

DIN 18800-2

DIN

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für
DIN 18800-2:1990-11 und
DIN 18800-2/A1:1996-02**Stahlbauten –
Teil 2: Stabilitätsfälle –
Knicken von Stäben und Stabwerken**Steel structures –
Part 2: Stability –
Buckling of bars and skeletal structuresConstructions métalliques –
Partie 2: Stabilité –
Flambement des barres et des structures à barres

Gesamtumfang 91 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich	5
1.2 Normative Verweisungen	5
1.3 Begriffe	5
1.4 Häufig verwendete Formelzeichen.....	6
1.5 Grundsätzliches zum Tragsicherheitsnachweis	9
1.5.1 Allgemeines	9
1.5.2 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie	12
1.5.3 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Fließgelenktheorie	13
2 Imperfektionen für Stäbe und für Stabwerke aus planmäßig geraden Stäben	13
2.1 Allgemeines	13
2.2 Vorkrümmung	14
2.3 Vorverdrehung	15
2.4 Gleichzeitiger Ansatz von Vorkrümmung und Vorverdrehung.....	18
3 Einteilige Stäbe	18
3.1 Allgemeines	18
3.2 Planmäßig mittiger Druck	19
3.2.1 Biegeknicken	19
3.2.2 Biegedrillknicken	21
3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft	22
3.3.1 Allgemeines	22
3.3.2 Behinderung der Verformung.....	22
3.3.3 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab	28
3.3.4 Biegedrillknicken	30
3.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft.....	32
3.4.1 Stäbe mit geringer Normalkraft	32
3.4.2 Biegeknicken	33
3.4.3 Biegedrillknicken	34
3.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft.....	35
3.5.1 Biegeknicken	35
3.5.2 Biegedrillknicken	38
4 Mehrteilige, einfeldrige Stäbe	39
4.1 Allgemeines	39
4.2 Häufig verwendete Formelzeichen.....	40
4.3 Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse.....	41
4.3.1 Schnittgrößenermittlung am Gesamtstab	41
4.3.2 Nachweis der Einzelstäbe	42
4.3.3 Nachweis der Einzelfelder von Rahmenstäben	44
4.4 Mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung.....	45
4.5 Konstruktive Anforderungen	47
5 Stabwerke	47
5.1 Fachwerke	47
5.1.1 Allgemeines	47
5.1.2 Knicklängen planmäßig mittig gedrückter Fachwerkstäbe.....	48
5.2 Rahmen und Durchlaufträger mit unverschieblichen Knotenpunkten	52
5.2.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen.....	52
5.2.2 Definition der Unverschieblichkeit von Rahmen.....	53
5.2.3 Berechnung der Aussteifungselemente.....	54

	Seite
5.2.4	Berechnung von Rahmen und Durchlaufträgern55
5.3	Rahmen und Durchlaufträger mit verschieblichen Knotenpunkten57
5.3.1	Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen57
5.3.2	Verschiebliche ebene Rahmen57
5.3.3	Elastisch gelagerte Durchlaufträger.....63
6	Bogenträger64
6.1	Mittiger Druck (Stützlinienbogen).....64
6.1.1	Ausweichen in der Bogenebene64
6.1.2	Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene68
6.2	Einachsige Biegung in Bogenebene mit Normalkraft72
6.2.1	Ausweichen in der Bogenebene72
6.2.2	Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene73
6.3	Planmäßig räumliche Belastung.....74
7	Planmäßig gerade Stäbe mit ebenen dünnwandigen Querschnittsteilen75
7.1	Allgemeines75
7.2	Berechnungsgrundlagen76
7.3	Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Elastisch78
7.4	Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Plastisch82
7.5	Biegeknicken82
7.5.1	Spannungsnachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch82
7.5.2	Vereinfachte Nachweise82
7.6	Biegedrillknicken.....86
7.6.1	Nachweis86
7.6.2	Planmäßig mittiger Druck.....86
7.6.3	Einachsige Biegung ohne Normalkraft86
7.6.4	Einachsige Biegung mit Normalkraft87
7.6.5	Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft87
Anhang A (informativ) Liste der zurückgezogenen oder ersetzten Normen und technischen Regelwerke soweit sie in Bezug genommen werden88	
Literaturhinweise90	

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Bauwesen (NABau), NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung“ erarbeitet. Sie enthält die vom Arbeitsausschuss verabschiedeten Änderungen aus dem Entwurf der DIN 18800-2/A2:2007-06. Die Änderungen zu DIN 18800-2:1990-11 sind mit einem senkrechten Strich am linken Seitenrand gekennzeichnet.

In DIN 18800-2:1990-11 wurde neben der üblichen, allgemein bekannten Gliederung in Abschnitte und Unterabschnitte der gesamte Text in überschaubare, (abschnittsweise) durchgehend benummerte, so genannte „Elemente“ gegliedert, deren jedes eine in sich geschlossene Aussage enthält und damit auch bei Übernahme in eine andere Norm verständlich bleibt. Diese Gliederung in Elemente wurde beibehalten, obwohl dadurch eine Anpassung an die neuen Gestaltungsregeln nach DIN 820 nicht vollständig erfolgen konnte. Die Abschnitte 1 (Anwendungsbereich), 2 (Normative Verweisungen) und 3 (Begriffe) wurden hier in Abschnitt 1 zusammengefasst. Dadurch konnte die alte Struktur der Norm beibehalten werden.

Änderungen

Gegenüber DIN 18800-2:1990-11 und DIN 18800-2/A1:1996-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anpassung an Nachfolgenormen von zurückgezogenen Normen und Aktualisierung der in der Norm zitierten normativen Verweisungen;
- b) Übernahme der Regelungen der 3. Auflage der Anpassungsrichtlinie Stahlbau (Oktober 1998) und der Änderungen und Ergänzungen der Anpassungsrichtlinie Stahlbau (Dezember 2001);
- c) Aktualisierung der Stahlsorten.

Frühere Ausgaben

DIN 4114-1: 1952xx-07

DIN 4114-2: 1952-07, 1953x-02

DIN 18800-2: 1990-11

DIN 18800-2/A1: 1996-02

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

(101) Tragsicherheitsnachweis

Diese Norm regelt die Tragsicherheitsnachweise für stabilitätsgefährdete Stäbe und Stabwerke aus Stahl. Diese Norm gilt stets in Verbindung mit DIN 18800-1.

(102) Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Gebrauchstauglichkeitsnachweise sind nur dann zu führen, wenn sie in den Fachnormen gefordert werden.

ANMERKUNG Siehe dazu DIN 18800-1:2008-11, 7.2.3 und 7.3.1, Element 723.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1025 (alle Teile), *Warmgewalzte I-Träger*

DIN 1053 (alle Teile), *Mauerwerk*

DIN 18800-1:2008-11, *Stahlbauten — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

DIN 18800-3:2008-11, *Stahlbauten — Teil 2: Stabilitätsfälle — Plattenbeulen*

DIN 18800-4, *Stahlbauten — Stabilitätsfälle, Schalenbeulen*

DIN 18807 (alle Teile), *Trapezprofile im Hochbau*

DIN EN 10024, *I-Profile mit geneigten inneren Flanschflächen - Grenzabmaße und Formtoleranzen*

DIN EN 10034, *I- und H-Profile aus Baustahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen*

1.3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

1.3.1

(103) Knicken

Beim Versagen infolge Knicken treten Verschiebungen v , w oder Verdrehungen ϑ um die Stabachse auf, oder diese Verformungen kommen gleichzeitig vor.

ANMERKUNG Man unterscheidet Biegeknicken und Biegedrillknicken.

1.3.2

(104) Biegeknicken

Beim Biegeknicken treten nur Verschiebungen v oder w oder beide auf, oder die Verdrehungen ϑ um die Stabachse dürfen vernachlässigt werden.

1.3.3

(105) Biegedrillknicken

Beim Biegedrillknicken treten Verschiebungen v , w und gleichzeitig Verdrehungen ϑ um die Stabachse auf, wobei diese Verdrehungen berücksichtigt werden müssen.

ANMERKUNG 1 In älterer Literatur und in früheren Regelwerken (z. B. DIN 4114-1 und DIN 4114-2) wird das Biegedrillknicken bei Beanspruchung durch Biegemomente und Querlasten als Kippen bezeichnet.

ANMERKUNG 2 Das Drillknicken, bei dem die Verschiebungen v und w gleich Null sind, stellt einen Sonderfall des Biegedrillknickens dar.

1.4 Häufig verwendete Formelzeichen

(106) Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen sowie Imperfektionen

- x Stabachse;
- y, z Hauptachsen des Querschnitts (die Zeichen sind bei einteiligen Stäben so gewählt, dass $I_y > I_z$ ist);
- u, v, w Verschiebung in Richtung der Achsen x, y, z ;
- ϑ Verdrehung um die x -Achse;
- v_0, w_0 Stich einer Verkrümmung im spannungslosen (unbelasteten) Zustand;
- φ_0 Stabdrehwinkel des vorverformten (imperfekten) Tragwerks im spannungslosen (unbelasteten) Zustand;
- N Normalkraft, als Druck positiv;
- M_y, M_z Biegemomente;
- V_y, V_z Querkräfte.

(107) Nebenzeichen

- Index k charakteristischer Wert einer Größe;
- Index d Bemessungswert einer Größe.

ANMERKUNG Die Begriffe „charakteristischer Wert“ und „Bemessungswert“ sind in DIN 18800-1:2008-11, 3.1 definiert.

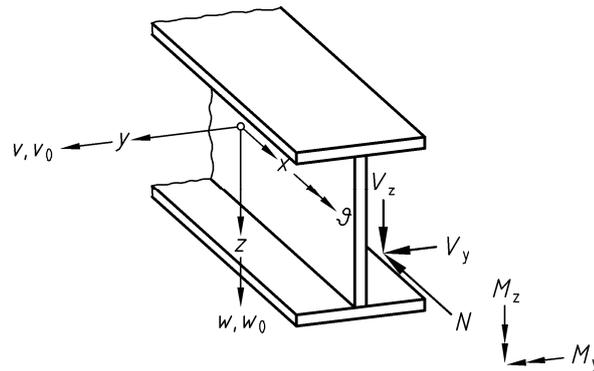


Bild 1 — Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen

(108) Physikalische Kenngrößen, Festigkeiten

E Elastizitätsmodul;

G Schubmodul;

f_y Streckgrenze.

ANMERKUNG Für die Zahlenwerte von E , G und $f_{y,k}$ siehe DIN 18800-1:2008-11, Tabelle 1.

(109) Querschnittsgrößen

A Querschnittsfläche;

I Flächenmoment 2. Grades (früher: Trägheitsmoment);

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ Trägheitsradius;

I_T Torsionsflächenmoment 2. Grades (St. Venantscher Torsionswiderstand);

I_ω Wölbflächenmoment 2. Grades (Wölbwiderstand);

W elastisches Widerstandsmoment;

N_{pl} Normalkraft im vollplastischen Zustand;

M_{pl} Biegemoment im vollplastischen Zustand;

M_{el} Biegemoment, bei dem an der ungünstigsten Stelle des Querschnitts die Streckgrenze f_y erreicht wird;

$\alpha_{pl} = \frac{M_{pl}}{M_{el}}$ plastischer Formbeiwert.

ANMERKUNG Die Bezeichnung „vollplastischer Zustand“ bezieht sich auf die volle Ausnutzung der Plastizität. In Sonderfällen (z. B. Winkel, U-Profile) können hierbei elastische Restquerschnitte vorhanden sein. Bei veränderlichen Querschnitten oder Schnittgrößen sind N_{pl} , M_{pl} , M_{el} für die maßgebende Stelle zu ermitteln.

(110) Systemgrößen

l Systemlänge eines Stabes;

N_{Ki} Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast nach der Elastizitätstheorie;

$s_K = \sqrt{\frac{\pi^2(E \cdot I)}{N_{Ki}}}$ zu N_{Ki} gehörende Knicklänge eines Stabes;

$\lambda_K = \frac{s_K}{i}$ Schlankheitsgrad;

$\lambda_a = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,k}}}$ Bezugsschlankheitsgrad;

$\bar{\lambda}_K = \frac{\lambda_K}{\lambda_a} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}}$ bezogener Schlankheitsgrad bei Druckbeanspruchung;

κ Abminderungsfaktor nach den Europäischen Knickspannungslinien;

$\varepsilon = l \sqrt{\frac{N}{(E \cdot I)_d}}$ Stabkennzahl;

$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki,d}}{N}$ Verzweigungslastfaktor des Systems;

$M_{Ki,y}$ Biegedrillknickmoment nach der Elastizitätstheorie bei Wirkung von Momenten M_y ohne Normalkraft;

$\bar{\lambda}_M = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{Ki,y}}}$ bezogener Schlankheitsgrad bei Biegemomentenbeanspruchung;

κ_M Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken.

ANMERKUNG 1 Bei veränderlichen Querschnitten oder Normalkräften sind $(E \cdot I)$, N_{Ki} und s_K für die Stelle zu ermitteln, für die der Tragsicherheitsnachweis geführt wird. Im Zweifelsfall sind mehrere Stellen zu untersuchen (siehe auch 3.4.2.2, Element 316).

ANMERKUNG 2 entfällt.

ANMERKUNG 3 Bei der Ermittlung bezogener Schlankheitsgrade ist für f_y , $(E \times I)$, N_{Ki} und M_{Ki} entsprechend 1.5.1, Elemente 116 und 117, einheitlich entweder mit deren charakteristischen Werten oder mit deren Bemessungswerten zu rechnen.

ANMERKUNG 4 η_{Ki} ist für alle Stäbe eines biegesteifen Stabwerkes gleich groß.

ANMERKUNG 5 Das Moment $M_{K_i,y}$ wird in der Literatur häufig als Kippmoment bezeichnet. Bei veränderlichen Querschnitten oder Schnittgrößen ist M_{K_i} für die Stelle zu ermitteln, für die der Tragsicherheitsnachweis geführt wird. Im Zweifelsfall sind mehrere Stellen zu untersuchen.

(111) Teilsicherheitsbeiwerte

γ_F Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen;

γ_M Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand.

ANMERKUNG Die Werte γ_F, γ_M sind DIN 18800-1:2008-11, Abschnitt 7, zu entnehmen. Damit gilt in den zu führenden Tragsicherheitsnachweisen sowohl für die Streckgrenze als auch für die Steifigkeiten (z. B. $E \cdot I, E \cdot A, G \cdot A_S, S$) stets der Teilsicherheitsbeiwert: $\gamma_M = 1,1$.

1.5 Grundsätzliches zum Tragsicherheitsnachweis

1.5.1 Allgemeines

(112) Berechnungsverfahren und Grundlagen

Ausreichende Tragsicherheit ist wahlweise nach einem der in Tabelle 1 angegebenen Verfahren nachzuweisen. Dabei sind folgende Grundlagen zu beachten:

- Werkstoffgesetz (Element 113);
- Imperfektionen (Element 114 und Abschnitt 2);
- Schnittgrößen (Elemente 115 und 116);
- Einfluss der Verformungen (Element 116);
- Schlupf (Element 118);
- Querschnittsmitwirkung (Element 119);
- Lochschwächungen (Element 120).

Tabelle 1 — Nachweisverfahren

	Nachweisverfahren	Berechnung der	
		Schnittgrößen infolge der Einwirkungen	Beanspruchbarkeiten
		nach	
1	Elastisch-Elastisch	Elastizitätstheorie	Elastizitätstheorie
2	Elastisch-Plastisch	Elastizitätstheorie	Plastizitätstheorie
3	Plastisch-Plastisch	Fließgelenktheorie	Plastizitätstheorie

Zur Vereinfachung dürfen Biegeknicken und Biegedrillknicken getrennt untersucht werden. Dabei ist nach dem Nachweis des Biegeknickens der Biegedrillknicknachweis für die aus dem Gesamtsystem herausgelöst gedachten Einzelstäbe zu führen, die durch die am Gesamtsystem ermittelten Stabendschnittgrößen und durch die Einwirkungen auf den betrachteten Einzelstab beansprucht werden.

Hinweise auf die erforderliche Anwendung der Theorie I. oder II. Ordnung finden sich bei den entsprechenden Nachweisen.

Anstelle der in Tabelle 1 angegebenen Verfahren dürfen auch vereinfachte Nachweise nach den Abschnitten 3 bis 7 geführt werden.

ANMERKUNG 1 Ergänzende Angaben zur Fließzonentheorie, deren Anwendung grundsätzlich erlaubt ist, sind in dieser Norm nicht enthalten, siehe hierzu z. B. [1].

ANMERKUNG 2 In DIN 18800-1:2008-11, Tabelle 11; wird statt „Schnittgrößen infolge der Einwirkungen“ der Oberbegriff „Beanspruchungen“ verwendet.

ANMERKUNG 3 Die beim gedanklichen Herauslösen des Einzelstabes angenommenen Randbedingungen und Schnittgrößen sind beim Nachweis des Biegedrillknickens zu beachten.

ANMERKUNG 4 Vereinfachte Tragsicherheitsnachweise der Abschnitte 3 und 4 für Stäbe sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 — Zusammenstellung vereinfachter Tragsicherheitsnachweise

	Schnittgrößen	Versagensart	Vereinfachte Nachweise nach	
			Abschnitt	Gleichung
Einteilige Stäbe				
1	N	Biegeknicken	3.2.1	3
2	N	Biegedrillknicken	3.2.2	3
3	M_y	Biegedrillknicken	3.3.2, 3.3.3, 3.3.4	7, 8, 12, 14, 16, 21
4	$N + M_y$	Biegeknicken	3.4.2	24
5	$N + M_z$	Biegeknicken	3.4.2	24
6	$N + M_y$	Biegedrillknicken	3.4.3	27
7	$N + M_y + M_z$	Biegeknicken	3.5.1	28, 29
8	$N + M_y + M_z$	Biegedrillknicken	3.5.2	30
Mehrteilige Stäbe				
9	N	Biegeknicken	4.3	31 bis 38
10	$N + M_z$	Biegeknicken	4.3	

(113) Werkstoffgesetz

Der Werkstoff muss ein ausreichendes Plastizierungsvermögen haben. Anstatt des tatsächlichen Werkstoffverhaltens darf eine linearelastisch-idealplastische Spannungs-Dehnungs-Beziehung zugrunde gelegt werden.

ANMERKUNG Die in DIN 18800-1:2008-11, 4.1, Element 401, Nummer 1 bis 5, genannten Stahlsorten besitzen ein ausreichendes Plastizierungsvermögen.

