 355 J2	Fe 510 D	250	73	177	52	150	38
S 355 K2 ³⁾	Fe 510 DD	250	128	250	85	250	59

¹⁾ S1: Entweder nicht geschweißt oder im Druckbereich; S2: Geschweißt, im Zugbereich
Beide Fälle basieren auf der Belastungsgeschwindigkeit R1 (Belastungsgeschwindigkeit der üblichen, vorwiegend ruhenden Belastung wie Eigenlast, Deckenlasten in Gebäuden, Fahrzeuglasten, Wind- und Wellenlasten und Lasten aus Kranbewegungen) und der Schadensfolge C2 (schadenskritische Teile und Anschlüsse, deren Versagen über die örtliche Auswirkung hinaus zu einem Tragwerksversagen mit möglichen Personenschäden und großen wirtschaftlichen Einbußen führen könnte).

²⁾ Für warmgewalzte Profile mit $t > 100$ mm ist die Mindestkerbschlagarbeit bei der Bestellung zu vereinbaren. Die Mindestwerte betragen für $t \leq 150$ mm 27 J und für $150 < t \leq 250$ mm 23 J bei der zugehörigen in der Norm festgelegten Versuchstemperatur.

³⁾ Für diese Stahlsorte beträgt die Mindestkerbschlagarbeit 40 J bei -20 °C. Die Aufnahme in diese Reihe setzt einen entsprechenden Vergleichswert von 27 J bei -30 °C voraus.

3.3 Nennwerte für Schrauben und Muttern

Für Verbindungen sind Schrauben und Muttern in den Festigkeitsklassen nach nebenstehender Tafel zugelassen. Die Nennwerte sind als charakteristische Werte für die Bemessung anzunehmen. Eine Übersicht über die Maß- und Toleranznormen der zugelassenen Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben ist in Tafel 8.45 enthalten.

Tafel 8.10b Nennwerte der Streckgrenze f_{yb} und der Zugfestigkeit f_{ub} für Schrauben in N/mm²

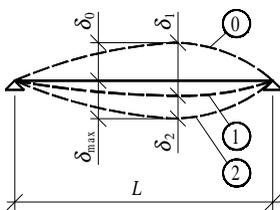
Nennwert	Festigkeitsklasse			
	4.6	5.6	8.8	10.9
Streckgrenze f_{yb}	240	300	640	900
Zugfestigkeit f_{ub}	400	500	800	1000

4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

4.1 Verformungen

Stahltragwerke und ihre Bauteile sind so auszuführen, daß die Verformungen die zwischen Bauherrn, Entwurfsingenieur und der Bauaufsichtsbehörde (wenn ein öffentliches Interesse besteht) vereinbarten Grenzwerte nicht überschreiten. Bei der Berechnung der Verformungen sollten Auswirkungen nach Theorie 2. Ordnung, Rotationssteifigkeiten verformbarer Verbindungen und mögliche plastische Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt werden.

Lotrechte Verformungen am Beispiel des Trägers auf 2 Stützen



- δ_{\max} Durchbiegung im Endzustand, bezogen auf die Trägerachse zwischen beiden Auflagern ($\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$)
- δ_0 Vorkrümmung des Trägers im unbelasteten Zustand (Zustand 0)
- δ_1 Änderung der Verformung unter ständiger Last unmittelbar nach Aufbringen der Last (Zustand 1)
- δ_2 Änderung der Verformung unter veränderlichen Lasten einschließlich aller zeitabhängigen Verformungen unter ständiger Last (Zustand 2)

Tafel 8.11a Empfohlene Grenzwerte für lotrechte Verformungen

Bedingungen	δ_{\max}	δ_2
Dächer generell	$L / 200$	$L / 250$
Dächer mit häufiger Begehung (nicht nur zur Instandsetzung)	$L / 250$	$L / 300$
Decken allgemein	$L / 250$	$L / 300$
Decken und Dächer, die Putz oder andere spröde Deckschichten oder nicht flexible Teile tragen	$L / 250$	$L / 350$
Decken, die Stützen tragen (sofern nicht die Verformung im Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit berücksichtigt wurde)	$L / 400$	$L / 500$
wenn δ_{\max} das Aussehen eines Gebäudes beeinträchtigen kann	$L / 250$	–

Tafel 8.11b Richtwerte für horizontale Auslenkungen am oberen Ende von Stützen

Bedingungen	δ_h	δ_h horizontale (waagerechte) Auslenkung h Höhe der Stütze oder des Geschosses
Portalrahmen ohne Krangerüst	$h / 150$	
andere eingeschossige Bauwerke	$h / 300$	h_0 Gesamthöhe des Tragwerkes
mehrgeschossige Gebäude: – in jedem Stockwerk – im gesamten Tragwerk	$h / 300$ $h_0 / 500$	

Entwässerung

Bei Dächern mit einer Neigung unter 5 % ist nachzuweisen, daß Regenwasser sich nicht in Lachen sammeln kann. Mögliche Ausführungsungenauigkeiten, Setzungen, Verformungen von tragenden Teilen und Auswirkungen von Vorkrümmungen sind dabei zu berücksichtigen. Dies gilt auch für Decken in Parkhäusern und andere offene Tragwerke.

4.2 Dynamische Auswirkungen

Im Entwurf müssen zutreffende Annahmen für die Einwirkungen von Nutzlasten, die Anprallkräfte, Schwingungen und Vibrationen hervorgerufen können, getroffen werden. Bei außergewöhnlich nachgiebigen Tragwerken (z. B. sehr schlanke Hochhäuser oder sehr große Dächer) sowie außergewöhnlich nachgiebigen Bauteilen (z. B. leichte zugbeanspruchte Bauteile) müssen durch Wind angeregte periodische Schwingungen untersucht werden (Abgrenzungskriterium siehe DIN 1055-4 (8.86) Abschnitt 2.1).

5 Grenzzustände der Tragfähigkeit

5.1 Grundlagen

5.1.1 Allgemeines

Beim Entwurf von Stahlbauten und deren Bauteilen sind die in Abschnitt 2 angegebenen Grundlagen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit zu beachten.

Für die Festigkeiten gelten folgende Teilsicherheitsbeiwerte:

$\gamma_{M0} = 1,1$ für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3

$\gamma_{M1} = 1,1$ für Querschnitte der Klasse 4

$\gamma_{M1} = 1,1$ für Knicken und Beulen von Bauteilen

$\gamma_{M2} = 1,25$ für das Versagen im Nettoquerschnitt infolge einer Zugkraft

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Verbindungen sind Abschnitt 6 zu entnehmen.

5.1.2 Bemessung von Tragwerken

Für Tragwerke sind folgende Nachweise zu führen:

- Beanspruchbarkeit der Querschnitte
- Beanspruchbarkeit der Bauteile
- Beanspruchbarkeit der Verbindungen
- Stabilität der Tragwerke
- Lagesicherheit.

5.1.3 Bauteilnachweise

5.1.3.1 Zugbeanspruchte Bauteile

- Beanspruchbarkeit der Querschnitte (5.4.2)

5.1.3.2 Druckbeanspruchte Bauteile

- Beanspruchbarkeit der Querschnitte (5.4.3)
- Biegeknicken (5.5.2)

5.1.3.3 Biegeträger

- Beanspruchbarkeit der Querschnitte (5.4.4 bis 5.4.6)
- Biegedrillknicken (5.5.3)
- Schubbeulen des Stegbleches (EC 3, 5.6)
- Örtliches Ausbeulen des Stegbleches (Stegblechkrüppeln siehe EC 3, 5.7.1)
- Örtliches Knicken von Trägerflanschen (EC 3, 5.7.7)

5.1.3.4 Biegeträger mit Zug- oder Druckkraft

- Beanspruchbarkeit der Querschnitte unter kombinierter Beanspruchung (5.4.7)
- Beanspruchbarkeit der Bauteile unter kombinierter Beanspruchung (5.5.4 und 5.5.5)
- Nachweise der Biegeträger (s. o.)
- Nachweise der zug- bzw. druckbeanspruchten Bauteile (s. o.)

5.1.4 Anschlüsse und Verbindungen

Anschlüsse und Verbindungen sind nach Abschnitt 6 nachzuweisen.

5.1.5 Ermüdung

Eine ausreichende Ermüdungssicherheit ist bei nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung nach EC 3 Abschnitt 9 nachzuweisen.

Für Hochbauten ist der Ermüdungsnachweis erforderlich bei:

- Hebevorrichtungen, Aufzügen oder Radlasten
- Maschinenschwingungen und windinduzierten Schwingungen
- rhythmischen Bewegungen von Personengruppen.

5.2 Berechnung der Schnittgrößen

5.2.1 Tragwerksberechnung

5.2.1.1 Statisch bestimmte Tragwerke

Die Schnittgrößen sind aus den Gleichgewichtsbedingungen zu ermitteln.

5.2.1.2 Statisch unbestimmte Tragwerke

Die Schnittgrößen dürfen entweder mit einer elastischen oder einer plastischen Tragwerksberechnung ermittelt werden. Bei einer plastischen Tragwerksberechnung muß der Werkstoff ausreichende Zähigkeitseigenschaften nach EC 3 Abschnitt 3.2.2.2 aufweisen. Diese sind für Werkstoffe nach Tafel 8.9a erfüllt. Außerdem müssen die Querschnitte die Bedingungen nach EC 3 Abschnitt 5.2.7 und 5.3.3 erfüllen.

5.2.1.3 Berücksichtigung von Verformungen

In folgenden Fällen dürfen die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung gemäß der Ausgangsgeometrie des Tragwerkes ermittelt werden:

- bei unverschieblichen und bei seitensteifen Tragwerken
- bei Berechnungsverfahren, die direkt die Auswirkungen der Theorie II. Ordnung berücksichtigen, z. B. bei Stabilitätsnachweisen nach dem Ersatzstabverfahren (Abschnitt 5.5.2 bis 5.5.5).

Eine Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Verformungen des Tragwerkes darf stets angewendet werden.

5.2.1.4 Elastische Tragwerksberechnung

Diese beruht auf der Annahme eines linearen Spannungs-Dehnungs-Verhaltens des Werkstoffes (siehe Abb. 8.14) unabhängig von der Größe der Beanspruchung. Für Berechnungen nach Theorie I. und II. Ordnung darf diese Annahme beibehalten werden, auch wenn der plastische Widerstand der Querschnitte angesetzt wird.

Unter folgenden Bedingungen dürfen bei elastischer Tragwerksberechnung nach Theorie I. Ordnung die ermittelten Biegemomente in einem Bauteil bis zu 15 % des Maximalwertes umgelagert werden:

- Die Schnittgrößen im Tragwerk stehen im Gleichgewicht zu den Belastungen.
- Bei den Bauteilen mit Momentenumlagerung liegt Querschnittsklasse 1 oder 2 vor.

5.2.1.5 Plastische Tragwerksberechnung

Diese darf nach folgenden Verfahren erfolgen:

a) Fließgelenkverfahren I. Ordnung

Hierbei werden die elastischen Verformungen der Bauteile zwischen den Fließgelenken und den Lagern vernachlässigt und die plastischen Verformungen in den plastischen Gelenken konzentriert angenommen.

b) Elastisch-plastische Berechnungsverfahren:

– Fließgelenkverfahren nach Theorie II. Ordnung

Hierbei wird angenommen, daß die Querschnitte bis zum Erreichen der vollplastischen Querschnittsfestigkeit elastisch bleiben und die plastischen Verformungen in plastischen Gelenken konzentriert sind.

– Fließzonenverfahren

Hierbei wird angenommen, daß der Querschnitt bis zum Erreichen der Streckgrenze in der Randfaser elastisch bleibt und sich danach über die Querschnittshöhe und die Trägerlänge Fließzonen ausbilden. Für Baustähle nach Tafel 8.9a darf eine bilineare Spannungs-Dehnungslinie (Abb. 8.14) angewendet werden. Um numerische Schwierigkeiten mit der Anwendung der Spannungs-Dehnungslinie zu vermeiden, darf auch die in Abb. 8.14 dargestellte alternative bilineare Spannungs-Dehnungslinie angenommen werden.

Die Träger sind an den Stellen, an denen sich plastische Gelenke bilden können, seitlich abzustützen. Diese Abstützung darf maximal um ein Maß, das der halben Trägerhöhe entspricht, neben der theoretischen Gelenkstelle liegen.

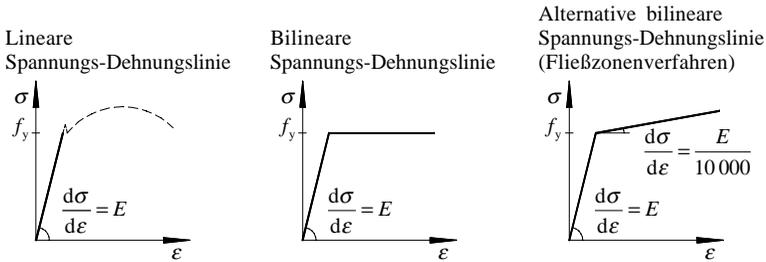


Abb. 8.14 Spannungs-Dehnungslinien

5.2.2 Berechnungsannahmen

Das angenommene statische System eines Tragwerkes muß mit dem zu erwartenden Verhalten der Verbindungen übereinstimmen. Die für die Konstruktion und Bemessung von Bauteilen getroffenen Annahmen müssen mit dem Berechnungsverfahren und dem Verhalten der Verbindungen übereinstimmen.

5.2.2.1 Gelenktragwerke



Bei Gelenktragwerken darf die Übertragung von Biegemomenten in den Verbindungen vernachlässigt werden. Diese sind so auszubilden, daß keine größeren Momente übertragen werden können.

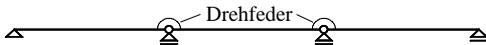
5.2.2.2 Biegesteife Durchlauf- und Rahmentragwerke



Bei der elastischen Berechnung sollte von voller Durchlaufwirkung und von unverformbaren Verbindungen ausgegangen werden. Diese sind so auszubilden, daß ihre Deformation einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Schnittgrößenverteilung und die Gesamtverformung hat.

Bei der Berechnung nach dem Fließgelenkverfahren 1. Ordnung sollte ebenfalls von voller Durchlaufwirkung ausgegangen werden. Die erforderlichen volltragfähigen Verbindungen sollten so ausgeführt werden, daß ihre Grenzwiderstände nicht kleiner sind als die der angeschlossenen Bauteile.

5.2.2.3 Biegeweiche Durchlauf- und Rahmentragwerke



Eine elastische Berechnung sollte mit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen für die Momenten-Rotations- oder Last-Verschiebungs-Charakteristiken der Verbindungen durchgeführt werden. Siehe hierzu EC 3 Abschnitt 6.4.3 und 6.9.5.

Bei der Berechnung nach dem Fließgelenkverfahren 1. Ordnung sollten die Bemessungswerte der Verbindungsfestigkeiten angesetzt werden, wobei ein ausreichendes Rotationsvermögen (siehe EC 3 Abschnitt 6.4.3 und 6.9.5) nachzuweisen ist.

Berechnungen nach elastisch-plastischen Verfahren sollten mit den Bemessungswerten der Momenten-Rotations-Charakteristiken der Verbindungen durchgeführt werden, die nach EC 3 Abschnitt 6.9.2 zu bestimmen sind.

Hinweis:

Zur Zeit sind die Regelungen zur Berechnung der Momenten-Rotations- und Last-Verschiebungs-Charakteristiken von Verbindungen noch nicht vollständig. Als Ersatz für den normativen Anhang J (Träger-Stützen-Verbindungen) liegt eine noch nicht übersetzte Fassung in englischer Sprache vor. Zum Zeitpunkt der Anwendung sollte der aktuelle Regelungsstand überprüft werden.

5.2.3 Imperfektionen

Die Auswirkungen praktisch unvermeidbarer Imperfektionen, wie z. B. Schiefstellungen, Krümmungen, Paßungenauigkeiten, kleinere Anschlußzentrizitäten, Eigenspannungen usw. sind bei der Tragwerksberechnung, der Berechnung aussteifender Systeme und bei den Bauteilnachweisen zu berücksichtigen.

5.2.3.1 Tragwerksimperfektionen

Die Auswirkungen der Tragwerksimperfektionen sind bei der Berechnung des Gesamtsystems durch den Ansatz von Anfangsschiefstellungen ϕ oder durch den Ansatz äquivalenter Horizontalkräfte zu erfassen. Die daraus resultierenden Schnittgrößen sind bei der Bemessung der einzelnen Bauteile zu berücksichtigen.

$$\phi = k_c \cdot k_s \cdot \phi_o \quad k_c = \sqrt{0,5 + 1/n_c} \leq 1 \quad k_s = \sqrt{0,2 + 1/n_s} \leq 1 \quad \phi_o = 1/200$$

n_c Anzahl der Stützen in der Tragwerksebene

Es sind nur solche Stützen zu berücksichtigen, die mindestens eine Druckkraft N_{sd} von 50 % der mittleren Druckkraft pro Stütze übertragen.

n_s Anzahl der Geschosse

Nur solche Stützen, die durch alle Geschosse n_s gehen, dürfen in n_c mitgezählt werden, und nur die Decken- und Dachträger, die mit allen zu n_c gerechneten Stützen verbunden sind, dürfen bei der Berechnung von n_s berücksichtigt werden. Wenn mehr als eine Kombination diese Bedingung erfüllt, darf jede der Kombinationen verwendet werden.

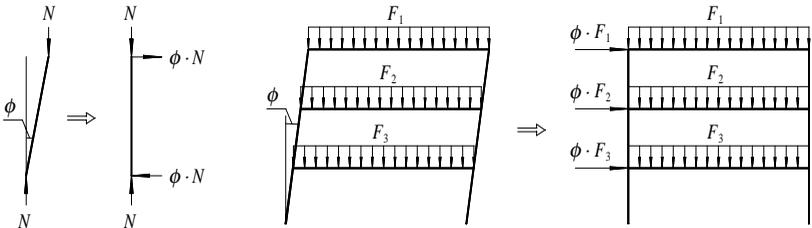


Abb. 8.15 Ersatz der Anfangsschiefstellung durch äquivalente Horizontalkräfte

Die Anfangsschiefstellungen wirken in allen Grundrißrichtungen, brauchen aber gleichzeitig nur in einer Richtung wirkend berücksichtigt zu werden.

Bei Stockwerksrahmen sollten die äquivalenten Horizontalkräfte in jeder Dach- bzw. Deckenträgerhöhe angesetzt werden. Diese sind proportional zu den Vertikallasten in der jeweiligen Höhe. Die Horizontalreaktionen sollten an jedem Stützenfuß mit der Anfangsschiefstellung und nicht mit den äquivalenten Horizontalkräften bestimmt werden. Wenn keine wirklichen Horizontalkräfte auftreten, ist die resultierende Horizontalreaktion null.

Zusätzlich zu den Tragwerksimperfektionen brauchen Bauteilimperfektionen nur bei seitenweisen Tragwerken (siehe 5.2.4.1) mit druckbeanspruchten Bauteilen und momentenübertragenden Verbindungen berücksichtigt zu werden, wenn der bezogene Schlankheitsgrad folgende Grenze überschreitet:

$$\bar{\lambda} > 0,5 \cdot \sqrt{A \cdot f_y / N_{sd}} \quad \bar{\lambda} \text{ bezogener Schlankheitsgrad des druckbeanspruchten Bauteils in der Tragwerksebene, berechnet mit einer Knicklänge, die der Systemlänge entspricht } (\ell = L) \text{ nach Abschnitt 5.5.2}$$

N_{sd} Bemessungswert der Druckkraft

Die Berechnung des Gesamtsystems ist in diesem Fall nach Theorie II. Ordnung mit den o. a. Anfangsschiefstellungen und Bauteilkrümmungen nach Tafel 8.33 durchzuführen.

5.2.3.2 Imperfektionen für die Berechnung aussteifender Systeme

Bei aussteifenden Systemen, die ein seitliches Ausweichen von Trägern oder druckbeanspruchten Bauteilen verhindern sollen, werden die Auswirkungen der Imperfektionen durch den Ansatz einer geometrischen Anfangskrümmung (Bogenstich) der abgestützten Bauteile berücksichtigt.

$$e_0 = k_r \cdot L / 500$$

$$k_r = \sqrt{0,2 + 1/n_r} \leq 1 \quad n_r \text{ Anzahl der abgestützten Bauteile} \\ L \text{ Spannweite des auszusteienden Systems}$$

Die Anfangskrümmung e_0 darf durch wirkungsäquivalente stabilisierende Kräfte, die auf das auszusteiende System wirken, ersetzt werden.

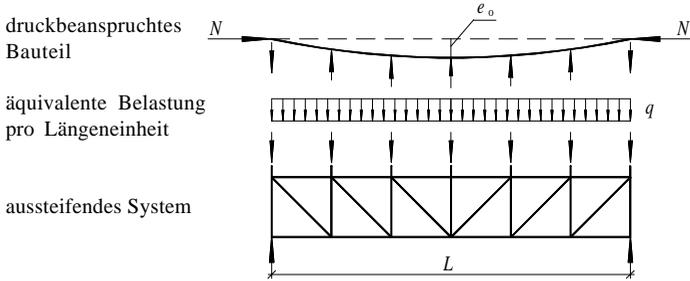


Abb. 8.16a Äquivalente Stabilisierungskräfte

Aussteifende Systeme, die nur **ein** druckbeanspruchtes Bauteil abstützen:

$$\delta_q \leq \frac{L}{2500} \rightarrow q = \frac{N}{50 \cdot L}$$

$$\delta_q > \frac{L}{2500} \rightarrow q = \frac{N}{60 \cdot L} \cdot (1 + \alpha)$$

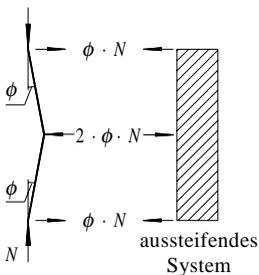
δ_q Verformung in der Ebene des aussteifenden Systems infolge q plus aller übrigen äußeren Lasten; $\alpha = 500 \cdot \delta_q / L \geq 0,2$

Aussteifende Systeme, die **mehrere** druckbeanspruchte Bauteile abstützen:

$$\delta_q \leq \frac{L}{2500} \rightarrow q = \frac{\sum N}{60 \cdot L} \cdot (k_r + 0,2)$$

$$\delta_q > \frac{L}{2500} \rightarrow q = \frac{\sum N}{60 \cdot L} \cdot (k_r + \alpha)$$

N darf auf der sicheren Seite liegend als über die Spannweite L konstant wirkende Kraft angenommen werden. Zur Abstützung des Druckgurtes eines Biegeträgers sollte $N = M / h$ angesetzt werden, wobei M dem Maximalmoment und h der Trägerhöhe entspricht.



An Stellen, an denen druckbeanspruchte Bauteile nicht kontinuierlich durchlaufen, ist eine zusätzliche örtliche Kraft auf das aussteifende System anzusetzen:

$$2 \cdot \phi \cdot N = k_r \cdot N / 100 \quad \text{mit } \phi = k_r \cdot \phi_0 \quad \phi_0 = 1/200$$

$$k_r = \sqrt{0,2 + 1/n_r} \leq 1,0 \quad n_r \text{ Anzahl der abgestützten Bauteile}$$

Die Lastabtragung dieser örtlichen Kraft zusammen mit den eventuell zusätzlich in gleicher Richtung wirkenden Kräften zwischen dem druckbeanspruchten Bauteil und dem aussteifenden System ist nachzuweisen.

Abb. 8.16b Äquivalente Stabilisierungskräfte bei nicht kontinuierlich durchlaufenden druckbeanspruchten Bauteilen

5.2.3.3 Bauteilimperfektionen

In den Stabilitätsnachweisen für Bauteile nach dem Ersatzstabverfahren (5.5.2 bis 5.5.5) sind die Bauteilimperfektionen bereits berücksichtigt. Beim Nachweis von Bauteilen nach Theorie II. Ordnung sind die Bauteilimperfektionen nach Tafel 8.33 anzusetzen.

5.2.4 Stabilität gegen seitliches Ausweichen

Zur Begrenzung der seitlichen Verschiebungen müssen alle Tragwerke eine ausreichende Steifigkeit aufweisen. Diese kann erreicht werden durch

- | | |
|--|--|
| a) die Seitensteifigkeit aussteifender Systeme: <ul style="list-style-type: none">– Fachwerke,– Tragwerke mit unverformbaren Verbindungen,– Schubwände, Kernbauwerke o. ä. | b) die Seitensteifigkeit von Tragwerken, deren Steifigkeit ergänzt werden kann durch: <ul style="list-style-type: none">– Fachwerkwirkung,– die Steifigkeit der Verbindungen,– eingespannte Stützen. |
|--|--|

5.2.4.1 Einteilung in seitensteife und seitenweiche Tragwerke

● Seitensteife Tragwerke

Ein Tragwerk darf als seitensteif eingestuft werden, wenn die zusätzlichen Schnittgrößen infolge horizontaler Knotenverschiebungen vernachlässigbar klein sind. Dies ist der Fall, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\boxed{V_{sd} / V_{cr} \leq 0,1} \quad \begin{array}{l} V_{sd} \text{ Bemessungswert der gesamten Vertikallast} \\ V_{cr} \text{ elastische Knicklast bei seitlichem Ausweichen} \end{array}$$

Stockwerksrahmen in Gebäuden mit regelmäßigen Anschlüssen von Trägern und Stützen dürfen für den gegebenen Lastfall als seitensteif betrachtet werden, wenn bei Anwendung der Theorie I. Ordnung die Horizontalverschiebungen δ in jedem Stockwerk infolge der horizontalen und vertikalen Bemessungslasten einschließlich der äquivalenten Horizontalkräfte aus der Anfangsschiefstellung folgende Bedingung erfüllen:

$$\boxed{\left(\frac{\delta}{h}\right) \cdot \left(\frac{V}{H}\right) \leq 0,1} \quad \begin{array}{l} \delta \text{ Horizontalverschiebung der Stockwerksoberkante zur Stockwerksunterkante} \\ h \text{ Stockwerkshöhe} \\ H \text{ Summe der Horizontalkräfte in Höhe der Stockwerksunterkante} \\ V \text{ Summe der Vertikalkräfte in Höhe der Stockwerksunterkante} \end{array}$$

● Seitenweiche Tragwerke

Tragwerke, die die o. a. Bedingungen nicht erfüllen, sind als seitenweich einzustufen. Die Auswirkungen der Horizontalverschiebungen der Knoten sind bei der Berechnung zu berücksichtigen. Zusätzlich sollten die Stabilitätsanforderungen nach 5.2.5 erfüllt werden.

5.2.4.2 Einteilung in unverschiebliche und verschiebliche Tragwerke

● Unverschiebliche Tragwerke

Ein Tragwerk darf als unverschieblich eingestuft werden, wenn ein in der Ebene der horizontal angreifenden Lasten liegendes aussteifendes System mit ausreichender Steifigkeit alle Horizontalkräfte abträgt. Es darf als seitlich starr gestütztes System berechnet werden.

Ein Stahlrahmentragwerk kann als unverschiebliches System angenommen werden, wenn seine Seitenverschiebung durch das aussteifende System um mindestens 80 % reduziert wird.

Das aussteifende System sollte bemessen werden für

- alle Horizontallasten auf die Tragwerke, welche es aussteift,
- alle Horizontal- und Vertikallasten, die direkt an dem aussteifenden System angreifen,
- die Auswirkungen der Anfangsschiefstellungen (oder der äquivalenten Horizontalkräfte), die aus dem aussteifenden System selbst und allen Tragwerken, welche es aussteift, herrühren.

Ist das aussteifende System ein Tragwerk oder Teiltragwerk, kann es selbst seitensteif oder seitenweich eingestuft sein (s. o.).

● Verschiebliche Tragwerke

Tragwerke, die die Bedingungen für unverschiebliche Systeme nicht erfüllen, sind als verschiebliche Tragwerke einzustufen.

5.2.5 Stabilität von Tragwerken

Alle Tragwerke sind so zu bemessen, daß kein Stabilitätsversagen durch seitliches Ausweichen auftritt. Der Stabilitätsnachweis für das Gesamtsystem ist bei seitensteifen Tragwerken nicht erforderlich. Bei allen Tragwerken, einschließlich der unverschieblichen Tragwerke, ist außerdem nachzuweisen, daß kein Stabilitätsversagen ohne seitliches Ausweichen auftritt.

5.2.5.1 Elastische Berechnung seitenweicher Tragwerke

Die Auswirkungen der Tragwerksimperfektionen (Seitenverschiebungen) nach Theorie II. Ordnung sind durch direkte Anwendung der Theorie II. Ordnung oder indirekt durch folgende Alternativverfahren zu berücksichtigen:

a) Vergrößerung der Biegemomente nach Theorie I. Ordnung infolge Seitenverschiebung mit dem Dischingerfaktor:

$$\frac{1}{1 - V_{Sd} / V_{cr}}$$

V_{Sd} Bemessungswert der gesamten Vertikallast
 V_{cr} elastische Knicklast bei seitlichem Ausweichen

Die auf Seite 8.15 angegebenen Tragwerksimperfektionen gelten hierbei nur für Verhältnisse $V_{Sd} / V_{cr} \leq 0,25$. Ist $V_{Sd} / V_{cr} > 0,25$, darf mit diesen Tragwerksimperfektionen nur gerechnet werden, wenn hierbei die Steifigkeit $E \cdot I$ um 10 % vermindert wird.

Zur Bestimmung des Verhältniswertes V_{Sd} / V_{cr} darf bei Stockwerksrahmen folgende Näherung verwendet werden:

$$\frac{V_{Sd}}{V_{cr}} = \left(\frac{\delta}{h}\right) \cdot \left(\frac{V}{H}\right) \quad \text{Formelzeichen siehe Seite 8.17}$$

Die einzelnen Bauteile sind bei Anwendung des o. a. Berechnungsverfahrens mit Knicklängen nachzuweisen, die sich aus den Knickfiguren ohne Seitenverschiebung ergeben.

b) Anwendung des Ersatzstabverfahrens (siehe Abschnitt 5.5.2 bis 5.5.5)

Bei Anwendung dieses Verfahrens sind die Auswirkungen der Bauteilimperfektionen bereits berücksichtigt. Bei der Bemessung von Stützen nach dem Ersatzstabverfahren sind die Biegemomente infolge Seitenverschiebung in den Trägern und in den Träger-Stützen-Verbindungen mindestens 1,2fach zu vergrößern, wenn keine genauere Berechnung durchgeführt wird.

5.2.5.2 Plastische Berechnung seitenweicher Tragwerke

Die Auswirkungen aus den Seitenverschiebungen nach Theorie II. Ordnung sind i. allg. durch direkte Anwendung elastisch-plastischer Berechnungsverfahren nach Theorie II. Ordnung (siehe Seite 8.13) zu berücksichtigen.

Alternativ darf das Fließgelenkverfahren nach Theorie I. Ordnung mit indirekter Berücksichtigung der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung bei folgenden Tragwerken verwendet werden:

- a) ein- oder zweigeschossige Tragwerke, bei denen entweder
- keine plastischen Gelenke in den Stützen entstehen, oder
 - die Stützen ein ausreichendes Rotationsvermögen in den plastischen Gelenken aufweisen (siehe EC 3 Abschnitt 5.2.7).
- b) Tragwerke mit eingespannten Stützen, bei denen Fließgelenke infolge seitlichen Ausweichens nur an den Stützenfüßen auftreten (siehe EC 3 Abschnitt 5.2.6.3).

Alle Schnittgrößen infolge Seitenverschiebung sind mit dem o. a. Dischingerfaktor zu vergrößern. Die auf Seite 8.15 angegebenen Tragwerksimperfektionen gelten hierbei nur für Verhältnisse $V_{Sd} / V_{cr} \leq 0,20$. Ist $V_{Sd} / V_{cr} > 0,20$, darf mit diesen Tragwerksimperfektionen nur gerechnet werden, wenn hierbei die Steifigkeit $E \cdot I$ um 10 % vermindert wird.

Die einzelnen Bauteile sind mit den Knicklängen zu bemessen, die sich aus den Knickfiguren ohne Seitenverschiebung ergeben. Die Auswirkungen der Fließgelenke sind bei der Ermittlung der Knicklängen zu berücksichtigen.

5.3 Einstufung in Querschnittsklassen

5.3.1 Grundlagen

Die Einstufung eines Querschnitts in eine Querschnittsklasse hängt von den Abmessungsverhältnissen derjenigen Querschnittsteile ab, die infolge Längskraft oder Biegemoment ganz oder teilweise druckbeansprucht sind. Hierdurch wird festgestellt, ob der Widerstand durch lokales Beulen beeinflusst wird.

Tafel 8.19 Querschnittsklassen

Querschnittsklasse	Einstufungsmerkmale
1	Diese Querschnitte können plastische Gelenke mit ausreichendem Rotationsvermögen für plastische Berechnungen bilden.
2	Diese Querschnitte weisen plastische Widerstände, aber ein begrenztes Rotationsvermögen auf.
3	In einer Querschnittsfaser wird die Streckgrenze erreicht; die plastischen Reserven können nicht ausgenutzt werden, da Querschnittsteile ausbeulen.
4	Die Widerstände dieser Querschnitte gegen Momenten- oder Druckbeanspruchung müssen unter Berücksichtigung des örtlichen Ausbeulens bestimmt werden.