(114) Imperfektionen

Zur Berücksichtigung des Einflusses geometrischer und struktureller Imperfektionen müssen sinnvolle Annahmen, z. B. nach Abschnitt 2, getroffen werden.

ANMERKUNG Geometrische Imperfektionen sind z.B. unplanmäßige Außermittigkeiten des Lastangriffs und Abweichungen von der planmäßigen Geometrie. Strukturelle Imperfektionen sind z. B. Eigenspannungen.

(115) Schnittgrößen

Die Schnittgrößen sind mit den Bemessungswerten der Einwirkungen für die maßgebenden Nachweisstellen zu ermitteln.

Auf die Kennzeichnung der Schnittgrößen mit dem Index d wird aus Vereinfachungsgründen verzichtet.

ANMERKUNG Die Regeln zur Berechnung der Bemessungswerte der Einwirkungen enthält DIN 18800-1:2008-11, 7.2.1 und 7.2.2.

(116) Einfluss der Verformungen

Bei der Berechnung der Schnittgrößen ist in der Regel der Einfluss der Verformungen auf das Gleichgewicht (Theorie II. Ordnung) zu berücksichtigen. Hierfür sind als Bemessungswerte der Steifigkeiten die aus den Nennwerten der Querschnittsabmessungen und den charakteristischen Werten der Elastizitäts- und Schubmodulen berechneten charakteristischen Werte der Steifigkeiten, dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,1$, zu verwenden.

Der Einfluss von Verformungen aus Querkraftschubspannungen darf in der Regel vernachlässigt werden.

ANMERKUNG 1 Bei der Berechnung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung ist beispielsweise bei der Ermittlung der Stabkennzahl ε und des Verzweigungslastfaktors η_{Ki} als Steifigkeit deren Bemessungswert $(E \cdot I)_d$ einzusetzen.

ANMERKUNG 2 Die Entscheidung, ob nach Theorie II. Ordnung gerechnet werden muss, richtet sich nach den in DIN 18800-1:2008-11, 7.5.1, Element 739, angegebenen Abgrenzungskriterien.

ANMERKUNG 3 Verformungen können auch aus Nachgiebigkeiten von Anschlüssen resultieren.

ANMERKUNG 4 Bei mehrteiligen Druckstäben werden die Verformungen aus Querkraft nach Abschnitt 4 berücksichtigt.

(117) Nachweis mit γ_M -fachen Bemessungswerten der Einwirkungen

Abweichend von 1.5.1, Elemente 115 und 116 dürfen die Schnittgrößen und Verformungen auch mit den $\gamma_M (= 1,1)$ -fachen Bemessungswerten der Einwirkungen berechnet werden. In diesem Fall sind bei den Tragsicherheitsnachweisen die charakteristischen Werte der Festigkeiten und Steifigkeiten zu verwenden. In den Gleichungen der Abschnitte 3 bis 7 müssen dann statt der Bemessungswerte des Widerstandes, ausgedrückt durch den Index d , jeweils die charakteristischen Werte, ausgedrückt durch den Index k , verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Hierbei ist beispielsweise bei der Ermittlung der Stabkennzahl ε und des Verzweigungslastfaktors η_{Ki} als Steifigkeit deren charakteristischer Wert $(E \cdot I)_k$ einzusetzen.

ANMERKUNG 2 Diese alternative Nachweismöglichkeit besteht insbesondere bei den allgemeinen Tragsicherheitsnachweisen der Abschnitte 6, 6 und 7, ist aber sinngemäß auch in den Abschnitten 3 und 4 anwendbar. Sie führt zu denselben Ergebnissen wie die Berücksichtigung von γ_M auf der Widerstandsseite. Ihre Anwendung ist in der Statischen Berechnung kenntlich zu machen, falls Verwechslungen nicht auszuschließen sind.

ANMERKUNG 3 Hinweise zu den Widerstandsgrößen siehe DIN 18800-1:2008-11, 7.3.1.

(118) Schlupf

Der Schlupf in SL- oder SLV-Verbindungen ist bei stabilitätsgefährdeten Stäben und Stabwerken zu berücksichtigen.

Hierbei dürfen die in DIN 18800-1:2008-11, 8.2.3, Element 813, angegebenen Werte angesetzt werden.

ANMERKUNG Die Berücksichtigung des Schlupfes ist dann erforderlich, wenn durch den Schlupf die Stabilitätsgefährdung deutlich vergrößert wird.

(119) Querschnittsmitwirkung (Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ und $\text{grenz}(d/t)$)

Wird bei druckbeanspruchten Querschnittsteilen die volle Fläche in Rechnung gestellt, so dürfen die Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ und $\text{grenz}(d/t)$ nach DIN 18800-1 nicht überschritten werden.

Wenn diese Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ und $\text{grenz}(d/t)$ nicht eingehalten sind, sind für diese dünnwandigen Querschnitte die Nachweise unter Berücksichtigung des Zusammenwirkens von Biegeknicken und Beulen bzw. von Biegedrillknicken und Beulen nach Abschnitt 7 oder nach DIN 18800-3 bzw. DIN 18800-4 zu führen.

ANMERKUNG 1 Die Grenzwerte $\text{grenz}(b/t)$ sind vom angewendeten Nachweisverfahren gemäß Tabelle 1 abhängig. Nähere Angaben über $\text{grenz}(b/t)$ für ebene Querschnittsteile enthält DIN 18800-1:2008-11, Tabellen 12, 13, 15 und 18.

ANMERKUNG 2 Nähere Angaben über $\text{grenz}(d/t)$ von Rohren enthält DIN 18800-1:2008-11, Tabellen 14, 15 und 18. Möglichkeiten des Nachweises bei Überschreiten dieser Grenzwerte sind im Rahmen dieser Norm nicht angegeben.

(120) Lochschwächungen

Lochschwächungen dürfen bei der Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen vernachlässigt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Lochschwächungen zu keinem vorzeitigen, örtlichen Versagen führen.

1.5.2 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie

(121) Nachweis

Die Tragsicherheit ist ausreichend, wenn bei der Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie das System im stabilen Gleichgewicht ist und

— entweder die Vergleichsspannung unter diesen Schnittgrößen höchstens den Bemessungswert der Streckgrenze $f_{y,d}$ erreicht (Verfahren Elastisch-Elastisch nach Tabelle 1, Zeile 1), wobei sinngemäß auch 1.5.1, Element 117, anwendbar ist.

In kleinen Bereich darf die Vergleichsspannung die Grenzspannung $f_{y,d}$ um 10 % überschreiten (vergleiche DIN 18800-1:2008-11, 7.5.2, Element 749).

— oder die Schnittgrößen unter Beachtung der Interaktion nicht zu einer Überschreitung der Grenzschnittgrößen im vollplastischen Zustand führen (Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch nach Tabelle 1, Zeile 2).

ANMERKUNG 1 Der Wert $f_{y,d}$ ist in DIN 18800-1:2008-11, 7.5.2, Element 746, angegeben.

ANMERKUNG 2 Beim Verfahren Elastisch-Plastisch werden Querschnittsplastizierungen zugelassen, wobei im Grenzfall an einer oder mehreren Stellen Fließgelenke auftreten können. In diesem Zustand dürfen sich jedoch noch keine Verdrehungen der Fließgelenke einstellen. Damit werden die plastischen Reserven der Querschnitte ausgenutzt, nicht jedoch die des Systems.

ANMERKUNG 3 Die Querschnittstragfähigkeit wird mit Hilfe von Interaktionsbedingungen (siehe z. B. DIN 18800-1:2008-11, Tabellen 16 und 17) ermittelt.

(122) Schnittgrößen bei zweiachsiger Biegung

Bei zweiachsiger Biegung mit oder ohne Normalkraft ohne planmäßige Torsion dürfen die Schnittgrößen (Momente und Querkräfte) durch Superposition der Schnittgrößen für Einwirkungen, die zu Biegemomenten M_y und Querkräften V_z , und denen, die zu Biegemomenten M_z und Querkräften V_y führen, bestimmt werden. Dabei müssen jedoch für beide Berechnungen die Stabkennzahlen ε für die Summe der Normalkräfte aus allen Einwirkungen berechnet werden.

(123) Begrenzung des plastischen Formbeiwertes α_{pl}

Wenn der zur betreffenden Biegeachse gehörende Formbeiwert $\alpha_{pl} > 1,25$ ist und nicht nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden darf, muss das unter gleichzeitig wirkender Normal- und Querkraft im vollplastizierten Stabquerschnitt aufnehmbare Biegemoment mit dem Faktor $1,25/\alpha_{pl}$ abgemindert werden.

Sinngemäß ist bei zweiachsiger Biegung für jedes der beiden Biegemomente zu verfahren, wenn $\alpha_{pl,y} > 1,25$ oder $\alpha_{pl,z} > 1,25$ ist.

ANMERKUNG Anstelle der Abminderung des aufnehmbaren Momentes kann das vorhandene (nachzuweisende) Moment mit dem Faktor $\alpha_{pl}/1,25$ erhöht werden.

1.5.3 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Fließgelenktheorie

(124) Die Tragsicherheit ist ausreichend, wenn bei der Berechnung nach der Fließgelenktheorie die Schnittgrößen unter Beachtung der Interaktion nicht zu einer Überschreitung der Grenzschnittgrößen im vollplastischen Zustand führen (Verfahren Plastisch-Plastisch nach Tabelle 1, Zeile 3). Das System muss im stabilen Gleichgewicht sein.

Für die Begrenzung des plastischen Formbeiwertes α_{pl} gilt 1.5.2, Element 123.

ANMERKUNG Interaktionsbedingungen sind z. B. in DIN 18800-1:2008-11, Tabellen 16 und 17, angegeben.

2 Imperfektionen für Stäbe und für Stabwerke aus planmäßig geraden Stäben**2.1 Allgemeines****(201) Berücksichtigung der Imperfektionen**

Der Einfluss von geometrischen und strukturellen Imperfektionen ist zu berücksichtigen, wenn sie zu einer Vergrößerung der Beanspruchung führen.

Zur Erfassung beider Imperfektionen dürfen geometrische Ersatzimperfektionen angenommen werden. Man unterscheidet zwischen Vorkrümmungen (siehe 2.2) und Vorverdrehungen (siehe 2.3).

ANMERKUNG 1 Ersatzimperfektionen können auch durch den Ansatz gleichwertiger Ersatzlasten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Ersatzimperfektionen decken neben den geometrischen Imperfektionen auch den Einfluss von Eigenspannungen infolge Walzens, Schweißens und von Richtarbeiten, Werkstoffinhomogenitäten sowie der Ausbreitung der Fließzonen auf die Traglast im Mittel ab. Weitere in Einzelfällen denkbare Einflüsse auf die Traglast wie Nachgiebigkeiten von Verbindungsmitteln, Rahmenecken und Gründungen sowie Schubverformungen sind damit nicht abgedeckt.

Bei Anwendung des Verfahrens Elastisch-Elastisch nach Tabelle 1, Zeile 1 brauchen nur 2/3 der Werte der Ersatzimperfectionen nach 2.2 und 2.3 angesetzt zu werden. Dies gilt nicht, wenn die Vergleichsspannung die Grenzspannung $f_{y,d}$ überschreitet. Bei Tragsicherheitsnachweisen für mehrteilige Stäbe nach 4.3 ist die Ersatzimperfection nach Tabelle 3, Zeile 5 stets in voller Größe anzusetzen.

ANMERKUNG 1 Der Faktor 2/3 trägt dem Umstand Rechnung, dass die plastische Querschnittsreserve nicht ausgenutzt wird. Es wird angestrebt, dass sich bei Anwendung von Tabelle 1, Zeilen 1 oder 2, im Mittel gleiche Traglasten ergeben.

ANMERKUNG 2 Die Nachweise nach 4.3 beruhen auf Vergleichen von experimentellen und rechnerischen Traglasten, die die Ersatzimperfectionen nach Tabelle 3, Zeile 5, belegen (siehe auch Anmerkung zu 4.1, Element 402).

In den vereinfachten Tragsicherheitsnachweisen nach Abschnitt 3 und 7 sind die Ersatzimperfectionen bereits berücksichtigt.

(202) Ansatz der Ersatzimperfectionen

Die geometrischen Ersatzimperfectionen sind so anzusetzen, dass sie sich der zum niedrigsten Knickeigenwert gehörenden Verformungsfigur möglichst gut anpassen. Sie sind in ungünstigster Richtung anzusetzen.

Die Ersatzimperfectionen brauchen mit den geometrischen Randbedingungen des Systems nicht verträglich zu sein.

Beim Biegeknicken infolge einachsiger Biegung mit Normalkraft brauchen Vorkrümmungen nur mit dem Stich v_0 oder w_0 in der jeweils untersuchten Ausweichrichtung angesetzt zu werden.

Beim Biegeknicken infolge zweiachsiger Biegung mit Normalkraft brauchen nur diejenigen Ersatzimperfectionen angesetzt zu werden, die zur Ausweichrichtung bei planmäßig mittiger Druckbeanspruchung gehören.

Beim Biegedrillknicken genügt es, lediglich eine Vorkrümmung nach 2.2 mit dem Stich $0,5 v_0$ anzusetzen. Dies gilt nicht für Bauteile mit doppelsymmetrischem Querschnitt mit $h/b > 2$ im Bereich $\lambda_M = 0,7$ bis 1,3.

(203) Imperfectionen für Sonderfälle

Soweit für Sonderfälle in einzelnen Fachnormen abweichende (bauartabhängige) Angaben über die Imperfectionen enthalten sind, müssen diese der Schnittgrößenermittlung zugrunde gelegt werden. ANMERKUNG Solche Imperfectionen für Sonderfälle sind mit den Regelungen in den Abschnitten 3 bis 7 nicht erfasst.

2.2 Vorkrümmung

(204) Für Einzelstäbe, für Stäbe von Stabwerken mit unverschieblichen Knotenpunkten und für Stäbe nach 2.4, Element 207, sind in der Regel die Vorkrümmungen nach Bild 2 und Tabelle 3 anzusetzen.

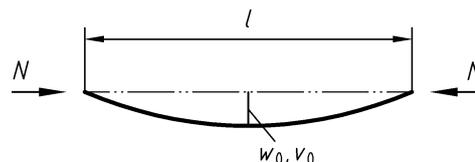


Bild 2 — Vorkrümmung eines Stabes, quadratische Parabel oder sin - Halbwellen

Wenn die Abgrenzungskriterien nach DIN 18800-1:2008-11, 7.5.1, Element 739, für die Anwendung der Theorie I. Ordnung erfüllt sind, darf ohne Ansatz von Vorkrümmungen gerechnet werden.

Tabelle 3 — Stich der Vorkrümmung

	Stabart	Stich w_0, v_0 der Vorkrümmung
0	Einteilige Stäbe mit Querschnitten, denen nach Tabelle 5 folgende Knickspannungslinie zugeordnet ist a_0	$l/350$
1	a	$l/300$
2	b	$l/250$
3	c	$l/200$
4	d	$l/150$
5	Mehrteilige Stäbe , wenn der Nachweis nach 4.3 erfolgt	$l/500$

ANMERKUNG Ersatzimperfektionen für Bogenträger enthält Tabelle 23.

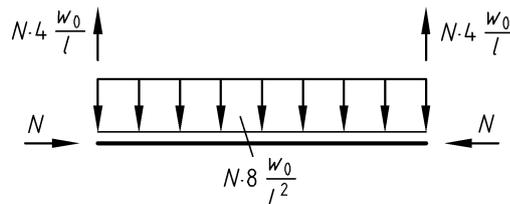


Bild 3 — Ersatzbelastung bei quadratischer Parabel (Gleichgewichtsguppe)

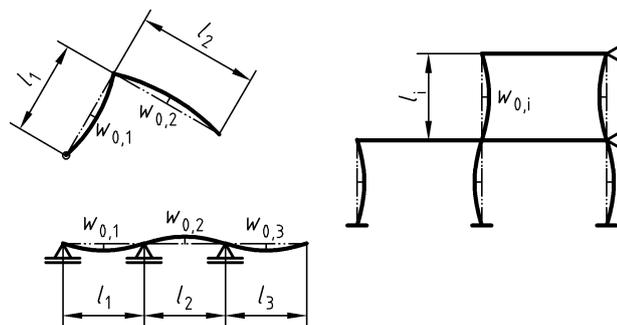


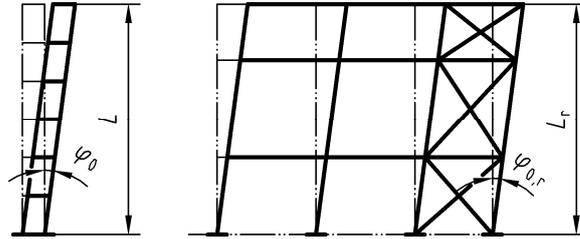
Bild 4 — Beispiele für den Ansatz von Vorkrümmungen

2.3 Vorverdrehung

(205) Ansatz von Vorverdrehungen

Vorverdrehungen sind nach Bild 5 für solche Stäbe und Stabzüge anzunehmen, die am verformten Stabwerk Stabdrehwinkel aufweisen können und die durch Normalkräfte beansprucht werden.

Wenn die Abgrenzungskriterien nach DIN 18800-1:2008-11, 7.5.1, Element 739, für die Anwendung der Theorie I. Ordnung erfüllt sind, darf mit verminderten Vorverdrehungen gerechnet werden.



Legende

L, L_r Länge des Stabes bzw. Stabzuges r

$\varphi_0, \varphi_{0,r}$ Winkel der Vorverdrehung eines Stabes bzw. Stabzuges r

Bild 5 — System eines perfekten (unterbrochen dargestellt) und infolge Vorverdrehung möglichen imperfekten (ausgezogen dargestellt) Stabes bzw. Stabwerkes

Die Vorverdrehung beträgt in der Regel

— für einteilige Stäbe:

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} r_1 \cdot r_2 \tag{1}$$

— für mehrteilige Stäbe nach den Bildern 20 und 21 sowie 4.3

$$\varphi_0 = \frac{1}{400} r_1 \cdot r_2 \tag{2}$$

Dabei ist

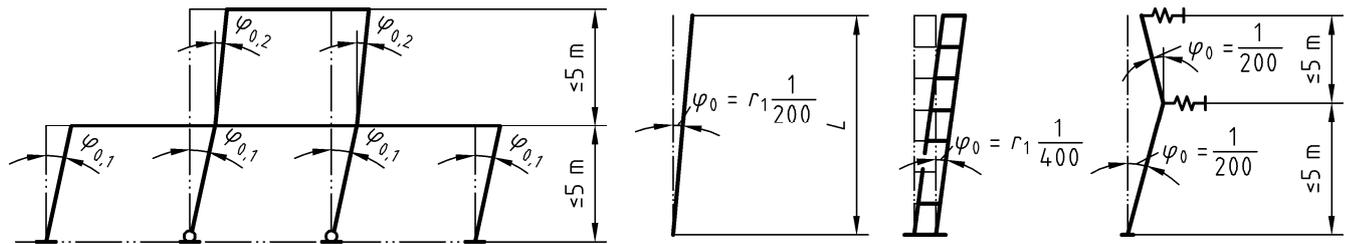
$r_1 = \sqrt{\frac{5}{l}}$ Reduktionsfaktor für Stäbe oder Stabzüge mit $l > 5$ m, wobei l die Systemlänge des vorverdrehten Stabes L bzw. Stabzuges L_r in m ist. Maßgebend ist jeweils derjenige Stab oder Stabzug, dessen Vorverdrehung sich auf die betrachtete Beanspruchung am ungünstigsten auswirkt.