Die Einstufung eines Querschnitts erfolgt i. d. R. nach der ungünstigsten Klasse seiner druckbeanspruchten Teile. Die Grenzverhältnisse b/t für die Einstufung in die Klassen 1, 2 und 3 können den Tafeln 8.20, 8.21 und 8.22 entnommen werden.

Querschnitte, die die Grenzverhältnisse b/t für Klasse 3 nicht erfüllen, sind in Klasse 4 einzustufen. Die notwendige Reduktion des Widerstandes des Querschnittes infolge örtlichen Ausbeulens darf in diesem Fall durch den Ansatz wirksamer Breiten berücksichtigt werden.

5.3.1.1 Querschnittsanforderungen bei plastischer Tragwerksberechnung

Die Querschnitte müssen an Fließgelenken eine Symmetrieachse in der Lastebene aufweisen. Das Rotationsvermögen an Fließgelenken muß mindestens den Rotationsanforderungen entsprechen und durch einen Rotationssicherheitsnachweis belegt sein.

Alle Bauteile müssen im Bereich der Fließgelenke Querschnittsklasse 1 entsprechen, wenn bei Hochbauten kein Rotationssicherheitsnachweis geführt wird.

Bei Bauteilen mit längs der Bauteilachse veränderlichen Querschnittswerten sind zusätzliche Kriterien nach EC 3 Abschnitt 5.3.3 (5) zu erfüllen.

5.3.1.2 Querschnittsanforderungen bei elastischer Tragwerksberechnung

Die vollen plastischen Beanspruchbarkeiten der Querschnitte dürfen in Ansatz gebracht werden, wenn die druckbeanspruchten Querschnittsteile die Grenzverhältnisse b/t für Klasse 2 erfüllen. Erfüllen alle druckbeanspruchten Querschnittsteile die Grenzverhältnisse für Klasse 3, darf die Beanspruchbarkeit mit einer elastischen Spannungsverteilung, begrenzt durch Fließspannungen an den Randfasern, bestimmt werden.

In Fällen, in denen Fließen zunächst nur auf der Zugseite des Querschnitts auftritt, dürfen die plastischen Reserven der Zugzone ausgenutzt werden. Bis zum Erscheinen von EC 3 Teil 1-3 (kaltgeformte, dünnwandige Bauteile) gelten für die Bestimmung der Beanspruchbarkeit die Regelungen nach DASt-Ri 016 „Bemessung und konstruktive Gestaltung von dünnwandigen, kaltgeformten Bauteilen“, Abschnitt 4.3.1, Element 405.

Wenn eines der gedrückten Querschnittsteile in Klasse 4 einzustufen ist, gilt diese Einstufung für die Bemessung des gesamten Querschnitts.

Tafel 8.20 Maximale b/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile

Stegblechteile (beidseitig gestützte Teile rechtwinklig zur Biegeachse)				
<p style="text-align: right;">$d = h - 3t$ mit $t = t_r = t_w$</p>				
Klasse	Stegblech beansprucht auf Biegung	Stegblech beansprucht auf Druck	Stegblech beansprucht auf Biegung und Druck	
Spannungsverteilung über Querschnittsteil (Druck positiv)				
	1	$d/t_w \leq 72 \epsilon$	$d/t_w \leq 33 \epsilon$	für $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ für $\alpha \leq 0,5$: $d/t_w \leq 36 \epsilon / \alpha$
2	$d/t_w \leq 83 \epsilon$	$d/t_w \leq 38 \epsilon$	für $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 456 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ für $\alpha \leq 0,5$: $d/t_w \leq 41,5 \epsilon / \alpha$	
Spannungsverteilung über Querschnittsteil (Druck positiv)				
3	$d/t_w \leq 124 \epsilon$	$d/t_w \leq 42 \epsilon$	für $\psi > -1$: $d/t_w \leq 42 \epsilon / (0,67 + 0,33 \psi)$ für $\psi \leq -1$: $d/t_w \leq 62 \epsilon (1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$	
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

Tafel 8.21a Maximale b/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile

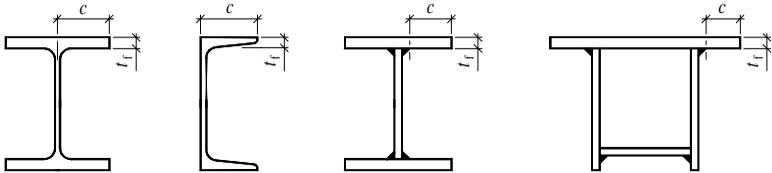
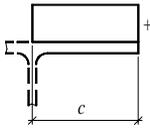
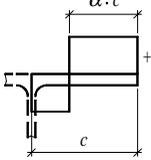
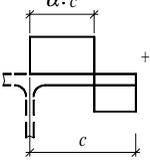
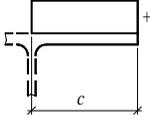
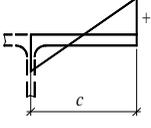
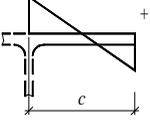
Flanschteile (beidseitig gestützte Teile parallel zur Biegeachse)			
Klasse	Querschnittsform	Querschnitt beansprucht auf Biegung	Querschnitt beansprucht auf Druck
Spannungsverteilung über Querschnittsteil und Querschnitt (Druck positiv)			
1	gewalzte Hohlprofile	$(b - 3 t_f) / t_f \leq 33 \epsilon$	$(b - 3 t_f) / t_f \leq 42 \epsilon$
	andere	$b / t_f \leq 33 \epsilon$	$b / t_f \leq 42 \epsilon$
2	gewalzte Hohlprofile	$(b - 3 t_f) / t_f \leq 38 \epsilon$	$(b - 3 t_f) / t_f \leq 42 \epsilon$
	andere	$b / t_f \leq 38 \epsilon$	$b / t_f \leq 42 \epsilon$
Spannungsverteilung über Querschnittsteil und Querschnitt (Druck positiv)			
3	gewalzte Hohlprofile	$(b - 3 t_f) / t_f \leq 42 \epsilon$	$(b - 3 t_f) / t_f \leq 42 \epsilon$
	andere	$b / t_f \leq 42 \epsilon$	$b / t_f \leq 42 \epsilon$

Tafel 8.21b Maximale b/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile

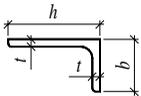
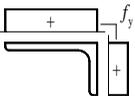
Rohrquerschnitte		
Klasse	Querschnittsform	Querschnitt beansprucht auf Biegung oder/und Druck
1		$d/t \leq 50 \epsilon^2$
2		$d/t \leq 70 \epsilon^2$
3		$d/t \leq 90 \epsilon^2$

$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81
	ϵ^2	1	0,85	0,66

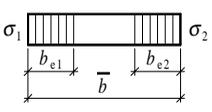
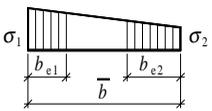
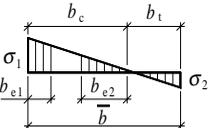
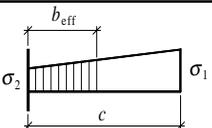
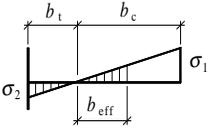
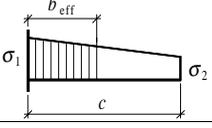
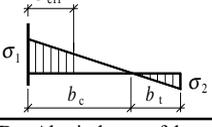
Tafel 8.22a Maximale b/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile

Flanschteile (einseitig gestützte Teile)				
				
		Gewalzte Querschnitte	Geschweißte Querschnitte	
Klasse	Querschnittsform	Flansch beansprucht auf Druck	Flansch beansprucht auf Druck und Biegung	
			Flanschende im Druckbereich	Flanschende im Zugbereich
Spannungsverteilung über Querschnittsteil (Druck positiv)				
1	gewalzt	$c / t_f \leq 10 \epsilon$	$c / t_f \leq 10 \epsilon / \alpha$	$c / t_f \leq 10 \epsilon / (\alpha \sqrt{\alpha})$
	geschweißt	$c / t_f \leq 9 \epsilon$	$c / t_f \leq 9 \epsilon / \alpha$	$c / t_f \leq 9 \epsilon / (\alpha \sqrt{\alpha})$
2	gewalzt	$c / t_f \leq 11 \epsilon$	$c / t_f \leq 11 \epsilon / \alpha$	$c / t_f \leq 11 \epsilon / (\alpha \sqrt{\alpha})$
	geschweißt	$c / t_f \leq 10 \epsilon$	$c / t_f \leq 10 \epsilon / \alpha$	$c / t_f \leq 10 \epsilon / (\alpha \sqrt{\alpha})$
Spannungsverteilung über Querschnittsteil (Druck positiv)				
3	gewalzt	$c / t_f \leq 15 \epsilon$	$c / t_f \leq 23 \epsilon \sqrt{k_{\sigma}^{-1}}$	
	geschweißt	$c / t_f \leq 14 \epsilon$	$c / t_f \leq 21 \epsilon \sqrt{k_{\sigma}^{-1}}$	
1) Beulwert, siehe Tafel 8.23				

Tafel 8.22b Maximale b/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile

Winkel (gilt nicht für Winkel mit kontinuierlicher Verbindung zu anderen Bauteilen)		
Klasse	Querschnittsform	Querschnitt beansprucht auf Druck
Spannungsverteilung über den Querschnitt (Druck positiv)		
3	Siehe auch einseitig gestützte Flanschsteile	$h / t \leq 15 \epsilon : (b + h) / (2 t) \leq 11,5 \epsilon$

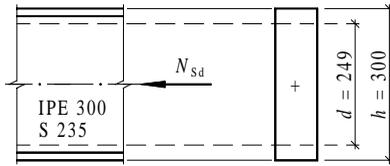
Tafel 8.23 Wirksame Breiten druckbeanspruchter Teile von Querschnitten der Klasse 4

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Teile			
Spannungsverteilung (Druck positiv)	Wirksame Breite b_{eff}	$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	Beulwert k_σ
	$\psi = 1:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,5 b_{\text{eff}}$	1	4
		$1 > \psi > 0$	$8,2 / (1,05 + \psi)$
		0	7,81
	$1 > \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 2 b_{\text{eff}} / (5 - \psi)$ $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$	$0 > \psi > -1$	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$
		-1	23,9
	$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0,6 b_{\text{eff}}$	$-1 > \psi > -2$	$5,98(1 - \psi)^2$
		alternativ für $1 \geq \psi \geq -1$	16
			$[(1 + \psi)^2 + 0,112(1 - \psi)^2]^{0,5} + (1 + \psi)$
Einseitig gestützte druckbeanspruchte Teile			
	$1 \geq \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho c$	1	0,43
		0	0,57
	$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$	-1	0,85
		$1 \geq \psi \geq -1$	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$
	$1 \geq \psi \geq 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho c$	1	0,43
		$1 > \psi > 0$	$0,578 / (\psi + 0,34)$
	$\psi < 0:$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$	0	1,7
		$0 > \psi > -1$	$1,7 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$
		-1	23,8
Der Abminderungsfaktor ρ darf näherungsweise wie folgt bestimmt werden: $-f_r \bar{\lambda}_p \leq 0,673: \rho = 1$ $-f_r \bar{\lambda}_p > 0,673: \rho = (\bar{\lambda}_p - 0,22) / \bar{\lambda}_p^2$ mit $\bar{\lambda}_p = \frac{\sqrt{f_y}}{\sqrt{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$		t maßgebende Dicke σ_{cr} kritische Plattenbeulspannung k_σ Beulwert nach dieser Tafel \bar{b} d für Stege b für beidseitig gestützte Flansche (außer RHP) $b - 3t$ für Flansche von RHP c für einseitig gestützte Flansche $(b + h)/2$ für gleichschenklige Winkel h oder $(b + h)/2$ für ungleichschenklige Winkel	

Beispiele: Einstufung in Querschnittsklassen (Abkürzung: QKL)

In den Skizzen ist die Spannungsverteilung über die Querschnittshöhe dargestellt. Die Verteilung über die Flanscbreite ist bei allen Beispielen konstant. Vorzeichen: Druck positiv.

Beispiel 8.24a:

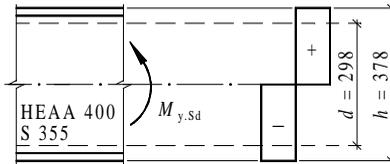


$$\text{Steg: } d / t_w = 249 / 7,1 = 35 < 38 \rightarrow \text{QKL 2}$$

$$\text{Flansch: } c / t_f = 75 / 10,7 = 7 < 10 \rightarrow \text{QKL 1}$$

Der gesamte Querschnitt ist entsprechend der ungünstigsten Einstufung seiner druckbeanspruchten Teile in QKL 2 einzustufen.

Beispiel 8.24b:



$$S 355 \rightarrow \varepsilon = 0,81$$

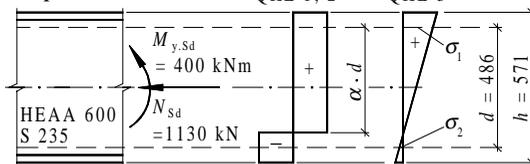
$$\text{Steg: } d / t_w = 298 / 9,5 = 31,4 < 72 \cdot 0,81 = 58,3 \rightarrow \text{QKL 1}$$

$$\text{Flansch: } c / t_f = 150 / 13 = 11,5 < 15 \cdot 0,81 = 12,2 \rightarrow \text{QKL 3}$$

Der Querschnitt ist in QKL 3 einzustufen.

Hinweis: Für gewalzte I-Profile aus S 235 mit *alleiniger* Biegebeanspruchung um die Hauptachse bzw. *alleiniger* Druckbeanspruchung ist die Querschnittsklasse Abschnitt 7 zu entnehmen.

Beispiel 8.24c:



$$\alpha = 0,5 + N_{s,d} / (2 \cdot d \cdot t_w \cdot f_{y,d})$$

$$\sigma_1 = N_{s,d} / A + M_{y,s,d} / (I_y \cdot 2 / d)$$

$$\sigma_2 = N_{s,d} / A - M_{y,s,d} / (I_y \cdot 2 / d)$$

$$\psi = \sigma_1 / \sigma_2$$

$$\text{Steg: } \alpha = 0,5 + 1130 / (2 \cdot 48,6 \cdot 12 \cdot 23,5 / 1,1) = 0,95 > 0,5$$

$$d / t_w = 486 / 12 = 40,5 > 456 / (13 \cdot 0,95 - 1) = 40,2 \rightarrow \text{keine Einstufung in QKL 2}$$

$$\sigma_1 = 1130 / 164 + 400 \cdot 10^2 / (91870 \cdot 2 / 48,6) = 6,89 + 10,58 = 17,47 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_2 = 6,89 - 10,58 = -3,69 \text{ kN} / \text{cm}^2; \psi = (-3,69) / 17,47 = -0,21 > -1$$

$$d / t_w = 40,5 < 42 / [0,67 + 0,33 \cdot (-0,21)] = 69,9 \rightarrow \text{QKL 3}$$

$$\text{Flansch: } c / t_f = 150 / 15,5 = 9,68 < 10 \rightarrow \text{QKL 1} \quad \text{Der gesamte Querschnitt ist in QKL 3 einzustufen.}$$

5.4 Beanspruchbarkeit der Querschnitte

5.4.1 Querschnittswerte

5.4.1.1 Bruttoquerschnittswerte

Die Bruttoquerschnittswerte sind mit den Nennabmessungen der Querschnitte ohne Berücksichtigung von Lochschwächungen durch die bei Schraubenverbindungen erforderlichen Bohrungen zu berechnen. Größere Querschnittsöffnungen sind jedoch zu berücksichtigen.

5.4.1.2 Nettofläche

Die Nettofläche eines Querschnitts ergibt sich aus der Bruttofläche abzüglich aller Löcher der Verbindungsmittel (siehe hierzu Abschnitt 6.2.3) und anderen Querschnittsöffnungen.

5.4.1.3 Mittragende Breiten

Eine Reduzierung auf die mittragende Breite ist nicht erforderlich für

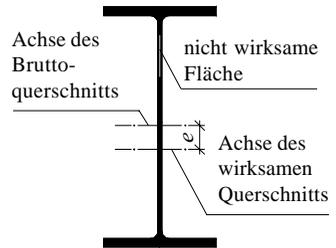
- einseitig gestützte Teile mit $c \leq L_0 / 20$
- beidseitig gestützte Teile mit $b \leq L_0 / 10$

- c Breite des einseitig gestützten Teils
- b Breite des beidseitig gestützten Teils
- L_0 Länge des Teils zwischen den Momentennullpunkten

5.4.1.4 Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4

Die wirksamen Querschnittswerte sind mit den wirksamen Breiten der druckbeanspruchten Querschnittsteile zu bestimmen (Tafel 8.23).

Das Spannungsverhältnis ψ zur Bestimmung der wirksamen Breite der Flansche darf mit den Querschnittswerten des Bruttoquerschnitts gebildet werden. Zur Bestimmung der wirksamen Stegfläche darf ψ mit der wirksamen Fläche des Druckflansches und der Bruttofläche des Steges ermittelt werden. Die Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts gegenüber der Hauptachse des Bruttoquerschnitts sollte bei der Bestimmung der Querschnittswerte berücksichtigt werden.



5.4.2 Beanspruchung durch Zugkraft

In jedem Querschnitt eines zugbeanspruchten Bauteils muß folgender Nachweis erfüllt sein:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad \text{mit} \quad N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2} \end{array} \right)$$

$N_{t,Sd}$ Bemessungswert der Zugkraft
 $N_{t,Rd}$ Grenzzugkraft
 $N_{pl,Rd}$ Grenzzugkraft des Bruttoquerschnitts
 A Bruttoquerschnittsfläche
 γ_{M0} Teilsicherheitsbeiwert; $\gamma_{M0} = 1,1$

$N_{u,Rd}$ Grenzzugkraft des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher
 A_{net} Nettofläche; γ_{M2} Teilsicherheitsbeiwert für Zugversagen im Nettoquerschnitt; $\gamma_{M2} = 1,25$

Zu Querschnittsschwächungen durch Schraubenlöcher siehe Abschnitt 6.2.3.

5.4.3 Beanspruchung durch Druckkraft

In jedem Querschnitt eines druckbeanspruchten Bauteils muß folgender Nachweis erfüllt sein:

$$N_{Sd} \leq N_{c,Rd} \quad \text{mit} \quad N_{c,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{für Querschnittsklasse 1, 2 und 3;} \\ N_{c,Rd} = N_{o,Rd} = A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad \text{für Querschnittsklasse 4}$$

γ_{M1} Teilsicherheitsbeiwert für Querschnittsklasse 4; $\gamma_{M1} = 1,1$
 A_{eff} wirksame Querschnittsfläche

Ein Lochabzug für Schraubenlöcher ist bei Druckbeanspruchung nicht erforderlich (siehe 6.2.3.2). Zusätzlich sind Stabilitätsnachweise nach Abschnitt 5.5 erforderlich.

5.4.4 Beanspruchung durch einaxiale Biegung ohne Querkraft

In jedem Querschnitt eines durch einaxiale Biegung ohne Querkraft beanspruchten Bauteils muß folgender Nachweis erfüllt sein:

$$M_{Sd} \leq M_{c,Rd} \quad \text{mit} \quad M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{für Querschnittsklasse 1 und 2} \\ M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad \text{für Querschnittsklasse 3} \\ M_{c,Rd} = M_{o,Rd} = W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad \text{für Querschnittsklasse 4} \\ M_{c,Rd} = M_{u,Rd} \quad \text{für Querschnitte mit Schraubenlöchern} \\ \text{(siehe Abschnitt 6.2.3.3)}$$

W_{pl} Widerstandsmoment im plastischen Zustand
 W_{el} Widerstandsmoment im elastischen Zustand
 W_{eff} Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts

Zusätzlich sind Stabilitätsnachweise nach Abschnitt 5.5 erforderlich.

5.4.5 Beanspruchung durch Querkraft

In jedem Querschnitt eines durch Querkraft beanspruchten Bauteils muß folgender Nachweis erfüllt sein:

$$V_{Sd} \leq V_{pl,Rd} \quad \text{mit} \quad V_{pl,Rd} = A_v \cdot (f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0} \quad V_{pl,Rd} \text{ plastische Grenzquerkraft}$$

Tafel 8.26 Wirksame Schubfläche A_v

Querschnittsform ¹⁾	Herstellung	Lastrichtung	A_v
I-Profile	gewalzt	in Stegblechebene	$A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$
U- und C-Profile	gewalzt	in Stegblechebene	$A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$
I- und Kastenquerschnitte	geschweißt	in Stegblechebene	$\Sigma(d \cdot t_w)$
I-, U-, C- u. Kastenquerschnitte	geschweißt	in Flanschebene	$A - \Sigma(d \cdot t_w)$
Rechteckhohlprofile	gewalzt	zur Profilhöhe	$A \cdot h / (b + h)$
Rechteckhohlprofile	gewalzt	zur Profilbreite	$A \cdot b / (b + h)$
Rundhohlprofile und Rohre	-	-	$2 \cdot A / \pi$
Bleche und Vollquerschnitte	-	-	A

¹⁾ Für hier nicht aufgeführte Querschnittsformen sollte A_v sinngemäß bestimmt werden.
 A Querschnittsfläche; b Gesamtbreite; d Stegblechhöhe; h Gesamthöhe; t_w Stegdicke
 t_f Flanschdicke; r Ausrundungsradius

Zusätzlich zu dem o. a. Querkraftnachweis ist „Schubbeulen“ nach EC 3 Abschnitt 5.6 nachzuweisen. Für nicht ausgesteifte Stegbleche kann dieser Nachweis entfallen, wenn die Bedingung $d / t_w \leq 69 \cdot \epsilon$ (ϵ siehe Tafel 8.20) erfüllt ist. Zu ausgesteiften Stegblechen siehe EC 3 Abschnitt 5.4.6 (7) und 5.6.

Bei Beanspruchung einseitig gelagerter Plattenstreifen durch Querkraft (z. B. I-Profil mit Beanspruchung durch V_y) ist der Schubbeulnachweis ebenfalls nicht erforderlich.

Lochschwächungen im Bereich der Schubfläche eines Querschnitts sind nach Abschnitt 6.2.3.4 nachzuweisen. Bei Lochschwächungen an Bauteilenden ist nach Abschnitt 6.2.3.5 nachzuweisen, daß kein Versagen durch Scherbruch auftritt.

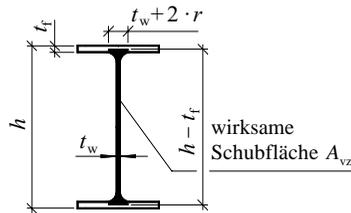


Abb. 8.26 Wirksame Schubfläche bei I-Profilen mit Beanspruchung durch V_z

5.4.6 Beanspruchung durch Biegung und Querkraft

Bei dieser kombinierten Beanspruchung ist eine Abminderung des plastischen Grenzmomentes nicht erforderlich, wenn die Bedingung $V_{Sd} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ erfüllt ist.

Für $V_{Sd} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ ist das infolge Querkraft abgeminderte plastische Grenzmoment $M_{v,Rd}$ wie folgt zu bestimmen:

a) bei Querschnitten mit gleichen Flanschen und Biegung um die Hauptachse

$$M_{Vy,Rd} = \left(W_{ply} - \rho \cdot \frac{A_{vz}^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd}$$

$$\text{mit } \rho = (2 \cdot V_{z,Sd} / V_{pl,z,Rd} - 1)^2$$

Für $M_{c,Rd}$ ist der für die Querschnittsklasse zutreffende Wert nach Abschnitt 5.4.4 anzunehmen.

In der Gleichung für $M_{Vy,Rd}$ entspricht der Term $A_{vz}^2 / (4 \cdot t_w)$ näherungsweise dem Widerstandsmoment der wirksamen Schubfläche im plastischen Zustand ($W_{pl,y,w}$). Durch Einsetzen von $W_{pl,y,w}$ ergibt sich $M_{Vy,Rd} = (W_{pl,y} - \rho \cdot W_{pl,y,w}) \cdot f_y / \gamma_{M0} = (1 - \rho \cdot W_{pl,y,w} / W_{pl,y}) \cdot M_{pl,y,Rd}$. Mit dem Hilfswert $k_{My} = W_{pl,y,w} / W_{pl,y}$ folgt:

$$M_{Vy,Rd} = (1 - \rho \cdot k_{My}) \cdot M_{pl,y,d}$$

Für gewalzte I-Profile ist k_{My} den Hilfstafeln in Abschnitt 7 zu entnehmen. Diese sind mit den exakten Werten für $W_{pl,y,w}$ bezogen auf die Fläche A_{vz} berechnet.

- b) in anderen Fällen sollte $M_{Vy,Rd}$ mit einer reduzierten Streckgrenze $f_{y,red} = (1 - \rho) \cdot f_y$ für die wirksame Schubfläche berechnet werden.

5.4.7 Beanspruchung durch Biegung und Längskraft ohne Querkraft

5.4.7.1 Biegung und Längskraft, Querschnittsklassen 1 und 2

a) Einaxiale Biegung und Längskraft

Bei Beanspruchung durch Biegung und Längskraft ohne Querkraft ist nachzuweisen, daß der Bemessungswert des Biegemomentes M_{Sd} das infolge Längskraft abgeminderte plastische Grenzmoment $M_{N,Rd}$ nicht überschreitet.

$$M_{Sd} \leq M_{N,Rd}$$

● Rechteckquerschnitte

Für einen Rechteckquerschnitt ohne Lochschwächung ist das abgeminderte Grenzmoment wie folgt zu bestimmen:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right]$$

Der Nachweis ergibt sich zu:

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} + \left(\frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

● Querschnitte mit Flanschen

Eine Abminderung des plastischen Grenzmomentes infolge Längskraft ist vorzunehmen, wenn der Bemessungswert der Längskraft folgende Grenzen überschreitet:

- für Biegung um die Hauptachse (M_y) und Längskraft

$$N_{Sd} > 0,50 \cdot N_{pl,w,Rd} \text{ oder } N_{Sd} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd} \text{ (der kleinere Wert ist maßgebend)}$$

- für Biegung um die schwache Achse (M_z) und Längskraft

$$N_{Sd} > N_{pl,w,Rd}$$

$N_{pl,w,Rd}$ plastische Grenzzugkraft des Stegbleches; $N_{pl,w,Rd} = a \cdot N_{pl,Rd}$ mit $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A$

Für gewalzte I-Profile ist a den Hilfstafeln in Abschnitt 7 zu entnehmen.

Bei gewalzten und geschweißten I-Profilen mit gleichen Flanschen ohne Lochschwächungen darf das abgeminderte plastische Grenzmoment mit $n = N_{Sd} / N_{pl,Rd}$ und für $a \leq 0,5$ näherungsweise bestimmt werden:

- bei Biegung um die Hauptachse (M_y) und Längskraft

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a) \leq M_{pl,y,Rd}$$

- bei Biegung um die schwache Achse (M_z) und Längskraft

$$\begin{aligned} \text{für } n \leq a: \quad & M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} \\ \text{für } n > a: \quad & M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n - a}{1 - a} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

Bei **Rechteckhohlprofilen** mit konstanter Wanddicke und ohne Lochschwächungen beträgt das abgeminderte plastische Grenzmoment näherungsweise

– bei **Biegung um die Hauptachse (M_y) und Längskraft:**

$$M_{N_y, Rd} = M_{pl,y, Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_w) \leq M_{pl,y, Rd} \quad \text{mit } a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t) / A$$

– bei **Biegung um die schwache Achse (M_z) und Längskraft:**

$$M_{N_z, Rd} = M_{pl,z, Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 \cdot a_f) \leq M_{pl,z, Rd} \quad \text{mit } a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t) / A$$

Für **geschweißte Kastenquerschnitte** mit gleichen Flanschen und gleichen Stegblechen dürfen die o. a. Näherungen verwendet werden, wenn

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0,5 \quad \text{und} \quad a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0,5 \quad \text{gesetzt wird.}$$

Bei **Rundrohren** ohne Lochschwächungen ist folgende Näherung zulässig:

$$M_{N, Rd} = 1,04 \cdot M_{pl, Rd} \cdot (1 - n^{1,7}) \leq M_{pl, Rd}$$

b) Zweiaxiale Biegung und Längskraft, Querschnittsklassen 1 und 2

Näherungsweise darf der Nachweis wie folgt geführt werden:

$$\left(\frac{M_{y, Sd}}{M_{N_y, Rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z, Sd}}{M_{N_z, Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

Die Exponenten α und β dürfen auf der sicheren Seite liegend mit 1 oder wie folgt angenommen werden:

- I-Profile $\alpha = 2; \beta = 5 \cdot n \geq 1$
- Rundrohre $\alpha = 2; \beta = 2$
- Rechteckhohlprofile $\alpha = \beta = 1,66 / (1 - 1,13 \cdot n^2) \leq 6$
- Rechteckvollquerschnitte $\alpha = \beta = 1,73 + 1,8 \cdot n^3$

mit $n = N_{Sd} / N_{pl, Rd}$

Die abgeminderten Grenzmomente $M_{N, Rd}$ sind nach Abschnitt a) zu bestimmen.

Als Vereinfachung ist eine lineare Interaktion zulässig

$$\frac{N_{Sd}}{N_{pl, Rd}} + \frac{M_{y, Sd}}{M_{pl,y, Rd}} + \frac{M_{z, Sd}}{M_{pl,z, Rd}} \leq 1$$

5.4.7.2 Biegung und Längskraft, Querschnittsklasse 3

Für Querschnitte der Klasse 3 ohne Querkraft ist nachzuweisen, daß die maximale Längsspannung $\sigma_{x, Ed}$ den Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} nicht überschreitet:

$$\sigma_{x, Ed} \leq f_{yd} \quad \text{mit } f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} \quad \text{und} \quad \gamma_{M0} = 1,1$$

Diese Bedingung führt bei Querschnitten ohne Lochschwächung zu dem Nachweis

$$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y, Sd}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z, Sd}}{W_{el,z}} \leq f_{yd}$$

5.4.7.3 Biegung und Längskraft, Querschnittsklasse 4

Bei Querschnitten der Klasse 4 ohne Querkraft ist nachzuweisen, daß die unter Berücksichtigung der wirksamen Breiten von druckbeanspruchten Querschnittsteilen ermittelte maximale Längsspannung $\sigma_{x, Ed}$ den Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} nicht überschreitet:

$$\sigma_{x, Ed} \leq f_{yd} \quad \text{mit } f_{yd} = f_y / \gamma_{M1} \quad \text{und} \quad \gamma_{M1} = 1,1$$

Diese Bedingung führt bei Querschnitten ohne Lochschwächung zu dem Nachweis:

$$\boxed{\frac{N_{Sd}}{A_{eff}} + \frac{M_{y,Sd} + N_{Sd} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y}} + \frac{M_{z,Sd} + N_{Sd} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z}} \leq f_{yd}} \quad \text{mit } f_{yd} = f_y / \gamma_{M1} \text{ und } \gamma_{M1} = 1,1$$

A_{eff} wirksame Querschnittsfläche bei Druckbeanspruchung

W_{eff} Widerstandsmoment des wirksamen Querschnitts

e_N Abstand der Hauptachse des wirksamen Querschnitts von der Hauptachse des Bruttoquerschnitts (siehe 5.4.1.4)

5.4.8 Beanspruchung durch Biegung, Querkraft und Längskraft

Eine Reduktion des plastischen Grenzmomentes infolge Querkraft und Längskraft ist nur erforderlich, wenn der Bemessungswert der Querkraft 50 % der plastischen Grenzquerkraft überschreitet.

Für $V_{Sd} \leq 0,50 \cdot V_{pl,Rd}$ genügen die Interaktionen nach 5.4.7 (Biegung und Längskraft).

Für $V_{Sd} > 0,50 \cdot V_{pl,Rd}$ sollte die Interaktion zwischen Biegung und Längskraft unter Zugrundelegung einer abgeminderten Streckgrenze $f_{y,red} = (1 - \rho) \cdot f_y$ mit $\rho = (2 \cdot V_{Sd} / V_{pl,Rd} - 1)^2$ für die wirksame Schubfläche durchgeführt werden.

5.4.8.1 Gewalzte I-Profile QKL 1 und 2 mit Beanspruchung durch $M_{y,Sd}$, $V_{z,Sd}$ und N_{Sd}

Der Nachweis kann nach dem in Tafel 8.30 dargestellten Struktogramm geführt werden. Das infolge Querkraft abgeminderte plastische Grenzmoment $M_{Vy,Rd}$ ist mit dem Hilfswert k_{My} nach Abschnitt 5.4.6 zu ermitteln.

Für die infolge Querkraft abgeminderte plastische Grenzkraft $N_{V,Rd}$ gilt:

$$N_{V,Rd} = (A - A_{vz}) \cdot f_{yd} + A_{vz} \cdot f_{y,red,d} = \left(1 - \frac{A_{vz}}{A} \cdot \frac{f_{yd} - f_{y,red,d}}{f_{y,red,d}} \right) \cdot A \cdot f_{yd} \quad \text{mit } a_{vz} = A_{vz} / A \quad \text{und}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad \text{nach Abschnitt 7 sowie} \quad \frac{f_{yd} - f_{y,red,d}}{f_{yd}} = 1 - \frac{f_{y,red,d}}{f_{yd}} = 1 - (1 - \rho) = \rho \quad \text{folgt}$$

$$N_{V,Rd} = (1 - a_{vz} \cdot \rho) \cdot N_{pl,Rd}$$

Die Abminderung des plastischen Grenzmomentes $M_{V,Rd}$ infolge $N_{V,Rd}$ erfolgt mit den Hilfswerten $n_v = N_{Sd} / N_{V,Rd}$ und $a_{red} = (1 - \rho) \cdot a$. Für gewalzte I-Profile kann $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A$ den Hilfstafeln in Abschnitt 7 entnommen werden.

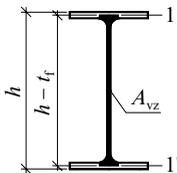
Das infolge Querkraft und Längskraft abgeminderte plastische Grenzmoment ergibt sich zu

$$\boxed{M_{NV,y,Rd} = M_{Vy,Rd} \cdot \frac{1 - n_v}{1 - 0,5 \cdot a_{red}}}$$

5.4.8.2 Gewalzte I-Profile QKL 3 mit Beanspruchung durch $M_{y,Sd}$, $V_{z,Sd}$ und N_{Sd}

Der Nachweis ist sinngemäß nach Abschnitt 5.4.7.2 als Spannungsnachweis zu führen.

In den Randfasern ist nachzuweisen, daß die maximale Längsspannung den Bemessungswert der Streckgrenze nicht überschreitet.



$$\boxed{\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}}$$

In den Achsen 1 und 1' ist nachzuweisen, daß die Längsspannung den Bemessungswert der infolge Querkraft reduzierten Streckgrenze nicht überschreitet.

$$\boxed{\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{I_y} \cdot \frac{h - t_f}{2} \leq \frac{f_{y,red}}{\gamma_{M0}}}$$

Tafel 8.30 Struktogramm für den Tragsicherheitsnachweis gewalzter I-Profile

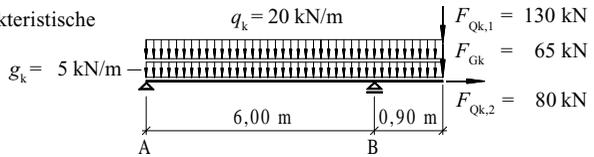
Eingangswerte: I-Profil; Stahlsorte: QKL 1, 2 und 3; Schnittgrößen $M_{y,Sd}$; $V_{z,Sd}$; N_{Sd}			
$V_{z,Sd} \leq V_{pl,z,Rd}$		$V_{z,Sd} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$	
ja			nein
ja		nein	
QKL 3		QKL 3	
ja	nein	ja	nein
$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$		$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{z,Sd}}{V_{pl,z,Sd}} - 1 \right)^2$	
$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$		$f_{y,red} = (1 - \rho) \cdot f_y$	
$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$		$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$	
$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{I_y} \cdot \frac{h - t_f}{2} \leq \frac{f_{y,red}}{\gamma_{M0}}$		$\frac{N_{Sd}}{A} + \frac{M_{y,Sd}}{I_y} \cdot \frac{h - t_f}{2} \leq \frac{f_{y,red}}{\gamma_{M0}}$	
$k_{My} = W_{pl,y,w} / W_{pl,y}$ $M_{Vy,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - \rho \cdot k_{My})$ $a_{vz} = A_{vz} / A$ $N_{v,Rd} = N_{pl,Rd} \cdot (1 - a_{vz} \cdot \rho)$		$k_{My} = W_{pl,y,w} / W_{pl,y}$ $M_{Vy,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot (1 - \rho \cdot k_{My})$ $a_{vz} = A_{vz} / A$ $N_{v,Rd} = N_{pl,Rd} \cdot (1 - a_{vz} \cdot \rho)$	
$N_{Sd} \leq N_{pl,Rd}$		$N_{Sd} \leq N_{v,Rd}$	
ja	nein	ja	nein
$a = \min \left(\frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A}; 0,5 \right)$ $n = N_{Sd} / N_{pl,Rd}$ $M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a}$		$a = \min \left(\frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A}; 0,5 \right)$ $a_{red} = (1 - \rho) \cdot a$ $n_v = N_{Sd} / N_{v,Rd}$ $M_{NV,y,Rd} = M_{v,y,Rd} \cdot \frac{1 - n_v}{1 - 0,5 \cdot a_{red}}$	
$M_{y,Sd} \leq \min (M_{Ny,Rd}; M_{pl,y,Rd})$		$M_{y,Sd} \leq \min (M_{Vy,Rd}; M_{NV,y,Rd})$	
Nachweis nicht erfüllt		Nachweis nicht erfüllt	
Nachweis nicht erfüllt		Nachweis nicht erfüllt	

Die zur Anwendung des Struktogramms erforderlichen Profilwerte (A, h, b, t_f), die statischen Werte ($I_y, W_{el,y}$), die Hilfswerte (a, a_{vz}, k_{My}) und die Grenzschnittgrößen ($N_{pl,Rd}, M_{pl,y,Rd}$) sind Abschnitt 7 zu entnehmen.

Beispiel 8.31: Einfeldträger mit Auskragung

Das Profil IPE 400 (S 235) ist durch die Drehsteifigkeit und die Scheibenwirkung der aufliegenden Bauteile gegen Biegedrillknicken gesichert, so daß der Stabilitätsnachweis nach Abschnitt 5.5 nicht erforderlich ist.

Statisches System und charakteristische Werte der Einwirkungen:



Die ständigen Einwirkungen g und F_G sind nicht als eigenständige Einwirkungen zu betrachten. Bei den vertikalen veränderlichen Einwirkungen q und $F_{Q,1}$ handelt es sich um Verkehrslasten nach DIN 1055-3, die als *eine* veränderliche Einwirkung zu behandeln sind. Die horizontale veränderliche Einwirkung $F_{Q,2}$ wirkt unabhängig von den vertikalen veränderlichen Einwirkungen.

Einwirkungskombinationen für den Nachweis der Tragfähigkeit und der Lagesicherheit

Zur Berechnung der maßgebenden Auflager- und Schnittgrößen sind bei diesem System 6 Lastfälle zu untersuchen. Die Bildung der Einwirkungskombinationen für die einzelnen Lastfälle erfolgt nach den auf Seite 8.7 angegebenen Kombinationsregeln. Bei den Lastfällen 1.1, 2.1 und 3.1 werden die vertikalen veränderlichen Einwirkungen als führende Einwirkungen und die horizontale veränderliche Einwirkung als begleitende Einwirkung angenommen. Der umgekehrte Fall wird in den Lastfällen 1.2, 2.2 und 3.2 berücksichtigt. Alternativ können für Systeme im Hochbau auch die auf Seite 8.8 angegebenen vereinfachten Kombinationsregeln verwendet werden. Diese erfordern jedoch im vorliegenden Fall die Untersuchung von 9 Lastfällen.

Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte zur Ermittlung der Bemessungswerte der Einwirkungen

Lastfall	g		F_G	q		$F_{Q,1}$	$F_{Q,2}$
	Feld	Kragarm		Feld	Kragarm		
	1.1	1,35	1,00	1,00	1,50	-	-
	1.2	1,35	1,00	1,00	$0,8 \cdot 1,50$	-	-
	2.1	1,00	1,35	1,35	-	1,50	$0,8 \cdot 1,50$
	2.2	1,00	1,35	1,35	-	$0,8 \cdot 1,50$	$0,8 \cdot 1,50$
	3.1	1,35	1,35	1,35	1,50	1,50	$0,8 \cdot 1,50$
	3.2	1,35	1,35	1,35	$0,8 \cdot 1,50$	$0,8 \cdot 1,50$	1,50

Bemessungswerte der Einwirkungen

Lastfall	g_d kN/m		F_{Gd} kN	q_d kN/m		$F_{Qd,1}$ kN	$F_{Qd,2}$ kN
	Feld	Kragarm		Feld	Kragarm		
	1.1	6,75	5,00	65,00	30,00	-	96,00
	1.2	6,75	5,00	65,00	24,00	-	120,00
	2.1	5,00	6,75	87,75	-	30,00	96,00
	2.2	5,00	6,75	87,75	-	24,00	120,00
	3.1	6,75	6,75	87,75	30,00	30,00	96,00
	3.2	6,75	6,75	87,75	24,00	24,00	120,00

Nach Abschnitt 4 (Statik) bzw. EDV-Auswertung ergeben sich folgende Bemessungswerte der Auflager- und Schnittgrößen:

Lastfall	Auflagerkräfte			Schnittgrößen					
	A_{vd} kN	A_{hd} kN	B_{vd} kN	$V_{z.A.Sd}$ kN	$M_{yF.Sd}$ kNm	$V_{z.BI.Sd}$ kN	$V_{z.Br.Sd}$ kN	$M_{yB.Sd}$ kNm	N_{Sd} kN
1.1	100,2	96,00	189,8	100,2	136,5	-120,3	69,50	-60,53	96,00
1.2	82,16	120,0	171,8	82,16	109,8	-102,3	69,50	-60,53	120,0
2.1	-29,89	96,00	375,7	-29,89	-	-59,89	315,8	-269,4	96,00
2.2	-23,64	120,0	325,0	-23,64	-	-53,64	271,4	-231,8	120,0
3.1	65,36	96,00	470,9	65,36	58,12	-155,1	315,8	-269,4	96,00
3.2	53,61	120,0	402,3	53,61	46,74	-130,9	271,4	-231,8	120,0

Tragfähigkeitsnachweis

Für das Profil IPE 400 (S 235) ergibt sich nach Abschnitt 7 bei alleiniger Beanspruchung durch $M_{y.Sd}$ Querschnittsklasse 1 → eine günstigere Einstufung ist durch Berücksichtigung der Zugkraft nicht möglich.

Die für den Nachweis maßgebende Schnittgrößenkombination ergibt sich aus Lastfall 2.1 bzw. 3.1 am Auflager B mit $V_{z.Sd} = 315,8$ kN, $M_{y.Sd} = 269,4$ kNm und $N_{Sd} = 96,0$ kN.

Nachweis nach Tafel 8.30 mit den Hilfswerten nach Abschnitt 7:

$$V_{z.Sd} = 315,8 > 0,5 \cdot V_{plz.Rd} = 0,5 \cdot 526,6 = 263,3 \text{ kN}; \quad \rho = (2 \cdot 315,8 / 526,6 - 1)^2 = 0,040$$

$$k_{My} = 0,3807; \quad M_{pl.y,Rd} = 279,3 \text{ kNm}; \quad M_{Vy,Rd} = 279,3 \cdot (1 - 0,040 \cdot 0,3807) = 275,0 \text{ kNm}$$

$$a_{vz} = 0,5055; \quad N_{pl.Rd} = 1804 \text{ kN}; \quad N_{V,Rd} = 1804 \cdot (1 - 0,5055 \cdot 0,040) = 1768 \text{ kN}$$

$$a = 0,4246; \quad a_{red} = (1 - 0,040) \cdot 0,4246 = 0,4076; \quad n_v = 96,00 / 1768 = 0,054$$

$$M_{NV,y,Rd} = 275 \cdot (1 - 0,054) / (1 - 0,5 \cdot 0,4076) = 326,7 > M_{Vy,Rd} = 275,0 \text{ kNm}$$

$$M_{y.Sd} = 269,4 < M_{Vy,Rd} = 275,0 \text{ kNm}$$

Lagesicherheitsnachweis

Dieser Nachweis ist mit den Auflagerkräften nach o. a. Tafel unter Berücksichtigung der gewählten Auflagerkonstruktion nach Kapitel 8 A, Seite 8.32 zu führen. Hierbei ist zu beachten, daß am Auflager A abhebende Kräfte wirken.

Beispiel 8.32: Die Tragfähigkeit des Profils HEAA 450 (S 355) ist für die Schnittgrößen $M_{y.Sd} = 540$ kNm und $V_{z.Sd} = 720$ kN nachzuweisen.

Querschnittsklasse Steg: $d / t_w = 34,4 < 72 \cdot 0,81 = 58,3$ (Tafel 8.20, Zeile 1) → QKL 1
(S 355 → $\epsilon = 0,81$) Flansch: $c / t_f = 11,1 < 15 \cdot 0,81 = 12,2$ (Tafel 8.22a, Zeile 3) → QKL 3
Der gesamte Querschnitt ist QKL 3 zuzuordnen.

Tragfähigkeitsnachweis

S 355 → Umrechnung der Grenzschnittgrößen nach Abschnitt 7 mit Faktor $(355/235) = 1,51$

$$V_{plz.Sd} = 674,7 \cdot 1,51 = 1019 \text{ kN}; \quad V_{z.Sd} = 720 \text{ kN} > 0,5 \cdot 1019 = 509,5 \text{ kN}$$

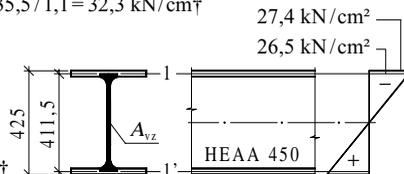
$$\rho = (2 \cdot 720 / 1019 - 1)^2 = 0,171; \quad f_{y,red} = (1 - 0,171) \cdot 35,5 = 29,4 \text{ kN/cm}^2$$

Spannung in den Randfasern: $\frac{M_{y.Sd}}{W_{ely}} = \frac{540 \cdot 10^2}{1970} = 27,4 < 35,5 / 1,1 = 32,3 \text{ kN/cm}^2$

Spannung in Achse 1 bzw. 1':

$$\frac{M_{y.Sd}}{I_y} \cdot \frac{h - t_f}{2} = \frac{540 \cdot 10^2}{41890} \cdot \frac{41,15}{2}$$

$$= 26,5 < 29,4 / 1,1 = 26,7 \text{ kN/cm}^2$$



5.5 Stabilitätsnachweise für Bauteile

5.5.1 Allgemeines

Der Stabilitätsnachweis für Bauteile darf nach folgenden Verfahren geführt werden:

- Theorie II. Ordnung
- Ersatzstabverfahren.

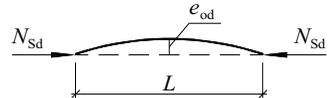
5.5.1.1 Nachweis nach Theorie II. Ordnung

Bei der Berechnung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung sind die Bauteilimperfectionen als geometrische Ersatzimperfection in Form einer Vorkrümmung e_{od} nach Tafel 8.33 zu berücksichtigen. Der Stabilitätsnachweis „Biegeknicken“ des Bauteils ist erfüllt, wenn die Beanspruchbarkeit nach Abschnitt 5.4 mit den nach Theorie II. Ordnung ermittelten Schnittgrößen nachgewiesen wird.

Die anzunehmende Vorkrümmung e_{od} ist abhängig von

- dem zur Tragwerksberechnung gewählten Verfahren nach 5.2.1.4 und 5.2.1.5,
- dem Verfahren zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit (QKL) nach Abschnitt 5.4,
- der Querschnittsform und der für den Stabilitätsnachweis maßgebenden Querschnittsachse,
- der Zuordnung des Querschnitts zu einer Knickspannungslinie nach Tafel 8.34,
- dem bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ nach Abschnitt 5.5.2 (hierbei ist für die Knicklänge ℓ die Systemlänge L anzunehmen) und
- der Stahlsorte.

Als Ersatz für die Vorkrümmung kann eine konstant verteilte Querbelastung $q_d = N_{Sd} \cdot e_{od} \cdot 8 / L^2$ angenommen werden.



Tafel 8.33 Bemessungswerte für das Stichmaß e_{od} (Vorkrümmungen)

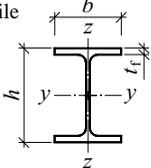
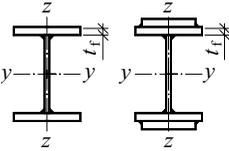
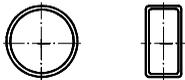
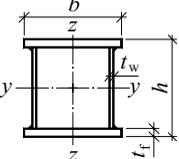
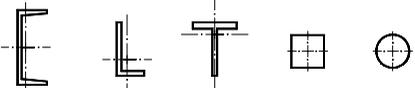
Verfahren zur Bestimmung der Beanspruchbarkeit		Profil und Achse	Stichmaß e_{od}	
plastisch (siehe 5.4.7.1); QKL 1 und 2	I-Profil; y-Achse		$1,33 \cdot \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot k_{\gamma} \cdot W_{pl} / A$	
	I-Profil; z-Achse		$2,0 \cdot k_{\gamma} \cdot e_{eff} / \varepsilon$	
	Rechteckhohlprofil		$1,33 \cdot \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot k_{\gamma} \cdot W_{pl} / A$	
	Rundhohlprofil		$1,5 \cdot k_{\gamma} \cdot e_{eff} / \varepsilon$	
plastisch mit linearer Interaktion (siehe 5.4.7.1); QKL 1 und 2		jede	$\alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot k_{\gamma} \cdot W_{pl} / A$	
elastisch (siehe 5.4.7.2); QKL 3		jede	$\alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot k_{\gamma} \cdot W_{el} / A$	
Knickspannungslinie	α	e_{eff}	$k_{\gamma} = (1 - k_{\delta}) + 2 \cdot k_{\delta} \cdot \bar{\lambda} \geq 1$ $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$ S 235: $\varepsilon = 1$ S 275: $\varepsilon = 0,92$ S 355: $\varepsilon = 0,81$	
	a	$L/600$		k_{δ} für $\gamma_{M1} = 1,1$
	b	$L/380$		0,23
	c	$L/270$		0,15
	d	$L/180$		0,11
	0,76	$L/180$	0,08	
Die angegebenen Formeln für e_{od} gelten für die elastische Tragwerksberechnung sowie für Berechnungen nach dem Fließgelenkverfahren I. und II. Ordnung. Zu Vorkrümmungen für das Fließzonenverfahren siehe EC 3 Bild 5.5.1.				

5.5.1.2 Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt durch eine elastische Tragwerksberechnung nach Theorie I. Ordnung. Der Grenzwert gegen Stabilitätsversagen ist mit dem Abminderungsfaktor χ zu bestimmen, der sich in Abhängigkeit von dem bezogenen Schlankheitsgrad nach Abschnitt 5.5.2 und der Knickspannungslinie nach Tafel 8.34 ergibt. Durch den Abminderungsfaktor werden die Auswirkungen der Bauteilimperfectionen nach Theorie II. Ordnung berücksichtigt.

Das in den Abschnitten 5.5.2 bis 5.5.5 dargestellte Ersatzstabverfahren darf für Bauteile mit über der Länge gleichbleibendem Querschnitt und konstanter Druckkraft verwendet werden. Bei einer Modifikation dieses Verfahrens zum Nachweis von Bauteilen mit veränderlicher Bauhöhe, Querschnittssprünge oder nicht konstanter Druckkraft ist nachzuweisen, daß diese auf der sicheren Seite liegt.

Tafel 8.34 Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien

Querschnitt ¹⁾	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspannungslinie	
Gewalzte I-Profile 	$h/b > 1,2$:	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	yy zz	a b
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	yy zz	b c
	$h/b \leq 1,2$:	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	yy zz	b c
		$t_f > 100 \text{ mm}$	yy zz	d d
Geschweißte I-Querschnitte 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	yy zz	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	yy zz	c d	
Hohlprofile 	warmgefertigt	jede	a	
	kaltgeformt bei Ansatz von f_{yb} ²⁾	jede	b	
	kaltgeformt bei Ansatz von f_{ya} ³⁾	jede	c	
Geschweißte Kastenquerschnitte 	allgemein, außer den Fällen in der nächsten Zeile	jede	b	
	dicke Schweißnähte und $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	jede	c	
U-, L-, T- und Vollquerschnitte 		jede	c	

¹⁾ Hier nicht aufgeführte Querschnitte sind sinnvoll einzuordnen.

²⁾ f_{yb} Streckgrenze des Grundwerkstoffs ³⁾ f_{ya} mittlere Streckgrenze nach dem Kaltverformen

Tafel 8.35 Abminderungsfaktor χ

Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ für Knickspannungslinie:				χ	Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ für Knickspannungslinie:				χ
a	b	c	d		a	b	c	d	
0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	1,17	1,08	0,98	0,85	0,55
0,25	0,23	0,22	0,21	0,99	1,18	1,09	1,00	0,87	0,54
0,29	0,26	0,24	0,23	0,98	1,20	1,11	1,02	0,88	0,53
0,33	0,28	0,26	0,24	0,97	1,22	1,13	1,03	0,90	0,52
0,37	0,31	0,28	0,25	0,96	1,23	1,14	1,05	0,92	0,51
0,41	0,34	0,30	0,26	0,95	1,25	1,16	1,07	0,94	0,50
0,45	0,36	0,32	0,28	0,94	1,27	1,18	1,09	0,96	0,49
0,48	0,39	0,34	0,29	0,93	1,28	1,20	1,11	0,98	0,48
0,51	0,42	0,36	0,30	0,92	1,30	1,22	1,13	0,99	0,47
0,54	0,44	0,38	0,32	0,91	1,32	1,23	1,15	1,01	0,46
0,57	0,46	0,39	0,33	0,90	1,34	1,25	1,17	1,03	0,45
0,60	0,49	0,41	0,35	0,89	1,36	1,27	1,19	1,05	0,44
0,63	0,51	0,43	0,36	0,88	1,38	1,29	1,21	1,08	0,43
0,65	0,53	0,45	0,37	0,87	1,40	1,31	1,23	1,10	0,42
0,67	0,55	0,47	0,39	0,86	1,42	1,34	1,25	1,12	0,41
0,70	0,57	0,49	0,40	0,85	1,44	1,36	1,27	1,14	0,40
0,72	0,59	0,51	0,41	0,84	1,46	1,38	1,30	1,17	0,39
0,74	0,61	0,52	0,43	0,83	1,48	1,40	1,32	1,19	0,38
0,76	0,63	0,54	0,44	0,82	1,51	1,43	1,35	1,22	0,37
0,77	0,65	0,56	0,46	0,81	1,53	1,45	1,37	1,24	0,36
0,79	0,67	0,58	0,47	0,80	1,56	1,48	1,40	1,27	0,35
0,81	0,69	0,59	0,48	0,79	1,58	1,51	1,43	1,30	0,34
0,83	0,71	0,61	0,50	0,78	1,61	1,53	1,45	1,32	0,33
0,84	0,72	0,63	0,51	0,77	1,64	1,56	1,48	1,35	0,32
0,86	0,74	0,64	0,53	0,76	1,67	1,59	1,51	1,39	0,31
0,88	0,76	0,66	0,54	0,75	1,70	1,63	1,55	1,42	0,30
0,89	0,77	0,68	0,56	0,74	1,73	1,66	1,58	1,45	0,29
0,91	0,79	0,69	0,57	0,73	1,76	1,69	1,61	1,49	0,28
0,92	0,81	0,71	0,59	0,72	1,80	1,73	1,65	1,53	0,27
0,94	0,82	0,72	0,60	0,71	1,84	1,77	1,69	1,56	0,26
0,95	0,84	0,74	0,61	0,70	1,88	1,81	1,73	1,60	0,25
0,96	0,86	0,76	0,63	0,69	1,92	1,85	1,78	1,65	0,24
0,98	0,87	0,77	0,64	0,68	1,97	1,90	1,82	1,69	0,23
0,99	0,89	0,79	0,66	0,67	2,01	1,95	1,87	1,74	0,22
1,01	0,90	0,80	0,67	0,66	2,07	2,00	1,92	1,80	0,21
1,02	0,92	0,82	0,69	0,65	2,12	2,05	1,98	1,85	0,20
1,04	0,93	0,84	0,70	0,64	2,18	2,11	2,04	1,91	0,19
1,05	0,95	0,85	0,72	0,63	2,24	2,18	2,10	1,98	0,18
1,07	0,96	0,87	0,74	0,62	2,31	2,25	2,17	2,05	0,17
1,08	0,98	0,88	0,75	0,61	2,39	2,32	2,25	2,12	0,16
1,09	1,00	0,90	0,77	0,60	2,47	2,40	2,33	2,21	0,15
1,11	1,01	0,92	0,78	0,59	2,56	2,50	2,42	2,30	0,14
1,12	1,03	0,93	0,80	0,58	2,66	2,60	2,53	2,40	0,13
1,14	1,04	0,95	0,82	0,57	2,78	2,71	2,64	2,52	0,12
1,15	1,06	0,97	0,83	0,56	2,91	2,84	2,77	2,65	0,11
					3,06	2,99	2,92	2,79	0,10

5.5.2 Beanspruchung durch eine zentrische Druckkraft

Der Grenzwert gegen **Biegeknicken** von Bauteilen mit zentrischer Druckbeanspruchung ergibt sich zu:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

$\beta_A = 1$ für Querschnittsklasse 1, 2 und 3
 $\beta_A = A_{eff} / A$ für Querschnittsklasse 4
 χ Abminderungsfaktor; $\gamma_{M1} = 1,1$

Der Abminderungsfaktor χ ist für Bauteile mit über der Länge gleichbleibendem Querschnitt und konstanter Druckkraft wie folgt zu ermitteln:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

bzw. in Abhängigkeit von der maßgebenden Knickspannungslinie und dem bezogenen Schlankheitsgrad Tafel 8.35 zu entnehmen.

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\beta_A \cdot A \cdot f_y / N_{cr}} = \lambda / \lambda_1 \cdot \sqrt{\beta_A}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I / \ell^2$$

$$\lambda = \ell / i$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E / f_y}$$

ℓ Knicklänge nach Abschnitt 5.5.6
 i Trägheitsradius

Tafel 8.36 Imperfektionsbeiwerte α

Knickspannungslinie	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α	0,21	0,34	0,49	0,76

bezogener Schlankheitsgrad

Verzweigungslast nach der Elastizitätstheorie

Schlankheitsgrad

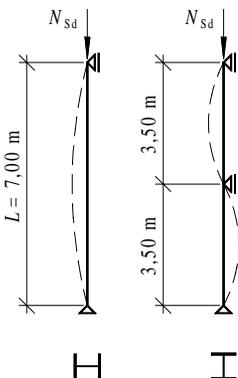
Bezugsschlankheitsgrad

	Stahl	S 235	S 275	S 355
λ_1	93,9	86,8	76,4	

Nachweis $N_{Sd} / N_{b,Rd} \leq 1$

Biegeknicken ist für die üblicherweise verwendeten Walzprofile der maßgebende Stabilitätsfall. In Abhängigkeit von der Querschnittsform und dem Schlankheitsgrad muß ggf. zusätzlich auch Drillknicken bzw. Biegedrillknicken nachgewiesen werden (siehe DIN 18 800-2 (11.90) und DASt Ri 016).

Beispiel: Eine Stütze HEA 400 (S 235) mit $L = 7,00$ m ist an den Stabenden gelenkig gelagert und in Richtung der Hauptachsen unverschieblich gehalten. Bei $L / 2 = 3,50$ m ist das Profil rechtwinklig zur z -Achse durch einen Wandriegel, der an einen Aussteifungsverband angeschlossen ist, abgestützt. Die zentrisch wirkende Druckkraft N_{Sd} beträgt 2980 kN.



Querschnittswerte: $A = 159$ cm²; $i_y = 16,8$ cm; $i_z = 7,34$ cm
 Querschnittsklasse 1 (siehe Hilfstafeln Abschnitt 7)

Zuordnung zu den Knickspannungslinien:

$$h / b = 390 / 300 = 1,3 > 1,2; t_f = 19 < 40$$

→ nach Tafel 8.34

– für Ausweichen rechtwinklig zur y -Achse: KSL a

– für Ausweichen rechtwinklig zur z -Achse: KSL b

Knicklängen nach Abschnitt 5.5.6: $\ell_y = 700$ cm; $\ell_z = 350$ cm

Schlankheitsgrad: $\lambda_y = 700 / 16,8 = 41,7$; $\lambda_z = 350 / 7,34 = 47,7$

Für den Stabilitätsnachweis ist Ausweichen rechtwinklig zur z -Achse maßgebend, da hierfür die ungünstigere Knickspannungslinie und der größere Schlankheitsgrad vorliegt.

$$\bar{\lambda}_z = \lambda_z / \lambda_1 = 47,7 / 93,9 = 0,51 \rightarrow \text{nach Tafel 8.35 } \chi_z = 0,88$$

$$N_{b,Rd} = 0,88 \cdot 159 \cdot 23,5 / 1,1 = 2989$$

$$\text{Nachweis } N_{Sd} / N_{b,Rd} = 2980 / 2989 = 0,997 < 1$$

5.5.3 Beanspruchung durch Biegung

Der Grenzwert gegen **Biegedrillknicken** von Biegeträgern ohne Beanspruchung durch planmäßige Torsion, deren Druckgurt im betrachteten Bereich seitlich nicht gestützt ist, ergibt sich zu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

χ_{LT} Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken
 $\beta_w = 1$ für Querschnittsklasse 1 und 2
 $\beta_w = W_{el,y} / W_{pl,y}$ für Querschnittsklasse 3
 $\beta_w = W_{eff,y} / W_{pl,y}$ für Querschnittsklasse 4

Der Abminderungsfaktor χ_{LT} darf abhängig von dem bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ wie folgt ermittelt werden:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

χ_{LT} kann mit $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT}$ und $\chi = \chi_{LT}$ Tafel 8.35 entnommen werden. Dabei sind folgende Knickspannungslinien anzunehmen:
 – für Walzprofile KSL a ($\alpha = 0,21$)
 – für geschweißte Profile KSL c ($\alpha = 0,49$)

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad \alpha_{LT} = \alpha \text{ (siehe oben)}$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr}}$ bezogener Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken

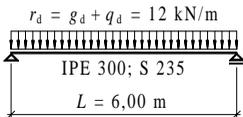
M_{cr} ideales Biegedrillknickmoment, ermittelt nach der Elastizitätstheorie (siehe EC 3 Anhang F). Alternativ kann das ideale Biegedrillknickmoment auch nach Kapitel 8 A, Seite 8.43 ermittelt werden. Hierbei ist für den dort angegebenen Bemessungswert der Verzeigungslast $N_{ki,d}$ der charakteristische Wert N_{cr} einzusetzen (siehe Beispiel).

Nachweis $M_{Sd} / M_{b,Rd} \leq 1$

Das Biegemoment M_{Sd} sollte unter Berücksichtigung von Stabendmomenten Theorie II. Ordnung bestimmt werden. Siehe hierzu DIN 18 800-2 (11.90) Element 303 und [8.49].

Der Stabilitätsfall Biegedrillknicken braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn der Druckgurt eines Biegeträgers über die Länge kontinuierlich seitlich gestützt oder der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ ist. Bei Hohlprofilen und Kastenquerschnitten mit Beanspruchung durch Biegung sowie bei I-Profilen mit Beanspruchung durch M_z ist Biegedrillknicken nicht maßgebend.

Beispiel:



Der nachzuweisende Biegeträger ist an beiden Auflagern durch gelenkige Stirnplattenanschlüsse gegen Verdrehen um die Längsachse und Verschieben in Richtung der y -Achse gehalten. In der Darstellungsebene ist die Verdrehung nicht behindert (Gabellager).

$$M_{y,Sd} = 12 \cdot 6,0^2 / 8 = 54 \text{ kNm} < M_{pl,y,Rd} = 134,2 \text{ kNm (QKL 1)}$$

Nach Abschnitt 7: $I_z = 604 \text{ cm}^4$; $W_{pl,y} = 628,4 \text{ cm}^3$; $I_w (= I_{\omega} \text{ oder } C_M) = 125\,900 \text{ cm}^6$; $I_{tor} (= I_t) = 20,1 \text{ cm}^4$

Ideales Biegedrillknickmoment nach Kapitel 8 A, Seite 8.43

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr} \cdot \left(\sqrt{c^2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,25 \cdot z_p \right)$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I_z / L_{LT}^2 = \pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 604 / 600^2 = 347,7 \text{ kN} \quad L_{LT} \text{ Abstand der Gabellager}$$

$$c^2 = (I_w + 0,039 \cdot L_{LT}^2 \cdot I_{tor}) / I_z = (125\,900 + 0,039 \cdot 600^2 \cdot 20,1) / 604 = 675,7 \text{ cm}^2$$

$$z_p = -30/2 = -15 \text{ cm (Lastangriff am Druckflansch)}; \quad \zeta = 1,12 \text{ (parabelförmige } M\text{-Linie)}$$

$$M_{cr} = 1,12 \cdot 347,7 \cdot \left(\sqrt{675,7 + 0,25 \cdot 15^2} - 0,5 \cdot 15 \right) = 7485 \text{ kNcm}$$

Grenzwert gegen Biegedrillknicken und Nachweis

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr}} = \sqrt{628,4 \cdot 23,5 / 7485} = 1,40 \rightarrow \text{nach Tafel 8.35: } \chi_{LT} = 0,42$$

$$M_{b,Rd} = 0,42 \cdot 628,4 \cdot 23,5 / 1,1 = 5638 \text{ kNcm} \quad \text{Nachweis } M_{y,Sd} / M_{b,Rd} = 54 \cdot 10^2 / 5638 = 0,958 < 1$$

5.5.4 Beanspruchung durch Biegung und Zugkraft

Beim Stabilitätsnachweis von Bauteilen mit diesen Beanspruchungen wird das Biegemoment und die Zugkraft als eine vektorielle Wirkung behandelt. Für den Fall, daß sich die Schnittgrößen unabhängig voneinander verändern, sollte der Bemessungswert der sich bezüglich Biegedrillknicken günstig auswirkenden Zugkraft mit dem Abminderungsbeiwert $\psi_{\text{vec}} = 0,8$ multipliziert werden. Der Nachweis sollte mit dem wirksamen Ersatzmoment $M_{\text{eff,Sd}}$ geführt werden:

$$M_{\text{eff,Sd}} = W_{\text{com}} \cdot \sigma_{\text{com,Ed}} \leq M_{\text{b,Rd}} \quad M_{\text{b,Rd}} \text{ Grenzwert gegen Biegedrillknicken nach 5.5.3}$$

W_{com} Widerstandsmoment im elastischen Zustand, bezogen auf die gedrückte Randfaser
 $\sigma_{\text{com,Ed}}$ Spannung in der gedrückten Randfaser infolge vektorieller Auswirkungen
 $\sigma_{\text{com,Ed}} = M_{\text{Sd}} / W_{\text{com}} - \psi_{\text{vec}} \cdot N_{\text{L,Sd}} / A$ ($\sigma_{\text{com,Ed}}$ kann f_y überschreiten)
 $N_{\text{L,Sd}}$ Bemessungswert der Zugkraft

5.5.5 Beanspruchung durch Biegung und Druckkraft

Bauteile mit dieser Beanspruchung können entweder durch **Biegeknicken** oder durch **Biegedrillknicken** versagen. Hieraus ergeben sich die erforderlichen Stabilitätsnachweise getrennt nach Querschnittsklassen.