$r_2 = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right)$ Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung von n voneinander unabhängigen Ursachen für Vorverdrehungen von Stäben und Stabzügen.

Bei der Berechnung des Reduktionsfaktors r_2 für Rahmen darf in der Regel für n die Anzahl der Stiele des Rahmens je Stockwerk in der betrachteten Rahmenebene eingesetzt werden. Stiele mit geringer Normalkraft zählen dabei nicht. Als Stiele mit geringer Normalkraft gelten solche, deren Normalkraft kleiner als 25 % der Normalkraft des maximal belasteten Stieles im betrachteten Geschoss und der betrachteten Rahmenebene ist.

ANMERKUNG 1 Bei der Berechnung der Geschossquerkraft in einem mehrgeschossigen Stabwerk sind Vorverdrehungen für die Stäbe des betrachteten Geschosses am ungünstigsten. Daher ist in r_1 die Systemlänge L der Geschossstiele einzusetzen. In den übrigen Geschossen darf in r_1 für l die Gebäudehöhe L_r gesetzt werden (Bild 6).

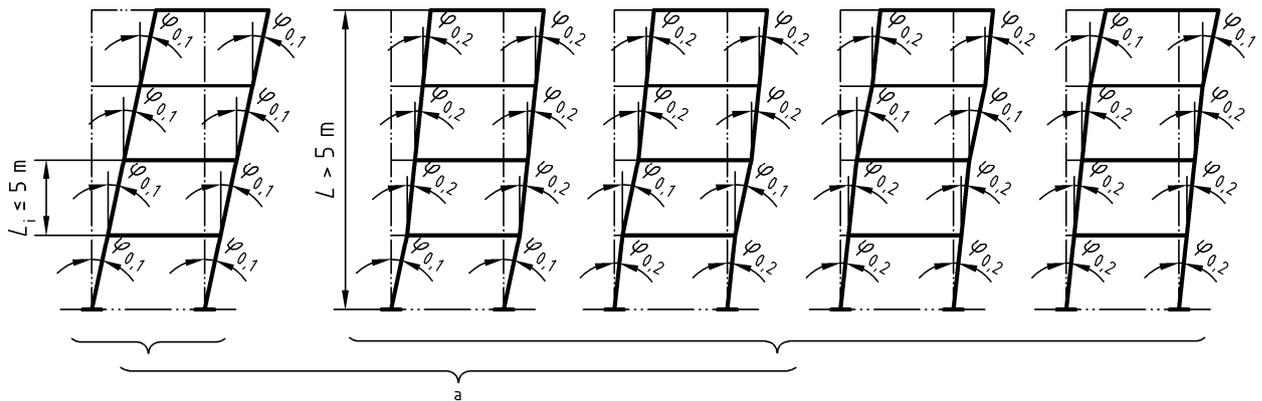
ANMERKUNG 2 Imperfektionen können auch durch den Ansatz gleichwertiger Ersatzlasten berücksichtigt werden.



$$\varphi_{0,2} = r_2 \frac{1}{200} \text{ mit } n = 2$$

$$\varphi_{0,1} = r_2 \frac{1}{200} \text{ mit } n = 4$$

Einzelner
Rahmenstab



$$\varphi_{0,1} = r_2 \frac{1}{200}$$

$$\varphi_{0,2} = r_2 \frac{1}{200} r_1$$

$$n = 2$$

a alternativ

Bild 6 — Beispiele für Vorverdrehungen in Stabwerken und Rahmen

ANMERKUNG 3 Vorverdrehungen aus Schraubenschlupf sind gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen; vergleiche 1.5.1, Element 118.

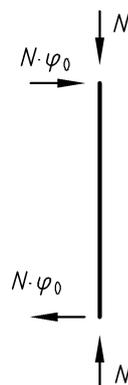


Bild 7 — Ersatzbelastung für eine Vorverdrehung φ_0

ANMERKUNG 4 Die verminderten Vorverdrehungen sind in DIN 18800-1:2008-11, 7.4, Element 730, angegeben; auch hier sind gegebenenfalls Vorverdrehungen aus Schraubenschlupf zusätzlich zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 5 Der Reduktionsfaktor r_2 darf sinngemäß auch bei Dachverbänden, die Träger stabilisieren, angewendet werden.

(206) Vorverdrehungen bei Aussteifungskonstruktionen

Für die Stiele von Aussteifungskonstruktionen sind die Vorverdrehungen wie für die Stiele von verschieblichen Stockwerkrahmen anzusetzen. Das gleiche gilt gegebenenfalls für weitere, angehängte Stiele, die mit der Aussteifungskonstruktion verbunden sind und durch diese stabilisiert werden.

ANMERKUNG Aussteifungskonstruktionen sind z. B. Verbände.

2.4 Gleichzeitiger Ansatz von Vorkrümmung und Vorverdrehung

(207) Für Stäbe, die am verformten Stabwerk Stabdrehwinkel aufweisen können und eine Stabkennzahl $\epsilon > 1,6$ haben, ist zusätzlich zu den Vorverdrehungen (nach 2.3) auch die Vorkrümmung (nach 2.2) in ungünstigster Richtung anzusetzen.

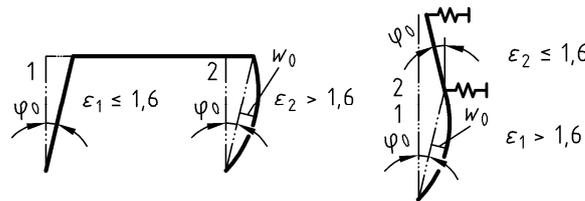


Bild 8 — Beispiele für die gleichzeitige Berücksichtigung von Vorkrümmung und Vorverdrehung

3 Einteilige Stäbe

3.1 Allgemeines

(301) Geltungsbereich

Die in 3.2 bis 3.5 angegebenen Nachweise gelten für Einzelstäbe und für Stäbe von Stabwerken, die für den Nachweis aus dem Stabwerk gedanklich herausgelöst werden. Biegeknicken und Biegedrillknicken werden dabei getrennt untersucht.

ANMERKUNG Wenn Stäbe für die Rechnung gedanklich aus einem Stabwerk herausgelöst werden, sind die realen Randbedingungen des betreffenden Stabes zu beachten.

(302) Biegeknicken

In den Biegeknickuntersuchungen nach 3.2 bis 3.5 ist neben dem Ansatz von Imperfektionen (siehe Abschnitt 2, Elemente 201 ff.) auch der Einfluss aus Theorie II. Ordnung bereits berücksichtigt. Daher sind in 3.2 bis 3.5 die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung einzusetzen.

ANMERKUNG 1 Die Anwendung der Bedingungen (3), (24), (28) und (29) wird in der Literatur als Ersatzstabverfahren bezeichnet, wobei die zu den entsprechenden Stabwerken gehörenden Knicklängen benutzt werden.

ANMERKUNG 2 Wenn Stäbe aus einem Stabwerk herausgelöst werden, sind bei Anwendung des Ersatzstabverfahrens 3.4.2.2, 3.5.1 und 5.3.2.3 zu beachten.

(303) Biegedrillknicken

Die Biegedrillknickuntersuchung ist für die aus dem Stabwerk herausgelöst gedachten Stäbe durchzuführen. Dabei sind die Stabendmomente erforderlichenfalls nach Theorie II. Ordnung zu bestimmen, Die Feldmomente dürfen mit diesen Stabendmomenten nach Theorie I. Ordnung berechnet werden.

Die Biegedrillknickuntersuchung ist nicht erforderlich für

- Stäbe mit Hohlquerschnitten;
- Stäbe, deren Verdrehung ϑ oder seitliche Verschiebung v ausreichend behindert ist;
- Stäbe mit planmäßiger Biegung, wenn deren bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_M \leq 0,4$ ist.

ANMERKUNG Zum Nachweis ausreichender Behinderung der Verformungen siehe 3.3.2.

3.2 Planmäßig mittiger Druck

3.2.1 Biegeknicken

(304) Nachweisformat

Der Tragsicherheitsnachweis ist für die maßgebende Ausweichrichtung mit Bedingung (3) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \leq 1 \quad (3)$$

Der Abminderungsfaktor κ (= κ_y bzw. κ_z) ist in Abhängigkeit von dem bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ und der dem jeweiligen Querschnitt nach Tabelle 5 zugeordneten Knickspannungslinie mit den Gleichungen (4a) bis (4c) zu ermitteln.

$$\bar{\lambda}_K \leq 0,2: \quad \kappa = 1 \quad (4a)$$

$$\bar{\lambda}_K > 0,2: \quad \kappa = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_K^2}} \quad (4b)$$

$$k = 0,5 [1 + \alpha (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2]$$

vereinfachend für

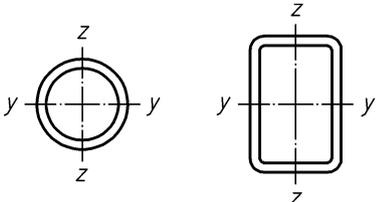
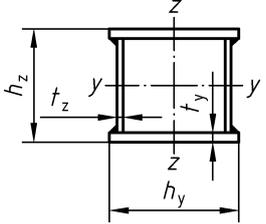
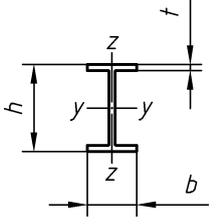
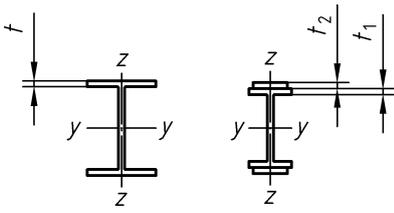
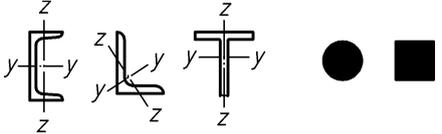
$$\bar{\lambda}_K > 3,0: \quad \kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_K (\bar{\lambda}_K + \alpha)} \quad (4c)$$

mit α nach Tabelle 4.

Tabelle 4 — Parameter α zur Berechnung des Abminderungsfaktors κ

Knickspannungslinie	a_0	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabelle 5 — Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien

	1	2	3	
	Querschnitt	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspannungslinie	
1	Hohlprofile 	warm gefertigt	y – y z – z	a ^a
		kalt gefertigt	y – y z – z	b ^a
2	geschweißte Kastenquerschnitte 		y – y z – z	b
		dicke Schweißnaht und $h_y/t_y < 30$ $h_z/t_z < 30$	y – y z – z	c
3	gewalzte I-Profile 	$h/b > 1,2; t \leq 40$ mm	y – y z – z	a ^a b ^a
		$h/b > 1,2; 40 < t \leq 80$ mm	y – y	b ^a
		$h/b \leq 1,2; t \leq 80$ mm	z – z	c ^a
		$t > 80$ mm	y – y z – z	d ^a
4	geschweißte I-Querschnitte 	$t_i \leq 40$ mm	y – y z – z	c c
		$t_i > 40$ mm	y – y z – z	c d
5	U-, L-, T- und Vollquerschnitte  und mehrteilige Stäbe nach 4.4		y – y z – z	c
6	Hier nicht aufgeführte Profile sind sinngemäß einzuordnen. Die Einordnung soll dabei nach den möglichen Eigenspannungen und Blechdicken erfolgen.			

^a Bei Bauteilen aus den Stahlsorten S460 darf a₀ statt a, a statt b, b statt c und c statt d verwendet werden.

ANMERKUNG Als dicke Schweißnähte sind solche mit einer vorhandenen Nahtdicke $a \geq \min t$ zu verstehen.

ANMERKUNG 1 Die zur Berechnung von $\bar{\lambda}_K$ benötigte Knicklänge kann der Literatur entnommen werden. Vier einfache Fälle sind in Bild 9 angegeben, weitere Fälle können mit Hilfe der Bilder 27 und 29 behandelt werden. Behält in Sonderfällen die am Stab angreifende Last ihre Richtung beim Ausweichen des Stabes nicht bei, so ist dies bei der Ermittlung der Knicklänge s_K zu berücksichtigen, z. B. mit Hilfe der Bilder 36 bis 38.

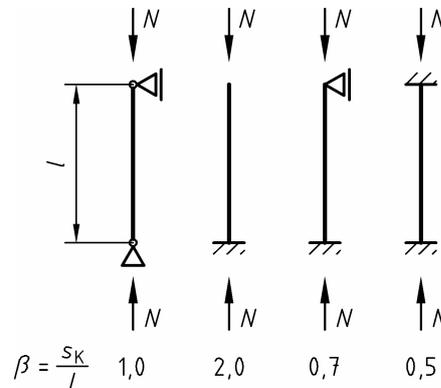


Bild 9 — Beispiele für Knicklängen einfacher Stäbe mit konstantem Querschnitt

ANMERKUNG 2 Die zahlenmäßige Auswertung der Gleichungen (4a) bis (4c) kann der Literatur entnommen werden, z. B. [2].

(305) Zusatzbedingungen bei veränderlichen Querschnitten und Normalkräften

Bei Anwendung von Bedingung (3) auf Stäbe mit veränderlichen Querschnitten und/oder Normalkräften muss der Nachweis mit Bedingung (3) für alle maßgebenden Querschnitte mit den jeweils zugehörigen Schnittgrößen, Querschnittswerten und der zugehörigen Normalkraft N_{Ki} an der betreffenden Stelle geführt werden. Zusätzlich müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

$$\eta_{Ki} \geq 1,2 \quad (5)$$

und

$$\min M_{pl} \geq 0,05 \max M_{pl} \quad (6)$$

3.2.2 Biegedrillknicken

(306) Für Stäbe mit beliebiger, aber unverschieblicher Lagerung der Enden, mit unveränderlichem Querschnitt und konstanter Normalkraft ist ein Tragsicherheitsnachweis nach 3.2.1 zu führen. Bei der Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_K$ ist dabei für N_{Ki} die Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für Biegedrillknicken anzusetzen. Der Abminderungsfaktor κ ist dabei für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse zu ermitteln.

Für Walzträger mit I-Querschnitt und für I-Träger mit ähnlichen Abmessungen braucht ein Tragsicherheitsnachweis für das Biegedrillknicken nicht geführt zu werden.

ANMERKUNG Das Drillknicken wird hier als Sonderfall des Biegedrillknickens betrachtet.

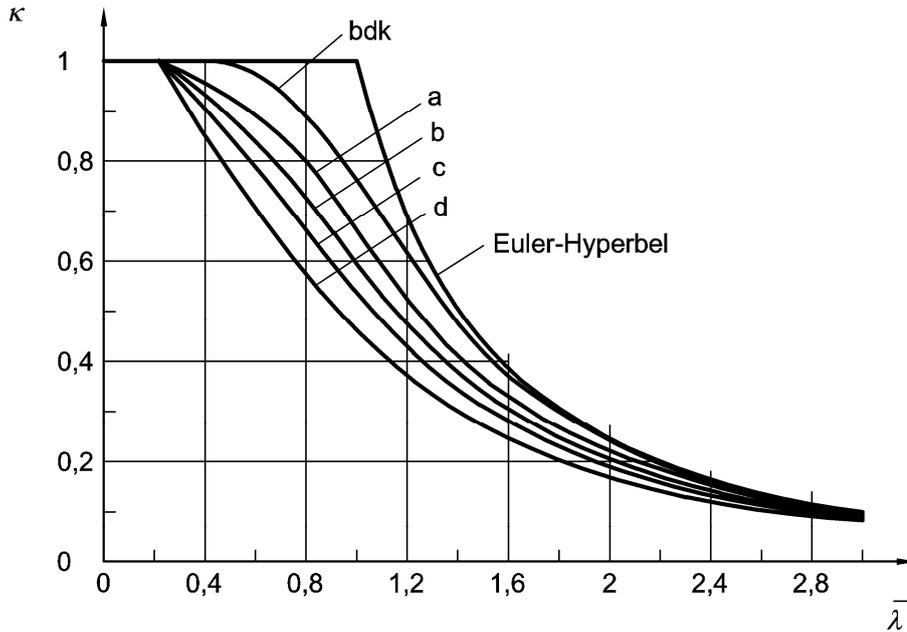


Bild 10 — Abminderungsfaktoren κ für Biegeknicken (Knickspannungslinien a, b, c, d) und κ_M für Biegedrillknicken (bdk) nach Gleichung (18) mit $n = 2,5$

3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft

3.3.1 Allgemeines

(307) Es ist ein Tragsicherheitsnachweis nach 3.3.4 zu führen.

Dieser Nachweis darf

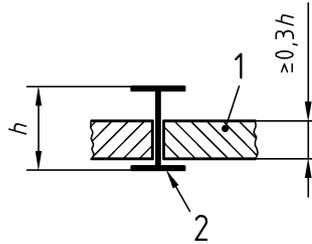
- bei Biegung um die z-Achse oder
 - wenn, jeweils die Bedingungen nach 3.3.2 oder 3.3.3 eingehalten werden
- entfallen.

ANMERKUNG Der hier behandelte Stabilitätsfall wurde in DIN 4114-1:1952-07 und meistens in der Literatur als „Kippen“ bezeichnet.

3.3.2 Behinderung der Verformung

(308) Behinderung der seitlichen Verschiebung

Ausreichende Behinderung der seitlichen Verschiebung ist vorhanden bei Stäben, die durch ständig am Druckgurt anschließendes Mauerwerk nach DIN 1053 (alle Teile) ausgesteift sind und dessen Dicke nicht geringer ist als die 0,3-fache Querschnittshöhe des Stabes.