5.5.5.1 Biegung und Druckkraft für Querschnittsklasse 1 und 2

● Biegeknicken

– Beanspruchung durch **zweiaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{\text{Sd}}}{\chi_{\text{min}} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y\text{Sd}}}{W_{\text{ply}} \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z\text{Sd}}}{W_{\text{pl,z}} \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} \leq 1 \quad \chi_{\text{min}} \text{ ist der kleinere Wert von } \chi_y \text{ und } \chi_z \text{ nach 5.5.2}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{\text{Sd}}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} \leq 1,5 \quad \mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{\text{My}} - 4) + \left(\frac{W_{\text{ply}} - W_{\text{ely}}}{W_{\text{ely}}} \right) \leq 0,9$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \cdot N_{\text{Sd}}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} \leq 1,5 \quad \mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{\text{Mz}} - 4) + \left(\frac{W_{\text{pl,z}} - W_{\text{el,z}}}{W_{\text{el,z}}} \right) \leq 0,9$$

$\bar{\lambda}_y$ und $\bar{\lambda}_z$ bezogener Schlankheitsgrad nach 5.5.2

β_{My} und β_{Mz} Momentenbeiwert in Abhängigkeit vom Momentenverlauf zwischen den seitlichen Abstützungen nach Tafel 8.39

– Beanspruchung durch **einaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{\text{Sd}}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_{y\text{Sd}}}{W_{\text{ply}} \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{N_{\text{Sd}}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} \leq 1$$

● Biegedrillknicken

– Beanspruchung durch **zweiaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{\text{Sd}}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} + \frac{k_{\text{LT}} \cdot M_{y\text{Sd}}}{\chi_{\text{LT}} \cdot W_{\text{ply}} \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_{z\text{Sd}}}{W_{\text{pl,z}} \cdot f_y / \gamma_{\text{M1}}} \leq 1 \quad \text{mit } M_{\text{Sd}} \text{ und } \chi_{\text{LT}} \text{ nach 5.5.3}$$

k_z siehe oben

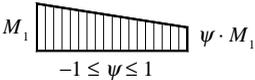
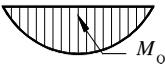
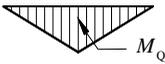
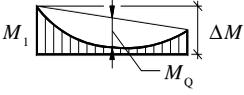
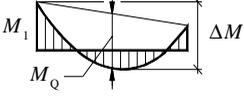
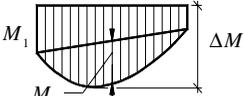
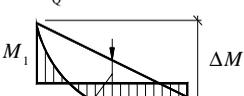
$$k_{\text{LT}} = 1 - \frac{\mu_{\text{LT}} \cdot N_{\text{Sd}}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} \leq 1 \quad \mu_{\text{LT}} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{\text{MLT}} - 0,15 \leq 0,9 \quad \beta_{\text{MLT}} \text{ Momentenbeiwert nach Tafel 8.39}$$

– Beanspruchung durch **einaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{ySd}}{\chi_{LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{mit } M_{Sd} \text{ und } \chi_{LT} \text{ nach 5.5.3}$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} \leq 1 \quad \mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{MLT} - 0,15 \leq 0,9 \quad \beta_{MLT} \text{ Momentenbeiwert nach Tafel 8.39}$$

Tafel 8.39 Momentenbeiwerte β_M für Biegeknicken und Biegedrillknicken

Momentenart	Momentenverlauf zwischen den seitlichen Abstützungen	Momentenbeiwerte β_M
Stabmomente		$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
Momente aus Querbelastung		$\beta_{M,Q} = 1,3$
		$\beta_{M,Q} = 1,4$
Momente aus Querbelastung mit Stabmomenten		$\beta_M = \beta_{M,\psi} + (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi}) \cdot M_Q / \Delta M$ <p>$M_Q = \max M$ nur infolge Querbelastung</p> <p>Bei Momentenverlauf ohne Vorzeichenwechsel: $\Delta M = \max M$</p> <p>Bei Momentenverlauf mit Vorzeichenwechsel: $\Delta M = \max M + \min M$</p>
		
		
		

5.5.5.2 Biegung und Druckkraft für Querschnittsklasse 3

● Biegeknicken

– Beanspruchung durch **zweiaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot M_{ySd}}{W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \cdot M_{zSd}}{W_{el,z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad \chi_{\min} \text{ ist der kleinere Wert von } \chi_y \text{ und } \chi_z \text{ nach 5.5.2}$$

$$k_y \text{ und } k_z \text{ nach 5.5.5.1 mit } \mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) \leq 0,9$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{Mz} - 4) \leq 0,9$$

Fortsetzung: Biegeknicke für Querschnittsklasse 3

- Beanspruchung durch **einaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot M_{ySd}}{W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

● **Biegedrillknicken**

- Beanspruchung durch **zweiachse** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{ySd}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \cdot M_{zSd}}{W_{el,z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

mit M_{Sd} und χ_{LT} nach 5.5.3
und k_z nach 5.5.5.1

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} \leq 1 \quad \mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9 \quad \beta_{M,LT} \text{ Momentenbeiwert nach Tafel 8.39}$$

- Beanspruchung durch **einaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{ySd}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

mit M_{Sd} und χ_{LT} nach 5.5.3

5.5.5.3 Biegung und Druckkraft für Querschnittsklasse 4

● **Biegeknicke**

- Beanspruchung durch **zweiachse** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot (M_{ySd} + N_{Sd} \cdot e_{Ny})}{W_{\text{eff},y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \cdot (M_{zSd} + N_{Sd} \cdot e_{Nz})}{W_{\text{eff},z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

k_y, k_z und χ_{\min} sind nach 5.5.5.1 zu bestimmen, wobei A durch A_{eff} zu ersetzen ist.

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4) \leq 0,9 \quad \mu_z = \bar{\lambda}_z \cdot (2 \cdot \beta_{Mz} - 4) \leq 0,9$$

Die β_M -Werte sind für $M_{Sd} + N_{Sd} \cdot e_N$ Tafel 8.39 zu entnehmen.

- Beanspruchung durch **einaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot (M_{ySd} + N_{Sd} \cdot e_{Ny})}{W_{\text{eff},y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{und} \quad \frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

● **Biegedrillknicken**

- Beanspruchung durch **zweiachse** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \cdot (M_{ySd} + N_{Sd} \cdot e_{Ny})}{\chi_{LT} \cdot W_{\text{eff},y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \cdot (M_{zSd} + N_{Sd} \cdot e_{Nz})}{W_{\text{eff},z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

mit M_{Sd} und χ_{LT}
nach 5.5.3 und
 k_z nach 5.5.5.1

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y} \leq 1 \quad \mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9$$

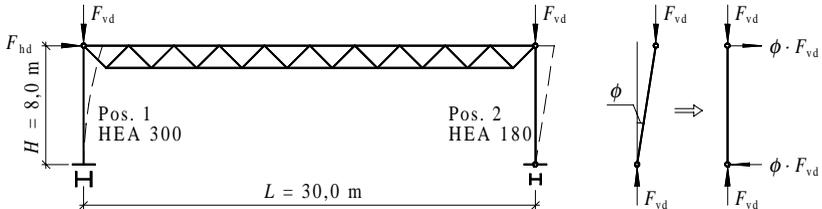
Die β_M -Werte sind für $M_{Sd} + N_{Sd} \cdot e_N$ Tafel 8.39 zu entnehmen.

- Beanspruchung durch **einaxiale** Biegung und Druckkraft

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_y \cdot A_{\text{eff}} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \cdot (M_{ySd} + N_{Sd} \cdot e_{Ny})}{\chi_{LT} \cdot W_{\text{eff},y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

mit M_{Sd} und χ_{LT} nach 5.5.3

Beispiel: Für die Stützen des Tragsystems einer Halle sind die Stabilitätsnachweise zu führen. Der Fuß der Stütze Pos. 1 ist für Biegung um die y -Achse eingespannt und bezüglich Verdrehung um die z -Achse gelenkig gelagert. Am Stützenkopf ist die Stütze gabelgelagert und in Richtung der y -Achse durch ein Randprofil abgestützt, das an einen Stabilisierungsverband in der Längswand angeschlossen ist. Die Kraft F_{vd} wird über einen gelenkigen Anschluß zentrisch eingeleitet. Die zentrisch belastete Pendelstütze Pos. 2 ist über den Obergurt des Fachwerkträgers an den Kopf von Pos. 1 angekoppelt. In Richtung der y -Achse ist der Stützenkopf durch ein an den Längswandverband angeschlossenes Randprofil unverschieblich gehalten.



Bemessungswerte der Einwirkungen

– vertikal: $F_{vd} = 186 \text{ kN}$ aus Eigenlasten und Schneelast (Pos. 1 und 2)

– horizontal: $F_{wd} = 23,40 \text{ kN}$ aus Windlast auf die Längswand (Pos. 1)

Äquivalente Horizontalkraft aus der Anfangsschiefstellung der Stützen, siehe 5.2.3.1:

$$k_c = \sqrt{0,5 + 1/2} = 1; \quad k_s = \sqrt{0,2 + 1/1} = 1,1 > 1 \rightarrow k_s = 1; \quad \phi_0 = 1/200$$

$$\phi = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1/200 = 0,005; \quad 2 \cdot \phi \cdot F_{vd} = 2 \cdot 0,005 \cdot 186 = 1,86 \text{ kN}$$

$$F_{hd} = 23,40 + 1,86 = 25,26 \text{ kN (Pos. 1)}$$

Da es sich um ein seitenweiches Tragwerk handelt, ist zu prüfen, ob zusätzlich Bauteilimperfectionen bei der Ermittlung der Schnittgrößen zu berücksichtigen sind (siehe Seite 8.15 unten).

Mit $\bar{\lambda}_y = 1,69$ (siehe Seite 8.42); $A = 124 \text{ cm}^2$; $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ und $N_{sd} = 186 \text{ kN}$ folgt:

$\bar{\lambda}_y = 1,69 < 0,5 \cdot \sqrt{124 \cdot 23,5 / 186} = 1,98 \rightarrow$ Bauteilimperfectionen sind nicht zu berücksichtigen.

Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung

Pos. 1: $N_{sd} = F_{vd} = 186 \text{ kN}$; $M_{y,sd} = F_{hd} \cdot H = 25,26 \cdot 8,0 = 202,1 \text{ kNm}$; $V_{z,sd} = 25,26 \text{ kN}$

Pos. 2: $N_{sd} = F_{vd} = 186 \text{ kN}$

Einspannmoment am Stützenfuß von Pos. 1 nach Theorie II. Ordnung

Dieses Moment wird für den Nachweis nach Theorie II. Ordnung bzw. für den Biegedrillknicknachweis nach dem Ersatzstabverfahren (siehe Abschnitt 5.5.3) benötigt.

Die Berechnung erfolgt mit dem Zusatzmoment aus der Durchbiegung nach Theorie II. Ordnung, die sich durch Multiplikation der Durchbiegung I. Ordnung mit dem Dischingerfaktor (siehe 5.2.5.1) ergibt. Die aus der Durchbiegung II. Ordnung folgende Schiefstellung der Pendelstütze wird durch eine zusätzlich am Stützenkopf angreifende Horizontalkraft berücksichtigt.

$$\text{Knicklänge nach Abschnitt 5.5.6: } \left(\frac{\ell}{L} \right)_y = 2 \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{800}{186} \cdot \frac{186}{800}} = 2,70 \quad \ell_y = 2,70 \cdot 800 = 2160 \text{ cm}$$

$$\text{Verzweigungslast: } N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 22930}{2160^2} = 1018,6 \text{ kN}$$

$$\text{Dischingerfaktor: } \frac{1}{1 - N_{sd} / N_{cr,y}} = \frac{1}{1 - 186 / 1018,6} = 1,223$$

$$\text{Durchbiegung nach Theorie I. Ordnung: } \delta'_z = \frac{1}{3} \cdot \frac{F_{hd} \cdot H^3}{E \cdot I_y} = \frac{1}{3} \cdot \frac{25,26 \cdot 800^3}{21000 \cdot 22930} = 8,95 \text{ cm}$$

$$\text{Durchbiegung nach Theorie II. Ordnung: } \delta''_z = 1,223 \cdot 8,95 = 10,95 \text{ cm}$$

Horizontalkraft aus der Schiefstellung der Pendelstütze infolge Durchbiegung Theorie II. Ordnung der Einspannstütze:

$$\phi = 10,95/800 = 0,014; \quad \Delta F_{hd} = \phi \cdot F_{vd} = 0,014 \cdot 186 = 2,55 \text{ kN}$$

Einspannmoment Theorie II. Ordnung:

$$M''_{y,Sd} = M_{y,Sd} + F_{vd} \cdot \delta''_z + \Delta F_{hd} \cdot H = 202,1 + 186 \cdot 0,1095 + 2,55 \cdot 8,0 = 242,9 \text{ kNm}$$

Stabilitätsnachweise für Pos. 1: HEA 320, S 235, QKL 1

Biegeknicke – Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse

$$A = 124 \text{ cm}^2; \quad \ell_z = 800 \text{ cm}; \quad i_z = 7,49 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_z = (800 / 7,49) / 93,9 = 1,14 \rightarrow \text{für KSL c nach Tafel 8.35: } \chi_z = 0,465$$

$$N_{b,Rd} = 0,465 \cdot 124 \cdot 23,5 / 1,1 = 1232 \text{ kN}; \quad \text{Nachweis } N_{Sd} / N_{b,Rd} = 186 / 1232 = 0,15 < 1$$

Biegeknicke – Ausweichen rechtwinklig zur y-Achse

$$\ell_y = 2,7 \cdot 800 = 2160 \text{ cm (siehe Seite 8.41)}; \quad i_y = 13,6 \text{ cm}; \quad W_{ply} = 1628 \text{ cm}^3; \quad W_{ely} = 1480 \text{ cm}^3$$

$$\bar{\lambda}_y = (2160 / 13,6) / 93,9 = 1,69 \rightarrow \text{für KSL b nach Tafel 8.35: } \chi_y = 0,28$$

$$\text{Momentenbeiwert nach Tafel 8.39 für } \psi = 0 \text{ (dreieckförmige Momentenlinie)} \beta_M = 1,8$$

$$\mu_y = 1,69 \cdot (2 \cdot 1,8 - 4) + [(1628 - 1480) / 1480] = -0,576$$

$$k_y = 1 - [(-0,576 \cdot 186) / (0,28 \cdot 124 \cdot 23,5)] = 1,13 < 1,5$$

$$\text{Nachweis } \frac{186}{0,28 \cdot 124 \cdot 23,5 / 1,1} + \frac{1,13 \cdot 202,1 \cdot 10^2}{1628 \cdot 23,5 / 1,1} = 0,91 < 1$$

Alternativer Nachweis nach Theorie II. Ordnung (siehe hierzu Tafel 8.30):

$$\text{Schnittgrößen: } N_{Sd} = 186 \text{ kN}; \quad M_{y,Sd} = 242,9 \text{ kNm}; \quad V_{z,Sd} = 25,26 + 2,55 = 27,81 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} = 27,81 < 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd} = 0,5 \cdot 507,3 = 253,65 \text{ kN} \rightarrow \text{Querkraft bleibt unberücksichtigt.}$$

$$n = 186 / 2657 = 0,07; \quad a = 0,2522 < 0,5 \text{ (siehe Abschnitt 7)}$$

$$M_{Ny,Rd} = 347,8 \cdot (1 - 0,07) / (1 - 0,5 \cdot 0,2522) = 370,1 > M_{ply,Rd} = 347,8 \text{ kNm}$$

$$\text{Nachweis } M_{y,Sd} = 242,9 < M_{ply,Rd} = 347,8 \text{ kNm}$$

Biegedrillknicke

$$W_{ply} = 1628 \text{ cm}^3; \quad I_z = 6990 \text{ cm}^4; \quad I_w = 1\,512\,000 \text{ cm}^6; \quad I_{tor} = 108 \text{ cm}^4$$

$$\beta_{M,LT} = 1,8 \text{ (Tafel 8.35)}; \quad \mu_{LT} = 0,15 \cdot 1,14 \cdot 1,8 - 0,15 = 0,158 < 0,9$$

$$k_{LT} = 1 - [(0,158 \cdot 186) / (0,465 \cdot 124 \cdot 23,5)] = 0,978 < 1$$

Ideales Biegedrillnickmoment (siehe Kapitel 8 A, Seite 8.43)

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot 21000 \cdot 6990 / 800^2 = 2264 \text{ kN}$$

$$c^2 = (1,512 \cdot 10^6 + 0,039 \cdot 800^2 \cdot 108) / 6990 = 602 \text{ cm}^2$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot 2264 \cdot \sqrt{602} = 98321 \text{ kNcm} \quad \text{mit } \zeta = 1,77 \text{ nach Kapitel 8 A, Tafel 8.43a und } z_p = 0$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{1628 \cdot 23,5 / 98321} = 0,62 \rightarrow \text{nach Tafel 8.35 für KSL a: } \chi_{LT} = 0,88$$

$$\text{Nachweis } \frac{186}{0,465 \cdot 124 \cdot 23,5 / 1,1} + \frac{0,978 \cdot 242,9 \cdot 10^2}{0,88 \cdot 1628 \cdot 23,5 / 1,1} = 0,93 < 1$$

Stabilitätsnachweis für Pos. 2: HEA 180, S 235, QKL 1

Biegeknicke – Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse

$$A = 45,3 \text{ cm}^2; \quad \ell_z = 800 \text{ cm}; \quad i_z = 4,52 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_z = (800 / 4,52) / 93,9 = 1,88 \rightarrow \text{für KSL c nach Tafel 8.35: } \chi_z = 0,22$$

$$N_{b,Rd} = 0,22 \cdot 45,3 \cdot 23,5 / 1,1 = 212,9 \text{ kN}$$

$$\text{Nachweis } N_{Sd} / N_{b,Rd} = 186 / 212,9 = 0,87 < 1$$

5.5.6 Knicklängen

5.5.6.1 Grundlagen

Die Knicklänge ℓ eines druckbeanspruchten Stabes entspricht der Systemlänge L eines ansonsten gleichartigen Stabes mit gelenkiger Endlagerung (Ersatzstab) mit dem gleichen Grenzwert gegen Knicken. Die Enden des Ersatzstabes sind gegen seitliches Ausweichen gehalten, jedoch in der Knickebene frei drehbar.

Der früher mit β bezeichnete Knicklängenbeiwert entspricht dem Quotienten (ℓ/L) . Die Knicklänge ergibt sich zu $\ell = (\ell/L) \cdot L$.

Die in Abb. 8.43a angegebenen Knicklängenbeiwerte gelten für elastisches Knicken von Stäben mit konstanter Druckkraft und gleichbleibendem Querschnitt. Um Stäbe mit veränderlicher Druckkraft bzw. veränderlichem Querschnitt auf diesen Fall zurückführen zu können, darf mit einer Ersatzknicklänge gerechnet werden, wenn nachgewiesen wird, daß diese auf der sicheren Seite liegt.

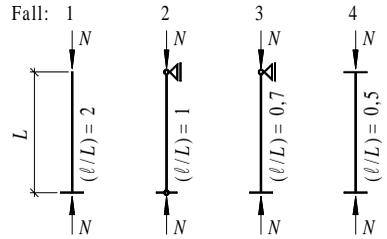


Abb. 8.43a Knicklängenbeiwerte (ℓ/L) nach Euler

5.5.6.2 Knicklänge der Einspannstütze eines Koppelsystems

In einem Koppelsystem werden die Stabilisierungskräfte aus einer oder mehreren Pendelstützen durch Koppelstäbe in eine Einspannstütze eingeleitet, die die Stabilität gegen seitliches Ausweichen des Gesamtsystems sicherstellt.

Der Knicklängenbeiwert $(\ell/L)_E$ der Einspannstütze ergibt sich zu:

$$\left(\frac{\ell}{L}\right)_E = 2 \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{L_E}{N_E} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{L_i}}$$

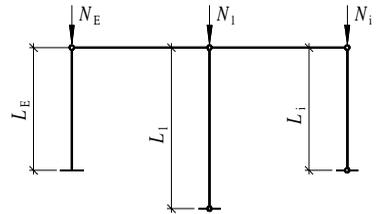


Abb. 8.43b Koppelsystem

Für die Pendelstützen kann $(\ell_i/L_i) = 1$ nach Euler-Fall 2 angenommen werden.

5.5.6.3 Stützen von Stockwerksrahmen

Die Knicklängen von Stützen in seitensteifen und seitenweichen Rahmentragwerken dürfen nach dem informativen Anhang E zu EC 3 ermittelt werden.

Übereinstimmende Knicklängen ergeben sich, wenn das in Kapitel 8 A, Seite 8.54 bis 8.57 angegebene c_u - c_o -Verfahren nach DIN 18 800-2 (11.90) angewendet wird. Für seitensteife Rahmentragwerke gilt Abschnitt 4.3.1 (unverschiebliche Systeme) und für seitenweiche Rahmentragwerke Abschnitt 4.3.2 (verschiebliche Systeme).

Gegenüberstellung der Formelzeichen

Norm →	EC 3	DIN 18 800 (11.90)
Stablänge	L	l_s
Knicklängenbeiwert	(ℓ/L)	β
Knicklänge	ℓ	s_K

6 Verbindungen mit vorwiegend ruhender Beanspruchung

6.1 Grundlagen

Verbindungen sind mit den Schnittgrößen, die sich aus der Tragwerksberechnung ergeben, zu bemessen. Die Beanspruchbarkeit einer Verbindung ist anhand der Grenzkkräfte der einzelnen Verbindungsmittel bzw. Schweißnähte zu bestimmen. Die Teilsicherheitsbeiwerte zur Ermittlung der Beanspruchbarkeiten sind den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

Exzentrizitäten sind bei Anschlüssen i. allg. zu berücksichtigen. Bei geschraubten Winkelanschlüssen mit 2 oder mehr Schrauben kann der Versatz, der sich zwischen der Schraubenrißlinie und der Schwerachse ergibt, vernachlässigt werden.

Im allgemeinen ist eine linear-elastische Berechnung für die Bemessung anzuwenden. Wenn das Last-Verformungsverhalten aller Verbindungselemente berücksichtigt wird, darf eine nicht-lineare Berechnung vorgenommen werden.

6.1.1 Bemessungsannahmen

Bei der Bemessung von Verbindungen darf jede zweckmäßige Verteilung der Schnittgrößen angenommen werden, wenn

- die Schnittgrößen im Gleichgewicht mit den angreifenden Kräften und Momenten stehen,
- die Grenzkkräfte der einzelnen Verbindungsmittel nicht überschritten werden,
- die Anschlußteile das bei der Schnittgrößenverteilung vorausgesetzte Verformungsvermögen aufweisen,
- bei Anwendung von Bemessungsmodellen mit Fließlinien die Verformungen aus physikalisch möglichen Starrkörperverdrehungen resultieren.

6.1.2 Klassifizierung von Verbindungen

Die konstruktiven Eigenschaften von Verbindungen müssen den bei der Berechnung und Bemessung eines Tragwerks getroffenen Annahmen entsprechen. Siehe hierzu auch Abschnitt 5.2.2.

6.1.2.1 Klassifizierung nach der Verformbarkeit

● Gelenkige Verbindungen

Diese Verbindungen sind so auszuführen, daß keine größeren Momente entstehen. Die zugewiesenen Kräfte sollten übertragen und die unterstellten Gelenkverdrehungen aufgenommen werden können.

● Unverformbare Verbindungen

Die Verbindung ist so auszuführen, daß ihre Deformation einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Schnittgrößenverteilung und die Gesamtverformung des Tragwerks hat. Die Tragfähigkeit eines Tragwerkes sollte durch die Verbindung um nicht mehr als 5 % abgemindert werden.

● Verformbare Verbindung

Eine Verbindung, die die Merkmale der erstgenannten Verbindungsformen nicht erfüllt, ist als verformbare Verbindung einzustufen.

6.1.2.2 Klassifizierung nach der Festigkeit

● Gelenkige Verbindungen

Eine gelenkige Verbindung muß die ihr zugewiesenen Kräfte übertragen können, ohne daß dabei für die Bauteile schädliche Momente entstehen.

● Volltragfähige Verbindungen

Der Grenzwiderstand einer volltragfähigen Verbindung muß mindestens gleich dem des angeschlossenen Bauteils sein.

● Teiltragfähige Verbindung

Der Grenzwiderstand einer teiltragfähigen Verbindung darf kleiner sein als der des angeschlossenen Bauteils. Die berechneten Schnittgrößen müssen jedoch übertragen werden können.

6.2 Verbindungen mit Schrauben

6.2.1 Allgemeine Regeln

Nach DASt Ri 103 (11.93) sind Schrauben der Festigkeitsklassen 4,6, 5,6, 8,8 und 10,9 zugelassen, die den in Tafel 8.45 angegebenen Maß- und Toleranznormen entsprechen. Die erlaubten Kombinationen von Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben sind ebenfalls dieser Tafel zu entnehmen. Zum Zeitpunkt der Anwendung sollte der Stand der Normung überprüft werden, da durch Ergänzungen der DIN EN-Normenreihe Änderungen zu erwarten sind.

Schrauben der Festigkeitsklassen 4,6 und 5,6 müssen nach DIN EN 20 898-1 und -2 (2.94) geprüft sein. Für hochfeste Schrauben und Muttern der Festigkeitsklassen 8 und 10 ist durch laufende Aufschreibungen des Herstellers nachzuweisen, daß die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften, Oberflächenbeschaffenheit, Maße und Anziehverhalten erfüllt sind. Dies muß u. a. durch ein Werkszeugnis nach DIN 50 049 belegt sein. Bei Verwendung von verzinkten Schrauben dürfen nur komplette Garnituren (Schrauben, Muttern und Scheiben) eines Herstellers eingesetzt werden.

Tafel 8.45 Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben; Maß- und Toleranznormen

SFK	Schrauben	Muttern	Unterlegscheiben		
nicht vorgespannt	4.6	DIN EN 24 016 DIN EN 24 018	DIN EN 24 034 (FK 4 für $d > M 16$; FK 5 für $d \leq M 16$)	ISO 7091 (Klasse 100 HV)	
	5.6	DIN EN 24 014 DIN EN 24 016 DIN EN 24 017	DIN EN 24 034 (FK 5 für alle d)	ISO 7089 (Klasse 140 HV)	
	4.6 5.6	DIN 7990 (4.6/5.6) DIN 7968 (5.6) DIN 7969 (4.6)	DIN EN 24 034 (FK 4 bzw. FK 5)	DIN 7989 DIN 434 DIN 435	
	8.8	DIN EN 24 014 DIN EN 24 016 DIN EN 24 017	DIN EN 24 032 (FK 8 für pg A bis M 16 und pg B über M 16) DIN EN 24 034 (FK 8)	ISO 7089 (Klasse 200 HV) ISO 7090 (Klasse 200 HV)	
		prEN 781	prEN 780 (pg B) (FK 8 für $M12 \leq d \leq M 36$)	prEN 784; prEN 785 (HRC 35 - 45)	
	10.9	DIN EN 24 014 DIN EN 24 016 DIN EN 24 017	DIN EN 24 032; DIN EN 24 033 (FK 10 für pg A bis M 16 und pg B über M 16) DIN EN 24 034 (FK 10)	prEN 785 (HRC 35 - 45)	
		prEN 781	prEN 780 (pg B); prEN 783 (pg B) (FK 10 für $M12 \leq d \leq M 36$)		
		DIN 6914 DIN 7999	DIN 6915	DIN 6916; DIN 6917 DIN 6918	
	vorgespannt	8.8	DIN EN 24 014 DIN EN 24 016 DIN EN 24 017	DIN EN 24 032 (FK 8 für pg A bis M 16 und pg B über M 16)	ISO 7090 (Klasse 200 HV)
			prEN 781	prEN 780 (pg B) (FK 8 für $M12 \leq d \leq M 36$)	prEN 784; prEN 785 (HRC 35 - 45)
10.9		prEN 781	prEN 780 (pg B) (FK 10 für $M12 \leq d \leq M 36$)	prEN 784; prEN 785 (HRC 35 - 45)	
		DIN 6914 DIN 7999	DIN 6915	DIN 6916; DIN 6917 DIN 6918	
Bedeutung der Abkürzungen: SFK Schraubenfestigkeitsklasse; FK Festigkeitsklasse von Muttern; pg Produktklasse.					

Tafel 8.46a Ausführungsformen von Schraubenverbindungen

Nennlochspiel ¹⁾ in mm		ohne Vorspannung	mit Vorspannung		
M 12	M 16 bis M 24		ohne gleitfeste Reibfläche	mit gleitfester Reibfläche	
$d_0 - d$	$\geq M 27$				
1 ²⁾	2	3	SL	SLV	GV
$\Delta d \leq 0,3$			SLP	SLVP	GVP
Schraubenfestigkeitsklasse →		4.6; 5.6; 8.8; 10.9	8.8; 10.9	8.8 ³⁾ ; 10.9 ⁴⁾	

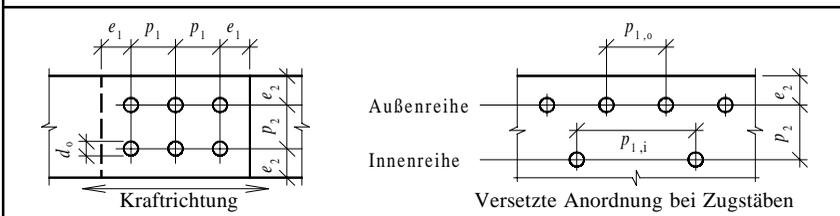
d_0 Lochdurchmesser; d Schaftdurchmesser
 SL Scher-Lochleibungsverbindung; SLP Scher-Lochleibungsverbindung mit Paßschrauben
 SLV Scher-Lochleibungsverbindung mit Vorspannung
 SLVP Scher-Lochleibungsverbindung mit Vorspannung und Paßschrauben
 GV Gleitfeste, vorgespannte Verbindung
 GVP Gleitfeste, vorgespannte Verbindung mit Paßschrauben

¹⁾ Gemäß DASt Ri 103 ist für tragende Verbindungen mit einem größeren Lochspiel sowie Langlöchern eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. Gleitfeste Verbindungen dürfen nicht mit größerem Lochspiel bzw. Langlöchern ausgeführt werden.
²⁾ Das Lochspiel darf auf 2 mm vergrößert werden. Für hochfeste Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 ist in diesem Fall die Grenzabscherkraft auf 85 % abzumindern und sicherzustellen, daß diese nicht kleiner als die Grenzlochleibungskraft ist.
³⁾ Vorspannung nach *Entwurf* DIN EN 1090-1 (9.93).
⁴⁾ Vorspannung gemäß DASt Ri 103 nach DIN 18 800-7, Tabelle 1, Spalte 2.
 Hochfeste Schrauben (SFK 8.8 und 10.9) sind mit Unterlegscheiben auf der Kopf- und Mutterseite zu montieren. Die Scheibe auf der Kopfseite darf entfallen, wenn die Verbindung nicht vorgespannt wird und das Nennlochspiel 2 mm beträgt.

Tafel 8.46b Rand- und Lochabstände für Schrauben

Kleinsten Randabstand in Krafrichtung \perp zur Krafrichtung		Größter Randabstand in und \perp zur Krafrichtung
$e_1 = 1,2 d_0$ $e_1 > 1,2 d_0$ ¹⁾	$e_2 = 1,5 d_0$ $e_2 = 1,2 d_0$ ²⁾	Im Freien oder unter korrosiven Einflüssen: e_1 bzw. $e_2 \leq 40 \text{ mm} + 4 t$ in allen anderen Fällen: e_1 bzw. $e_2 \leq \max(12 t; 150 \text{ mm})$
Kleinsten Lochabstand in Krafrichtung \perp zur Krafrichtung		Größter Lochabstand in und \perp zur Krafrichtung
$p_1 = 2,2 d_0$ $p_1 > 2,2 d_0$ ¹⁾	$p_2 = 3,0 d_0$ $p_2 = 2,4 d_0$ ²⁾	Bei Druckstäben: p_1 bzw. $p_2 \leq \min(14 t; 200 \text{ mm})$ Bei Zugstäben: äußere Reihen: $p_{1,o} \leq \min(14 t; 200 \text{ mm})$ ³⁾ innere Reihen: $p_{1,i} \leq \min(28 t; 400 \text{ mm})$ ³⁾

- ¹⁾ Bei höheren Anforderungen an den Lochleibungswiderstand.
²⁾ Mindestwert bei entsprechend reduziertem Lochleibungswiderstand.
³⁾ Bei Bauteilen, die nicht der Witterung oder korrosiven Einflüssen ausgesetzt sind, dürfen die angegebenen Werte um 50 % vergrößert werden.



6.2.2 Beanspruchbarkeiten von Schrauben

Tafel 8.47 Einteilung von Schraubenverbindungen

Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse				
Kategorie	Verbindungsart	Ausführungsform	Kriterium ⁴⁾	SFK
A	Scher-Lochleibungsverbindung (ohne Vorspannung)	SL; SLP	Abscheren Lochleibung	4.6; 5.6; 8.8; 10.9
B¹⁾	Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gleitfeste Verbindung (mit kontrollierter Vorspannung)	GV; GVP	Gleiten ²⁾ Abscheren Lochleibung	8.8; 10.9
C¹⁾⁶⁾	Im Grenzzustand der Tragfähigkeit gleitfeste Verbindung (mit kontrollierter Vorspannung)	GV; GVP	Gleiten Lochleibung	8.8; 10.9
Beanspruchung in Richtung der Schraubenachse				
Kategorie	Verbindungsart		Kriterium ⁴⁾	SFK
D²⁾	Verbindung ohne Vorspannung		Zug	4.6; 5.6; 8.8; 10.9
E	Verbindung mit Vorspannung		Zug	8.8; 10.9
Kombinierte Beanspruchung				
Kategorie	Verbindungsart	Ausführungsform	Kriterium ⁴⁾	SFK
A-D	Scher-Lochleibungsverbindung mit Zugbeanspruchung (ohne Vorspannung)	SL; SLP	Zug Abscheren + Zug Lochleibung	4.6; 5.6; 8.8; 10.9
A-E³⁾	Scher-Lochleibungsverbindung mit Zugbeanspruchung (mit Vorspannung)	SLV; SLVP	Zug Abscheren + Zug Lochleibung	8.8; 10.9
B-E¹⁾	Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gleitfeste Verbindung mit Zugbeanspruchung (mit kontrollierter Vorspannung)	GV; GVP	Zug Gleiten + Zug ⁵⁾ Abscheren + Zug Lochleibung	8.8; 10.9
C-E¹⁾⁶⁾	Im Grenzzustand der Tragfähigkeit gleitfeste Verbindung mit Zugbeanspruchung (mit kontrollierter Vorspannung)	GV; GVP	Zug Gleiten + Zug Lochleibung	8.8; 10.9

¹⁾ Reibflächenbehandlung, Vorspannung und Kontrolle der Vorspannung nach *Entwurf* DIN EN 1090-1 (9.93).

²⁾ Diese Kategorie darf bei Verbindungen, die häufig veränderlichen Zugbeanspruchungen ausgesetzt sind, nicht verwendet werden. Veränderliche Zugbeanspruchungen durch normale Windlasten sind dagegen erlaubt.

³⁾ Kontrolle der Vorspannung nicht erforderlich.

⁴⁾ Kriterien ohne Fußnote sind mit den Bemessungswerten der Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mb} bzw. $\gamma_{Ms} = 1,25$ nachzuweisen.

⁵⁾ Der Nachweis ist mit den Bemessungswerten der Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Ms,ser} = 1,1$ zu führen. Die Lastkombination ist in Abhängigkeit von den Lastfällen, für die Gleitwiderstand verlangt wird, auszuwählen.

⁶⁾ Zusätzlich ist beim Nachweis des Bauteils für die plastische Grenzzugkraft im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher $N_{net,Rd} = A_{net} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ mit $\gamma_{M0} = 1,1$ anzusetzen.

6.2.2.1 Beanspruchbarkeit auf Abscheren

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist nachzuweisen, daß der Bemessungswert der Scherkraft an einer Schraube die Grenzscherkraft nicht überschreitet.

● Grenzscherkraft je Scherfuge für genormte Schrauben

Scherfuge	SFK	Grenzscherkraft
im Schaft	alle	$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A / \gamma_{Mb}$
im Gewinde	4.6; 5.6; 8.8	$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb}$
im Gewinde	10.9	$F_{v,Rd} = 0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb}$

- f_{ub} Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes nach Tafel 8.10b
- A Schaftquerschnittsfläche;
 $A = d^2 \cdot \pi / 4$
- nach Kap. 8 A, Tafel 8.82b
- A_s Spannungsquerschnittsfläche nach Kap. 8 A, Tafel 8.82b
- γ_{Mb} Teilsicherheitsbeiwert für Schrauben; $\gamma_{Mb} = 1,25$

Für andere Produkte mit geschnittenen Gewinden, z. B. Ankerschrauben oder Zugstangen, die im Stahlbauunternehmen aus Rundstangen hergestellt werden, sind die Grenzscherkräfte durch den Faktor 0,85 zu reduzieren, wenn die Scherfuge im Gewinde liegt.

Für lange Anschlüsse mit nicht kontinuierlicher Krafteinleitung, bei denen der Abstand L_j mehr als $15 \cdot d$ beträgt, ist die Grenzscherkraft $F_{v,Rd}$ aller Verbindungsmittel durch den Reduktionsfaktor β_{Lf} abzumindern.

$$\beta_{Lf} = 1 - (L_j - 15 \cdot d) / (200 \cdot d)$$

jedoch $0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1$



Nachweis $F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$

Tafel 8.48 Grenzscherkräfte $F_{v,Rd}$ in kN je Scherfuge für genormte Schrauben

Lage der Scherfuge	SFK	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
im Schaft	4.6	21,71	38,60	60,32	72,99	86,86	109,9	135,7	195,4
	5.6	27,14	48,25	75,40	91,23	108,6	137,4	169,6	244,3
	8.8	43,43	77,21	120,6	146,0	173,7	219,9	271,4	390,9
	10.9	54,29	96,51	150,8	182,5	217,1	274,8	339,3	488,6
im Gewinde	4.6	16,19	30,14	47,04	58,18	67,78	88,13	107,7	156,9
	5.6	20,23	37,68	58,80	72,72	84,72	110,2	134,6	196,1
	8.8	32,37	60,29	94,08	116,4	135,6	176,3	215,4	313,7
	10.9	33,72	62,80	98,00	121,2	141,2	183,6	224,4	326,8
im Schaft (Paßschrauben)	4.6	25,48	43,58	66,50	79,77	94,25	118,2	144,9	206,4
	5.6	31,86	54,48	83,13	99,71	117,8	147,8	181,1	258,1
	8.8	50,97	87,16	133,0	159,5	188,5	236,4	289,8	412,9
	10.9	63,71	109,0	166,3	199,4	235,6	295,6	362,3	516,1

6.2.2.2 Beanspruchbarkeit auf Zug

Es ist nachzuweisen, daß der Bemessungswert der Zugkraft $F_{t,Sd}$ einschließlich möglicher Zusatzkräfte aus Abstützwirkungen die Grenzzugkraft $B_{t,Rd}$ der Verbindung nicht überschreitet.

Die Grenzzugkraft $B_{t,Rd}$ einer Verbindung ergibt sich als der kleinere Wert der Grenzzugkraft $F_{t,Rd}$ der Schraube und der Grenzdurchstanzkraft $B_{p,Rd}$ des Schraubenkopfes oder der Mutter.

● Grenzkraft der Schraube $F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_M$ mit A_s nach Kap. 8 A, Tafel 8.82b.

Tafel 8.49a Grenzzugkräfte $F_{t,Rd}$ in kN für genormte Schrauben

Schraubenfestigkeitsklasse	Schraubengröße							
	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
4.6	24,28	45,22	70,56	87,26	101,7	132,2	161,6	235,3
5.6	30,35	56,52	88,20	109,1	127,1	165,2	202,0	294,1
8.8	48,56	90,43	141,1	174,5	203,3	264,4	323,1	470,6
10.9	60,70	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	588,2

Für andere Produkte mit geschnittenen Gewinden, z. B. Ankerschrauben oder Zugstangen, die im Stahlbauunternehmen aus Rundstangen hergestellt werden, sind die Grenzzugkräfte durch den Faktor 0,85 zu reduzieren.

● **Grenzdurchstanzkraft der Schraube oder der Mutter**

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u / \gamma_{Mb}$$

d_m Mittelwert aus Eckenmaß und Schlüsselweite des Schraubenkopfes oder der Mutter

t_p Blechdicke unter dem Schraubenkopf oder der Mutter

f_u Zugfestigkeit der Stahlsorte des Bauteils nach Tafel 8.9a

Die Grenzdurchstanzkraft ist i. allg. jeweils für den Schraubenkopf und die Mutter zu ermitteln. Gemäß DAS Ri 103 darf im normalen Hochbau der Nachweis entfallen, wenn für die Kopf- und für die Mutterseite die Bedingung $t_p \geq 0,5 \cdot d$ erfüllt ist.

Nachweis $F_{t,Sd} \leq B_{t,Rd}$ mit $B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd})$

6.2.2.3 Beanspruchbarkeit auf Zug und Abscheren

Für diese kombinierte Beanspruchung ist zusätzlich nebenstehende Interaktionsbedingung zu erfüllen:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

6.2.2.4 Beanspruchbarkeit auf Lochleibung

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist nachzuweisen, daß der Bemessungswert der Scher-/Lochleibungskraft $F_{v,Sd}$ an einer Schraube die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ nicht überschreitet.

● **Grenzlochleibungskraft**

$$F_{b,Rd} = 2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{Mb}$$

Wobei α der kleinste Wert ist von:

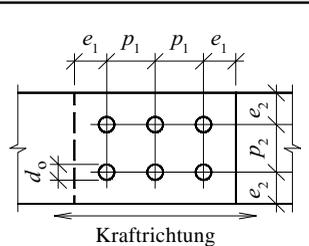
$$\frac{e_1}{3 \cdot d_o}; \frac{p_1}{3 \cdot d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ oder } 1,0$$

- d Schaftdurchmesser der Schraube
- d_o Lochdurchmesser
- t Bauteildicke
- f_u Zugfestigkeit der Stahlsorte nach Tafel 8.9a
- f_{ub} Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes nach Tafel 8.10b
- γ_{Mb} Teilsicherheitsbeiwert für Schrauben; $\gamma_{Mb} = 1,25$

Die Grenzlochleibungskraft $F_{b,Rd}$ darf nicht größer angenommen werden als die Grenzabscherkraft $F_{v,Rd}$.

Tafel 8.49b Beiwerte α zur Berechnung der Grenzlochleibungskraft

Abstand \perp zur Krafrichtung	Abstand in Krafrichtung	
	$e_1 \geq 1,2 d_o$	$p_1 \geq 2,2 d_o$
$e_2 \geq 1,5 d_o$ $p_2 \geq 3,0 d_o$	$\alpha = \frac{e_1}{3d_o} \leq \frac{f_{ub}}{f_u} \leq 1$	$\alpha = \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4} \leq \frac{f_{ub}}{f_u} \leq 1$
<p>¹⁾ Für Abstände $e_2 = 1,2 d_o$ und/oder $p_2 = 2,4 d_o$ sollte die mit α berechnete Grenzlochleibungskraft auf 2/3 ihres Wertes abgemindert werden. Für Zwischenwerte $1,2 d_o \leq e_2 < 1,5 d_o$ bzw. $2,4 d_o \leq p_2 < 3,0 d_o$ darf linear interpoliert werden.</p>		



Tafel 8.50 Grenzlochleibungskräfte $F_{b,Rd}$ in kN für Sechskantschrauben mit normalem Lochspiel, bezogen auf 10 mm Bauteildicke und Stahlsorte S 235 ($t \leq 40$ mm)

Abstand in mm	Lochspiel in mm →	Schraubengöße								
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36	
		1	2	2	2	2	3	3	3	
Voraussetzung: Abstände senkrecht zur Krafrichtung $e_2 \geq 1,5 d_o$ und $p_2 \geq 3 d_o$.	Lochabstand in Krafrichtung	$p_1 = 30$	44,86							
		35	55,94							
		40	67,02	56,53						
		45	78,09	67,20						
		50	86,40	77,87	73,09					
		55	86,40	88,53	84,00	81,40				
		60	↓	99,20	94,91	92,40	89,72			
		65		109,9	105,8	103,4	100,8			
		70		115,2	116,7	114,4	111,9	102,6		
		75		115,2	127,6	125,4	123,0	113,4	109,6	
		80		↓	138,5	136,4	134,0	124,2	120,5	
		85			144,0	147,4	145,1	135,0	131,5	
		90			144,0	158,4	156,2	145,8	142,4	134,6
		95			↓	158,4	167,3	156,6	153,3	145,7
		100				↓	172,8	167,4	164,2	156,7
	105					↓	172,8	178,2	175,1	
	110						↓	189,0	186,0	
	115							194,4	196,9	
	120							194,4	207,8	
	125							↓	216,0	
	130								216,0	
	135								↓	
	140								234,3	
	145								245,4	
	150								256,4	
									259,2	
	Randabstand in Krafrichtung	$e_1 = 20$	44,31							
		25	55,38	53,33						
		30	66,46	64,00	65,45	66,00				
		35	77,54	74,67	76,36	77,00	77,54			
		40	86,40	85,33	87,27	88,00	88,62	86,40	87,27	
		45	86,40	96,00	98,18	99,00	99,69	97,20	98,18	
		50	↓	106,7	109,1	110,0	110,8	108,0	109,1	110,8
		55		115,2	120,0	121,0	121,8	118,8	120,0	121,8
		60		115,2	130,9	132,0	132,9	129,6	130,9	132,9
65			↓	141,8	143,0	144,0	140,4	141,8	144,0	
70				144,0	154,0	155,1	151,2	152,7	155,1	
75				144,0	158,4	166,2	162,0	163,6	166,2	
80				↓	158,4	172,8	172,8	174,5	177,2	
85					↓	172,8	183,6	185,5	188,3	
90					↓	194,4	196,4	196,4	199,4	
95						194,4	207,3	210,5		
100						↓	216,0	221,5		
105							216,0	232,6		
110							↓	243,7		
115								254,8		
120								259,2		

Stahlsorte S 235 ($t \leq 40$ mm): Die Tafelwerte gelten für SFK 4.6; 5.6; 8.8 und 10.9.

Stahlsorte S 355 ($t \leq 40$ mm): Für SFK 8.8 und 10.9 können die Tafelwerte mit Faktor 1,417 umgerechnet werden.

● Maximalwert der Grenzlochleibungskraft

Die maximale Grenzlochleibungskraft ergibt sich für **S 235** und alle Schraubenfestigkeitsklassen ($f_{ub} / f_u > 1$), wenn folgende Bedingungen für die Abstände erfüllt sind:

Richtung	Lochabstand	Randabstand
In Krafrichtung	$p_1 \geq 3,75 \cdot d_o$	$e_1 \geq 3,0 \cdot d_o$
Rechtwinklig zur Krafrichtung	$p_2 \geq 3,0 \cdot d_o$	$e_2 \geq 1,5 \cdot d_o$

Für **S 355** gelten diese
nur in Verbindungen
mit SFK 8.8 und 10.9.

● Grenzlochleibungskraft einseitiger Überlappungsstöße mit einer Schraube



Diese Verbindung ist mit beidseitig angeordneten Unterlegscheiben auszuführen, um ein Ausreißen der Schraube zu vermeiden. In Verbindungen mit SFK 8.8 bzw. 10.9 sollten gehärtete Scheiben verwendet werden, auch wenn keine Vorspannung erfolgt.

Die nach den vorhergehenden Angaben ermittelte Grenzlochleibungskraft ist wie folgt zu begrenzen:

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{Mb}$$

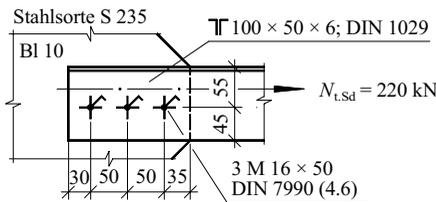
● Grenzlochleibungskraft eines Überlappungsstoßes

Bei Überlappungsstößen sollten die Rand- und Lochabstände sowie die Bauteildicken so aufeinander abgestimmt werden, daß die Grenzlochleibungskräfte der einzelnen Schrauben möglichst geringe Differenzen aufweisen bzw. im Idealfall gleich groß sind. Hierdurch ist eine konstante Kraftverteilung über die Stoßlänge gewährleistet.

Die Grenzlochleibungskraft des Stoßes ist gleich der Summe der minimalen Grenzlochleibungskräfte der einzelnen Schrauben ($\Sigma \min F_{b,Rd}$), wobei für jede Schraube die Bedingung $F_{b,Rd} \leq F_{v,Rd}$ erfüllt sein muß.

Beispiel: Schraubenschluß eines Zugstabes

Der Anschluß eines Doppelwinkels $100 \times 50 \times 6$ an ein Knotenblech ($t = 10$ mm) ist als 2schnittige SL-Verbindung mit SFK 4.6 (Schaft in der Scherfuge) auszuführen. Die Rand- und Lochabstände werden mit dem Ziel, eine möglichst kurze Überlappungslänge zu erhalten und allen Schrauben der Verbindung annähernd gleiche Lochleibungskräfte zuzuteilen, unter Verwendung der Tafel 8.50 optimiert. Die erforderliche Schraubenzahl ergibt sich aus dem Abscherkriterium.



Kriterium Abscheren

Siehe hierzu Tafel 8.48.

$$n \geq N_{t,Sd} / F_{v,Rd} = 220 / (2 \cdot 38,60) = 2,85$$

$$\rightarrow 3 \text{ M 16; 4,6 (Schaft in der Scherfuge)}$$

$$\text{Nachweis } 220 < 6 \cdot 38,60 = 231,60 \text{ kN}$$

Kriterium Lochleibung

Die auf jede Schraube entfallende Kraft

$$\text{beträgt } N_{t,Sd} / n = 220 / 3 = 73,33 \text{ kN.}$$

Zur Optimierung des Lochabstandes p_1 ist das Knotenblech mit $\min t = 10$ mm maßgebend. Mit dem Eingangswert $N_{t,Sd} / n = 73,33$ kN ist aus Tafel 8.50 für $F_{b,Rd} = 77,87 > 73,33$ kN ein geeigneter Lochabstand $p_1 = 50$ mm zu entnehmen. Aus $F_{b,Rd} > F_{v,Rd} = 2 \cdot 38,60 = 77,20$ kN $\rightarrow F_{v,Rd}$ ist maßgebend.

Der Randabstand im Knotenblech ergibt sich für $F_{b,Rd} = 74,67 > 73,33$ kN mit $e_1 = 35$ mm.

Zur Optimierung des Randabstandes im Doppelwinkel muß der Eingangswert für $t = 2 \cdot 6 = 12$ mm modifiziert werden (Tafelwerte sind auf $t = 10$ mm bezogen) $\rightarrow 73,33 / 1,2 = 61,11$ kN.

Für $F_{b,Rd} = 64,00 > 61,11$ kN folgt $e_1 = 30$ mm. Die Grenzlochleibungskraft für diesen Abstand und $t = 12$ mm beträgt $F_{b,Rd} = 64,00 \cdot 1,2 = 76,80$ kN.

Summe der minimalen Grenzlochleibungskräfte des Stoßes:

$$\Sigma \min F_{b,Rd} = 77,20 + 74,67 + 76,80 = 228,67 \text{ kN}$$

$$\text{bzw. - auf der sicheren Seite liegend - } \Sigma \min F_{b,Rd} = 3 \cdot 74,67 = 224 \text{ kN}$$

Nachweis $N_{t,Sd} = 220 < 224$ kN. Nachweis des Zugstabes siehe Seite 8.54.

6.2.2.5 Beanspruchbarkeit gleitfester Verbindungen mit hochfesten Schrauben

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit bzw. im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist nachzuweisen, daß der Bemessungswert der Gleitkraft $F_{s,sd}$ die Grenzgleitkraft $F_{s,Rd}$ nicht überschreitet.

● **Grenzgleitkraft**

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu}{\gamma_{Ms}} \cdot F_{p,Cd}$$

- n Anzahl der Gleitfugen
- μ Bemessungswert der Reibungszahl nach Tafel 8.53a
- γ_{Ms} Teilsicherheitsbeiwert für gleitfest vorgespannte Schrauben; Tragfähigkeit $\rightarrow \gamma_{Ms,ult} = 1,25$; Gebrauchstauglichkeit $\rightarrow \gamma_{Ms,ser} = 1,1$
- $F_{p,Cd}$ Grenzvorspannkraft nach Tafel 8.53b

Tafel 8.53a Einstufung der Vorbehandlung und Reibungszahlen μ von Gleitflächen

Güteklasse	μ	Vorbehandlung
A	0,5	Oberflächen mit Stahlkies oder Sand metallisch blank gestrahlt, keine Unebenheiten
		Oberflächen mit Stahlkies oder Sand gestrahlt und aluminisiert
		Oberflächen mit Stahlkies oder Sand gestrahlt und mit einem Produkt auf Zinkbasis metallisiert, das einen Reibbeiwert $\geq 0,5$ erzeugt
B	0,4	Alkali-Zink-Silikatanstrich mit einer Schichtdicke von 50 bis 80 μm
C	0,3	Oberfläche mit Drahtbürsten oder Flammstrahlen metallisch blank gereinigt
D	0,2	Oberfläche unbehandelt

Tafel 8.53b Grenzvorspannkkräfte $F_{p,Cd}$ in kN

	Schraubenfestigkeitsklasse	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
¹⁾	8.8	47,21	87,92	137,2	169,7	197,7	257,0	314,2	457,5
²⁾	10.9	50,00	100,0	160,0	190,0	220,0	290,0	350,0	510,0

¹⁾ $F_{p,Cd} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$, mit $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ und A_s nach Kapitel 8 A, Tafel 8.82b.
²⁾ Gemäß DAST Ri 103 (11.93) nach DIN 18 800-7 (5.83), Tabelle 1, Spalte 2.

Tafel 8.53c Grenzgleitkräfte $F_{s,Rd,ult}$ und $F_{s,Rd,ser}$ in kN je Gleitfuge für $\mu = 0,5$

Grenzzustand	SFK	Schraubengröße							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Tragfähigkeit	8.8	18,88	35,17	54,88	67,88	79,08	102,8	125,7	183,0
	10.9	20,00	40,00	64,00	76,00	88,00	116,0	140,0	204,0
Gebrauchstauglichkeit	8.8	21,46	39,96	62,36	77,14	89,86	116,8	142,8	208,0
	10.9	22,73	45,45	72,73	86,36	100,0	131,8	159,1	231,8

● **Grenzgleitkraft bei zusätzlicher Beanspruchung durch eine Zugkraft $F_{t,Sd}$**

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit gilt:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu}{\gamma_{Ms,ult}} \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd})$$

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gilt:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu}{\gamma_{Ms,ser}} \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd,ser})$$

Eine Abminderung der Grenzgleitkraft ist nicht erforderlich bei einer Verbindung, die ein Moment überträgt, wobei die Zugkraft in den Schrauben mit der Druckkraft, die über Kontakt übertragen wird, im Gleichgewicht steht.

Nachweis $F_{s,Sd} \leq F_{s,Rd}$

Weitere Kriterien sind Tafel 8.47 zu entnehmen und nach Abschnitt 6.2.2.1 bis 6.2.2.4 nachzuweisen.

6.2.3 Querschnittschwächung durch Schraubenlöcher

6.2.3.1 Zugbeanspruchte Bauteile

In jedem Querschnitt eines durch Schraubenlöcher geschwächten Bauteils muß die folgende Bedingung erfüllt sein (zu Bauteilen mit Verbindungen der Kategorie C siehe Tafel 8.47 Fußnote 6^o):

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \text{ mit}$$

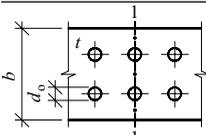
$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2} \end{array} \right)$$

$N_{t,Sd}$ Bemessungswert der Zugkraft
 $N_{t,Rd}$ Grenzzugkraft
 $N_{pl,Rd}$ Grenzzugkraft des Bruttoquerschnitts
 A Bruttoquerschnittsfläche
 γ_{M0} Teilsicherheitsbeiwert; $\gamma_{M0} = 1,1$

$N_{u,Rd}$ Grenzzugkraft des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher
 A_{net} Nettofläche (siehe unten)
 γ_{M2} Teilsicherheitsbeiwert für Zugversagen im Nettoquerschnitt; $\gamma_{M2} = 1,25$

• Nettofläche geschraubter Bauteile

– mit nicht versetzten Lochreihen



$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t \quad \text{mit } A = b \cdot t$$

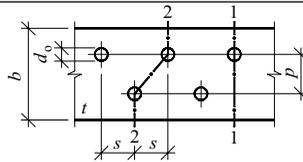
n Lochanzahl im kritischen Schnitt

m Anzahl der Zwischenräume in der Lochkette

p Lochabstand rechtwinklig zur Kraft-
richtung. Bei Winkeln oder anderen

Profilen mit Löchern in mehreren Ebenen ist dieser entlang der Profilmittellinie zu messen.

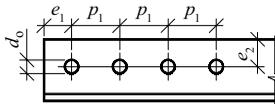
– mit versetzten Lochreihen



$$A_{net} = \min \left[\begin{array}{l} A - n \cdot d_0 \cdot t \quad (\text{Schnitt 1-1}) \\ A - \left(n \cdot d_0 \cdot t - m \cdot \frac{s^2 \cdot t}{4 \cdot p} \right) \quad (\text{Schnitt 2-2}) \end{array} \right]$$

mit $A = b \cdot t$

• Grenzzugkraft von Winkelprofilen mit einschenkligem Anschluß und einer Schraubenreihe



1 Schraube	2 Schrauben	3 und mehr Schrauben
$N_{u,Rd} = \frac{2,0 \cdot (e_2 - 0,5 \cdot d_0) \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$	$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$	$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

Tafel 8.54 Abminderungsbeiwerte β

Lochabstand	Abminderungsbeiwert	
$p_1 \leq 2,5 \cdot d_0$	$\beta_2 = 0,4$	$\beta_3 = 0,5$
$p_1 \geq 5,0 \cdot d_0$	$\beta_2 = 0,7$	$\beta_3 = 0,7$
Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.		

A_{net} Nettoquerschnittsfläche des Winkelprofils
 Bei ungleichschenkligen Winkeln mit Anschluß des kleineren Schenkels ist für A_{net} die Nettofläche eines entsprechenden gleichschenkligen Winkelprofils mit einer Schenkellänge gleich der kleineren Schenkellänge anzunehmen.

Beispiel: Doppelwinkel 100 × 50 × 6 aus S 235 mit 3 Bohrungen im breiten Schenkel

($N_{t,Sd} = 220$ kN; $d_0 = 18$ mm; $p_1 = 50$ mm). Skizze des Anschlusses siehe Seite 8.52.

Vorwerte: $A = 2 \cdot 8,73 = 17,46$ cm²; $A_{net} = 17,46 - 2 \cdot 1,8 \cdot 0,6 = 15,30$ cm²;

$p_1 / d_0 = 50 / 18 = 2,78 \rightarrow \beta_3 = 0,5 + (0,2 / 2,5) \cdot (2,78 - 2,5) = 0,522$ (interpoliert)

Nachweis: $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 17,46 \cdot 235 / 1,1 = 373,01$ kN

$N_{u,Rd} = \beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,522 \cdot 15,30 \cdot 36 / 1,25 = 230$ kN

$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = 230$ kN; $N_{t,Sd} = 220$ kN < 230 kN

6.2.3.2 Druckbeanspruchte Bauteile

Ein Lochabzug für normale Schraubenlöcher ist nicht erforderlich. Bei Winkelprofilen mit einschcnkligem Anschluß und einer Schraubenreihe sollte jedoch die Grenzdruckkraft $N_{c,Rd}$ nicht größer angenommen werden als die nach Abschnitt 6.2.3.1 ermittelte Grenzzugkraft.

6.2.3.3 Beanspruchung durch Biegemoment

In Zugflanschen darf der Lochabzug entfallen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$0,9 \cdot \frac{A_{f,net}}{A_f} \geq \frac{f_y}{f_u} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

$A_{f,net}$ Nettofläche des Zugflansches (siehe 6.2.3.1)
 A_f Flanschfläche

Andernfalls darf eine reduzierte Flanschfläche angenommen werden, mit der die genannte Bedingung erfüllt wird.

Im Zugbereich von Stegblechen darf der Lochabzug entfallen, wenn für die gesamte Zugzone, bestehend aus Zugflansch und Zugbereich des Steges, die o. a. Bedingung erfüllt ist.

In der Druckzone brauchen Lochschwächungen durch normale Schraubenlöcher nicht berücksichtigt zu werden.

6.2.3.4 Beanspruchung durch Querkraft

Der Lochabzug darf entfallen, wenn die Bedingung $A_{v,net} \geq (f_y/f_u) \cdot A_v$ erfüllt ist.

Andernfalls darf eine wirksame Schubfläche mit $A_{v,net} \cdot (f_u/f_y)$ angenommen werden.

6.2.3.5 Beanspruchung auf Zug und Abscheren (Versagen durch Scherbruch)

Diese Versagensform entsteht i. allg. durch Zugbruch entlang der Verbindungslinie der äußeren Lochreihe einer Lochgruppe auf der Zugseite, begleitet durch ein Abscheren des Bruttoquerschnitts entlang der Verbindungslinie der äußeren Lochreihe auf der Abscherseite.