**Legende**

- 1 Mauerwerk
2 Druckgurt

Bild 11 — Aussteifung durch Mauerwerk

Wenn an Träger Trapezprofile nach DIN 18807 angeschlossen sind und Bedingung (7) erfüllt ist, dann darf die Anschlussstelle als in Trapezblechebene unverschieblich gehalten angesehen werden.

$$S \geq \left(EI_{\omega} \frac{\pi^2}{l^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{l^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (7)$$

Dabei ist

- S der auf den untersuchten Träger entfallende Anteil der Schubsteifigkeit der Trapezblechscheiben nach DIN 18807-1 bei Befestigung in jeder Profilrippe.

Wenn die Befestigung der Trapezprofile nur in jeder zweiten Profilrippe erfolgt, ist der Wert S durch $0,2 \cdot S$ zu ersetzen.

ANMERKUNG Bedingung (7) zur Bestimmung der seitlichen Unverschieblichkeit eines Trägergurtes (gebundene Drehachse) kann bei entsprechender Ausbildung der Anschlussstellen auch für andere Bekleidungen als Trapezbleche angewandt werden.

(309) Behinderung der Verdrehung durch Nachweis ausreichender Drehbettung

Bei Trägern mit doppelsymmetrischem, I-förmigem Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen von Walzprofilen nach den Normen der Reihe DIN 1025, sowie DIN EN 10024 und DIN EN 10034 entsprechen, ist eine ausreichende Drehbettung vorhanden, wenn Bedingung (8) erfüllt ist.

$$c_{g,k} \geq \frac{M_{pl,y,k}^2}{EI_{z,k}} k_g \cdot k_v \quad (8)$$

mit

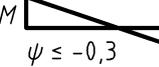
$k_v = 1,0$ bei Anwendung der Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch (Tabelle 1, Zeilen 2 und 3);

$k_v = 0,35$ bei Anwendung des Nachweisverfahrens Elastisch-Elastisch (Tabelle 1, Zeile 1), wenn die Vergleichsspannung die Grenzspannung $f_{y,d}$ nicht überschreitet. Andernfalls gilt $k_v = 1,0$.

k_g — nach Tabelle 6, Spalte 2, wenn sich der Träger ungehindert seitlich verschieben kann;

— nach Tabelle 6, Spalte 3, wenn der Träger am Obergurt seitlich unverschieblich gehalten (gebundene Drehachse).

Tabelle 6 — Beiwerte k_g

	1	2	3
	Momentenverlauf	Freie	Gebundene
		Drehachse	
1		4,0	0
2a		3,5	0,12
2b			0,23
3		2,8	0
4		1,6	1,0
5		1,0	0,70

ANMERKUNG 1 Aus Vereinfachungsgründen ist Bedingung (8) im Gegensatz zu anderen Nachweisen mit den charakteristischen Werten formuliert.

ANMERKUNG 2 Bei der Ermittlung der wirksamen, vorhandenen Drehbettung $c_{g,k}$ sind gegebenenfalls Verformungen des Anschlussbereiches zwischen dem gestützten Träger und dem abstützenden Bauteil zu berücksichtigen. Dies kann z. B. nach Gleichung (9) geschehen.

$$\frac{1}{c_{g,k}} = \frac{1}{c_{gM,k}} + \frac{1}{c_{gA,k}} + \frac{1}{c_{gP,k}} \tag{9}$$

Dabei ist

$c_{g,k}$ wirksame vorhandene Drehbettung;

$c_{gM,k}$ theoretische Drehbettung nach Gleichung (10) aus der Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils „a“ bei Annahme einer starren Verbindung

$$c_{gM,k} = k \frac{(E_a \cdot I_a)_k}{a} \tag{10}$$

mit

$k = 2$ für Ein- und Zweifeldträger;

$k = 4$ für Durchlaufträger mit 3 oder mehr Feldern;

$(E \cdot I_a)_k$ Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils;

a Stützweite des abstützenden Bauteils.

$c_{gA,k}$ Drehbettung aus der Verformung des Anschlusses. Diese kann — wenn kein genauere Nachweis geführt wird — für Stahltrapezprofile nach DIN 18807 mit den Werten $\bar{c}_{gA,k}$ nach Tabelle 7 aus Gleichung (11a) oder (11b) ermittelt werden. Für Sandwichelemente mit Stahldeckschichten, die die Auflast q_d auf den gestützten Träger übertragen, ergibt sich $c_{gA,k}$ aus der in Bild 11a dargestellten Momenten-Verdrehungsbeziehung als Sekantensteifigkeit mit Gleichung (11c), sowie den Hilfswerten nach Tabelle 7a und 7b

$$c_{\vartheta A,k} = \bar{c}_{\vartheta A,k} \left(\frac{\text{vorh } b}{100} \right)^2 \quad \text{für} \quad \frac{\text{vorh } b}{100} \leq 1,25 \quad (11a)$$

$$c_{\vartheta A,k} = \bar{c}_{\vartheta A,k} \left(\frac{\text{vorh } b}{100} \right) \cdot 1,25 \quad \text{für} \quad 1,25 \leq \frac{\text{vorh } b}{100} \leq 2,0 \quad (11b)$$

$$c_{\vartheta A,k} = \frac{m_k}{\vartheta(m_k)} \quad (11c)$$

vorh b vorhandene Breite des Gurtes des gestützten Trägers (in mm).

Weitere Angaben, auch für andere Dachdeckungen, siehe z. B. [3].

$c_{\vartheta P,k}$ Drehbettung aus der Profilverformung des gestützten Trägers; [4].

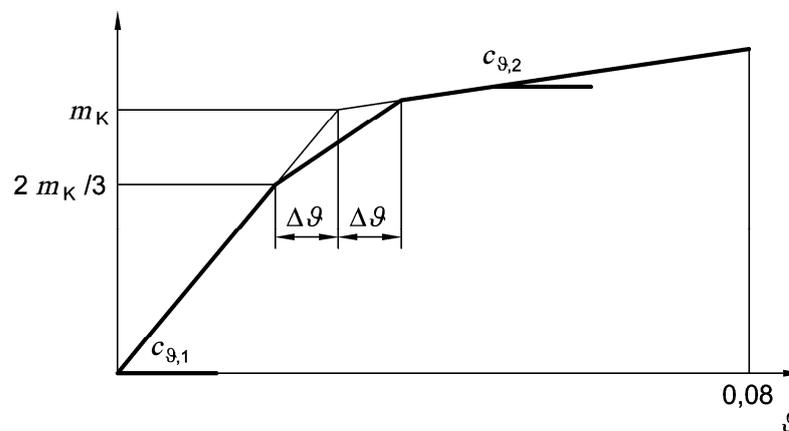


Bild 11a — Momenten-Verdrehungsbeziehung

ANMERKUNG 3 Anstelle des Nachweises mit Bedingung (8) kann die wirksame vorhandene Drehbettung $c_{\vartheta,k}$ auch bei der Ermittlung des idealen Biegedrillknickmomentes $M_{Ki,y}$ berücksichtigt werden. Der Nachweis wird dann nach 3.3.4 geführt.

Tabelle 7 — Charakteristische Werte für Anschlusssteifigkeiten $\bar{c}_{gA,k}$ von Trapezprofilen aus Stahl, bezogen auf eine Gurtbreite $b = 100$ mm

Zeile	Trapezprofilage		Schrauben im		Schraubenabstand		Scheibendurchmesser mm	$\bar{c}_{gA,k}$ kNm/m	max b_t^c mm
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	b_r^a	$2 b_r^a$			
Auflast									
1	x		x		x		22	5,2	40
2	x		x			x	22	3,1	40
3		x		x	x		Ka ^b	10,0	40
4		x		x		x	Ka ^b	5,2	40
5		x	x		x		22	3,1	120
6		x	x			x	22	2,0	120
Sog									
7	x		x		x		16	2,6	40
8	x		x			x	16	1,7	40
^a b_r Rippenabstand ^b Ka Abdeckkappen aus Stahl mit $t \geq 0,75$ mm ^c b_t Breite des angeschlossenen Gurtes des Trapezprofils									
Die angegebenen Werte gelten für Schrauben mit dem Durchmesser $d \geq 6,3$ mm, die nach Bild 13 angeordnet sind, sowie für Unterlegscheiben aus Stahl mit der Dicke $d \geq 1,0$ mm und aufvulkanisierter Neoprendichtung.									

Tabelle 7a — Kennwerte der Momenten-Verdrehungsbeziehung für Sandwichelemente

	doppelsymmetrische Träger 60 mm ≤ vorh b ≤ 100 mm		Z- oder U-Profile 60 mm ≤ vorh b ≤ 80 mm	
$c_{g1} =$	$c_1 \cdot E_s \cdot \frac{\text{vorh } b}{82}$	(11d)	$c_1 \cdot E_s$	(11g)
$c_{g2} =$	$\zeta \cdot c_2 \cdot E_s \cdot t_K \cdot \frac{\text{vorh } b}{82}$	(11e)	0	(11h)
$m_K =$	$q_d \cdot \frac{\text{vorh } b}{2}$	(11f)	$q_d \cdot \text{vorh } b$	(11i)
$2,0 \text{ N/mm}^2 \leq E_s \leq 6,0 \text{ N/mm}^2$		Elastizitätsmodul der Sandwich-Kernschicht		
$0,42 \text{ mm} \leq t_K \leq 0,67 \text{ mm}$		Kernblechdicke der oberen Deckschicht		
vorh b in mm		vorhandene Breite des Gurtes des gestützten Trägers		
q_d	Bemessungswert der vom Sandwichelement auf den Träger längs des Obergurtes übertragenen Auflast			
c_1, c_2	Faktoren nach Tabelle 7b			
ζ	Faktor zur Berücksichtigung der Befestigungsart, siehe Bild 13:			
	$\zeta=1$	alternierende Anordnung		
	$\zeta=1,5$	einseitige Anordnung (ungünstige Drehrichtung ausgeschlossen)		
	$\zeta=0$	verdeckte Anordnung		

Tabelle 7b — Faktoren c_1 und c_2 für Gleichungen (11d), (11e) und (11g)

Zeile	Kernschicht	Einsatzbereich	Schraubenkopfseitige Deckschicht	c_1	c_2
1	PUR	Dach	trapezprofilert	1,44	0,22
2		Wand	quasi-eben	1,20	0,38
3	Mineralwolle	Dach	trapezprofilert	0,69	0,18
4		Wand	quasi-eben	0,48	0,16

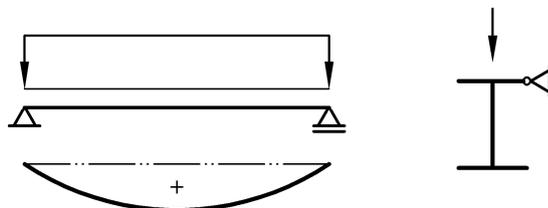


Bild 12 — Beispiel für die Lage einer gebundenen Drehachse

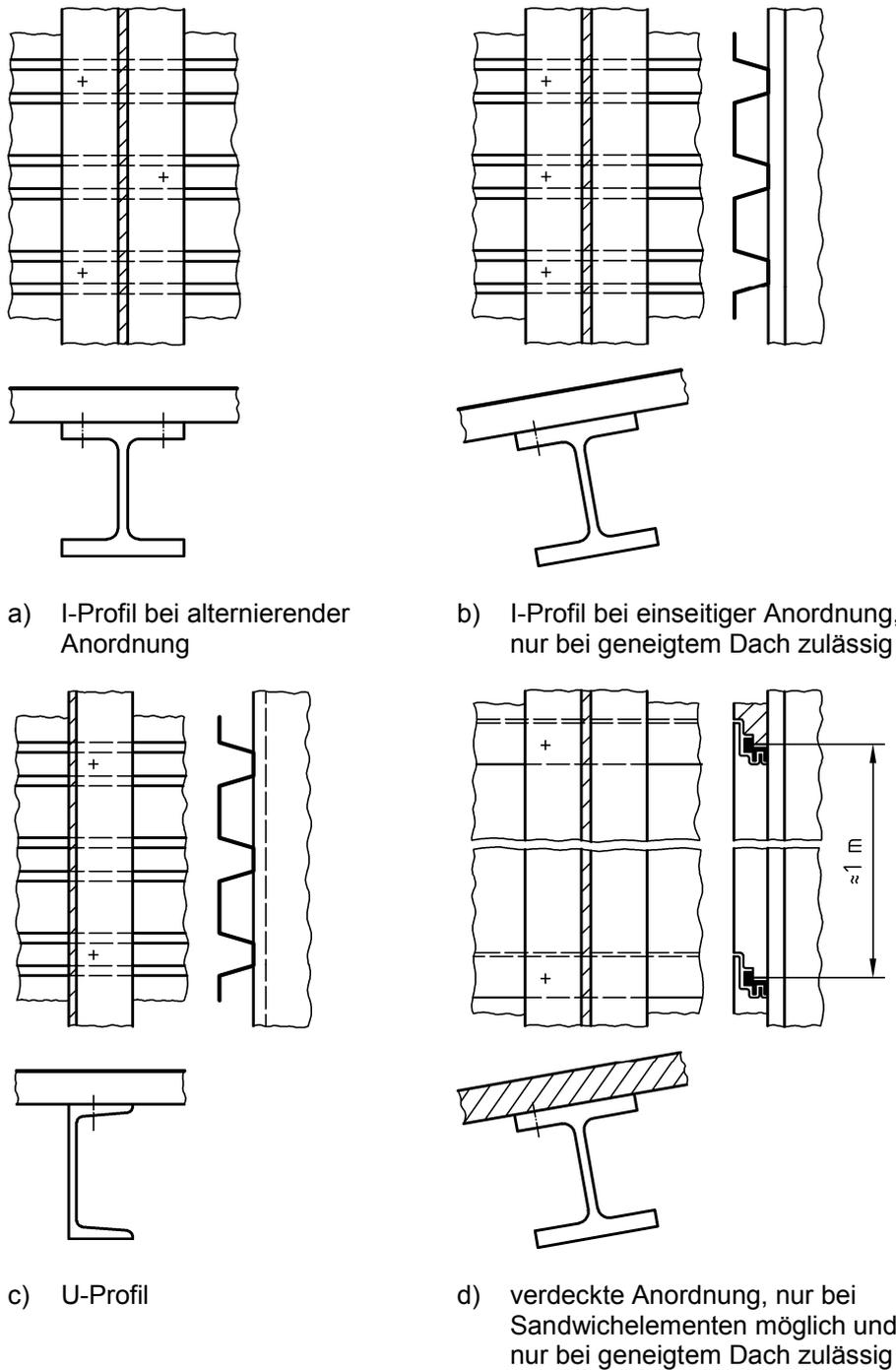


Bild 13 — Beispiele für die Schraubenanordnung bei Trapezprofilen und Sandwichelementen

3.3.3 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab

(310) Bei I-Trägern mit zur Stegachse symmetrischem Querschnitt, deren Druckgurt in einzelnen Punkten im Abstand c seitlich unverschieblich gehalten ist, ist eine genauere Biegedrillknickuntersuchung nicht erforderlich, wenn Bedingung (12) erfüllt ist.

$$\bar{\lambda} \leq 0,5 \frac{M_{pl,y,d}}{M_y} \tag{12}$$

Dabei ist

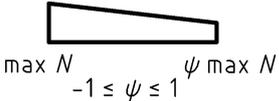
$$\bar{\lambda} = \frac{c \cdot k_c}{i_{z,g} \cdot \lambda_a} \tag{13}$$

mit

$i_{z,g}$ Trägheitsradius um die Stegachse z der aus Druckgurt und 1/5 des Steges gebildeten Querschnittsfläche;

k_c Beiwert für den Verlauf der Druckkraft im Druckgurt, nach Tabelle 8.

Tabelle 8 — Druckkraftbeiwerte k_c

	Normalkraftverlauf	k_c
1		1,00
2		0,94
3		0,86
4		$\frac{1}{1,33 - 0,33 \psi}$

Ist Bedingung (12) nicht erfüllt, darf ein vereinfachter Nachweis mit Bedingung (14) geführt werden.

$$\frac{0,843 M_y}{\kappa \cdot M_{pl,y,d}} \leq 1 \tag{14}$$

Dabei ist

M_y größter Absolutwert des Biegemomentes;

κ Abminderungsfaktor der Knickspannungslinie c oder d nach Gleichung (4) für $\bar{\lambda}$ aus Gleichung (13)
 — Knickspannungslinie d ist zu wählen für Träger, die keine gewalzten Träger nach Zeile 1 der Tabelle 9 sind und durch Querbelastung am Obergurt beansprucht werden. Hierbei ist zusätzlich Bedingung (15) einzuhalten:

$$\frac{h}{t} \leq 44 \sqrt{\frac{240}{f_{y,k}}} \tag{15}$$

mit den Trägerabmessungen

h größte Gesamthöhe;

t Dicke des Druckgurtes.

— Knickspannungslinie c darf in den übrigen Fällen gewählt werden.

ANMERKUNG Vereinfachend darf statt mit $i_{z,g}$ auch mit dem Trägheitsradius i_z des Gesamtprofils gerechnet werden,

3.3.4 Biegedrillknicken

(311) Für I-Träger sowie U- und C-Profile, bei denen keine planmäßige Torsion auftritt, ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (16) zu führen.

$$\frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} \leq 1 \tag{16}$$

Dabei ist

M_y größter Absolutwert des Biegemomentes nach 3.1, Element 303;

κ_M Abminderungsfaktor für Biegemomente in Abhängigkeit vom bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_M$

$$\kappa_M = 1 \quad \text{für} \quad \bar{\lambda}_M \leq 0,4 \tag{17}$$

$$\kappa_M = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_M^{2n}} \right)^{1/n} \quad \text{für} \quad \bar{\lambda}_M > 0,4 \tag{18}$$

mit

n Trägerbeiwert nach Tabelle 9.

Falls Biegemomente M_y mit einem Momentenverhältnis $\psi > 0,5$ nach Bild 14 vorhanden sind, so ist der Trägerbeiwert n mit einem Faktor k_n nach Bild 14 zu multiplizieren.