Wirksame Scherbruchfläche:

$$A_{v,eff} = t \cdot L_{v,eff}$$

mit

$$L_{v,eff} = L_v + L_1 + L_2 \text{ jedoch } L_{v,eff} \leq L_3$$

$$L_1 = a_1 \text{ jedoch } L_1 \leq 5 \cdot d_o$$

$$L_2 = (a_2 - k \cdot d_{o,i}) \cdot f_u / f_y$$

$$L_3 = L_v + a_1 + a_3$$

$$\text{jedoch } L_3 \leq (L_v + a_1 + a_3 - n \cdot d_{o,v}) \cdot f_u / f_y$$

- d Schraubendurchmesser
- $d_{o,t}$ Lochdurchmesser auf der Zugseite
- $d_{o,v}$ Lochdurchmesser auf der Abscherseite
- n Anzahl der Löcher auf der Abscherseite
- t Dicke des Stegbleches oder der Auflagerkonsole
- k Beiwert; $k = 0,5$ für eine Schraubenreihe
 $k = 2,5$ für zwei Schraubenreihen
- a_1, a_2, a_3 und L_v siehe unten

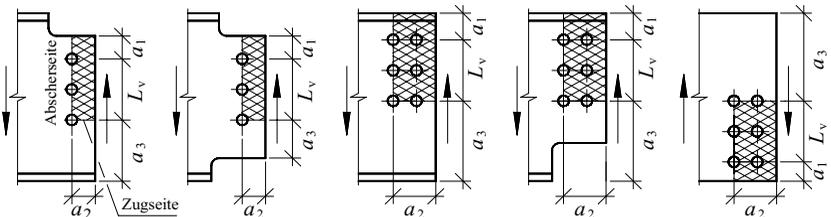


Abb. 8.55 Festlegungen zur Berechnung der wirksamen Scherbruchfläche

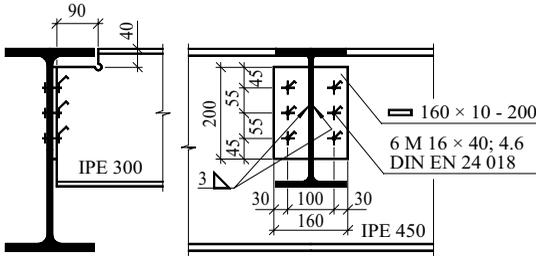
● Grenzwert gegen Scherbruch

$$V_{eff,Rd} = \frac{A_{v,eff} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Nachweis

$$V_{Sd} < V_{eff,Rd}$$

Beispiel 8.56: Beanspruchbarkeit eines gelenkigen Stirnplattenanschlusses



Stahlsorte S 235;
 Sechskantschrauben mit Gewinde
 bis Kopf nach DIN EN 24 018;
 Muttern nach DIN EN 24 034;
 Scheiben nach ISO 7 091 (100 HV);
 Lochdurchmesser $d_o = 18$ mm

Beanspruchbarkeiten

Grenzquerkraft des Trägersteges (IPE 300) im Bereich der Schweißnaht

$$V_{z,Rd} = 20 \cdot 0,71 \cdot 23,5 / (\sqrt{3} \cdot 1,1) = 175,15 \text{ kN}$$

Grenzkraft der Doppelkehlnaht

$$F_{w,Rd} = 6,24 \cdot 2 \cdot 20 = 249,60 \text{ kN (Tafel 8.61b)}$$

Grenzwert gegen Scherbruch der Stirnplatte

$$L_v = 110 \text{ mm}$$

$$L_1 = 45 < 5 \cdot 18 = 90 \text{ mm}$$

$$L_2 = (30 - 0,5 \cdot 18) \cdot 360 / 235 = 32,17 \text{ mm}$$

$$L_3 = 110 + 45 + 45 = 200$$

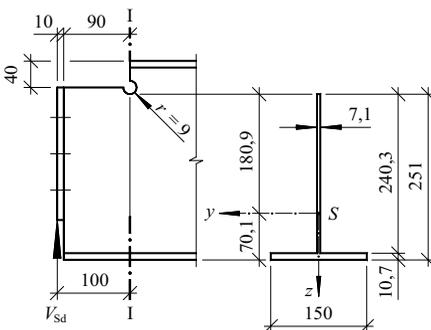
$$< (200 - 3 \cdot 18) \cdot 360 / 235 = 223,6 \text{ mm}$$

$$L_{v,eff} = 110 + 45 + 32,17 = 187,17 < L_3 = 200 \text{ mm}$$

$$A_{v,eff} = 1,0 \cdot 18,72 = 18,72 \text{ cm}^2$$

$$V_{eff,Rd} = 2 \cdot 18,72 \cdot 23,5 / (\sqrt{3} \cdot 1,1) = 461,8 \text{ kN}$$

Trägerquerschnitt im Bereich der Ausklinkung



Grenzabscherkraft der Schrauben

$$F_{v,Rd} = 6 \cdot 30,14 = 180,84 \text{ kN (Tafel 8.48)}$$

Grenzlochleibungskraft (Tafel 8.50)

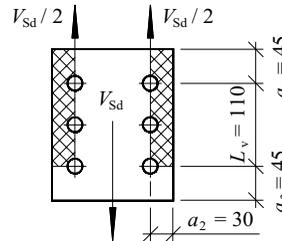
Stirnplatte; $t = 10$ mm

$$e_1 = 45 \rightarrow F_{b,Rd} = 1,0 \cdot 96,00 = 96,00 \text{ kN}$$

Steg IPE 450; $t_w = 9,4$ mm

$$p_1 = 55 \rightarrow F_{b,Rd} = 0,94 \cdot 88,53 = 83,22 \text{ kN}$$

$$\Sigma \min F_{b,Rd} = 6 \cdot 83,22 = 499,32 \text{ kN}$$



Querschnittswerte im Schnitt I-I:

$$A = 15 \cdot 1,07 + 24,03 \cdot 0,71$$

$$= 16,05 + 17,06 = 33,11 \text{ cm}^2$$

$$z_1 = [16,05 \cdot 1,07 / 2$$

$$+ 17,06 \cdot (24,03 / 2 + 1,07)] / 33,11$$

$$= 7,01 \text{ cm}$$

$$z_2 = 25,1 - 7,01 = 18,09 \text{ cm}$$

$$I_y = 0,71 \cdot 24,03^3 / 12 + 17,06 \cdot 6,075^2$$

$$+ 15 \cdot 1,07^3 / 12 + 16,05 \cdot 6,475^2$$

$$= 2125 \text{ cm}^4$$

$$S_y = 0,71 \cdot 18,09^2 / 2 = 116,2 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,y} = 2125 / 18,09 = 117,5 \text{ cm}^3$$

$$M_{el,y,Rd} = W_{el,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 117,5 \cdot 23,5 / 1,1 = 2509,6 \text{ kNm} \rightarrow V_{Sd} = 2509,6 / 10 = 251 \text{ kN}$$

$$V_{el,z,Rd} = \tau_{Rd} \cdot I_y \cdot t_w / S_y = 23,5 / (\sqrt{3} \cdot 1,1) \cdot 2125 \cdot 0,71 / 116,2 = 160,15 < 251 \text{ kN}$$

(eine Interaktion Biegung – Schub ist bei elastischer Berechnung für diese Querschnittsform nicht erforderlich)

Die Beanspruchbarkeit des Anschlusses ergibt sich aus der Grenzquerkraft des Trägersteges im Bereich der Ausklinkung mit $V_{Rd} = 160,15$ kN.

6.3 Verbindungen mit Schweißnähten

6.3.1 Allgemeine Regelungen

Die Angaben dieses Abschnittes beziehen sich auf:

- Verbindungen an zugelassenen Baustählen, die die Anforderungen an die Schweißbeugung erfüllen und die erforderliche Bruchzähigkeit aufweisen (siehe Abschnitt 3.2.3),
- Schweißnähte mit vorwiegend ruhender Beanspruchung (zu nicht vorwiegend ruhender Beanspruchung siehe EC 3 Abschnitt 9),
- Lichtbogenschweißverfahren nach pr EN 24 063 bzw. ISO 4063, z.B. Metall-Lichtbogen-schweißen mit umhüllten Elektroden (E), Metall-Aktivgas-Schweißen (MAG) und Unterpulverschweißen (UP),
- Werkstoffdicken $t \geq 4$ mm (für Werkstoffdicken $t < 4$ mm siehe DASt-Ri 016).

Anschlußdetails, bei denen Spannungen in Dickenrichtung durch Schweißen infolge behinderter Dehnung und Schrumpfung hervorgerufen werden, sind wegen der daraus resultierenden Terrassenbruchgefahr möglichst zu vermeiden. Zur Beurteilung der Terrassenbruchgefährdung darf die DASt Ri 014 (1.81) verwendet werden. Konstruktive Empfehlungen zur Ausführung von Anschlußdetails, bei denen Zugspannungen rechtwinklig zur Oberfläche von Blechen mit $t > 15$ mm infolge äußerer Lasten oder Schweißbeugenspannungen auftreten, sind EC 3 Bild 6.6.5 zu entnehmen.

In Hohlkehlen von Walzprofilen aus unberuhigt vergossenen Stählen sollten in Längsrichtung keine Schweißnähte ausgeführt werden, um das Anschneiden von Seigerungs-zonen zu vermeiden.

Wenn in kaltverformten Bereichen einschließlich der angrenzenden Bereiche der Breite $5t$ geschweißt wird, sind die in Tafel 8.57 angegebenen Grenzwerte $\min(r/t)$ einzuhalten. Zwischen den Zeilen 1 bis 5 darf linear interpoliert werden.

Tafel 8.57 Grenzwerte $\min(r/t)$ für das Schweißen in kaltverformten Bereichen

	max t mm	$\min(r/t)$	
1	50	10	
2	24	3	
3	12	2	
4	8	1,5	
5	4 ¹⁾	1	
	< 4 ¹⁾	1	

¹⁾ Für Bauteile aus S 235 Gütegruppen JO, J2 G3 und J2 G4: max $t = 6$ mm

6.3.2 Geometrie und Abmessungen

Einteilung der Schweißnahtarten nach EC 3 siehe Tafel 8.58

● Wirksame Schweißnahtlänge L_w

Die wirksame Länge ist gleich der Gesamtlänge der voll ausgeführten Schweißnaht. Ein Abzug für den Anfang oder Abschluß (Anfangs- bzw. Endkrater) ist nicht erforderlich.

Kehlnähte sollten kontinuierlich durchgehend mit einer Länge gleich der doppelten Schenkellänge der Naht um die Ecken der Bauteile mit voller Abmessung herumgeführt werden, wenn nicht aus anderen Gründen (z.B. Korrosionsschutz) eine volle Umschließung erforderlich ist. Aus der Geometrie des Nahtquerschnittes ergibt sich hieraus bei Verbindungen mit einem Öffnungswinkel $\alpha = 90^\circ$ eine Umschließungslänge von

$$2 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} \approx 2,8 \cdot a_w$$

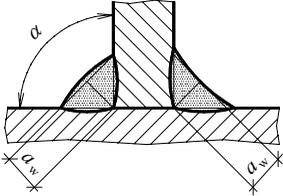
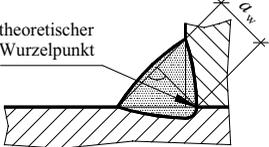
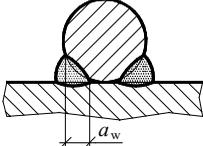
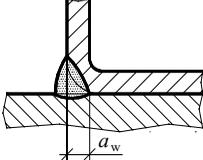
Die wirksame Länge einer Kehlnaht ist gleich der Länge der voll ausgeführten Naht einschließlich der Endumschließungslänge. Die Mindestlänge für tragende Kehlnähte sollte

$$\boxed{\min L_w = 40 \text{ mm oder } \min L_w = 6 \cdot a_w} \quad \text{betragen, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.}$$

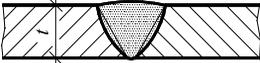
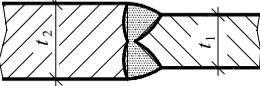
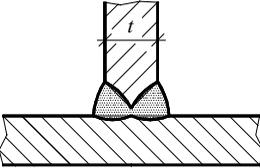
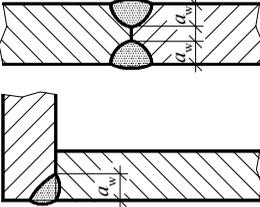
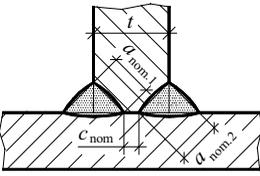
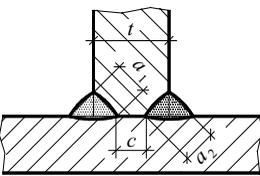
In überlappenden Anschlüssen mit nicht kontinuierlicher Krafteinleitung ist für Nähte mit $L_w > 150 \cdot a_w$ die Grenzkraft zu reduzieren (siehe Seite 8.63).

Zur Ausführung und Bestimmung der wirksamen Länge unterbrochen geschweißter Kehlnähte siehe EC 3, Abschnitt 6.6.2.2 und Bild 6.6.1.

Tafel 8.58 Nahtart und Schweißnahtdicke a_w (Beispiele)

Nahtart	Bild	Nahtdicke a_w
<p>Kehlnaht $\alpha < 60^\circ$ → nicht durchgeschweißte Naht $\alpha > 120^\circ$ → nicht tragende Naht</p>		<p>Die Schweißnahtdicke a_w ist gleich der bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessenen Höhe des einschreibbaren gleichschenkligen Dreiecks.</p> <p>Die Mindestkehlnahtdicke soll 3 mm betragen.</p>
<p>Kehlnaht mit tiefem Einbrand</p>		<p>Der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand ist durch eine Verfahrensprüfung sicherzustellen. ¹⁾</p>
<p>Hohlkehlnaht an Vollquerschnitten</p>		<p>Ermittlung der wirksamen Nahtdicke a_w durch Bildung des Mittelwertes der Schweißnähte an Bauteilproben für jeden Satz der Verfahrensbedingungen.</p>
<p>Hohlkehlnaht an Rechteckhohlprofilen ²⁾</p>		
<p>Schlitznaht</p> <p>Verbindungen mit $d < 4 \cdot t$ sind nach EC 3 als Lochschweißung ²⁾ einzustufen. Diese darf nicht in zugbeanspruchten Bauteilen verwendet werden.</p>	<p>Schnitt</p>  <p>Variante:</p> <p>a)  $d \geq 4 \cdot t$</p> <p>b) </p> <p>c) </p>	<p>Bestimmung von a_w siehe Kehlnaht.</p> <p>Verwendung zur Schubübertragung, und um das Ausbeulen und Trennen überlappender Teile zu vermeiden.</p>
<p>¹⁾ Wenn die Naht durch ein automatisches Unter-Pulver-Schweißverfahren hergestellt wird, darf die Nahtdicke um 20 % oder 2 mm (der kleinere Wert ist maßgebend) über den theoretischen Wurzelpunkt hinaus vergrößert werden, ohne daß eine Verfahrensprüfung durchgeführt wird.</p> <p>²⁾ Nach DASt-Ri 103 ist bei Anwendung an tragenden Bauteilen eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.</p>		

Tafel 8.58 (Fortsetzung)

Nahtart	Bild	Nahtdicke a_w
Durchgeschweißte Stumpfnah		$a_w = t$
		$a_w = t_1$
		$a_w = t$
Nicht durchgeschweißte Stumpfnah		Der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand ist durch eine Verfahrensprüfung sicherzustellen. Wenn keine Verfahrensprüfung durchgeführt wird, soll $a_w = a_{nom} - 2 \text{ mm}$ angenommen werden.
Durchgeschweißte Stumpfnah mit Kehlnah		Bedingungen: $a_{nom.1} + a_{nom.2} \geq t$ $c_{nom} \leq t/5$ oder $c_{nom} \leq 3 \text{ mm}$ (der kleinere Wert ist maßgebend) $a_w = t$
Nicht durchgeschweißte Stumpfnah mit Kehlnah		Der über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehende Einbrand ist durch eine Verfahrensprüfung sicherzustellen. Wenn keine Verfahrensprüfung durchgeführt wird, soll $a_1 = a_{nom.1} - 2 \text{ mm}$ und $a_2 = a_{nom.2} - 2 \text{ mm}$ angenommen werden.

● Nahtdicke a_w

Siehe hierzu Tafel 8.58. Dort nicht aufgeführte Ausführungsformen sind sinnvoll einzuordnen.

Anmerkung zur Mindestkehlnahndicke min $a_w = 3 \text{ mm}$:

Der Versprödungs- und Kaltrißgefahr, die durch einen schnellen Wärmeabfluß beim Schweißen entsteht, kann durch Vorwärmen der Schweißstelle oder durch Vergrößerung der Nahtdicke begegnet werden. Angaben hierzu enthält [8.36].

6.3.3 Ermittlung der Beanspruchungen

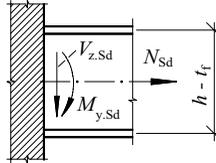
6.3.3.1 Verteilung der Schnittgrößen

Die Verteilung der Schnittgrößen darf unter Annahme eines elastischen oder plastischen Verhaltens unter Berücksichtigung der in Abschnitt 6.1.1 angegebenen Bedingungen erfolgen. In der Regel kann eine vereinfachte Verteilung der Schnittgrößen auf die einzelnen Schweißnähte einer Verbindung vorgenommen werden.

Beispiel: Geschweißter biegesteifer Anschluß eines I-Profils

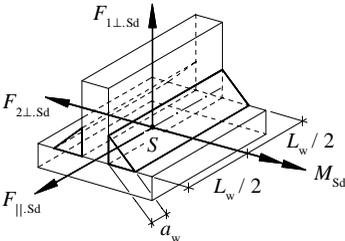
Es kann angenommen werden, daß die Aufnahme der Querkraft durch die Stegkehlnähte und die Aufnahme des Biegemoments und der Längskraft durch die Flanschkehlnähte erfolgt. Die Grenzkraften der angeschlossenen Querschnittsteile dürfen dabei nicht überschritten werden. Hieraus ergibt sich die Beanspruchung der Nähte

- am Zugflansch $F_{\perp,Ed} = N_{Sd} / 2 + M_{y,Sd} / (h - t_f)$
 $\leq N_{pl,f,Rd} = A_f \cdot f_y / 1,1$
- am Druckflansch $F_{\perp,Ed} = N_{Sd} / 2 - M_{y,Sd} / (h - t_f)$
- am Steg $F_{\parallel,Ed} = V_{z,Sd}$



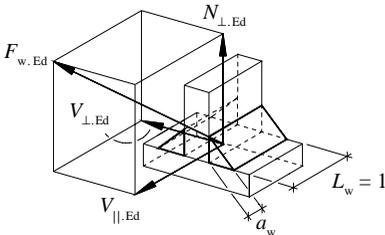
6.3.3.2 Beanspruchungen von Kehlnähten und nicht durchgeschweißten Stumpfnähten

Schnittgrößen in einer Doppelkehlnaht-Verbindung (Beispiel):



S Schwerpunkt der Naht bzw. Nahtgruppe

Beanspruchungen eines Nahtelementes mit der Länge $L_w = 1$ für den oben dargestellten Fall:



Ermittlung der resultierenden Beanspruchung pro Längeneinheit

Für **außermittigen** Kraftangriff ($M_{Sd} \neq 0$) gilt:

$$N_{\perp,Ed} = \frac{F_{1\perp,Sd} \pm M_{Sd}}{L_w} \pm \frac{M_{Sd}}{L_w^2 / 6}$$

bezogen auf den Anfangs- bzw. Endpunkt der Naht und

$$V_{\perp,Ed} = F_{2\perp,Sd} / L_w$$

$$V_{\parallel,Ed} = F_{\parallel,Sd} / L_w$$

bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht.

Für **mittigen** Kraftangriff ($M_{Sd} = 0$) gilt:

$$N_{\perp,Ed} = F_{1\perp,Sd} / L_w$$

$$V_{\perp,Ed} = F_{2\perp,Sd} / L_w$$

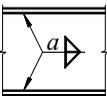
$$V_{\parallel,Ed} = F_{\parallel,Sd} / L_w$$

bezogen auf eine beliebige Stelle der Naht.

Resultierende Beanspruchung pro Längeneinheit:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{N_{\perp,Ed}^2 + V_{\perp,Ed}^2 + V_{\parallel,Ed}^2}$$

6.3.3.3 Beanspruchung der Halsnaht bei Schweißträgern infolge der Schnittgrößen M_y , V_z und N_x



Aus $V_{z,Sd}$ ergibt sich, bezogen auf die Längeneinheit:

$$F_{w,Ed} = V_{z,Sd} \cdot S_{yf} / I_y$$

S_{yf} Flächenmoment 1. Grades der Gurtfläche $S_{yf} = b \cdot t_f \cdot (h - t_f) / 2$

I_y Flächenmoment 2. Grades des Gesamtquerschnittes

Beanspruchungen in Nahtlängsrichtung aus M_y und N_x sind nicht zu berücksichtigen.

6.3.4 Grenzkraft einer Schweißnaht

6.3.4.1 Grenzkraft einer Kehlnaht

Die Grenzkraft einer Kehlnaht ist ausreichend, wenn in jedem Punkt über ihre Länge die Resultierende aller einwirkenden Kräfte pro Längeneinheit die Grenzkraft $F_{w,Rd}$ nicht überschreitet. Sie ist unabhängig von der Ausrichtung der Schweißnaht.

● **Grenzkraft pro Längeneinheit:**

$$F_{w,Rd} = f_{v,w,d} \cdot \Sigma a_w \quad f_{v,w,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

- $f_{v,w,d}$ Grenzscherfestigkeit der Schweißnaht
- Σa_w Summe der Schweißnahtdicken
- f_u Zugfestigkeit des schwächeren der verbundenen Teile
- γ_{Mw} Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen ($\gamma_{Mw} = 1,25$)

Tafel 8.61a Korrelationsfaktor β_w

Stahl	S 235	S 275	S 355
Zugfestigkeit f_u	360	430	510
Korrelationsfaktor β_w	0,80	0,85	0,90

Nachweis: $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$

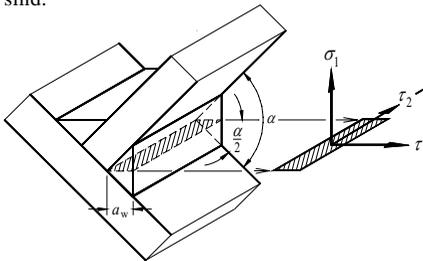
Tafel 8.61b Grenzkraft einer Kehlnaht in kN/cm

Stahl	Nahtdicke a_w in mm										
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16
S 235	6,24	8,31	10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,78	24,94	29,10	33,26
S 275	7,01	9,35	11,68	14,02	16,36	18,69	21,03	23,37	28,04	32,71	37,39
S 355	7,85	10,47	13,09	15,70	18,32	20,94	23,56	26,17	31,41	36,64	41,88

Diese Tafel kann auch für den u. a. Nachweis nach der alternativen Methode verwendet werden, wenn nur eine Kraftkomponente \parallel zur Nahtlängsachse wirkt.

● **Kehlnahtnachweis nach EC 3, Anhang M (alternative Methode)**

Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen Vergleichsspannungsnachweis, wobei die Spannungen auf eine Bezugsfläche, die in der Winkelhalbierenden der Naht liegt, zu beziehen sind.



- τ_1 Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche \perp zur Längsachse der Naht
- τ_2 Schubspannung in der Ebene der Bezugsfläche \parallel zur Längsachse der Naht
- σ_1 Normalspannung \perp zur Bezugsfläche und \perp zur Längsachse der Naht
- σ_2 Normalspannung \perp zum Nahtquerschnitt und \parallel zur Längsachse der Naht (bleibt unberücksichtigt)

Die Tragfähigkeit der Kehlnaht ist ausreichend, wenn nebenstehende Bedingungen erfüllt sind:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad \text{und} \quad \sigma_1 \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

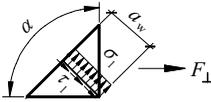
Eine **Kraftkomponente parallel zur Längsachse** erzeugt unabhängig von α die Spannung:

$$\tau_2 = \frac{F_{\parallel}}{a_w \cdot L_w}$$

Durch Einsetzen in die Bedingungsgleichung ergibt sich die Grenzkraft zu:

$$F_{\parallel,Rd} = \frac{f_u \cdot a_w \cdot L_w}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (\text{siehe Tafel 8.61b}).$$

Eine **Kraftkomponente rechtwinklig zur Längsachse und parallel zur Nahtflanke** erzeugt in der Bezugsfläche die Spannungen:



$$\tau_1 = \frac{F_{\perp} \cdot \cos(\alpha/2)}{a_w \cdot L_w} \quad \text{und} \quad \sigma_1 = \frac{F_{\perp} \cdot \sin(\alpha/2)}{a_w \cdot L_w}$$

$$\text{Für } \alpha = 90^\circ: \quad \tau_1 = \sigma_1 = \frac{F_{\perp} \cdot \sqrt{2}/2}{a_w \cdot L_w}$$

Durch Einsetzen in die Bedingungsgleichung ergibt sich für $\alpha = 90^\circ$ die Grenzkraft zu:

$$F_{\perp, Rd} = \frac{f_u \cdot a_w \cdot L_w}{\sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (\text{siehe Tafel 8.62})$$

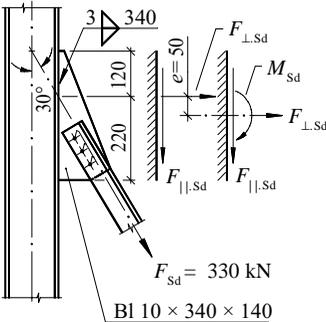
Tafel 8.62 Grenzkraft einer Kehlnaht mit alleiniger Beanspruchung rechtwinklig zur Längsachse und parallel zu einer Nahtflanke für $\alpha = 90^\circ$ in kN/cm

Stahl	Nahtdicke a_w in mm										
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16
S 235	7,64	10,18	12,73	15,27	17,82	20,36	22,91	25,46	30,55	35,64	40,73
S 275	8,59	11,45	14,31	17,17	20,03	22,89	25,76	28,62	34,34	40,06	45,79
S 355	9,62	12,82	16,03	19,23	22,44	25,64	28,85	32,06	38,47	44,88	51,29

Beispiel 8.62: Schweißanschluß eines Knotenbleches mit außermittiger Beanspruchung

Schnittgrößen in der Anschlußebene: $F_{\parallel, Sd} = 330 \cdot \cos(30^\circ) = 286 \text{ kN}$
 $F_{\perp, Sd} = 330 \cdot \sin(30^\circ) = 165 \text{ kN}$
 $M_{Sd} = 165 \cdot 5,0 = 825 \text{ kNm}$

Werkstoff: S 235



Beanspruchungen pro Längeneinheit am oberen Endpunkt der Naht

$$V_{\parallel, Ed} = F_{\parallel, Sd} / L_w = 286 / 34 = 8,41 \text{ kN/cm}$$

$$N_{\perp, Ed} = \frac{F_{\perp, Sd}}{L_w} + \frac{M_{Sd}}{L_w^2/6} = \frac{165}{34} + \frac{825}{34^2/6} = 9,13 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w, Ed} = \sqrt{V_{\parallel, Ed}^2 + N_{\perp, Ed}^2} = \sqrt{8,41^2 + 9,13^2} = 12,41 \text{ kN/cm}$$

Grenzkraft pro Längeneinheit

$$F_{w, Rd} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} \cdot 2 \cdot 0,3 = 12,47 \text{ kN/cm}$$

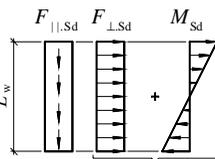
Nachweis

$$F_{w, Ed} = 12,41 \text{ kN/cm} < F_{w, Rd} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

Ausnutzung $12,41 \cdot 100 / 12,47 = 99,5 \%$

Alternativer Nachweis nach EC 3, Anhang M

Schnittgröße \rightarrow



Spannungsverlauf über die Nahtlänge:

Spannungen in der Bezugsfläche $\rightarrow \tau_{2, Ed}, \sigma_{1, Ed}$ und $\tau_{1, Ed}$

Für den Nachweis ist der obere Endpunkt der Naht maßgebend.

$$\tau_{2, Ed} = \frac{F_{\parallel, Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} = \frac{286}{2 \cdot 0,3 \cdot 34} = 14,02 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{1, Ed} = \sigma_{1, Ed} = \left(\frac{F_{\perp, Sd}}{2 \cdot a_w \cdot L_w} + \frac{M_{Sd}}{W_w} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= \left(\frac{165}{2 \cdot 0,3 \cdot 34} + \frac{825}{2 \cdot 0,3 \cdot 34^2/6} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= 10,77 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweis

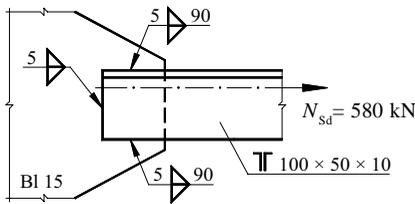
$$\sqrt{10,77^2 + 3 \cdot (10,77^2 + 14,02^2)} = 32,46 \text{ kN/cm}^2$$

$$32,46 < 36 / (0,8 \cdot 1,25) = 36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1, Ed} = 10,77 < 36 / 1,25 = 28,80 \text{ kN/cm}^2$$

Ausnutzung $32,46 \cdot 100 / 36 = 90,2 \%$

Beispiel 8.63: Überlappanschluß eines Zugstabes an ein Knotenblech (Werkstoff: S 235)



Tragfähigkeit des Knotenbleches

$$\begin{aligned} N_{Rd} &= (2 \cdot A_{||} / \sqrt{3} + A_{\perp}) \cdot f_y / \gamma_{M0} \\ &= (2 \cdot 9 \cdot 1,5 / \sqrt{3} + 10 \cdot 1,5) \cdot 23,5 / 1,1 \\ &= 653,48 \text{ kN} > N_{Sd} = 580 \text{ kN} \end{aligned}$$

Geometrie der Flankennähte

$$L_{w||} = 90 \text{ mm} > 40 \text{ bzw. } 6 \cdot 5 = 30 \text{ mm} \\ < 150 \cdot 5 = 750 \text{ mm}$$

Nachweis der Schweißverbindung (Grenzkraft pro Längeneinheit)

$$\Sigma L_w = 4 \cdot 9 + 2 \cdot 10 = 56 \text{ cm}; \quad F_{w,Ed} = 580 / 56 = 10,36 < F_{w,Rd} = 10,39 \text{ kN/cm (Tafel 8.61b)}$$

Ausnutzung $10,36 \cdot 100 / 10,39 = 99,7 \%$

Nachweis der Schweißverbindung (alternative Methode)

Flankennähte: $L_{w||} = 4 \cdot 9 = 36 \text{ cm}; \quad F_{w||,Rd} = 10,39 \cdot 36 = 374,04 \text{ kN (Tafel 8.61b)}$

Stirnnähte: $L_{w\perp} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ cm}; \quad F_{w\perp,Rd} = 12,73 \cdot 20 = 254,60 \text{ kN (Tafel 8.62)}$

$$\Sigma F_{w,Rd} = 254,60 + 374,04 = 628,64 \text{ kN} > F_{w,Ed} = 580 \text{ kN}$$

Ausnutzung $580 \cdot 100 / 628,64 = 92,3 \%$

Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse zeigt, daß in den dargestellten Fällen eine größere Beanspruchbarkeit der Schweißnaht erreicht werden kann, wenn der Nachweis nach der alternativen Methode erfolgt. Bei Kehlnahtverbindungen, die nur in Richtung der Nahtlängsachse beansprucht werden (nur τ_2 -Spannungen in der Bezugsfläche), führen beide Verfahren zum gleichen Ergebnis.

6.3.4.2 Grenzkraft einer Stumpfnah

Die Grenzkraft einer *durchgeschweißten Stumpfnah* ist gleich der Grenzkraft des schwächeren der verbundenen Bauteile, wobei durch Verwendung geeigneter Schweißzusatzwerkstoffe sicherzustellen ist, daß Zugproben, bestehend aus reinem Schweißzusatzwerkstoff, die unteren Werte für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes nicht unterschreiten. Eine zerstörungsfreie Prüfung zugbeanspruchter Stumpfnähte kann in der Produktspezifikation vereinbart werden.

Nicht durchgeschweißte Stumpfnähte sind wie Kehlnähte nachzuweisen.

6.3.5 Sonstige Regelungen

6.3.5.1 Reduktion der Grenzkraft von Schweißnähten in langen Anschlüssen

In überlappenden Stößen mit nicht kontinuierlicher Krafteinleitung ist die Grenzkraft einer Naht durch Multiplikation mit dem Reduktionsfaktor β_{Lw} abzumindern, um eine ungleichmäßige Spannungsverteilung über die Länge zu berücksichtigen. Für die Verbindung Steg – Flansch eines Blechträgers ist keine Reduktion erforderlich.

– Reduktionsfaktor für überlappende Stöße mit $L_w > 150 \cdot a_w$:

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2 \cdot L_j / (150 \cdot a_w) \leq 1,0$$

L_j Länge der Überlappung in Kraftrichtung

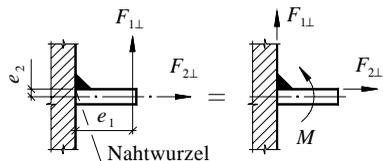
– Reduktionsfaktor für Kehlnähte an Querstreifen von Blechträgern mit $L_w > 1,70 \text{ m}$:

$$\beta_{Lw,2} = 1,1 - L_w / 17 \geq 0,6$$

L_w Länge der Schweißnaht in m

6.3.5.2 Nicht zulässige Beanspruchungen

Beanspruchungen, die Biegemomente um die Längsachse einer einseitigen Kehlnaht bzw. einer einseitigen, nicht durchgeschweißten Stumpfnah hervorrufen, sind nicht zulässig.



Tafel 8.64 Symbole für Schweißverbindungen

Beispiele nach DIN EN 22 553 (8.94)

Grundsymbole für Nahtarten			Zusammengesetzte Symbole für Nahtarten		
Benennung	Illustration	Symbol	Benennung	Illustration	Symbol
Kehlnaht			Doppelkehl-naht		
V-Naht			DV-Naht		
HV-Naht			DHV-Naht		
Y-Naht			DY-Naht		
HY-Naht			DHY-Naht		
Gegennaht (Gegenlage)			V-Naht mit Gegennaht		
I-Naht			Bezugszeichen Pfeillinie a_w L_w Stoß ——— Strichlinie		
Zusatzsymbole			Ergänzungssymbole		
Oberflächenform		Nahtausführung	ringsum-verlaufende Naht		
hohl (konkav)		Wurzel ausgearbeitet und gegengeschweißt			
flach		Naht durch zusätzliche Bearbeitung eingeebnet	Baustellennaht		
gewölbt (konvex)					
Kombinationen					
V-Naht mit ebener Oberfläche, Wurzel ausgearbeitet und gegengeschweißt			ringsum-verlaufende Kehlnaht mit hohler Oberflächenform, auf der Baustelle geschweißt		
Stellung des Bezugszeichens bzw. des Symbols	Gegenseite		Pfeilseite	Gegenseite	

7 Hilfstafeln zur Bemessung gewalzter I-Profile nach EC 3

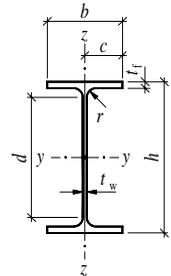
7.1 Vorbemerkungen

Die auf den folgenden Seiten angegebenen Hilfstafeln zur Bemessung gewalzter IPE- und HE-Profile enthalten die wichtigsten profilabhängigen Werte, die für Berechnungen nach EC 3 erforderlich sind. Die Vielzahl der benötigten Werte erfordert ein im Vergleich zu Kapitel 8 G (Stahlbauprofile) verändertes Tabellenlayout.

7.2 Erläuterungen

7.2.1 Abmessungen

Die Bedeutung der Formelzeichen für die Profilabmessungen ist nebenstehender Skizze zu entnehmen.



7.2.2 Querschnittswerte

A	Querschnittsfläche
U	Anstrichfläche
g_k	charakteristischer Wert der Eigenlast
a	Verhältniszwert $a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A$
d/t_w	und c/t_f Verhältniszwerte zur Bestimmung der Querschnittsklasse

I_y	Flächenmoment 2. Grades, bezogen auf die y -Achse
$W_{el,y}$	Widerstandsmoment im elastischen Zustand, bezogen auf die y -Achse; $W_{el,y} = I_y / (h/2)$
$W_{pl,y}$	Widerstandsmoment im plastischen Zustand, bezogen auf die y -Achse; $W_{pl,y} = 2 \cdot S_y$
k_{My}	Hilfswert zur Ermittlung des infolge Querkraft abgeminderten plastischen Grenzmoments $M_{Vy,Rd}$ bezogen auf die y -Achse (siehe Seite 8.27 oben)
a_{Vy}	$= A_{Vy} / A$; A_{Vy} wirksame Schubfläche bei Beanspruchung durch V_y nach Tafel 8.26
i_y	Trägheitsradius, bezogen auf die y -Achse
KSL	Knickspannungslinie für Ausweichen senkrecht zur y -Achse nach Tafel 8.34

I_z	Flächenmoment 2. Grades, bezogen auf die z -Achse
$W_{el,z}$	Widerstandsmoment im elastischen Zustand, bezogen auf die z -Achse; $W_{el,z} = I_z / (b/2)$
$W_{pl,z}$	Widerstandsmoment im plastischen Zustand, bezogen auf die z -Achse; $W_{pl,z} = 2 \cdot S_z$
a_{Vz}	$= A_{Vz} / A$; A_{Vz} wirksame Schubfläche bei Beanspruchung durch V_z nach Tafel 8.26
i_z	Trägheitsradius, bezogen auf die z -Achse
KSL	Knickspannungslinie für Ausweichen senkrecht zur z -Achse nach Tafel 8.34

I_{tor}	Torsionsflächenmoment 2. Grades
I_w	Wölbflächenmoment 2. Grades, bezogen auf den Schubmittelpunkt
k_{tor}	$= G \cdot I_{tor} / (E \cdot I_w)$
w_M	Hauptverwölbung

7.2.3 Beanspruchbarkeiten (Grenzschnittgrößen) für Stahlsorte S 235

$N_{pl,Rd}$	plastische Grenzzugkraft
$M_{pl,y,Rd}$	plastisches Grenzmoment, bezogen auf die y -Achse
$M_{el,y,Rd}$	elastisches Grenzmoment, bezogen auf die y -Achse
$V_{pl,y,Rd}$	plastische Grenzquerkraft in Richtung der y -Achse
$M_{pl,z,Rd}$	plastisches Grenzmoment, bezogen auf die z -Achse
$M_{el,z,Rd}$	elastisches Grenzmoment, bezogen auf die z -Achse
$V_{pl,z,Rd}$	plastische Grenzquerkraft in Richtung der z -Achse

Umrechnung für andere Stahlsorten: Tafelwert $\times (f_y / 235)$ mit f_y in N/mm²

7.2.4 Querschnittsklasse (QKL) für Stahlsorte S 235

$N | M_y$ Querschnittsklasse bei *alleiniger* Druckbeanspruchung (N) bzw. *alleiniger* Biegebeanspruchung (M_y). Für kombinierte Beanspruchung durch Längskraft und Biegung sowie für andere Stahlsorten kann die Querschnittsklasse nach Abschnitt 5.3 bestimmt werden. Bei reiner Zugbeanspruchung ergibt sich für alle Querschnitte QKL 1.

Nennhöhe →		80		100		120		140	
Profilreihe →		IPEa	IPE	IPEa	IPE	IPEa	IPE	IPEa	IPE
h	mm	78	80	98	100	117,6	120	137,4	140
b	mm	46	46	55	55	64	64	73	73
t_w	mm	3,3	3,8	3,6	4,1	3,8	4,4	3,8	4,7
t_f	mm	4,2	5,2	4,7	5,7	5,1	6,3	5,6	6,9
r	mm	5	5	7	7	7	7	7	7
d	mm	59,6	59,6	74,6	74,6	93,4	93,4	112	112
A	cm ²	6,38	7,64	8,78	10,3	11,0	13,2	13,4	16,4
U	m ² /m	0,325	0,328	0,397	0,400	0,472	0,475	0,547	0,551
g_k	kN/m	0,050	0,060	0,069	0,081	0,087	0,104	0,105	0,129
a	-	0,3939	0,3741	0,4112	0,3926	0,4081	0,3896	0,3895	0,3867
d/t_w	-	18,1	15,7	20,7	18,2	24,6	21,2	29,5	23,9
c/t_f	-	5,5	4,4	5,9	4,8	6,3	5,1	6,5	5,3
I_y	cm ⁴	64,4	80,1	141	171	257	318	435	541
$W_{el,y}$	cm ³	16,5	20,0	28,8	34,2	43,8	53,0	63,3	77,3
$W_{pl,y}$	cm ³	18,98	23,22	32,98	39,41	49,87	60,73	71,60	88,34
k_{My}	-	0,3542	0,3409	0,3828	0,3695	0,3638	0,3506	0,3373	0,3358
a_{vy}	-	0,6061	0,6259	0,5888	0,6074	0,5919	0,6104	0,6105	0,6133
i_y	cm	3,18	3,24	4,01	4,07	4,83	4,90	5,70	5,74
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	6,85	8,49	13,1	15,9	22,4	27,7	36,4	44,9
$W_{el,z}$	cm ³	2,98	3,69	4,77	5,79	7,00	8,65	9,98	12,3
$W_{pl,z}$	cm ³	4,692	5,818	7,537	9,146	10,98	13,58	15,52	19,25
a_{vz}	-	0,4815	0,4680	0,5054	0,4926	0,4905	0,4773	0,4639	0,4653
i_z	cm	1,04	1,05	1,22	1,24	1,42	1,45	1,65	1,65
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	0,416	0,698	0,773	1,20	1,04	1,74	1,36	2,45
$I_w / 10^3$	cm ⁶	0,0928	0,1180	0,2836	0,3514	0,7050	0,8896	1,577	1,981
k_{tor}	1/m ²	17,31	22,81	10,51	13,19	5,698	7,525	3,329	4,763
w_M	cm ²	8,49	8,60	12,8	13,0	18,0	18,2	24,1	24,3
$N_{pl,Rd}$	kN	136,2	163,3	187,6	220,5	235,6	282,2	286,1	350,9
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	4,054	4,96	7,046	8,419	10,65	12,97	15,30	18,87
$M_{el,y,Rd}$	kNm	3,527	4,280	6,154	7,307	9,351	11,31	13,52	16,52
$V_{pl,y,Rd}$	kN	47,66	59,01	63,77	77,34	80,52	99,46	100,8	124,3
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	1,002	1,243	1,610	1,954	2,345	2,901	3,316	4,112
$M_{el,z,Rd}$	kNm	0,6365	0,7885	1,019	1,237	1,495	1,847	2,132	2,629
$V_{pl,z,Rd}$	kN	37,87	44,12	54,73	62,72	66,72	77,77	76,63	94,26
QKL	$N M_y$	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		160		180			200		
Profilreihe →		IPEa	IPE	IPEa	IPE	IPEo	IPEa	IPE	IPEo
h	mm	157	160	177	180	182	197	200	202
b	mm	82	82	91	91	92	100	100	102
t_w	mm	4	5	4,3	5,3	6	4,5	5,6	6,2
t_f	mm	5,9	7,4	6,5	8	9	7	8,5	9,5
r	mm	9	9	9	9	9	12	12	12
d	mm	127	127	146	146	146	159	159	159
A	cm ²	16,2	20,1	19,6	23,9	27,1	23,5	28,5	32,0
U	m ² /m	0,619	0,623	0,694	0,698	0,705	0,764	0,768	0,779
g_k	kN/m	0,127	0,158	0,154	0,188	0,213	0,184	0,224	0,251
a	-	0,4020	0,3960	0,3957	0,3920	0,3888	0,4035	0,4032	0,3937
d/t_w	-	31,8	25,4	34,0	27,5	24,3	35,3	28,4	25,6
c/t_f	-	6,9	5,5	7,0	5,7	5,1	7,1	5,9	5,4
I_y	cm ⁴	689	869	1060	1320	1510	1590	1940	2210
$W_{el,y}$	cm ³	87,8	109	120	146	165	162	194	219
$W_{pl,y}$	cm ³	99,09	123,9	135,3	166,4	189,1	181,7	220,6	249,4
k_{My}	-	0,3593	0,3547	0,3443	0,3417	0,3389	0,3703	0,3690	0,3601
a_{vy}	-	0,5980	0,6040	0,6043	0,6080	0,6112	0,5965	0,5968	0,6063
i_y	cm	6,53	6,58	7,37	7,42	7,45	8,23	8,26	8,32
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	54,4	68,3	81,9	101	117	117	142	169
$W_{el,z}$	cm ³	13,3	16,7	18,0	22,2	25,5	23,4	28,5	33,1
$W_{pl,z}$	cm ³	20,70	26,10	27,96	34,60	39,91	36,54	44,61	51,89
a_{Vz}	-	0,4822	0,4807	0,4698	0,4698	0,4685	0,4885	0,4915	0,4834
i_z	cm	1,83	1,84	2,05	2,05	2,08	2,23	2,24	2,30
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	1,96	3,60	2,70	4,79	6,76	4,11	6,98	9,45
$I_w / 10^3$	cm ⁶	3,095	3,959	5,933	7,431	8,740	10,53	12,99	15,57
k_{tor}	l/m ²	2,448	3,512	1,755	2,486	2,981	1,507	2,073	2,341
w_M	cm ²	31,0	31,3	38,8	39,1	39,8	47,5	47,9	49,1
$N_{pl,Rd}$	kN	345,6	429,2	418,2	511,6	578,9	501,4	608,5	682,8
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	21,17	26,46	28,91	35,55	40,41	38,81	47,14	53,29
$M_{el,y,Rd}$	kNm	18,76	23,21	25,65	31,26	35,34	34,52	41,51	46,77
$V_{pl,y,Rd}$	kN	119,3	149,7	145,9	179,6	204,3	172,7	209,7	239,0
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	4,421	5,576	5,973	7,392	8,527	7,805	9,531	11,09
$M_{el,z,Rd}$	kNm	2,836	3,560	3,845	4,735	5,447	5,006	6,083	7,074
$V_{pl,z,Rd}$	kN	96,22	119,1	113,4	138,8	156,6	141,4	172,7	190,6
QKL	$N M_y$	1 1	1 1	2 1	1 1	1 1	2 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		220			240			270	
Profilreihe →		IPEa	IPE	IPEo	IPEa	IPE	IPEo	IPEa	IPE
h	mm	217	220	222	237	240	242	267	270
b	mm	110	110	112	120	120	122	135	135
t_w	mm	5	5,9	6,6	5,2	6,2	7	5,5	6,6
t_f	mm	7,7	9,2	10,2	8,3	9,8	10,8	8,7	10,2
r	mm	12	12	12	15	15	15	15	15
d	mm	178	178	178	190	190	190	220	220
A	cm ²	28,3	33,4	37,4	33,3	39,1	43,7	39,1	45,9
U	m ² /m	0,843	0,848	0,858	0,918	0,922	0,932	1,04	1,04
g_k	kN/m	0,222	0,262	0,294	0,262	0,307	0,343	0,307	0,361
a	-	0,4005	0,3935	0,3889	0,4020	0,3987	0,3971	0,4000	0,4006
d/t_w	-	35,5	30,1	26,9	36,6	30,7	27,2	39,9	33,3
c/t_f	-	7,1	6,0	5,5	7,2	6,1	5,6	7,8	6,6
I_y	cm ⁴	2320	2770	3130	3290	3890	4370	4920	5790
$W_{el,y}$	cm ³	214	252	282	278	324	361	368	429
$W_{pl,y}$	cm ³	240,2	285,4	321,1	311,6	366,6	410,3	412,5	484,0
k_{My}	-	0,3575	0,3519	0,3470	0,3742	0,3706	0,3675	0,3596	0,3591
a_{vy}	-	0,5995	0,6065	0,6111	0,5980	0,6013	0,6029	0,6000	0,5994
i_y	cm	9,05	9,11	9,16	9,94	9,97	10,0	11,2	11,2
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	171	205	240	240	284	329	358	420
$W_{el,z}$	cm ³	31,2	37,3	42,8	40,0	47,3	53,9	53,0	62,2
$W_{pl,z}$	cm ³	48,49	58,11	66,91	62,40	73,92	84,40	82,34	96,95
a_{vz}	-	0,4795	0,4759	0,4724	0,4897	0,4894	0,4886	0,4789	0,4818
i_z	cm	2,46	2,48	2,53	2,68	2,69	2,74	3,02	3,02
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	5,69	9,07	12,3	8,35	12,9	17,2	10,3	15,9
$I_w / 10^3$	cm ⁶	18,71	22,67	26,79	31,26	37,39	43,68	59,51	70,58
k_{tor}	1/m ²	1,173	1,542	1,767	1,031	1,329	1,517	0,6675	0,8714
w_M	cm ²	57,6	58,0	59,3	68,6	69,1	70,5	87,2	87,7
$N_{pl,Rd}$	kN	603,7	712,9	798,8	711,7	835,7	933,8	836,4	981,6
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	51,32	60,97	68,61	66,56	78,33	87,65	88,12	103,4
$M_{el,y,Rd}$	kNm	45,61	53,83	60,32	59,32	69,28	77,14	78,69	91,62
$V_{pl,y,Rd}$	kN	208,9	249,6	281,8	245,7	290,1	325,0	289,7	339,7
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	10,36	12,41	14,29	13,33	15,79	18,03	17,59	20,71
$M_{el,z,Rd}$	kNm	6,658	7,958	9,149	8,550	10,10	11,51	11,33	13,29
$V_{pl,z,Rd}$	kN	167,1	195,9	217,9	201,2	236,1	263,4	231,2	273,1
QKL	$N M_y$	2 1	1 1	1 1	2 1	1 1	1 1	3 1	2 1

Nennhöhe →		270	300			330		
Profilreihe →		IPEo	IPEa	IPE	IPEo	IPEa	IPE	IPEo
h	mm	274	297	300	304	327	330	334
b	mm	136	150	150	152	160	160	162
t_w	mm	7,5	6,1	7,1	8	6,5	7,5	8,5
t_f	mm	12,2	9,2	10,7	12,7	10	11,5	13,5
r	mm	15	15	15	15	18	18	18
d	mm	220	249	249	249	271	271	271
A	cm ²	53,8	46,5	53,8	62,8	54,7	62,6	72,6
U	m ² /m	1,05	1,16	1,16	1,17	1,25	1,25	1,27
g_k	kN/m	0,423	0,365	0,422	0,493	0,430	0,491	0,570
a	-	0,3836	0,4068	0,4035	0,3855	0,4154	0,4122	0,3977
d/t_w	-	29,3	40,8	35,0	31,1	41,7	36,1	31,9
c/t_f	-	5,6	8,2	7,0	6,0	8,0	7,0	6,0
I_y	cm ⁴	6950	7170	8360	9990	10230	11770	13910
$W_{el,y}$	cm ³	507	483	557	658	626	713	833
$W_{pl,y}$	cm ³	574,6	541,8	628,4	743,8	701,9	804,3	942,8
k_{My}	-	0,3459	0,3537	0,3507	0,3364	0,3719	0,3687	0,3565
a_{vy}	-	0,6164	0,5932	0,5965	0,6145	0,5846	0,5878	0,6023
i_y	cm	11,4	12,4	12,5	12,6	13,7	13,7	13,8
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	513	519	604	746	685	788	960
$W_{el,z}$	cm ³	75,5	69,2	80,5	98,1	85,6	98,5	119
$W_{pl,z}$	cm ³	117,7	107,3	125,2	152,6	133,3	153,7	185,0
a_{Vz}	-	0,4686	0,4782	0,4772	0,4623	0,4930	0,4921	0,4804
i_z	cm	3,09	3,34	3,35	3,45	3,54	3,55	3,64
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	24,9	13,4	20,1	31,1	19,6	28,1	42,2
$I_w / 10^3$	cm ⁶	87,64	107,2	125,9	157,7	171,5	199,1	245,7
k_{tor}	1/m ²	1,096	0,4836	0,6162	0,7597	0,4402	0,5453	0,6619
w_M	cm ²	89,0	108	108	111	127	127	130
$N_{pl,Rd}$	kN	1150	994,0	1150	1342	1169	1337	1551
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	122,8	115,7	134,2	158,9	150	171,8	201,4
$M_{el,y,Rd}$	kNm	108,3	103,2	119,0	140,5	133,7	152,4	177,9
$V_{pl,y,Rd}$	kN	409,3	340,4	395,9	476,2	394,7	453,9	539,5
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	25,15	22,93	26,75	32,60	28,47	32,83	39,52
$M_{el,z,Rd}$	kNm	16,13	14,78	17,20	20,96	18,30	21,05	25,33
$V_{pl,z,Rd}$	kN	311,2	274,4	316,8	358,3	332,9	380,0	430,3
QKL	$N M_y$	1 1	3 1	2 1	1 1	3 1	2 1	1 1

Nennhöhe →		360			400			
Profilreihe →		IPEa	IPE	IPEo	IPEa	IPE	IPEo	IPEv
h	mm	357,6	360	364	397	400	404	408
b	mm	170	170	172	180	180	182	182
t_w	mm	6,6	8	9,2	7	8,6	9,7	10,6
t_f	mm	11,5	12,7	14,7	12	13,5	15,5	17,5
r	mm	18	18	18	21	21	21	21
d	mm	299	299	299	331	331	331	331
A	cm ²	64,0	72,7	84,1	73,1	84,5	96,4	107
U	m ² /m	1,35	1,35	1,37	1,46	1,47	1,48	1,49
g_k	kN/m	0,502	0,571	0,660	0,574	0,663	0,757	0,840
a	-	0,3887	0,4063	0,3989	0,4090	0,4246	0,4146	0,4048
d/t_w	-	45,2	37,3	32,5	47,3	38,5	34,1	31,2
c/t_f	-	7,4	6,7	5,9	7,5	6,7	5,9	5,2
I_y	cm ⁴	14520	16270	19050	20290	23130	26750	30140
$W_{el,y}$	cm ³	812	904	1050	1020	1160	1320	1480
$W_{pl,y}$	cm ³	906,8	1019	1186	1144	1307	1502	1681
k_{My}	-	0,3457	0,3577	0,3512	0,3704	0,3807	0,3720	0,3647
a_{vy}	-	0,6113	0,5937	0,6011	0,5910	0,5754	0,5854	0,5952
i_y	cm	15,1	15,0	15,0	16,7	16,5	16,7	16,8
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	944	1040	1250	1170	1320	1560	1770
$W_{el,z}$	cm ³	111	123	145	130	146	172	194
$W_{pl,z}$	cm ³	171,9	191,1	226,9	202,1	229,0	269,1	304,1
a_{vz}	-	0,4653	0,4831	0,4779	0,4894	0,5055	0,4978	0,4908
i_z	cm	3,84	3,79	3,86	4,00	3,95	4,03	4,06
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	26,5	37,3	55,8	34,8	51,1	73,1	99,0
$I_w / 10^3$	cm ⁶	282,0	313,6	380,3	432,2	490,0	587,6	670,3
k_{tor}	1/m ²	0,3625	0,4591	0,5656	0,3105	0,4020	0,4798	0,5696
w_M	cm ²	147	148	150	173	174	177	178
$N_{pl,Rd}$	kN	1367	1554	1797	1562	1804	2059	2286
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	193,7	217,7	253,4	244,4	279,3	320,9	359,2
$M_{el,y,Rd}$	kNm	173,4	193,1	223,6	218,4	247,1	282,9	315,6
$V_{pl,y,Rd}$	kN	482,3	532,6	623,7	532,8	599,4	695,9	785,7
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	36,71	40,83	48,48	43,17	48,92	57,49	64,97
$M_{el,z,Rd}$	kNm	23,73	26,23	31,08	27,79	31,28	36,72	41,47
$V_{pl,z,Rd}$	kN	367,1	433,4	495,9	441,3	526,6	591,8	647,9
QKL	$N M_y$	4 1	2 1	1 1	4 1	3 1	2 1	1 1

Nennhöhe →		450				500			
Profilreihe →		IPEa	IPE	IPEo	IPEv	IPEa	IPE	IPEo	IPEv
h	mm	447	450	456	460	497	500	506	514
b	mm	190	190	192	194	200	200	202	204
t_w	mm	7,6	9,4	11	12,4	8,4	10,2	12	14,2
t_f	mm	13,1	14,6	17,6	19,6	14,5	16	19	23
r	mm	21	21	21	21	21	21	21	21
d	mm	379	379	379	379	426	426	426	426
A	cm ²	85,5	98,8	118	132	101	116	137	164
U	m ² /m	1,60	1,61	1,62	1,64	1,74	1,74	1,76	1,78
g_k	kN/m	0,672	0,776	0,924	1,036	0,794	0,907	1,073	1,288
a	-	0,4181	0,4386	0,4256	0,4239	0,4263	0,4460	0,4385	0,4281
d/t_w	-	49,8	40,3	34,4	30,5	50,7	41,8	35,5	30,0
c/t_f	-	7,3	6,5	5,5	4,9	6,9	6,3	5,3	4,4
I_y	cm ⁴	29760	33740	40920	46200	42930	48200	57780	70720
$W_{el,y}$	cm ³	1330	1500	1790	2010	1730	1930	2280	2750
$W_{pl,y}$	cm ³	1494	1702	2046	2301	1946	2194	2613	3168
k_{My}	-	0,3702	0,3847	0,3739	0,3721	0,3702	0,3847	0,3784	0,3706
a_{vy}	-	0,5819	0,5614	0,5744	0,5761	0,5737	0,5540	0,5615	0,5719
i_y	cm	18,7	18,5	18,6	18,7	20,6	20,4	20,6	20,8
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	1500	1680	2090	2400	1940	2140	2620	3270
$W_{el,z}$	cm ³	158	176	217	247	194	214	260	321
$W_{pl,z}$	cm ³	245,7	276,4	341,0	389,1	301,6	335,9	408,5	506,6
a_{Vz}	-	0,4940	0,5145	0,5049	0,5047	0,4986	0,5183	0,5136	0,5069
i_z	cm	4,19	4,12	4,21	4,26	4,38	4,31	4,38	4,47
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	45,7	66,9	109	150	62,8	89,3	143	243
$I_w / 10^3$	cm ⁶	704,9	791,0	997,6	1156	1125	1249	1548	1961
k_{tor}	1/m ²	0,2499	0,3261	0,4216	0,4995	0,2152	0,2757	0,3576	0,4777
w_M	cm ²	206	207	210	214	241	242	246	250
$N_{pl,Rd}$	kN	1828	2111	2514	2820	2160	2468	2921	3505
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	319,2	363,6	437,2	491,7	415,7	468,7	558,2	676,8
$M_{el,y,Rd}$	kNm	284,5	320,4	383,5	429,1	369,1	411,9	487,9	587,9
$V_{pl,y,Rd}$	kN	614,0	684,3	833,6	938,0	715,4	789,4	946,8	1157
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	52,50	59,04	72,85	83,13	64,44	71,76	87,28	108,2
$M_{el,z,Rd}$	kNm	33,79	37,69	46,41	52,79	41,43	45,75	55,46	68,52
$V_{pl,z,Rd}$	kN	521,3	627,1	732,7	821,8	621,7	738,5	865,9	1026
QKL	$N M_y$	4 1	3 1	2 1	1 1	4 1	3 1	2 1	1 1

Nennhöhe →		550				600			
Profilreihe →		IPEa	IPE	IPEo	IPEv	IPEa	IPE	IPEo	IPEv
h	mm	547	550	556	566	597	600	610	618
b	mm	210	210	212	216	220	220	224	228
t_w	mm	9	11,1	12,7	17,1	9,8	12	15	18
t_f	mm	15,7	17,2	20,2	25,2	17,5	19	24	28
r	mm	24	24	24	24	24	24	24	24
d	mm	468	468	468	468	514	514	514	514
A	cm ²	117	134	156	202	137	156	197	234
U	m ² /m	1,87	1,88	1,89	1,92	2,01	2,01	2,04	2,07
g_k	kN/m	0,921	1,055	1,225	1,586	1,076	1,224	1,545	1,835
a	-	0,4378	0,4626	0,4512	0,4610	0,4380	0,4640	0,4536	0,4539
d/t_w	-	52,0	42,1	36,8	27,3	52,4	42,8	34,3	28,6
c/t_f	-	6,7	6,1	5,2	4,3	6,3	5,8	4,7	4,1
I_y	cm ⁴	59980	67120	79160	102300	82920	92080	118300	141600
$W_{el,y}$	cm ³	2190	2440	2850	3620	2780	3070	3880	4580
$W_{pl,y}$	cm ³	2475	2787	3263	4205	3141	3512	4471	5324
k_{My}	-	0,3868	0,4051	0,3957	0,4030	0,3816	0,4013	0,3924	0,3925
a_{vy}	-	0,5622	0,5374	0,5488	0,5390	0,5620	0,5360	0,5464	0,5461
i_y	cm	22,6	22,3	22,5	22,5	24,6	24,3	24,5	24,6
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	2430	2670	3220	4260	3120	3390	4520	5570
$W_{el,z}$	cm ³	232	254	304	395	283	308	404	489
$W_{pl,z}$	cm ³	361,5	400,5	480,5	632,4	442,1	485,6	640,1	780,4
a_{vz}	-	0,5141	0,5382	0,5298	0,5422	0,5119	0,5371	0,5304	0,5329
i_z	cm	4,55	4,45	4,55	4,60	4,77	4,66	4,79	4,88
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	86,5	123	188	380	119	165	318	512
$I_w / 10^3$	cm ⁶	1710	1884	2302	3095	2607	2846	3860	4813
k_{tor}	1/m ²	0,1952	0,2523	0,3142	0,4739	0,1757	0,2242	0,3179	0,4105
w_M	cm ²	279	280	284	292	319	320	328	336
$N_{pl,Rd}$	kN	2506	2872	3334	4315	2927	3332	4204	4994
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	528,7	595,4	697,2	898,3	671,1	750,4	955,2	1137
$M_{el,y,Rd}$	kNm	468,5	521,4	608,3	772,6	593,4	655,7	828,6	978,9
$V_{pl,y,Rd}$	kN	813,3	891,0	1056	1343	949,7	1031	1326	1575
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	77,23	85,57	102,7	135,1	94,44	103,8	136,7	166,7
$M_{el,z,Rd}$	kNm	49,49	54,28	64,99	84,36	60,52	65,79	86,23	104,4
$V_{pl,z,Rd}$	kN	743,7	892,3	1020	1351	865,1	1033	1287	1537
QKL	$N M_y$	4 1	4 1	2 1	1 1	4 1	4 1	2 1	1 1