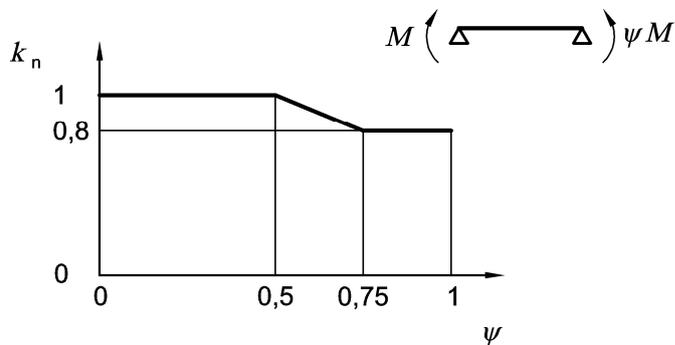
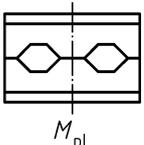
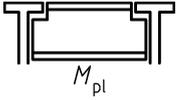
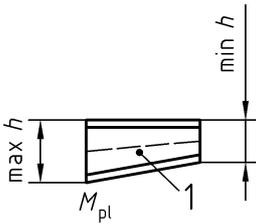


Bild 14 — Faktor k_n für den Trägerbeiwert

Tabelle 9 — Trägerbeiwert n

	Profil	n
1	gewalzte Träger 	2,5
2	geschweißte Träger 	2,0
3	Wabenträger 	1,5
4	Ausgeklinte Träger 	2,0
5	Voutenträger ^a 	1 Schweißnaht $\frac{\min h}{\max h} \geq 0,25$ $0,7 + 1,8 \frac{\min h}{\max h}$
^a Wenn die Flansche an den Steg geschweißt sind, ist der Trägerbeiwert n zusätzlich mit 0,8 zu multiplizieren.		

ANMERKUNG 1 Zur Berechnung von $\bar{\lambda}_M$ muss das ideale Biegedrillknickmoment $M_{Ki,y}$ bekannt sein. Dazu können Angaben der Literatur entnommen werden, z. B. [5], [6]. Bei gleichbleibendem, doppelsymmetrischem Querschnitt darf Gleichung (19) oder (20) angewendet werden.

$$M_{Ki,y} = \zeta \cdot N_{Ki,z} \left(\sqrt{c^2 + 0,25z_p^2} + 0,5z_p \right) \quad (19)$$

mit

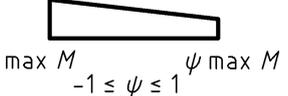
ζ Momentenbeiwert für Gabelagerung an den Enden, nach Tabelle 10;

$$N_{Ki,z} = \pi^2 \cdot E \cdot I_z / l^2;$$

$$c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 l^2 \cdot I_T}{I_z};$$

z_p Abstand des Angriffspunktes der Querbelastung vom Schwerpunkt, entsprechend Bild 1 nach unten positiv. Dies bedeutet, dass, unabhängig vom statischen System (Einfeldträger, Kragarm), eine Last am Obergurt immer mit einem negativen Wert zu versehen ist.

Tabelle 10 — Momentenbeiwerte ζ

Zeile	Momentenverlauf	ζ
1		1,00
2		1,12
3		1,35
4		1,77 - 0,77 ψ

Vereinfachend darf bei Trägerhöhen $h \leq 60$ cm Gleichung (19) auch durch Gleichung (20) ersetzt werden.

$$M_{\kappa_{i,y}} = \frac{1,32 b \cdot t (E \cdot I_y)}{l \cdot h^2} \tag{20}$$

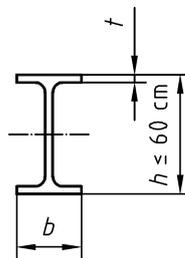


Bild 15 — Abmessungen für die vereinfachten Nachweise nach Gleichung (20) oder (21)

ANMERKUNG 2 κ_M kann auch dem Bild 10 entnommen werden, wenn der Trägerbeiwert $n = 2,5$ ist; die Kurve ist dort mit bdk bezeichnet.

ANMERKUNG 3 Der Wert $\kappa_M = 1$ darf bei Trägerhöhen $h \leq 60$ cm (siehe Bild 15) und gleichbleibendem Querschnitt angenommen werden, wenn die Bedingung (21) erfüllt ist.

$$l \leq \frac{b \cdot t}{h} \cdot 200 \cdot \frac{240}{f_{y,k}} \tag{21}$$

mit $f_{y,k}$ in N/mm².

ANMERKUNG 4 Der Trägerbeiwert n (in der Literatur [5], [6] als Systemfaktor bezeichnet) deckt Einflüsse aus Eigenspannungen und Vorverformungen auf die Traglast ab, nicht jedoch Einflüsse von Lagerbedingungen, die über $M_{\kappa_{i,y}}$ erfasst werden.

3.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft

In 3.4 ist unter „Normalkraft“ stets Druck zu verstehen.

3.4.1 Stäbe mit geringer Normalkraft

(312) Stäbe mit geringer Normalkraft, die die Bedingung (22) erfüllen, dürfen unter Vernachlässigung dieser Normalkraft nach 3.3 nachgewiesen werden.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} < 0,1 \tag{22}$$

3.4.2 Biegeknicken

3.4.2.1 Vereinfachter Nachweis für Sonderfälle

(313) Für den beidseitig gelenkig gelagerten Stab mit einer Querbelastung in Form einer Strecken- oder Einzellast und dem maximalen Moment M nach Theorie I. Ordnung darf Bedingung (3) angewendet werden, wobei jedoch in Gleichung (4b) k nach Gleichung (23) einzusetzen ist.

$$k = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_K - 0,2) + \bar{\lambda}_K^2 + \frac{M / M_{pl,d}}{N / N_{pl,d}} \right] \quad (23)$$

Es ist 3.2.1, Element 305, zu beachten.

3.4.2.2 Ersatzstabverfahren

(314) Nachweisformat

Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (24) unter Verwendung der Knickspannungslinien nach 3.2.1 zu führen

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_m \cdot M}{M_{pl,d}} + \Delta n \leq 1 \quad (24)$$

Dabei ist

κ Abminderungsfaktor nach Gleichung (4) in Abhängigkeit von $\bar{\lambda}_K$ für die maßgebende Knickspannungslinie (siehe Tabelle 5) für Ausweichen in der Momentenebene;

β_m Momentenbeiwert für Biegeknicken nach Tabelle 11, Spalte 2;

Momentenbeiwerte $\beta_m < 1$ sind nur bei Stäben mit unverschieblicher Lagerung der Stabenden und gleichbleibendem Querschnitt unter konstanter Druckkraft ohne Querlasten zulässig;

M Größter Absolutwert des Biegemomentes nach Elastizitätstheorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen;

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \left(1 - \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \right) \cdot \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_K^2; \quad \text{jedoch } \Delta n \leq 0,1.$$

Bei der Berechnung von $M_{pl,d}$ ist 1.5.2, Element 123, zu beachten.

Bei doppelsymmetrischen Querschnitten, die mindestens einen Stegflächenanteil von 18 % haben, darf in Bedingung (24) $M_{pl,d}$ durch $1,1 M_{pl,d}$ ersetzt werden, wenn

$$\frac{N}{N_{pl,d}} > 0,2 \quad (25)$$

ist.

ANMERKUNG 1 Für den Sonderfall $M = 0$ geht Bedingung (24) im Traglastzustand in die Bedingung (3) über.

ANMERKUNG 2 Vereinfachend darf für Δn auch entweder $0,25 \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_K^2$ oder $0,1$ gesetzt werden.

(315) Einfluss von Querkräften

Der Einfluss der Querkräfte auf die Tragfähigkeit des Querschnitts ist zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Dies kann durch Reduktion der vollplastischen Schnittgrößen berücksichtigt werden, z. B. nach DIN 18800-1:2008-11, Tabellen 16 und 17.

(316) Veränderliche Querschnitte und Normalkräfte

Bei veränderlichen Querschnitten und/oder Normalkräften muss der Nachweis mit Bedingung (24) für alle maßgebenden Querschnitte mit den jeweils zugehörigen Schnittgrößen, Querschnittswerten und der zugehörigen Normalkraft N_{Ki} an der betreffenden Stelle geführt werden. Zusätzlich müssen die Bedingungen (5) und (6) nach 3.2.1, Element 305, eingehalten werden.

(317) Biegesteife Verbindungen

Bei der Bemessung von biegesteifen Verbindungen ist statt des vorhandenen Biegemomentes M das vollplastische Biegemoment $M_{pl,d}$ zu berücksichtigen, sofern kein genauere Nachweis geführt wird.

ANMERKUNG Bei einem genaueren Nachweis wird bei der Bemessung der Verbindungen das Biegemoment nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung von Ersatzimperfektionen zugrunde gelegt.

(318) Stababschnitte ohne Druckkräfte

Stababschnitte ohne Druckkräfte, die aufgrund der Verbindung mit druckkraftbeanspruchten Stäben Biegemomente aufnehmen, sind mit Bedingung (26) nachzuweisen. Die Streckgrenze der druckkraftfreien Querschnitte darf dabei nicht kleiner sein als die der druckkraftbeanspruchten.

$$\frac{M}{\frac{M_{pl,d}}{1 - \frac{1,15}{\eta_{Ki}}} } \leq 1 \tag{26}$$

mit $\eta_{Ki} > 1,15$.

ANMERKUNG Stababschnitte ohne Druckkräfte können z. B. Rahmenriegel sein, die an druckbeanspruchten Stützen angeschlossen sind.

(319) Einwirkungsfälle Lagerbewegung und Temperatur

Bei der Bestimmung des Biegemomentes M sind gegebenenfalls auch Einflüsse von Verformungen infolge der Einwirkungsfälle Lagerbewegung oder Temperatur zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Angaben hierzu sind der Literatur zu entnehmen (z. B. [7]).

3.4.3 Biegedrillknicken

(320) Für Stäbe, bei denen keine planmäßige Torsion auftritt, mit konstanter Normalkraft und doppelt- oder einfachsymmetrischem, I-förmigem Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen, sowie für U- und C-Profile ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (27) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} k_y \leq 1 \tag{27}$$

Außer den in 3.3.4 erläuterten Größen bedeuten:

κ_z Abminderungsfaktor nach Gleichung (4) mit $\bar{\lambda}_{\kappa,z}$ für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse;

$\bar{\lambda}_{\kappa,z} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki}}}$ bezogener Schlankheitsgrad für Normalkraftbeanspruchung;

N_{Ki} Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast für das Ausweichen rechtwinklig zur z-Achse oder Drillknicklast;

$\beta_{M,y}$ Momentenbeiwert β_M für Biegedrillknicken nach Tabelle 11, Spalte 3 zur Erfassung der Form des Biegemomentes M_y ;

k_y Beiwert zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs M_y und des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_{\kappa,z}$

$$k_y = 1 - \frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} a_y \quad \text{jedoch} \quad k_y \leq 1$$

$$a_y = 0,15 \lambda_{\kappa,z} \cdot \beta_{M,y} - 0,15 \quad \text{jedoch} \quad a_y \leq 0,9$$

ANMERKUNG 1 Insbesondere bei U- und C-Profilen ist zu beachten, dass planmäßige Torsion mit diesem Nachweis nicht erfasst ist.

ANMERKUNG 2 T-Querschnitte sind durch die Regelungen dieses Abschnitts nicht erfasst.

ANMERKUNG 3 Eine Näherung auf der sicheren Seite ist mit $k_y = 1$ gegeben.

ANMERKUNG 4 Die Drillknicklast wird z. B. bei einem Stab mit gebundener Drehachse maßgebend.

3.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

In 3.5 ist unter „Normalkraft“ stets Druck zu verstehen.

3.5.1 Biegeknicken

(321) Nachweismethode 1

Bei Anwendung der Nachweismethode 1 ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (28) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{M_{pl,y,d}} \cdot k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} \cdot k_z \leq 1 \quad (28)$$

mit

$\kappa = \min(\kappa_y, \kappa_z)$ Abminderungsfaktor der maßgebenden Knickspannungslinie nach Gleichung (4);

M_y, M_z größter Absolutwert der Biegemomente nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen;

$\beta_{M,y}, \beta_{M,z}$ Momentenbeiwerte β_M nach Tabelle 11, Spalte 3 zur Erfassung der Form der Biegemomente M_y, M_z ;

$\alpha_{pl,y}, \alpha_{pl,z}$ plastische Formbeiwerte für Biegemomente M_y bzw. M_z ; Abschnitt 1.5.2, Element 123, ist hierbei nicht anzuwenden;

k_y Beiwert zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs M_y und des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_{K,y}$

$$k_y = 1 - \frac{N}{\kappa_y \cdot N_{pl,d}} a_y \quad \text{jedoch} \quad k_y \leq 1,5$$

$$a_y = \bar{\lambda}_{K,y} (2\beta_{M,y} - 4) + (\alpha_{pl,y} - 1) \quad \text{jedoch} \quad a_y \leq 0,8$$

k_z Beiwert zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs M_z und des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_{K,z}$

$$k_z = 1 - \frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} a_z \quad \text{jedoch} \quad k_z \leq 1,5$$

$$a_z = \bar{\lambda}_{K,z} (2\beta_{M,z} - 4) + (\alpha_{pl,z} - 1) \quad \text{jedoch} \quad a_z \leq 0,8$$

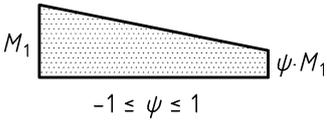
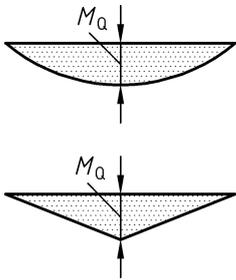
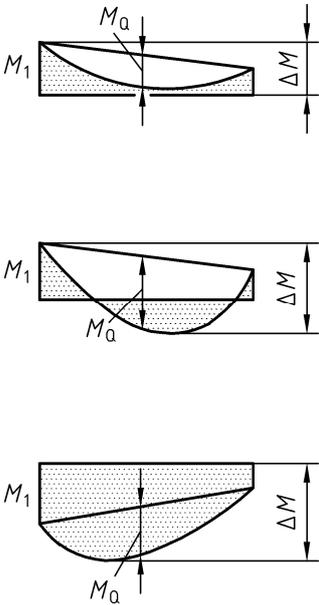
$M_{pl,z,d}$ Bemessungswert des Biegemomentes M_z im vollplastischen Zustand ohne Berücksichtigung von 1.5.2, Element 123.

3.2.1, Element 305, ist zu beachten.

ANMERKUNG 1 Wenn Bedingung (28) für den Fall der einachsigen Biegung mit Normalkraft angewendet wird, ist für κ der Abminderungsfaktor für die betrachtete Biegeebene einzusetzen.

ANMERKUNG 2 Die tatsächlich vorhandene Vergrößerung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung wird dadurch erfasst, dass die bezogenen Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_{K,y}$ und $\bar{\lambda}_{K,z}$ über die Knicklängen am Gesamtsystem ermittelt werden, siehe [8].

Tabelle 11 — Momentenbeiwerte

	1	2	3
	Momentenverlauf	Momentenbeiwerte β_m für Biegeknicken	Momentenbeiwerte β_M für Biegedrillknicken und Biegeknicken
1	<p>Stabendmomente</p>  <p>$-1 \leq \psi \leq 1$</p>	<p>$\beta_{m,\psi} = 0,66 + 0,44 \psi$</p> <p>jedoch $\beta_{m,\psi} \geq 1 - \frac{1}{\eta_{ki}}$</p> <p>und $\beta_{m,\psi} \geq 0,44$</p>	<p>$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$</p>
2	<p>Momente aus Querlast</p> 	<p>$\beta_{m,Q} = 1,0$</p>	<p>$\beta_{M,Q} = 1,3$</p> <p>$\beta_{M,Q} = 1,4$</p>
3	<p>Momente aus Querlasten mit Stabendmomenten</p> 	<p>$\psi \leq 0,77:$</p> <p>$\beta_m = 1,0$</p> <p>$\psi > 0,77:$</p> <p>$\beta_m = \frac{M_Q + M_1 \cdot \beta_{m,\psi}}{M_Q + M_1}$</p>	<p>$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$</p> <p>$M_Q = \max M$ nur aus Querlast</p> <p>$\Delta M = \begin{cases} \max M & \text{bei nicht durchschlagendem Momentenverlauf} \\ \max M + \min M & \text{bei durchschlagendem Momentenverlauf} \end{cases}$</p>

(322) Nachweismethode 2

Bei Anwendung der Nachweismethode 2 ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (29) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} + \frac{\beta_{m,y} \cdot M_y}{M_{pl,y,d}} k_y + \frac{\beta_{m,z} \cdot M_z}{M_{pl,z,d}} k_z + \Delta n \leq 1 \tag{29}$$

mit

$\kappa = \min(\kappa_y, \kappa_z)$ Abminderungsfaktor der maßgebenden Knickspannungslinie nach Gleichung (4);

M_y, M_z Größter Absolutwert der Biegemomente nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen;

$\beta_{m,y}, \beta_{m,z}$ Momentenbeiwert β_m für Biegeknicken nach Tabelle 11, Spalte 2 zur Erfassung der Form des Biegemomentes M_y bzw. M_z

$k_y = 1, k_z = c_z$ für $\kappa_y < \kappa_z$

$k_y = 1, k_z = 1$ für $\kappa_y = \kappa_z$

$k_y = c_y, k_z = 1$ für $\kappa_z < \kappa_y$

$$c_z = \frac{1}{c_y} = \frac{1 - \frac{N}{N_{pl,d}} \bar{\lambda}_{K,y}^2}{1 - \frac{N}{N_{pl,d}} \bar{\lambda}_{K,z}^2}$$

Für Δn siehe 3.4.2.2, Element 314, wobei $\bar{\lambda}_K$ zugehörig zu κ einzusetzen ist; die übrigen Elemente dieses Abschnitts sind sinngemäß anzuwenden.

ANMERKUNG Falls nur ein Biegemoment vorhanden ist, geht Bedingung (29) in Bedingung (24) über, wenn für κ der Abminderungsfaktor für die betrachtete Biegeebene eingesetzt wird.

3.5.2 Biegedrillknicken

(323) Für Stäbe mit konstanter Normalkraft und mit doppelt- oder einfachsymmetrischem I-förmigem Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen der Walzprofile entsprechen, ist der Tragsicherheitsnachweis mit Bedingung (30) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa_z \cdot N_{pl,d}} + \frac{M_y}{\kappa_M \cdot M_{pl,y,d}} k_y + \frac{M_z}{M_{pl,z,d}} k_z \leq 1 \tag{30}$$

mit

k_y nach 3.4.3, Element 320;

k_z nach 3.5.1, Element 321.

Die übrigen Größen sind in 3.3.4, 3.4.3 und 3.5.1 erläutert.

ANMERKUNG 1 Planmäßige Torsion ist in diesem Nachweis nicht erfasst.

ANMERKUNG 2 T-Querschnitte sind durch die Regelungen dieses Abschnitts nicht erfasst.

ANMERKUNG 3 Eine Näherung auf der sicheren Seite ist mit $k_y = 1$ und $k_z = 1,5$ gegeben.

4 Mehrteilige, einfeldrige Stäbe

4.1 Allgemeines

(401) Ausweichen rechtwinklig zur Stoffachse

Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben, sind für das Ausweichen rechtwinklig zu dieser Stoffachse wie einteilige Stäbe nach Abschnitt 3 zu berechnen. Für Druck und planmäßige Biegung M_y gilt das nur, wenn kein planmäßiges Biegemoment M_z vorhanden ist.

(402) Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse

Für das Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse dürfen mehrteilige Stäbe mit unveränderlichem Querschnitt ersatzweise wie einteilige Stäbe berechnet werden, wobei neben den Momenten- auch die Querkraftverformungen zu berücksichtigen sind. Dabei sind die Einzelglieder für ihre Schnittgrößen zu bemessen, die sich aus den Gesamtschnittgrößen ergeben (siehe 4.3.2 und 4.3.3).

ANMERKUNG Es kann auch ein Stabwerk unter Berücksichtigung aller Einzelstäbe berechnet werden. Für die ersatzweise Berechnung als Vollstab werden Angaben für Rahmenstäbe mit 2 Gurten gemacht. Angaben für mehr als 2 Gurte können der Literatur entnommen werden. [9]

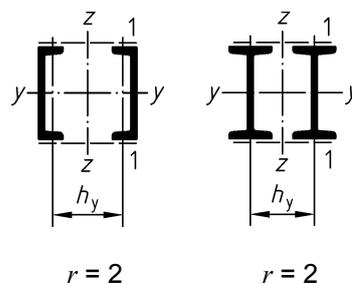


Bild 16 — Beispiele für mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben

(403) Querschnitte mit zwei stofffreien Achsen

Bei Querschnitten mit zwei stofffreien Achsen gelten die folgenden Abschnitte sinngemäß für beide Achsen.

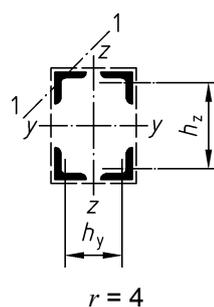


Bild 17 — Beispiel für einen mehrteiligen Stab, dessen Querschnitt zwei stofffreie Achsen hat

4.2 Häufig verwendete Formelzeichen

(404)

l	Systemlänge des mehrteiligen Stabes;
r	Anzahl der einzelnen Gurte;
h_y, h_z	Spreizung der Gurtstäbe, von deren Schwerlinien aus gerechnet;
a	Länge des Gurtstabes zwischen 2 Knotenpunkten;
A_G	ungeschwächte Querschnittsfläche eines Gurtes;
$A = \sum A_G$	ungeschwächte Querschnittsfläche des mehrteiligen Stabes;
A_D	ungeschwächte Querschnittsfläche eines Diagonalstabes aus dem Fachwerkverband;
i_1	kleinster Trägheitsradius des Querschnittes eines einzelnen Gurtes;
$I_{z,G}$	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) eines Gurtquerschnittes um seine zur stofffreien z-Achse parallele Schwerachse;
y_s	Schwerpunktastand des einzelnen Gurtquerschnittes von der z-Achse;
$I_z = \sum (A_G \cdot y_s^2 + I_{z,G})$	Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnittes um die stofffreie z-Achse unter der Annahme schubstarrer Verbindung der Gurte;
$s_{K,z}$	Knicklänge des Ersatzstabes ohne Berücksichtigung seiner Querkraftverformung;
$\lambda_{K,z} = \frac{s_{K,z}}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}}$	Schlankheitsgrad des Ersatzstabes bei Rahmenstäben ohne Berücksichtigung der Querkraftverformungen;
η	Korrekturwert nach Tabelle 12 für Rahmenstäbe;
$I_z^* = \sum (A_G \cdot y_s^2 + \eta \cdot I_{z,G})$	Rechenwert für das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnittes bei Rahmenstäben;
$I_z^* = \sum (A_G \cdot y_s^2)$	Rechenwert für das Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) des Gesamtquerschnittes bei Gitterstäben;
$W_z^* = \frac{I_z^*}{y_s}$	Widerstandsmoment des Gesamtquerschnittes, bezogen auf die Schwerachse des äußersten Gurtes;
$S_{z,d}^*$	Bemessungswert der Schubsteifigkeit des Ersatzstabes.

Tabelle 12 — Korrekturwerte η für Rahmenstäbe

$\lambda_{K,z}$	η
≤ 75	1
$75 < \lambda_{K,z} \leq 150$	$2 - \frac{\lambda_{K,z}}{75}$
> 150	0

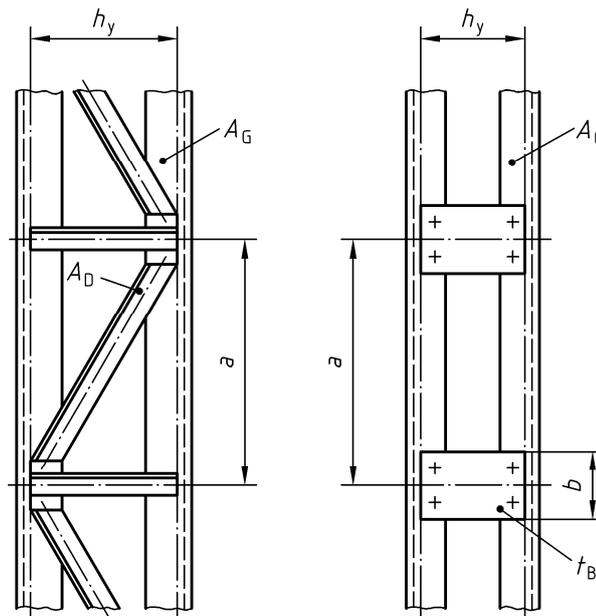


Bild 18 — Mehrteilige Stäbe, Beispiele für Gitterstab und Rahmenstab

ANMERKUNG 1 Die Schubsteifigkeit entspricht derjenigen Querkraft, die den Schubwinkel $\gamma = 1$ hervorruft.

ANMERKUNG 2 Beispiele für die Schubsteifigkeit von Rahmen- und Gitterstäben sind in Tabelle 13 enthalten.

ANMERKUNG 3 Bei Rahmenstäben ist die Schubsteifigkeit mit dem Faktor $\pi^2/12$ multipliziert, um ein reines Schubversagen des Einzelfeldes auszuschließen (Tabelle 13).

4.3 Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse

4.3.1 Schnittgrößenermittlung am Gesamtstab

(405) Die Schnittgrößen des Gesamtstabes sind unter Beachtung der jeweils vorliegenden Randbedingungen zu ermitteln. Für den planmäßig mittig gedrückten Stab mit gelenkiger, unverschieblicher Lagerung der Enden betragen die Schnittgrößen des Gesamtstabes

— in Stabmitte:

$$M_z = \frac{N \cdot v_0}{1 - \frac{N}{N_{Kl,z,d}}} \quad (31)$$

mit

$$N_{ki,z,d} = \frac{1}{\frac{l^2}{\pi^2 \cdot (E \cdot I_z^*)_d} + \frac{1}{S_{z,d}^*}} \quad (32)$$

— am Stabende:

$$\max V_y = \frac{\pi \cdot M_z}{l} \quad (33)$$

ANMERKUNG 1 Schnittgrößen für Druck und planmäßige Biegung können der Literatur entnommen werden, z. B. [10].

ANMERKUNG 2 Die Bezeichnung V anstelle von Q für die Querkraft wird in Übereinstimmung mit internationalen Regelwerken verwendet.

4.3.2 Nachweis der Einzelstäbe

4.3.2.1 Gurte von Gitterstäben und Rahmenstäben

(406) Mit den Schnittgrößen des schubweichen Gesamtstabes ergibt sich die Normalkraft des meistbeanspruchten Gurtcs zu

$$N_G = \frac{N}{r} \pm \frac{M_z}{W_z^*} A_G \quad (34)$$

Mit der Normalkraft N_G ist der Gurtabschnitt nach 3.2 unter der Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung nachzuweisen. Für den Schlankheitsgrad $\lambda_{K,1}$ gilt

$$\lambda_{K,1} = \frac{s_{K,1}}{i_1} \quad (35)$$

Dabei ist

$s_{K,1}$ Knicklänge des Gurtabschnittes. Hierfür darf in der Regel die Gurtlänge a zwischen den Knotenpunkten eingesetzt werden. Die Knicklänge für Gurtabschnitte von vierteiligen Gitterstäben aus Winkelprofilen muss nach Tabelle 13 angesetzt werden.

ANMERKUNG Für Gitterstäbe nach Tabelle 13, Spalten 4 und 5 mit Querlasten innerhalb der Gurtlänge a kann der Nachweis nach 3.4 geführt werden.

Tabelle 13 — Knicklängen $s_{K,1}$ und Ersatzschubsteifigkeiten $S_{z,d}^*$ von Gitter- und Rahmenstäben

		1	2	3	4	5	6
1		Gitterstäbe					Rahmenstäbe
2	$s_{K,1}$	1,52 a	1,28 a	a	a		a
3	$S_{z,d}^*$	$m \cdot (E \cdot A_D)_d \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2 \alpha$ m Anzahl der zur stofffreien Achse rechtwinkligen Verbände					$\frac{2\pi^2 \cdot (E \cdot I_{z,G})_d}{a^2}$ Wenn $\eta \cdot I_B / h_y \geq 10 I_{z,G} / a$ I_B Biegesteifigkeit des Bindebleches
<p>Die Knicklängen $s_{K,1}$ nach Spalte 1 und 2 gelten nur für Gurte aus Winkelstäben, wobei der Schlankheitsgrad λ_1 mit dem kleinsten Trägheitsradius i_1 gebildet wird.</p> <p>Werden ausnahmsweise Verbindungsmittel mit Schlupf verwendet, so darf dies durch eine entsprechende Erhöhung der geometrischen Ersatzimperfection berücksichtigt werden.</p> <p>Die Angaben für $S_{z,d}^*$ gelten nicht für den Gerüstbau. Dort sind in der Regel sehr nachgiebige Verbindungsmittel vorhanden, deren Einfluss dann zu berücksichtigen ist.</p>							

ANMERKUNG Weitere Angaben zur Nachgiebigkeit und zum Schlupf der Verbindungsmittel sowie zur Erfassung von Anschlussexzentrizitäten der Füllstäbe in Gitterstäben können der Literatur entnommen werden, z. B. [9].

4.3.2.2 Füllstäbe von Gitterstäben

(407) Die Normalkräfte der Füllstäbe ergeben sich aus den Querkräften V_y des Gesamtstabes. Die Füllstäbe sind nach 3.2 unter der Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung nachzuweisen. Die Knicklänge ist 5.1.2 zu entnehmen.

ANMERKUNG Für den planmäßig mittig gedrückten Stab ergibt sich die Querkraft V_y des Gesamtstabes nach Gleichung (33).

4.3.3 Nachweis der Einzelfelder von Rahmenstäben

(408) Einzelfeld zwischen zwei Bindeblechen

Für das zwischen zwei Bindeblechen liegende Einzelfeld, das die maximale Querkraft $\max V_y$ aus der Berechnung des Gesamtsystems erhält, ist nachzuweisen, dass für einen Gurt mit

dem Stabendmoment
$$M_G = \frac{\max V_y}{r} \frac{a}{2} \tag{36}$$

der Querkraft
$$V_G = \frac{\max V_y}{r} \tag{37}$$

der Normalkraft
$$N_G = \frac{N}{r} \pm \frac{M_z(x_B)}{W_z^*} A_G \tag{38}$$

mit

x_B Längskoordinate an der Stelle des Bindebleches,

die Tragfähigkeit ausreichend ist.

Bei einfachsymmetrischen Gurtquerschnitten darf das aufnehmbare Moment M an den Enden des Gurtabschnittes aus dem Mittelwert der aus der Interaktionsbedingung zu entnehmenden Momente $\pm M_{pl,NG}$ gebildet werden.

ANMERKUNG 1 Die plastische Tragfähigkeit des Gurtquerschnitts nach den Interaktionsbedingungen darf in Anspruch genommen werden, [9], [10]. Dabei ist die Querkraft V_G in der Regel vernachlässigbar.

ANMERKUNG 2 Die aufnehmbaren Momente $M_{pl,NG}$ der Gurte am Bindeblechanschluss sind wegen der unterschiedlichen Drehrichtung verschieden groß. Das Rahmenfeld versagt erst bei Ausnutzung aller $M_{pl,NG}$ -Werte, [9].

ANMERKUNG 3 Auch bei Gurten aus Winkelprofilen sind die Momentenachsen hier parallel zur stofffreien Achse anzunehmen.

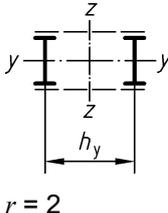
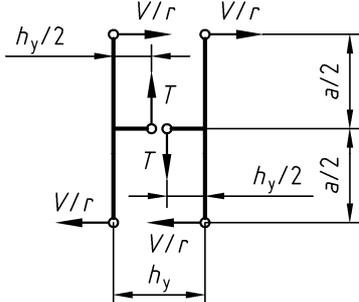
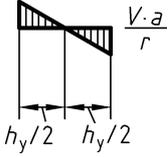
(409) Bindebleche

Die Bindebleche sind mit ihren Anschlüssen für die Schubkraft T und den entsprechenden Momentenverlauf zu bemessen (vergleiche z. B. Tabelle 14).

Das gilt auch für mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung nach den Bildern 19, 20 und 21. Zu berücksichtigen sind die Momente in den Schwerpunkten der Bindeblechanschlüsse.

Bei Anordnung von Flachstahlfutterstücken als Querverbindung in Rahmenstäben nach den Bildern 19 und 21 genügt eine Bemessung des Anschlusses für die vorhandene Schubkraft T .

Tabelle 14 — Schnittgrößenverteilung in den Bindeblechen von Rahmenstäben

	1	2
1	Querschnitt mehrteiliger Rahmenstäbe	 $r = 2$
2	Statisches Modell	
3	Biegemomentenverteilung in der Querverbindung unter den Schubkräften T	
4	Schubkraft T in der Querverbindung	$T = \frac{V \cdot a}{h_y}$

4.4 Mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung

(410) Querschnitte mit einer stofffreien Achse

Mehrteilige Stäbe nach Bild 19, bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe nicht oder nur wenig größer als die Dicke des Knotenbleches ist, dürfen auch für das Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse wie einteilige Druckstäbe nach Abschnitt 3 berechnet werden, wenn

— die Abstände der nach 4.5 angeordneten Bindebleche oder Flachstahlfutterstücke nicht mehr als $15 i_1$ betragen

oder

— zur Verbindung ein durchgehendes Flachstahlfutter verwendet wird, das in Abständen kleiner als $15 i_1$ angeschlossen ist.

Ein durchgehendes Futter darf bei der Ermittlung des Trägheitsmomentes berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung der Querschnittsfläche A gilt dies nur, wenn es am Knotenblech ausreichend angeschlossen ist.

Die Schubkraft T in den Bindeblechen, Anschlüssen der Futterstücke oder Futter darf in diesem Falle für eine Querkraft V berechnet werden, die 2,5 % der Druckkraft im Rahmenstab beträgt.

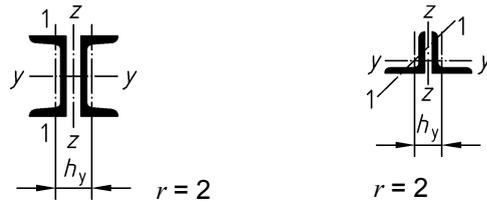


Bild 19 — Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitte eine Stoffachse haben

(411) Querschnitte aus zwei übereck gestellten Winkelprofilen

Stäbe mit Querschnitten aus zwei übereck gestellten Winkelprofilen (Bild 20) brauchen nur für das Ausweichen rechtwinklig zur Stoffachse mit

$$\lambda_{K,y} = \frac{s_{K,y}}{i_y} \tag{39}$$

nachgewiesen zu werden, wobei im Falle zweier verschiedener Knicklängen für $s_{K,y}$ das arithmetische Mittel der beiden Knicklängen eingesetzt wird.

Bei Winkelprofilen mit dem im Bild 20 b) dargestellten Querschnitt darf

$$i_y = \frac{i_0}{1,15} \tag{40}$$

eingesetzt werden, wobei sich der Trägheitsradius i_0 des Gesamtquerschnittes auf die zum langen Winkel-schenkel parallele Schwerachse bezieht.



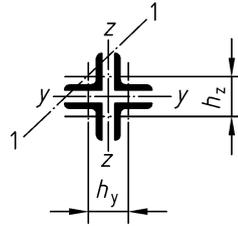
Bild 20 — Mehrteilige Stäbe, deren Querschnitt aus zwei übereck gestellten Winkelprofilen besteht

Aufeinanderfolgende Bindebleche dürfen versetzt oder gleichgerichtet angeordnet werden. Die Schubkraft T darf wie in Element 410 angegeben ermittelt werden.

ANMERKUNG Die Knicklängen von Stäben oder Pfosten in Fachwerken sind nach 5.1.2.1, Element 503, für das Ausweichen in oder aus der Fachwerkebene verschieden groß. Hier stellt sich eine mittlere Ausweichrichtung ein.

(412) Querschnitte mit zwei stofffreien Achsen

Für mehrteilige Stäbe nach Bild 21, bei denen der lichte Abstand der Einzelstäbe nicht oder nur wenig größer als die Dicke des Knotenblechs ist, sind die für mehrteilige Stäbe nach Bild 19 angegebenen Regelungen sinngemäß auf die beiden stofffreien Achsen anzuwenden.



$$r = 4$$

Bild 21 — Mehrteiliger Stab mit geringer Spreizung, dessen Querschnitt zwei stofffreie Achsen hat

4.5 Konstruktive Anforderungen

(413) Erhaltung der Querschnittsform

Bei Stäben, deren Querschnitt zwei stofffreie Achsen hat, muss die Erhaltung der rechteckigen Querschnittsform durch Querschotte gesichert werden.

ANMERKUNG Querschotte sind z. B. Verbände, Bleche oder Rahmen.

(414) Anordnung der Bindebleche und Flachstahlfutterstücke

Rahmenstäbe müssen an den Enden Bindebleche erhalten. Für Gitterstäbe gilt dies ebenfalls, wenn kein Endverband mit gekreuzten Diagonalen angeordnet wird.

Werden mehrteilige Stäbe an ein gemeinsames Knotenblech angeschlossen, so ist beim Knotenblech die Wirkung als Endbindeblech oder Endfutterblech zu berücksichtigen.