Nennhöhe →		100				120			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	91	96	100	120	109	114	120	140
b	mm	100	100	100	106	120	120	120	126
t_w	mm	4,2	5	6	12	4,2	5	6,5	12,5
t_f	mm	5,5	8	10	20	5,5	8	11	21
r	mm	12	12	12	12	12	12	12	12
d	mm	56,0	56,0	56,0	56,0	74,0	74,0	74,0	74,0
A	cm ²	15,6	21,2	26,0	53,2	18,6	25,3	34,0	66,4
U	m ² /m	0,553	0,561	0,567	0,619	0,669	0,677	0,686	0,738
g_k	kN/m	0,122	0,167	0,204	0,418	0,146	0,199	0,267	0,521
a	-	0,2947	0,2466	0,2318	0,2035	0,2885	0,2422	0,2237	0,2031
d/t_w	-	13,3	11,2	9,3	4,7	17,6	14,8	11,4	5,9
c/t_f	-	9,1	6,3	5,0	2,7	10,9	7,5	5,5	3,0
I_y	cm ⁴	237	349	450	1140	413	606	864	2020
$W_{el,y}$	cm ³	52,0	72,8	89,9	190	75,8	106	144	288
$W_{pl,y}$	cm ³	58,36	83,01	104,2	235,8	84,12	119,5	165,2	350,6
k_{My}	-	0,3042	0,2693	0,2587	0,2384	0,2808	0,2474	0,2342	0,2205
a_{vy}	-	0,7053	0,7534	0,7682	0,7965	0,7115	0,7578	0,7763	0,7969
i_y	cm	3,89	4,06	4,16	4,63	4,72	4,89	5,04	5,51
KSL	⊥ y y	b	b	b	b	b	b	b	b
I_z	cm ⁴	92,1	134	167	399	159	231	318	703
$W_{el,z}$	cm ³	18,4	26,8	33,5	75,3	26,5	38,5	52,9	112
$W_{pl,z}$	cm ³	28,44	41,14	51,42	116,3	40,62	58,85	80,97	171,6
a_{Vz}	-	0,3941	0,3558	0,3471	0,3388	0,3721	0,3338	0,3223	0,3185
i_z	cm	2,43	2,51	2,53	2,74	2,93	3,02	3,06	3,25
KSL	⊥ z z	c	c	c	c	c	c	c	c
I_{tor}	cm ⁴	2,51	5,24	9,25	68,2	2,78	5,99	13,8	91,7
$I_w / 10^3$	cm ⁶	1,675	2,581	3,375	9,925	4,242	6,472	9,410	24,79
k_{tor}	l/m ²	5,786	7,825	10,57	26,51	2,527	3,572	5,673	14,26
w_M	cm ²	21,4	22,0	22,5	26,5	31	31,8	32,7	37,5
$N_{pl,Rd}$	kN	333,2	453,7	556,2	1137	396,3	541,3	726,5	1419
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	12,47	17,73	22,26	50,38	17,97	25,53	35,30	74,90
$M_{el,y,Rd}$	kNm	11,10	15,54	19,21	40,68	16,20	22,72	30,78	61,58
$V_{pl,y,Rd}$	kN	135,7	197,3	246,7	523,0	162,8	236,8	325,6	652,7
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	6,077	8,789	10,99	24,85	8,679	12,57	17,30	36,67
$M_{el,z,Rd}$	kNm	3,934	5,717	7,147	16,09	5,654	8,221	11,31	23,83
$V_{pl,z,Rd}$	kN	75,82	93,20	111,5	222,5	85,14	104,3	135,2	260,9
QKL	$N M_y$	1 1	1 1	1 1	1 1	2 2	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		140				160			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	128	133	140	160	148	152	160	180
b	mm	140	140	140	146	160	160	160	166
t_w	mm	4,3	5,5	7	13	4,5	6	8	14
t_f	mm	6	8,5	12	22	7	9	13	23
r	mm	12	12	12	12	15	15	15	15
d	mm	92,0	92,0	92,0	92,0	104	104	104	104
A	cm ²	23,0	31,4	43,0	80,6	30,4	38,8	54,3	97,1
U	m ² /m	0,787	0,794	0,805	0,857	0,901	0,906	0,918	0,970
g_k	kN/m	0,181	0,247	0,337	0,632	0,238	0,304	0,426	0,762
a	-	0,2703	0,2424	0,2178	0,2025	0,2622	0,2572	0,2332	0,2132
d/t_w	-	21,4	16,7	13,1	7,1	23,1	17,3	13,0	7,4
c/t_f	-	11,7	8,2	5,8	3,3	11,4	8,9	6,2	3,6
I_y	cm ⁴	719	1030	1510	3290	1280	1670	2490	5100
$W_{el,y}$	cm ³	112	155	216	411	173	220	311	566
$W_{pl,y}$	cm ³	123,8	173,5	245,4	493,8	190,4	245,1	354,0	674,6
k_{My}	-	0,2537	0,2330	0,2163	0,2071	0,2578	0,2515	0,2342	0,2205
a_{vy}	-	0,7297	0,7576	0,7822	0,7975	0,7378	0,7428	0,7668	0,7868
i_y	cm	5,59	5,73	5,93	6,39	6,50	6,57	6,78	7,25
KSL	⊥ y y	b	b	b	b	b	b	b	b
I_z	cm ⁴	275	389	550	1140	479	616	889	1760
$W_{el,z}$	cm ³	39,3	55,6	78,5	157	59,8	76,9	111	212
$W_{pl,z}$	cm ³	59,93	84,85	119,8	240,5	91,36	117,6	170,0	325,5
a_{vz}	-	0,3441	0,3222	0,3044	0,3036	0,3418	0,3408	0,3243	0,3175
i_z	cm	3,45	3,52	3,58	3,77	3,97	3,98	4,05	4,26
KSL	⊥ z z	c	c	c	c	c	c	c	c
I_{tor}	cm ⁴	3,54	8,13	20,1	120	6,33	12,2	31,2	162
$I_w / 10^3$	cm ⁶	10,21	15,06	22,48	54,33	23,75	31,41	47,94	108,1
k_{tor}	1/m ²	1,339	2,082	3,442	8,520	1,028	1,497	2,513	5,798
w_M	cm ²	42,7	43,6	44,8	50,4	56,4	57,2	58,8	65,2
$N_{pl,Rd}$	kN	491,9	671,2	917,7	1721	648,6	828,3	1159	2073
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	26,44	37,06	52,43	105,5	40,68	52,37	75,62	144,1
$M_{el,y,Rd}$	kNm	24,02	33,19	46,06	87,89	37,04	47,03	66,55	121,0
$V_{pl,y,Rd}$	kN	207,2	293,6	414,4	792,4	276,3	355,2	513,1	941,8
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	12,80	18,13	25,59	51,38	19,52	25,13	36,31	69,53
$M_{el,z,Rd}$	kNm	8,388	11,88	16,78	33,49	12,78	16,44	23,75	45,27
$V_{pl,z,Rd}$	kN	97,71	124,9	161,3	301,6	128,0	163,0	217,0	380,0
QKL	$N M_y$	3 3	1 1	1 1	1 1	3 3	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		180				200			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	167	171	180	200	186	190	200	220
b	mm	180	180	180	186	200	200	200	206
t_w	mm	5	6	8,5	14,5	5,5	6,5	9	15
t_f	mm	7,5	9,5	14	24	8	10	15	25
r	mm	15	15	15	15	18	18	18	18
d	mm	122	122	122	122	134	134	134	134
A	cm ²	36,5	45,3	65,3	113	44,1	53,8	78,1	131
U	m ² /m	1,02	1,02	1,04	1,09	1,13	1,14	1,15	1,20
g_k	kN/m	0,287	0,355	0,512	0,889	0,346	0,423	0,613	1,031
a	-	0,2609	0,2442	0,2276	0,2117	0,2749	0,2569	0,2316	0,2154
d/t_w	-	24,4	20,3	14,4	8,4	24,4	20,6	14,9	8,9
c/t_f	-	12,0	9,5	6,4	3,9	12,5	10,0	6,7	4,1
I_y	cm ⁴	1970	2510	3830	7480	2940	3690	5700	10640
$W_{el,y}$	cm ³	236	294	426	748	317	389	570	967
$W_{pl,y}$	cm ³	258,2	324,9	481,4	883,4	347,1	429,5	642,5	1135
k_{My}	-	0,2453	0,2324	0,2201	0,2098	0,2626	0,2484	0,2295	0,2178
a_{vy}	-	0,7391	0,7558	0,7724	0,7883	0,7251	0,7431	0,7684	0,7846
i_y	cm	7,34	7,45	7,66	8,13	8,17	8,28	8,54	9,00
KSL	⊥ y y	b	b	b	b	b	b	b	b
I_z	cm ⁴	730	925	1360	2580	1070	1340	2000	3650
$W_{el,z}$	cm ³	81,1	103	151	277	107	134	200	354
$W_{pl,z}$	cm ³	123,6	156,5	231,0	425,2	163,2	203,8	305,8	543,2
a_{Vz}	-	0,3328	0,3198	0,3102	0,3060	0,3501	0,3359	0,3180	0,3125
i_z	cm	4,47	4,52	4,57	4,77	4,92	4,98	5,07	5,27
KSL	⊥ z z	c	c	c	c	c	c	c	c
I_{tor}	cm ⁴	8,33	14,8	42,2	203	12,7	21,0	59,3	259
$I_w / 10^3$	cm ⁶	46,36	60,21	93,75	199,3	84,49	108,0	171,1	346,3
k_{tor}	l/m ²	0,6933	0,9480	1,735	3,934	0,5792	0,7495	1,336	2,890
w_M	cm ²	71,8	72,7	74,7	81,8	89,0	90,0	92,5	100
$N_{pl,Rd}$	kN	780,4	966,7	1394	2419	942,8	1150	1668	2805
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	55,17	69,40	102,9	188,7	74,14	91,75	137,3	242,5
$M_{el,y,Rd}$	kNm	50,32	62,72	90,94	159,9	67,64	83,03	121,7	206,7
$V_{pl,y,Rd}$	kN	333,0	421,8	621,6	1101	394,7	493,4	740,1	1270
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	26,40	33,43	49,35	90,84	34,86	43,54	65,33	116,1
$M_{el,z,Rd}$	kNm	17,33	21,95	32,35	59,27	22,83	28,53	42,80	75,73
$V_{pl,z,Rd}$	kN	149,9	178,5	249,7	427,4	190,6	223,0	306,3	506,1
QKL	$N M_y$	3 3	1 1	1 1	1 1	3 3	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		220				240			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	205	210	220	240	224	230	240	270
b	mm	220	220	220	226	240	240	240	248
t_w	mm	6	7	9,5	15,5	6,5	7,5	10	18
t_f	mm	8,5	11	16	26	9	12	17	32
r	mm	18	18	18	18	21	21	21	21
d	mm	152	152	152	152	164	164	164	164
A	cm ²	51,5	64,3	91,0	149	60,4	76,8	106	200
U	m ² /m	1,25	1,26	1,27	1,32	1,36	1,37	1,38	1,46
g_k	kN/m	0,404	0,505	0,715	1,173	0,474	0,603	0,832	1,567
a	-	0,2732	0,2478	0,2267	0,2136	0,2845	0,2503	0,2301	0,2048
d/t_w	-	25,3	21,7	16,0	9,8	25,2	21,9	16,4	9,1
c/t_f	-	12,9	10,0	6,9	4,3	13,3	10,0	7,1	3,9
I_y	cm ⁴	4170	5410	8090	14600	5840	7760	11260	24290
$W_{el,y}$	cm ³	407	515	736	1220	521	675	938	1800
$W_{pl,y}$	cm ³	445,5	568,5	827,0	1419	570,6	744,6	1053	2117
k_{My}	-	0,2522	0,2333	0,2180	0,2089	0,2666	0,2414	0,2261	0,2085
a_{vy}	-	0,7268	0,7522	0,7733	0,7864	0,7155	0,7497	0,7699	0,7952
i_y	cm	9,00	9,17	9,43	9,89	9,83	10,1	10,3	11,0
KSL	⊥ y y	b	b	b	b	b	b	b	b
I_z	cm ⁴	1510	1950	2840	5010	2080	2770	3920	8150
$W_{el,z}$	cm ³	137	178	258	444	173	231	327	657
$W_{pl,z}$	cm ³	209,3	270,6	393,9	678,6	264,4	351,7	498,4	1006
a_{vz}	-	0,3426	0,3213	0,3067	0,3032	0,3568	0,3277	0,3135	0,3010
i_z	cm	5,42	5,51	5,59	5,79	5,87	6,00	6,08	6,39
KSL	⊥ z z	c	c	c	c	c	c	c	c
I_{tor}	cm ⁴	15,9	28,5	76,6	315	23,0	41,6	103	628
$I_w / 10^3$	cm ⁶	145,6	193,3	295,4	572,7	239,6	328,5	486,9	1152
k_{tor}	1/m ²	0,4219	0,5680	0,9997	2,123	0,3699	0,4879	0,8134	2,102
w_M	cm ²	108	109	112	121	129	131	134	148
$N_{pl,Rd}$	kN	1099	1375	1945	3193	1290	1641	2264	4264
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	95,17	121,4	176,7	303,2	121,9	159,1	225,0	452,3
$M_{el,y,Rd}$	kNm	86,92	110,1	157,1	260,0	111,3	144,2	200,4	384,4
$V_{pl,y,Rd}$	kN	461,3	597,0	868,3	1450	532,8	710,5	1006	1958
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	44,72	57,81	84,15	145,0	56,48	75,13	106,5	214,9
$M_{el,z,Rd}$	kNm	29,34	37,96	55,22	94,76	36,98	49,29	69,84	140,5
$V_{pl,z,Rd}$	kN	217,5	255,0	344,4	558,9	265,7	310,5	409,8	740,9
QKL	$N M_y$	3 3	1 1	1 1	1 1	3 3	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		260				280			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	244	250	260	290	264	270	280	310
b	mm	260	260	260	268	280	280	280	288
t_w	mm	6,5	7,5	10	18	7	8	10,5	18,5
t_f	mm	9,5	12,5	17,5	32,5	10	13	18	33
r	mm	24	24	24	24	24	24	24	24
d	mm	177	177	177	177	196	196	196	196
A	cm ²	69,0	86,8	118	220	78,0	97,3	131	240
U	m ² /m	1,47	1,48	1,50	1,57	1,59	1,60	1,62	1,69
g_k	kN/m	0,541	0,682	0,930	1,724	0,612	0,764	1,031	1,885
a	-	0,2837	0,2513	0,2317	0,2069	0,2823	0,2515	0,2327	0,2085
d/t_w	-	27,2	23,6	17,7	9,8	28,0	24,5	18,7	10,6
c/t_f	-	13,7	10,4	7,4	4,1	14,0	10,8	7,8	4,4
I_y	cm ⁴	7980	10450	14920	31310	10560	13670	19270	39550
$W_{el,y}$	cm ³	654	836	1150	2160	800	1010	1380	2550
$W_{pl,y}$	cm ³	714,5	919,8	1283	2524	873,1	1112	1534	2966
k_{My}	-	0,2725	0,2480	0,2324	0,2138	0,2638	0,2409	0,2262	0,2087
a_{vy}	-	0,7163	0,7487	0,7683	0,7931	0,7177	0,7485	0,7673	0,7915
i_y	cm	10,8	11,0	11,2	11,9	11,6	11,9	12,1	12,8
KSL	⊥ y y	b	b	b	b	b	b	b	b
I_z	cm ⁴	2790	3670	5130	10450	3660	4760	6590	13160
$W_{el,z}$	cm ³	214	282	395	780	262	340	471	914
$W_{pl,z}$	cm ³	327,7	430,2	602,2	1192	399,4	518,1	717,6	1397
a_{Vz}	-	0,3588	0,3312	0,3174	0,3046	0,3528	0,3264	0,3128	0,2999
i_z	cm	6,36	6,50	6,58	6,90	6,85	7,00	7,09	7,40
KSL	⊥ z z	c	c	c	c	c	c	c	c
I_{tor}	cm ⁴	30,3	52,4	124	719	36,2	62,1	144	807
$I_w / 10^3$	cm ⁶	382,6	516,4	753,7	1728	590,1	785,4	1130	2520
k_{tor}	l/m ²	0,3056	0,3912	0,6335	1,605	0,2368	0,3050	0,4905	1,236
w_M	cm ²	152	154	158	173	178	180	183	199
$N_{pl,Rd}$	kN	1473	1855	2530	4692	1667	2078	2806	5131
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	152,6	196,5	274,1	539,1	186,5	237,6	327,8	633,6
$M_{el,y,Rd}$	kNm	139,7	178,7	245,2	461,3	170,9	216,4	294,1	545,1
$V_{pl,y,Rd}$	kN	609,3	801,7	1122	2149	690,7	897,9	1243	2345
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	70,02	91,90	128,7	254,8	85,32	110,7	153,3	298,4
$M_{el,z,Rd}$	kNm	45,82	60,27	84,38	166,6	55,92	72,68	100,6	195,3
$V_{pl,z,Rd}$	kN	305,2	354,7	463,7	825,1	339,5	391,5	506,9	888,4
QKL	$N M_y$	3 3	2 2	1 1	1 1	3 3	2 2	1 1	1 1

Nennhöhe →		300				320			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	283	290	300	340	301	310	320	359
b	mm	300	300	300	310	300	300	300	309
t_w	mm	7,5	8,5	11	21	8	9	11,5	21
t_f	mm	10,5	14	19	39	11	15,5	20,5	40
r	mm	27	27	27	27	27	27	27	27
d	mm	208	208	208	208	225	225	225	225
A	cm ²	88,9	113	149	303	94,6	124	161	312
U	m ² /m	1,70	1,72	1,73	1,83	1,74	1,76	1,77	1,87
g_k	kN/m	0,698	0,883	1,170	2,379	0,742	0,976	1,267	2,450
a	-	0,2914	0,2535	0,2353	0,2022	0,3022	0,2522	0,2376	0,2078
d/t_w	-	27,7	24,5	18,9	9,9	28,1	25,0	19,6	10,7
c/t_f	-	14,3	10,7	7,9	4,0	13,6	9,7	7,3	3,9
I_y	cm ⁴	13800	18260	25170	59200	16450	22930	30820	68130
$W_{el,y}$	cm ³	976	1260	1680	3480	1090	1480	1930	3800
$W_{pl,y}$	cm ³	1065	1383	1869	4078	1196	1628	2149	4435
k_{My}	-	0,2752	0,2471	0,2326	0,2085	0,2811	0,2449	0,2333	0,2121
a_{vy}	-	0,7086	0,7465	0,7647	0,7978	0,6978	0,7478	0,7624	0,7922
i_y	cm	12,5	12,7	13,0	14,0	13,2	13,6	13,8	14,8
KSL	⊥ y y	b	b	b	b	b	b	b	b
I_z	cm ⁴	4730	6310	8560	19400	4960	6990	9240	19710
$W_{el,z}$	cm ³	316	421	571	1250	331	466	616	1280
$W_{pl,z}$	cm ³	482,3	641,2	870,1	1913	505,7	709,7	939,1	1951
a_{vz}	-	0,3640	0,3313	0,3181	0,2987	0,3743	0,3307	0,3209	0,3040
i_z	cm	7,30	7,49	7,58	8,00	7,24	7,49	7,57	7,95
KSL	⊥ z z	c	c	c	c	c	c	c	c
I_{tor}	cm ⁴	49,3	85,2	185	1410	55,9	108	225	1500
$I_w / 10^3$	cm ⁶	877,2	1200	1688	4386	1041	1512	2069	5004
k_{tor}	1/m ²	0,2170	0,2738	0,4229	1,238	0,2071	0,2754	0,4196	1,157
w_M	cm ²	204	207	211	233	218	221	225	246
$N_{pl,Rd}$	kN	1899	2404	3185	6475	2021	2657	3447	6666
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	227,6	295,5	399,2	871,1	255,6	347,8	459,2	947,5
$M_{el,y,Rd}$	kNm	208,4	269,1	358,4	744,0	233,5	316,0	411,6	810,9
$V_{pl,y,Rd}$	kN	777,1	1036	1406	2982	814,1	1147	1517	3049
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	103,0	137,0	185,9	408,7	108,0	151,6	200,6	416,7
$M_{el,z,Rd}$	kNm	67,42	89,86	122,0	267,4	70,63	99,49	131,6	272,5
$V_{pl,z,Rd}$	kN	399,2	459,8	585,0	1117	436,6	507,3	638,5	1170
QKL	$N M_y$	3 3	2 2	1 1	1 1	3 3	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		340				360			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	320	330	340	377	339	350	360	395
b	mm	300	300	300	309	300	300	300	308
t_w	mm	8,5	9,5	12	21	9	10	12,5	21
t_f	mm	11,5	16,5	21,5	40	12	17,5	22,5	40
r	mm	27	27	27	27	27	27	27	27
d	mm	243	243	243	243	261	261	261	261
A	cm ²	101	133	171	316	107	143	181	319
U	m ² /m	1,78	1,79	1,81	1,90	1,81	1,83	1,85	1,93
g_k	kN/m	0,789	1,048	1,342	2,479	0,837	1,121	1,418	2,503
a	-	0,3135	0,2583	0,2452	0,2173	0,3246	0,2645	0,2526	0,2271
d/t_w	-	28,6	25,6	20,3	11,6	29,0	26,1	20,9	12,4
c/t_f	-	13,0	9,1	7,0	3,9	12,5	8,6	6,7	3,9
I_y	cm ⁴	19550	27690	36660	76370	23040	33090	43190	84870
$W_{el,y}$	cm ³	1220	1680	2160	4050	1360	1890	2400	4300
$W_{pl,y}$	cm ³	1341	1850	2408	4718	1495	2088	2683	4989
k_{My}	-	0,2874	0,2478	0,2376	0,2179	0,2939	0,2510	0,2419	0,2241
a_{vy}	-	0,6865	0,7417	0,7548	0,7827	0,6754	0,7355	0,7474	0,7729
i_y	cm	13,9	14,4	14,6	15,6	14,7	15,2	15,5	16,3
KSL	⊥ y y	b	b	b	a	b	b	b	a
I_z	cm ⁴	5180	7440	9690	19710	5410	7890	10140	19520
$W_{el,z}$	cm ³	346	496	646	1280	361	526	676	1270
$W_{pl,z}$	cm ³	529,3	755,9	985,7	1953	553,0	802,3	1032	1942
a_{Vz}	-	0,3850	0,3368	0,3282	0,3123	0,3955	0,3429	0,3355	0,3212
i_z	cm	7,18	7,46	7,53	7,90	7,12	7,43	7,49	7,83
KSL	⊥ z z	c	c	c	b	c	c	c	b
I_{tor}	cm ⁴	63,1	127	257	1510	71,0	149	292	1510
$I_w / 10^3$	cm ⁶	1231	1824	2454	5584	1444	2177	2883	6137
k_{tor}	1/m ²	0,1976	0,2689	0,4043	1,040	0,1897	0,2637	0,3912	0,9474
w_M	cm ²	231	235	239	260	245	249	253	273
$N_{pl,Rd}$	kN	2147	2851	3651	6747	2278	3050	3859	6811
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	286,5	395,3	514,5	1008	319,4	446,2	573,2	1066
$M_{el,y,Rd}$	kNm	261,1	358,6	460,7	865,6	290,4	404,0	512,6	918,0
$V_{pl,y,Rd}$	kN	851,1	1221	1591	3049	888,1	1295	1665	3039
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	113,1	161,5	210,6	417,2	118,1	171,4	220,6	415,0
$M_{el,z,Rd}$	kNm	73,84	105,9	138,0	272,6	77,06	112,3	144,4	270,8
$V_{pl,z,Rd}$	kN	477,2	554,4	691,8	1217	520,1	603,9	747,4	1263
QKL	$N M_y$	3 3	1 1	1 1	1 1	3 3	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		400				450			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	378	390	400	432	425	440	450	478
b	mm	300	300	300	307	300	300	300	307
t_w	mm	9,5	11	13,5	21	10	11,5	14	21
t_f	mm	13	19	24	40	13,5	21	26	40
r	mm	27	27	27	27	27	27	27	27
d	mm	298	298	298	298	344	344	344	344
A	cm ²	118	159	198	326	127	178	218	335
U	m ² /m	1,89	1,91	1,93	2,00	1,98	2,01	2,03	2,10
g_k	kN/m	0,924	1,248	1,553	2,557	0,997	1,398	1,711	2,633
a	-	0,3373	0,2829	0,2719	0,2461	0,3625	0,2922	0,2843	0,2678
d/t_w	-	31,4	27,1	22,1	14,2	34,4	29,9	24,6	16,4
c/t_f	-	11,5	7,9	6,3	3,8	11,1	7,1	5,8	3,8
I_y	cm ⁴	31250	45070	57680	104100	41890	63720	79890	131500
$W_{el,y}$	cm ³	1650	2310	2880	4820	1970	2900	3550	5500
$W_{pl,y}$	cm ³	1824	2562	3232	5571	2183	3216	3982	6331
k_{My}	-	0,3007	0,2617	0,2535	0,2360	0,3168	0,2665	0,2608	0,2495
a_{vy}	-	0,6627	0,7171	0,7281	0,7539	0,6375	0,7078	0,7157	0,7322
i_y	cm	16,3	16,8	17,1	17,9	18,2	18,9	19,1	19,8
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	5860	8560	10820	19340	6090	9470	11720	19340
$W_{el,z}$	cm ³	391	571	721	1260	406	631	781	1260
$W_{pl,z}$	cm ³	599,7	872,9	1104	1934	624,4	965,5	1198	1939
a_{vz}	-	0,4074	0,3606	0,3538	0,3382	0,4305	0,3695	0,3654	0,3573
i_z	cm	7,06	7,34	7,40	7,70	6,92	7,29	7,33	7,59
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	84,7	189	356	1510	95,6	244	440	1530
$I_w / 10^3$	cm ⁶	1948	2942	3817	7410	2572	4148	5258	9251
k_{tor}	1/m ²	0,1677	0,2478	0,3595	0,7884	0,1434	0,2267	0,3231	0,6374
w_M	cm ²	274	278	282	301	309	314	318	336
$N_{pl,Rd}$	kN	2514	3396	4225	6960	2714	3803	4657	7166
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	389,7	547,3	690,4	1190	466,4	687,0	850,8	1353
$M_{el,y,Rd}$	kNm	353,3	493,8	616,1	1030	421,1	618,8	758,5	1175
$V_{pl,y,Rd}$	kN	962,1	1406	1776	3029	999,1	1554	1924	3029
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	128,1	186,5	235,9	413,2	133,4	206,3	255,9	414,3
$M_{el,z,Rd}$	kNm	83,48	122,0	154,1	269,1	86,70	134,8	166,9	269,2
$V_{pl,z,Rd}$	kN	591,5	707,1	863,1	1359	674,7	811,4	982,5	1478
QKL	$N M_y$	3 3	1 1	1 1	1 1	3 3	1 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		500				550			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	472	490	500	524	522	540	550	572
b	mm	300	300	300	306	300	300	300	306
t_w	mm	10,5	12	14,5	21	11,5	12,5	15	21
t_f	mm	14	23	28	40	15	24	29	40
r	mm	27	27	27	27	27	27	27	27
d	mm	390	390	390	390	438	438	438	438
A	cm ²	137	198	239	344	153	212	254	354
U	m ² /m	2,08	2,11	2,12	2,18	2,17	2,21	2,22	2,28
g_k	kN/m	1,074	1,551	1,873	2,703	1,200	1,662	1,994	2,782
a	-	0,3863	0,3014	0,2960	0,2890	0,4111	0,3200	0,3151	0,3092
d/t_w	-	37,1	32,5	26,9	18,6	38,1	35,0	29,2	20,9
c/t_f	-	10,7	6,5	5,4	3,8	10,0	6,3	5,2	3,8
I_y	cm ⁴	54640	86970	107200	161900	72870	111900	136700	198000
$W_{el,y}$	cm ³	2320	3550	4290	6180	2790	4150	4970	6920
$W_{pl,y}$	cm ³	2576	3949	4815	7094	3128	4622	5591	7933
k_{My}	-	0,3324	0,2715	0,2677	0,2630	0,3490	0,2832	0,2799	0,2759
a_{vy}	-	0,6137	0,6986	0,7040	0,7110	0,5889	0,6800	0,6849	0,6908
i_y	cm	20,0	21,0	21,2	21,7	21,8	23,0	23,2	23,6
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	6310	10370	12620	19150	6770	10820	13080	19160
$W_{el,z}$	cm ³	421	691	842	1250	451	721	872	1250
$W_{pl,z}$	cm ³	649,3	1059	1292	1932	698,6	1107	1341	1937
a_{Vz}	-	0,4523	0,3782	0,3764	0,3761	0,4754	0,3953	0,3939	0,3939
i_z	cm	6,79	7,24	7,27	7,46	6,65	7,15	7,17	7,35
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	108	309	538	1540	134	352	600	1550
$I_w / 10^3$	cm ⁶	3304	5643	7018	11190	4338	7189	8856	13520
k_{tor}	l/m ²	0,1258	0,2114	0,2959	0,5305	0,1189	0,1886	0,2615	0,4434
w_M	cm ²	344	350	354	370	380	387	391	407
$N_{pl,Rd}$	kN	2924	4220	5098	7355	3265	4524	5428	7571
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	550,4	843,6	1029	1516	668,2	987,4	1194	1695
$M_{el,y,Rd}$	kNm	494,7	758,4	915,9	1320	596,5	885,7	1062	1479
$V_{pl,y,Rd}$	kN	1036	1702	2072	3019	1110	1776	2146	3019
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	138,7	226,1	275,9	412,7	149,3	236,5	286,5	413,9
$M_{el,z,Rd}$	kNm	89,92	147,7	179,8	267,5	96,37	154,1	186,2	267,5
$V_{pl,z,Rd}$	kN	763,6	921,6	1108	1597	896,2	1033	1234	1722
QKL	$N M_y$	2 2	1 1	1 1	1 1	3 1	2 1	1 1	1 1

Nennhöhe →		600				650			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	571	590	600	620	620	640	650	668
b	mm	300	300	300	305	300	300	300	305
t_w	mm	12	13	15,5	21	12,5	13,5	16	21
t_f	mm	15,5	25	30	40	16	26	31	40
r	mm	27	27	27	27	27	27	27	27
d	mm	486	486	486	486	534	534	534	534
A	cm ²	164	226	270	364	176	242	286	374
U	m ² /m	2,27	2,31	2,32	2,37	2,37	2,41	2,42	2,47
g_k	kN/m	1,288	1,778	2,119	2,855	1,380	1,897	2,248	2,934
a	-	0,4331	0,3376	0,3332	0,3290	0,4538	0,3544	0,3504	0,3471
d/t_w	-	40,5	37,4	31,4	23,1	42,7	39,6	33,4	25,4
c/t_f	-	9,7	6,0	5,0	3,8	9,4	5,8	4,8	3,8
I_y	cm ⁴	91870	141200	171000	237400	113900	175200	210600	281700
$W_{el,y}$	cm ³	3220	4790	5700	7660	3680	5470	6480	8430
$W_{pl,y}$	cm ³	3623	5350	6425	8772	4160	6136	7320	9657
k_{My}	-	0,3644	0,2945	0,2916	0,2891	0,3793	0,3055	0,3030	0,3011
a_{vy}	-	0,5669	0,6624	0,6668	0,6710	0,5462	0,6456	0,6496	0,6529
i_y	cm	23,7	25,0	25,2	25,6	25,5	26,9	27,1	27,5
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	6990	11270	13530	18980	7220	11720	13980	18980
$W_{el,z}$	cm ³	466	751	902	1240	481	782	932	1240
$W_{pl,z}$	cm ³	724,5	1156	1391	1930	750,7	1205	1441	1936
a_{vz}	-	0,4955	0,4116	0,4105	0,4115	0,5143	0,4270	0,4262	0,4274
i_z	cm	6,53	7,05	7,08	7,22	6,41	6,97	6,99	7,13
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	150	398	667	1560	168	448	739	1580
$I_w / 10^3$	cm ⁶	5381	8978	10970	15910	6567	11030	13360	18650
k_{tor}	1/m ²	0,1074	0,1709	0,2347	0,3792	0,0984	0,1568	0,2134	0,3266
w_M	cm ²	417	424	428	442	453	460	464	479
$N_{pl,Rd}$	kN	3505	4838	5767	7769	3755	5162	6117	7984
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	774,0	1143	1373	1874	888,7	1311	1564	2063
$M_{el,y,Rd}$	kNm	687,5	1023	1218	1636	785,2	1170	1384	1802
$V_{pl,y,Rd}$	kN	1147	1850	2220	3010	1184	1924	2294	3010
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	154,8	246,9	297,2	412,4	160,4	257,4	307,9	413,5
$M_{el,z,Rd}$	kNm	99,60	160,5	192,7	265,8	102,8	167,0	199,2	265,9
$V_{pl,z,Rd}$	kN	1003	1150	1367	1846	1115	1273	1505	1970
QKL	$N M_y$	3 1	2 1	1 1	1 1	4 1	3 1	2 1	1 1

Nennhöhe →		700				800			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	670	690	700	716	770	790	800	814
b	mm	300	300	300	304	300	300	300	303
t_w	mm	13	14,5	17	21	14	15	17,5	21
t_f	mm	17	27	32	40	18	28	33	40
r	mm	27	27	27	27	30	30	30	30
d	mm	582	582	582	582	674	674	674	674
A	cm ²	191	260	306	383	218	286	334	404
U	m ² /m	2,47	2,50	2,52	2,56	2,66	2,70	2,71	2,75
g_k	kN/m	1,499	2,045	2,405	3,007	1,715	2,244	2,623	3,173
a	-	0,4658	0,3781	0,3733	0,3650	0,5057	0,4122	0,4075	0,4004
d/t_w	-	44,8	40,1	34,2	27,7	48,1	44,9	38,5	32,1
c/t_f	-	8,8	5,6	4,7	3,8	8,3	5,4	4,5	3,8
I_y	cm ⁴	142700	215300	256900	329300	208900	303400	359100	442600
$W_{el,y}$	cm ³	4260	6240	7340	9200	5430	7680	8980	10870
$W_{pl,y}$	cm ³	4840	7032	8327	10540	6225	8699	10230	12490
k_{My}	-	0,3878	0,3217	0,3188	0,3134	0,4271	0,3545	0,3515	0,3466
a_{vy}	-	0,5342	0,6219	0,6267	0,6350	0,4943	0,5878	0,5925	0,5996
i_y	cm	27,3	28,8	29,0	29,3	30,9	32,6	32,8	33,1
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	7670	12180	14440	18800	8130	12640	14900	18630
$W_{el,z}$	cm ³	512	812	963	1240	542	843	994	1230
$W_{pl,z}$	cm ³	799,7	1257	1495	1929	856,6	1312	1553	1930
a_{Vz}	-	0,5254	0,4491	0,4475	0,4434	0,5667	0,4857	0,4840	0,4805
i_z	cm	6,34	6,84	6,87	7,01	6,10	6,65	6,68	6,79
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	195	514	831	1590	257	597	946	1650
$I_w / 10^3$	cm ⁶	8155	13350	16060	21400	11450	18290	21840	27780
k_{tor}	l/m ²	0,0923	0,1485	0,1995	0,2865	0,0865	0,1259	0,1671	0,2285
w_M	cm ²	490	497	501	514	564	572	575	586
$N_{pl,Rd}$	kN	4079	5565	6545	8183	4668	6106	7139	8637
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	1034	1502	1779	2252	1330	1859	2185	2668
$M_{el,y,Rd}$	kNm	910,2	1333	1568	1965	1159	1641	1918	2323
$V_{pl,y,Rd}$	kN	1258	1998	2368	3000	1332	2072	2442	2990
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	170,8	268,5	319,4	412,1	183,0	280,3	331,8	412,4
$M_{el,z,Rd}$	kNm	109,3	173,5	205,7	264,2	115,8	180,0	212,3	262,7
$V_{pl,z,Rd}$	kN	1237	1443	1691	2095	1527	1712	1995	2396
QKL	$N M_y$	4 1	3 1	2 1	1 1	4 1	4 1	3 1	1 1

Nennhöhe →		900				1000			
Profilreihe →		HEAA	HEA	HEB	HEM	HEAA	HEA	HEB	HEM
h	mm	870	890	900	910	970	990	1000	1008
b	mm	300	300	300	302	300	300	300	302
t_w	mm	15	16	18,5	21	16	16,5	19	21
t_f	mm	20	30	35	40	21	31	36	40
r	mm	30	30	30	30	30	30	30	30
d	mm	770	770	770	770	868	868	868	868
A	cm ²	252	321	371	424	282	347	400	444
U	m ² /m	2,86	2,90	2,91	2,93	3,06	3,10	3,11	3,13
g_k	kN/m	1,980	2,516	2,915	3,325	2,215	2,723	3,140	3,487
a	-	0,5242	0,4384	0,4344	0,4297	0,5535	0,4637	0,4601	0,4561
d/t_w	-	51,3	48,1	41,6	36,7	54,3	52,6	45,7	41,3
c/t_f	-	7,5	5,0	4,3	3,8	7,1	4,8	4,2	3,8
I_y	cm ⁴	301100	422100	494100	570400	406500	553800	644700	722300
$W_{el,y}$	cm ³	6920	9480	10980	12540	8380	11190	12890	14330
$W_{pl,y}$	cm ³	7999	10810	12580	14440	9777	12820	14860	16570
k_{My}	-	0,4412	0,3732	0,3708	0,3676	0,4651	0,3918	0,3897	0,3869
a_{vy}	-	0,4758	0,5616	0,5656	0,5703	0,4465	0,5363	0,5399	0,5439
i_y	cm	34,6	36,3	36,5	36,7	38,0	40,0	40,1	40,3
KSL	⊥ y y	a	a	a	a	a	a	a	a
I_z	cm ⁴	9040	13550	15820	18450	9500	14000	16280	18460
$W_{el,z}$	cm ³	603	903	1050	1220	633	934	1090	1220
$W_{pl,z}$	cm ³	957,7	1414	1658	1929	1016	1470	1716	1940
a_{vz}	-	0,5837	0,5096	0,5084	0,5062	0,6101	0,5321	0,5312	0,5290
i_z	cm	5,99	6,50	6,53	6,60	5,80	6,35	6,38	6,45
KSL	⊥ z z	b	b	b	b	b	b	b	b
I_{tor}	cm ⁴	335	737	1140	1670	403	822	1250	1700
$I_w / 10^3$	cm ⁶	16260	24960	29460	34750	21280	32070	37640	43020
k_{tor}	1/m ²	0,0795	0,1138	0,1489	0,1855	0,0731	0,0989	0,1286	0,1526
w_M	cm ²	638	645	649	657	712	719	723	731
$N_{pl,Rd}$	kN	5388	6848	7932	9050	6029	7410	8546	9490
$M_{pl,y,Rd}$	kNm	1709	2310	2688	3085	2089	2740	3174	3540
$M_{el,y,Rd}$	kNm	1479	2026	2346	2678	1790	2390	2755	3062
$V_{pl,y,Rd}$	kN	1480	2220	2590	2980	1554	2294	2664	2980
$M_{pl,z,Rd}$	kNm	204,6	302,2	354,3	412,1	217,0	314,0	366,7	414,4
$M_{el,z,Rd}$	kNm	128,8	192,9	225,3	261,1	135,3	199,5	231,8	261,2
$V_{pl,z,Rd}$	kN	1816	2015	2328	2645	2124	2276	2621	2899
QKL	$N M_y$	4 1	4 1	3 1	2 1	4 1	4 1	4 1	3 1