Die übrigen Bindebleche sind so aufzuteilen, dass die lichten Abstände gleich oder angenähert gleich groß werden. An ihrer Stelle dürfen bei Stäben nach den Bildern 19 und 21 Flachstahlfutterstücke verwendet werden. Die Felderzahl muss $n \geq 3$ sein. Es ist Bedingung (41) einzuhalten.

$$\frac{a}{i_1} \leq 70 \quad (41)$$

5 Stabwerke

5.1 Fachwerke

5.1.1 Allgemeines

(501) Berechnung der Stabkräfte

Die Stabkräfte eines Fachwerkes dürfen unter Annahme gelenkiger Knotenpunktausbildung berechnet werden. Nebenspannungen infolge der Knotenausbildung brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Bei Druckgurten mit einem über die Länge veränderlichen Querschnitt darf in der Regel die Außermittigkeit des Kraftangriffes im Einzelstab unberücksichtigt bleiben, wenn die gemittelte Schwerachse der Einzelquerschnitte in die Systemlinie des Druckgurtes gelegt wird.

(502) Nachweis für druckbeanspruchte Stäbe

Druckbeanspruchte Stäbe dürfen nach Abschnitten 3, 4 bzw. 7 nachgewiesen werden.

5.1.2 Knicklängen planmäßig mittig gedrückter Fachwerkstäbe

5.1.2.1 Allgemeines

(503) Stäbe mit unverschieblich gehaltenen Enden

Für Streben und Pfosten, deren Knoten gegen Ausweichen aus der Fachwerkebene unverschieblich gehalten sind und die durch Schweißen oder mit mindestens zwei Schrauben angeschlossen sind, gilt für das Ausweichen, sofern kein genauere Nachweis geführt wird

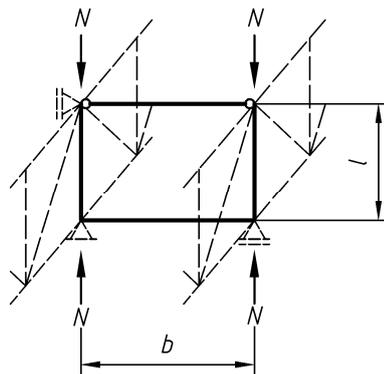
in der Fachwerkebene: $s_K = 0,9 l$ (42)

rechtwinklig zur Fachwerkebene: $s_K = l$ (43)

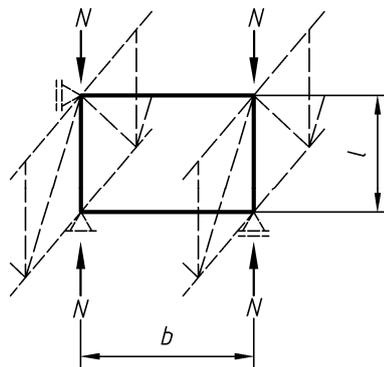
(504) Stäbe mit elastisch gehaltenen Enden

Für Streben und Pfosten, die rechtwinklig zur Fachwerkebene an den Knotenpunkten durch Querträger oder Querriegel horizontal gehalten und elastisch eingespannt sind, hängt die Knicklänge für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene von der konstruktiven Ausbildung ab.

ANMERKUNG Die Knicklänge $s_{K,y}$ der Fachwerkstäbe nach Bild 22 für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene kann mit Bild 27 bestimmt werden.



Rechtwinklig zur Fachwerkebene horizontal gehaltene, einseitig elastisch eingespannte Pfosten



Rechtwinklig zur Fachwerkebene horizontal gehaltene, beidseitig elastisch eingespannte Pfosten

Bild 22 — Fachwerkstäbe mit drehelastisch gehaltenen Enden für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene

(505) Stäbe mit einem verschieblichen und einem oder zwei drehelastisch gehaltenen Enden

Für Streben oder Pfosten in Fachwerkhauptträgern, die zugleich Stiele verschieblicher Querrahmen (Portalrahmen) sind, darf bei rechtwinklig zur Fachwerkebene gehaltenen Fachwerkuntergurten die Knicklänge rechtwinklig zur Fachwerkebene wie für nicht richtungstreue Druckkräfte bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Rechtwinklig zur Fachwerkebene können Gurte z. B. durch die Fahrbahn gehalten werden.

ANMERKUNG 2 Die Knicklänge kann mit Hilfe der Bilder 36 bis 38 bestimmt werden.

Tabelle 15 — Knicklängen von Fachwerkstäben mit konstanten Querschnitten für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene

	1	2	3
1		$s_K = l \sqrt{\frac{1 - \frac{3}{4} \frac{Z \cdot l}{N \cdot l_1}}{1 + \frac{I_1 \cdot l^3}{I \cdot l_1^3}}}$ <p>jedoch $s_K \geq 0,5 l$</p>	
2		$s_K = l \sqrt{\frac{1 + \frac{N_1 \cdot l}{N \cdot l_1}}{1 + \frac{I_1 \cdot l^3}{I \cdot l_1^3}}}$ <p>jedoch $s_K \geq 0,5 l$</p>	$s_{K,1} = l_1 \sqrt{\frac{1 + \frac{N \cdot l_1}{N_1 \cdot l}}{1 + \frac{I \cdot l_1^3}{I_1 \cdot l^3}}}$ <p>jedoch $s_{K,1} \geq 0,5 l_1$</p>
3		<p>Durchlaufender Druckstab</p> $s_K = l \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \cdot \frac{N_1 \cdot l}{N \cdot l_1}}$	<p>Gelenkig angeschlossener Druckstab</p> <p>$s_{K,1} = 0,5 l_1$, wenn</p> $(E \cdot I)_d \geq \frac{N_1 \cdot l^3}{\pi^2 \cdot l_1} \left(\frac{\pi^2}{12} + \frac{N \cdot l_1}{N_1 \cdot l} \right)$
4		$s_K = l \sqrt{1 - 0,75 \frac{Z \cdot l}{N \cdot l_1}}$ <p>jedoch $s_K \geq 0,5 l$</p>	

Tabelle 15 — (fortgesetzt)

	1	2	3
5		$s_K = 0,5 l$ wenn $\frac{N \cdot l_1}{Z \cdot l} \leq 1$ oder wenn gilt $(E \cdot I_1)_d \geq \frac{3Z \cdot l_1^2}{4\pi^2} \left(\frac{N \cdot l_1}{Z \cdot l} - 1 \right)$	
6		$s_K = l \left(0,75 - 0,25 \left \frac{Z}{N} \right \right)$ jedoch $s_K \geq 0,5 l$	$s_{K,1} = l \left(0,75 + 0,25 \frac{N_1}{N} \right)$ $N_1 < N$

5.1.2.2 Fachwerkstäbe, die durch einen anderen Fachwerkstab gestützt werden

(506) Verbindung an der Kreuzungsstelle

An der Kreuzungsstelle müssen beide Stäbe unmittelbar oder über ein Knotenblech miteinander verbunden werden.

Wenn beide Stäbe durchlaufen, ist deren Verbindung für eine Kraft, rechtwinklig zur Fachwerkebene wirkend, von 10 % der größeren Druckkraft zu bemessen.

(507) Knicklänge in der Fachwerkebene

Für das Ausweichen in der Fachwerkebene ist als Knicklänge die Netzlänge bis zum Knotenpunkt der sich kreuzenden Stäbe anzunehmen.

(508) Knicklänge rechtwinklig zur Fachwerkebene

Die Knicklängen für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene dürfen in Abhängigkeit von der konstruktiven Ausbildung aus Tabelle 15 entnommen werden.

5.1.2.3 Fachwerk-Füllstäbe, die in ihrer Mitte federnd gestützt sind

(509) Für das Ausweichen rechtwinklig zur Fachwerkebene dürfen die Knicklängen in Abhängigkeit von der Rahmensteifigkeit mit Gleichung (44) bestimmt werden.

$$s_K = l \sqrt{1 - \frac{3}{16} \frac{C_d \cdot l}{N}} \tag{44}$$

Dabei ist

- l Systemlänge des Stabes;
- N größte Druckkraft des Stabes (N_1 oder N_2);

C_d Rahmensteifigkeit (Kraft pro Längeneinheit) bezüglich der Verschiebung der Anschlussstellen von Füllstäben und Pfosten des Halbrahmens rechtwinklig zur Fachwerkebene, jedoch $C_d \leq 4 N/l$.

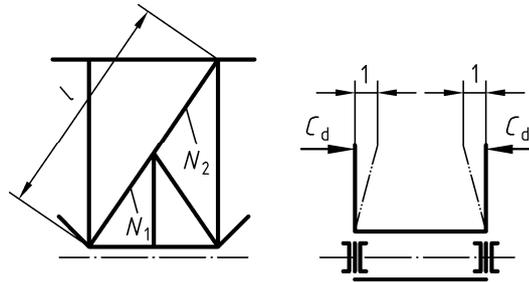


Bild 23 — Fachwerkfüllstab und Rahmensteifigkeit

5.1.2.4 Fachwerk-Füllstäbe aus einem einteiligen Winkelprofil

(510) Bei Winkelprofilen, die gelenkig, z. B. mit nur einer Schraube angeschlossen sind, ist der Einfluss der Exzentrizität zu berücksichtigen.

Wenn einer der beiden Winkelschenkel im Knoten biegesteif angeschlossen ist, darf der Einfluss der Exzentrizität vernachlässigt und die Biegeknickuntersuchung nach 3.2.1 mit dem bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}'_K$ aus Tabelle 16 geführt werden.

Tabelle 16 — Bezogener Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}'_K$

	1	2
1	$0 < \bar{\lambda}_K \leq \sqrt{2}$	$\bar{\lambda}'_K = 0,35 + 0,753 \bar{\lambda}_K$
2	$\sqrt{2} < \bar{\lambda}_K \leq 3,0$	$\bar{\lambda}'_K = 0,50 + 0,646 \bar{\lambda}_K$
3	$\bar{\lambda}_K = \frac{l}{i_1 \cdot \lambda_a}$ bezogener Schlankheitsgrad des Füllstabes l Systemlänge des Füllstabes i_1 kleinster Trägheitsradius des Winkelquerschnittes	

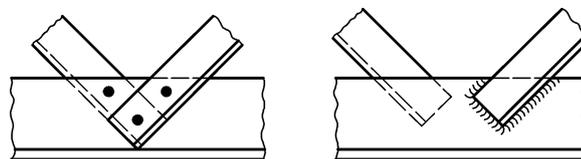


Bild 24 — Beispiele für biegesteif angeschlossene Winkelprofile

5.2 Rahmen und Durchlaufträger mit unverschieblichen Knotenpunkten

5.2.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen

(511) Die in 5.2 angegebenen Kriterien und Formeln setzen voraus, dass die Normalkraftverformungen der Stiele von Rahmen und Aussteifungselementen vernachlässigbar sind. Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn die Bedingung (45) eingehalten ist.

$$E \cdot I \geq 2,5 S \cdot L^2 \tag{45}$$

Dabei ist

$E \cdot I$ die Biegesteifigkeit,

S die Stockwerksteifigkeit und

L die Gesamthöhe (siehe Bild 25)

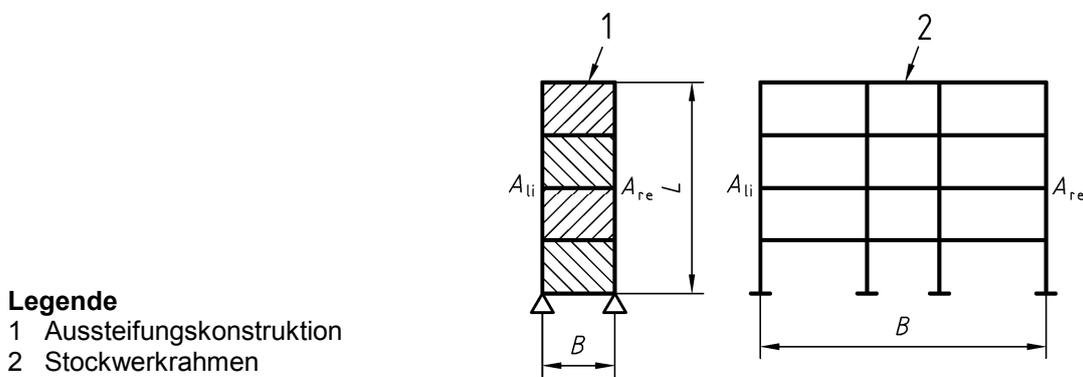
der Aussteifungskonstruktion bzw. des Stockwerkrahmens.

Ist $E \cdot I$ oder S über die Stockwerke veränderlich, dürfen Mittelwerte eingesetzt werden.

I darf näherungsweise mit Gleichung (46) berechnet werden.

$$I = \frac{B^2}{\frac{1}{A_{li}} + \frac{1}{A_{re}}} \tag{46}$$

worin die Breite B und die Querschnittsflächen A_{li} , A_{re} der Stiele gemäß Bild 25 definiert sind.



Legende
 1 Aussteifungskonstruktion
 2 Stockwerkrahmen

Bild 25 — Festlegungen zur Berechnung von I gemäß Gleichung (46)

Bei allen Beziehungen, die Rahmen betreffen, wird vorausgesetzt, dass für die Riegel die Stabkennzahl $\varepsilon \leq 1$ ist.

ANMERKUNG 1 Die Bedingung (45) beinhaltet, dass für einen biege- und schubelastischen Kragstab mit $E \cdot I$ und $S = \text{const}$ unter einer Gleichlast die Verschiebung am freien Ende aus der Querkraft mindestens 10-mal so groß ist wie die aus dem Biegemoment.

ANMERKUNG 2 Formeln für S von Aussteifungselementen sind in Tabelle 17, von Stockwerkrahmen in 5.3.2.1 angegeben.

5.2.2 Definition der Unverschieblichkeit von Rahmen

(512) Unverschieblichkeit ausgesteifter Rahmen

Wirken bei der Aufnahme von horizontalen Lasten in Stabwerkebene der Rahmen und die aussteifenden Bauteile zusammen, so ist der Rahmen als unverschieblich anzusehen, wenn die Steifigkeit der Aussteifungselemente mindestens 5-mal so groß ist wie die Steifigkeit des Rahmens im betrachteten Stockwerk.

$$S_{\text{Ausst}} \geq 5 S_{\text{Ra}} \quad (47)$$

Bedingung (47) braucht vereinfachend nur auf das unterste Stockwerk angewendet zu werden, wenn dessen Steifigkeitsverhältnisse nicht wesentlich von denen der weiteren Stockwerke abweichen.

Bei Mauerwerk nach DIN 1053 (alle Teile) ist für den Schubmodul G ein Drittel des nach der Norm anzusetzenden Elastizitätsmoduls E anzunehmen.

ANMERKUNG Aussteifende Bauteile sind z. B. Wandscheiben und Verbände. Ihre Steifigkeiten können z. B. Tabelle 17 entnommen werden.

(513) Stockwerksteifigkeit

Die Stockwerksteifigkeit S eines Rahmens oder eines aussteifenden Bauteils ist durch Gleichung (48) und Bild 26 definiert:

$$S = V l \varphi \quad (48)$$

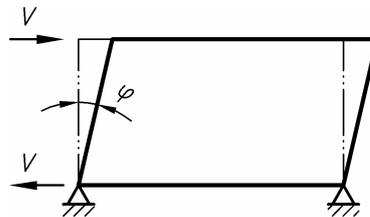
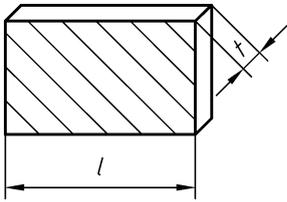
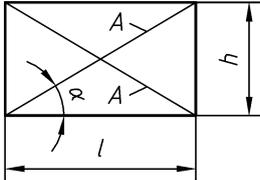


Bild 26 — Definition der Stockwerksteifigkeit S

S_{Ra} darf vereinfachend nach 5.3.2.1, Element 519 mit $S_{\text{Ausst}} = 0$ berechnet werden.

Tabelle 17 — Steifigkeit S_{Ausst} einzelner Aussteifungselemente

	1	2
	Aussteifungselement	S_{Ausst}
1	Wandscheibe (z. B. Mauerwerk) 	$G \cdot t \cdot l$
2	Verband (eine Diagonale wirksam) 	$E \cdot A \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$ doppelter Wert bei ausreichender Vorspannung des Verbandes

5.2.3 Berechnung der Aussteifungselemente

(514) Grundforderung

Die Aussteifungselemente sind nach Theorie II. Ordnung unter Ansatz aller horizontalen Lasten sowie der Abtriebskräfte aus Imperfektionen für Aussteifungssystem und Rahmen zu berechnen.

(515) Imperfektionen

Als geometrische Ersatzimperfektion ist die Schrägstellung φ_0 aller Stiele von Rahmen und Aussteifung nach 2.3 anzusetzen.

(516) Berechnung nach Theorie I. Ordnung

Werden die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie ermittelt, so darf nach Theorie I. Ordnung gerechnet werden, wenn für jedes Stockwerk Bedingung (49) erfüllt ist.

$$\frac{S_{Ausst,d}}{N} \geq 10 \tag{49}$$

Dabei ist

$S_{Ausst,d}$ Summe der Steifigkeiten aller den Rahmen aussteifenden Elemente des betrachteten Stockwerks;

N Summe aller in dem betrachteten Stockwerk übertragenen Vertikallasten.

Ist Bedingung (49) nicht erfüllt, so ist die aus der Berechnung nach Theorie II. Ordnung resultierende Querkraft bei der Bemessung der aussteifenden Elemente zu berücksichtigen.

Vereinfachend darf dies dadurch erfolgen, dass die Querkraft nach Theorie I. Ordnung einschließlich der Abtriebskraft $N \cdot \varphi_0$ mit dem Vergrößerungsfaktor α nach Gleichung (50) multipliziert wird.

$$\alpha = \frac{1}{1 - (N / S_{\text{Ausst,d}})} \quad (50)$$

ANMERKUNG Für ein Aussteifungselement gilt allgemein: $N_{\text{Ki,d}} = S_{\text{Ausst,d}}$.

5.2.4 Berechnung von Rahmen und Durchlaufträgern

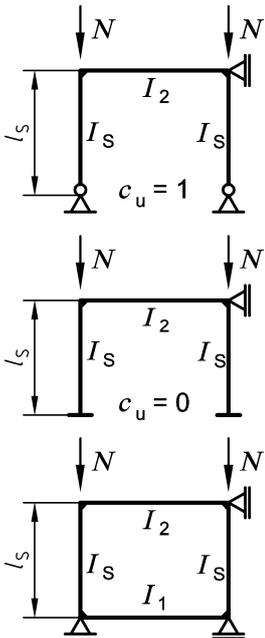
(517) Der Tragsicherheitsnachweis darf durch den Nachweis der einzelnen Stäbe des Systems nach Abschnitt 3 geführt werden.

Bei der Biegeknickuntersuchung für unverschiebliche Rahmen nach 3.4.2.2 darf für Momentenanteile aus Querlasten auf Riegeln beim Nachweis der Stiele der Momentenbeiwert β_m für Biegeknicken nach Tabelle 11, Spalte 2, verwendet werden.

Beim Nachweis der Riegel nach Bedingung (26) darf das maximale Biegemoment mit dem Faktor $(1 - 0,8/\eta_{\text{Ki}})$ abgemindert werden, sofern im Riegel keine oder nur geringe Druckkräfte vorhanden sind.

ANMERKUNG Die für einen solchen Nachweis benötigten Knicklängen können Bild 27 entnommen werden; Anwendungsbeispiele siehe [11].

Sonderfälle



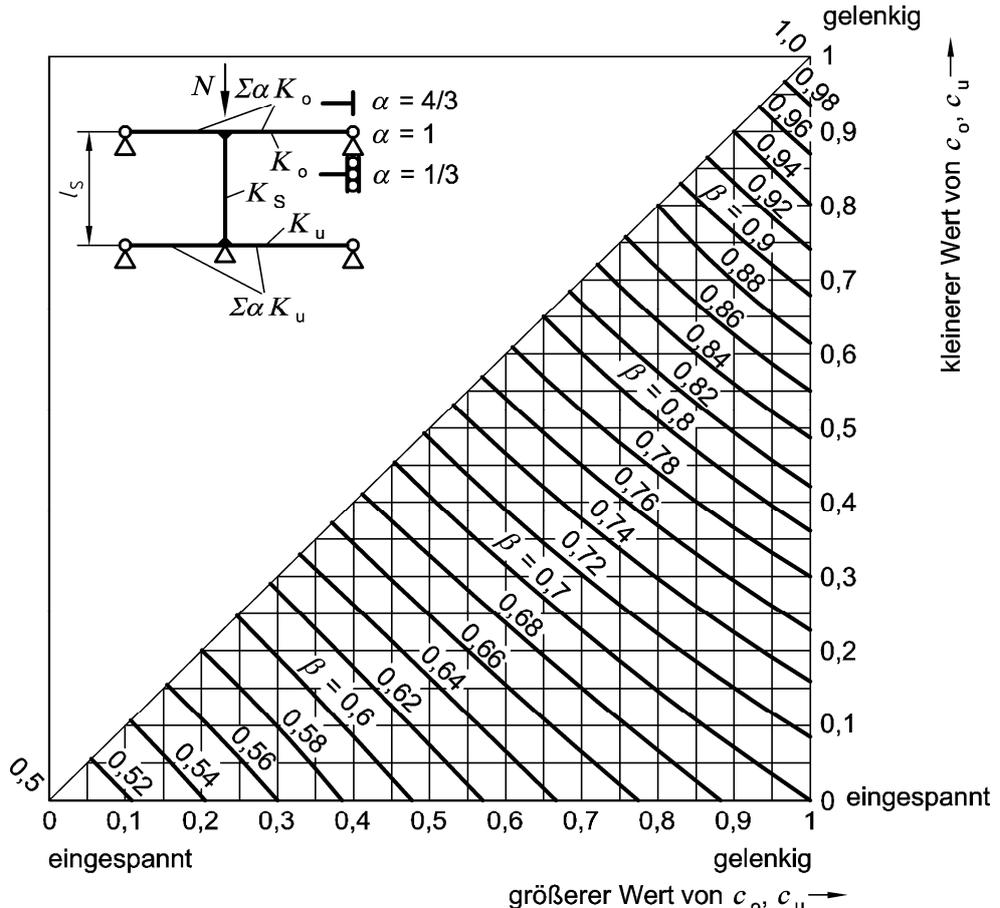
$$c_u = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{I_1 l_s}{I_s l_2}}$$

für alle drei Fälle

$$c_o = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \frac{I_2 l_s}{I_s l_2}}$$

$$s_K = \beta l_s$$

$$\eta_{Ki} = \frac{\left(\frac{\pi}{\beta l_s}\right)^2 E I_s}{N}$$

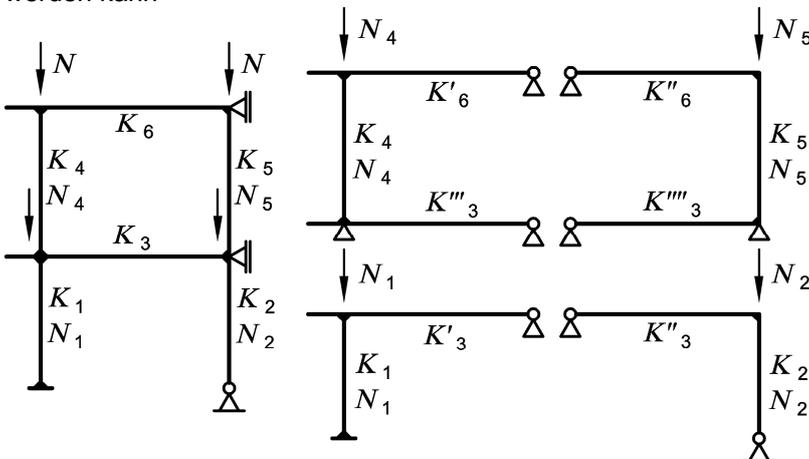


$$c_o = \frac{1}{1 + \frac{\sum \alpha K_o}{K_s}}, c_u = \frac{1}{1 + \frac{\sum \alpha K_u}{K_s}} \quad \beta \text{ aus Diagramm} \quad \eta_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{N} = \left(\frac{\pi}{\beta}\right)^2 \frac{E K_s}{N l_s}$$

alle Stäbe: $K = I/l$

$$s_K = \beta l_s$$

Zerlegung eines unverschieblichen Rahmens in einstielige Teilrahmen, für die das Diagramm angewendet werden kann



$$K'_6 + K''_6 = K_6$$

$$K'_3 + K''_3 + K'''_3 + K''''_3 = K_3$$

(Aufteilung von K_3 und K_6 beliebig)

Bild 27 — Diagramm zur Bestimmung des Verzweigungslastfaktors η_{Ki} und der Knicklängen s_K für Stiele unverschieblicher Rahmen mit $\epsilon_{Riegel} \leq 0,3$

5.3 Rahmen und Durchlaufträger mit verschieblichen Knotenpunkten

5.3.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen

(518) Es gilt Element 511.

5.3.2 Verschiebliche ebene Rahmen

ANMERKUNG Bei der Verwendung steifenloser Riegel-Stützen-Verbindungen in geschweißter oder geschraubter Ausführung sollte das Trag- und Verformungsverhalten der Verbindungen beachtet werden. Dies betrifft die plastische Tragfähigkeit in Verbindung mit der Rotationsfähigkeit sowie die Verformungen unter Gebrauchslasten.

5.3.2.1 Berechnung nach Elastizitätstheorie I. Ordnung

(519) Für Stockwerkrahmen mit beliebiger Stockwerks- und Felderzahl, mit gelenkig gelagerten oder starr eingespannten Fußpunkten, mit innerhalb eines Stockwerks gleich langen Stielen sowie mit ausschließlich horizontal verschieblichen Knoten, darf für die Ermittlung der Schnittgrößen die Theorie I. Ordnung angewendet werden, wenn in jedem Stockwerk r Bedingung (51) erfüllt ist.

$$\eta_{K_i,r} \geq 10 \quad (51)$$

Dabei ist

$$\eta_{K_i,r} = \frac{S_{r,d}}{1,2N_r};$$

N_r Summe aller im Stockwerk r übertragenen Vertikallasten.

Dabei ist die Stockwerkssteifigkeit S_r nach den Gleichungen (52) bis (54) mit den Bezeichnungen nach Bild 28 zu bestimmen.

Für das 1. Stockwerk ($r = 1$) ist bei starrer Einspannung der Stielfußpunkte

$$S_{1,d} = \frac{6(6+k_1)}{3+2k_1} \cdot \frac{(E \cdot C_1)_d}{h_1} + S_{1,Ausst,d} \quad (52)$$

bei gelenkiger Lagerung der Stielfußpunkte

$$S_{1,d} = \frac{6}{2+k_1} \cdot \frac{(E \cdot C_1)_d}{h_1} + S_{1,Ausst,d} \quad (53)$$

Für die weiteren Stockwerke r ist

$$S_{r,d} = 2 \frac{6(6+k_r+k_{r-1})}{(2+k_r)(2+k_{r-1})-1} \cdot \frac{(E \cdot C_r)_d}{h_r} + S_{r,Ausst,d} \quad (54)$$

Dabei ist

$S_{r,Ausst,d}$ Steifigkeit der gegebenenfalls vorhandenen Aussteifungselemente im Stockwerk r .

Wenn eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung für die äußeren Horizontalkräfte bereits durchgeführt ist, kann $\eta_{K_i,r}$ auch aus Gleichung (55) berechnet werden.

$$\eta_{K_{i,r}} = \frac{V_r^H}{\varphi_r \cdot N_r} \tag{55}$$

Dabei ist

V_r^H Querkraft im Stockwerk r aus äußeren Horizontallasten:

φ_r zugehöriger Drehwinkel im Stockwerk r , berechnet nach Theorie I. Ordnung.

ANMERKUNG 1 Bei Anwendung der Theorie I. Ordnung sind die nach DIN 18800-1:2008-11, 7.4, Elemente 729 und 730, reduzierten Vorverdrehungen φ_0 zu berücksichtigen.

ANMERKUNG 2 $\eta_{K_{i,r}}$ kann alternativ mit Hilfe von Bild 29 ermittelt werden.

$N_{K_{i,r,d}} = \frac{S_{r,d}}{1,2}$ stellt eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung des Bemessungswertes der Verzweigungslast dar; Anwendungsbeispiele siehe [11].

Stockwerk $r + 1$ $C_{r+1} = \dots$

Riegel r $B_r = 2 \sum \frac{I_R}{l_R} \quad k_r = \frac{C_r + C_{r+1}}{B_r}$

Stockwerk r $C_r = \frac{1}{h_r} \sum I_S$

Riegel $r - 1$ $k_{r-1} = \dots$

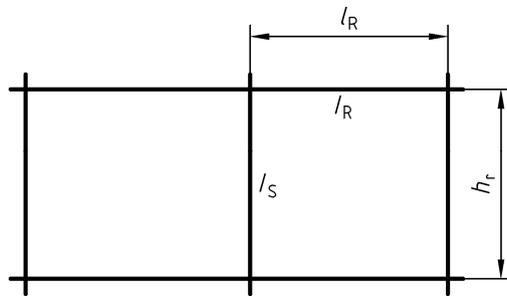
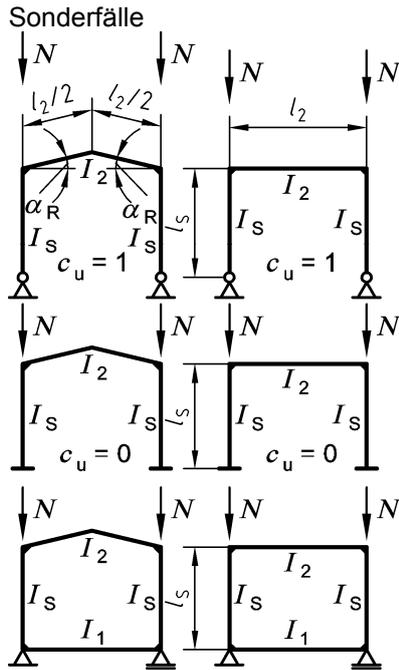


Bild 28 — Bezeichnungen und Hilfwerte zur Berechnung von $S_{r,d}$



$$c_u = \frac{1}{1 + 2 \frac{I_1 l_s}{I_2 l_2}}$$

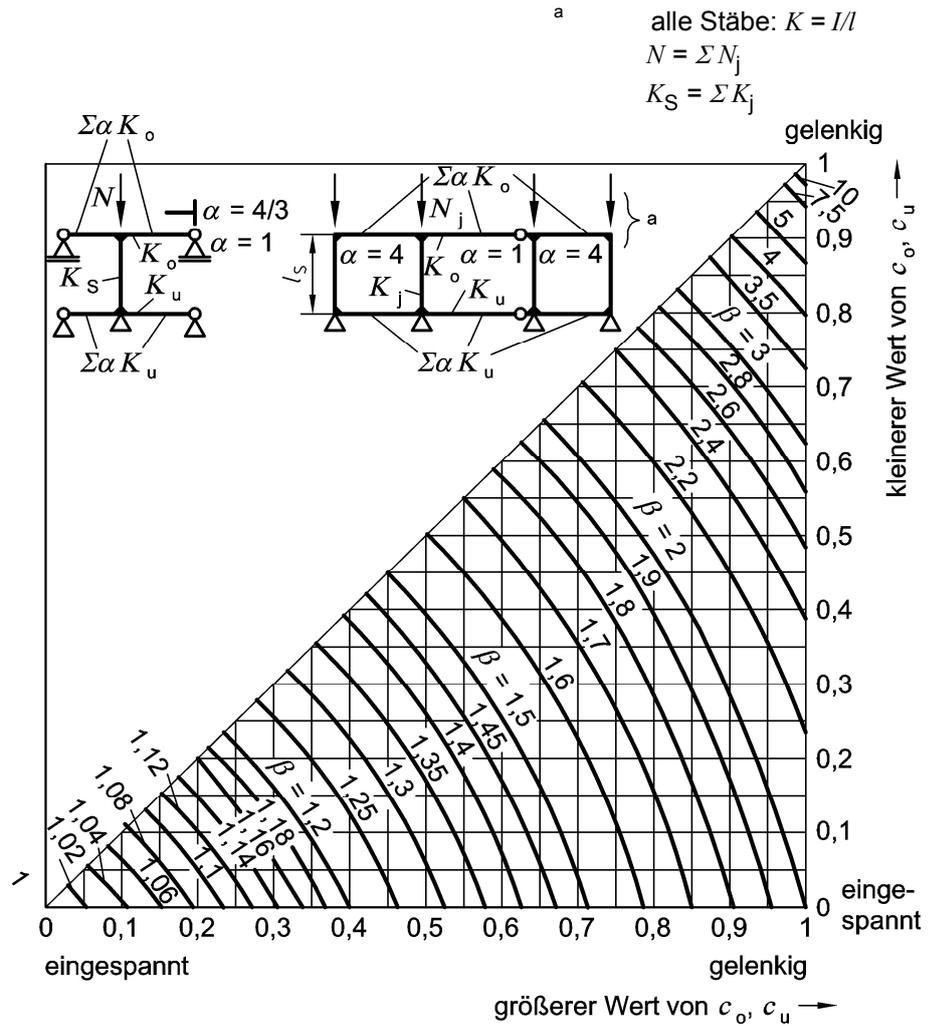
für alle sechs Fälle

$$c_o = \frac{1}{1 + 2 \frac{I_2 l_s}{I_1 l_2}}$$

$$s_K = \beta l_s$$

$$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{N} = \left(\frac{\pi}{\beta l_s} \right)^2 \frac{E I_S}{N}$$

unabhängig von α_R



$$c_o = \frac{1}{1 + \frac{\sum \alpha K_o}{K_S}}, \quad c_u = \frac{1}{1 + \frac{\sum \alpha K_u}{K_S}} \quad \beta \text{ aus Diagramm}$$

$$\eta_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{N} = \left(\frac{\pi}{\beta} \right)^2 \frac{E K_S}{N l_s} \quad \beta_j = \sqrt{\frac{N K_j}{N_j K_S}} \cdot \beta \quad s_K = \beta l_s \text{ bzw. } s_{Kj} = \beta_j l_s$$

Mehrgeschossiger Rahmen: die Formeln für c_o , c_u sind zu ersetzen durch

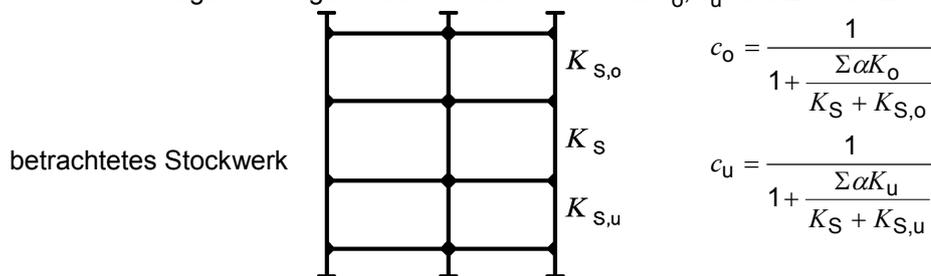


Bild 29 — Diagramm zur Bestimmung des Verzweigungslastfaktors η_{Ki} und der Knicklänge s_K für Stiele verschieblicher Rahmen mit $\varepsilon_{Riegel} \leq 0,3$

5.3.2.2 Vereinfachte Berechnung nach Elastizitätstheorie II. Ordnung

(520) Rechengang

Unter Ansatz einer vergrößerten Stockwerksquerkraft nach den Elementen 521 oder 522 ist die Berechnung wie nach Theorie I. Ordnung durchzuführen.

(521) Stockwerksquerkraft

Für Stockwerkrahmen mit Stabkennzahlen $\varepsilon < 1,6$ darf mit vergrößerten Stockwerksquerkräften V_r nach Gleichung (56) gerechnet werden.

$$V_r = V_r^H + \varphi_0 \cdot N_r + 1,2 \varphi_r \cdot N_r \tag{56}$$

Dabei ist

- V_r^H Stockwerksquerkraft nur aus äußeren Horizontallasten;
- N_r Summe aller im Stockwerk r übertragenen Vertikallasten;
- φ_0 Vorverdrehung nach 2.3;
- φ_r Drehwinkel der Stiele im Stockwerk r (berechnet nach der vereinfachten Theorie II. Ordnung dieses Abschnittes).

ANMERKUNG Bei Anwendung eines Verschiebungsgrößenverfahrens (Drehwinkelverfahrens), bei dem die Stieldrehwinkel φ_r als Unbekannte auftreten, ergibt sich im Vergleich zu Theorie I. Ordnung aus dem Zusatzterm $1,2 \varphi_r \cdot N_r$ lediglich eine Verkleinerung der Hauptdiagonalglieder in den Gleichgewichtsbedingungen der Stockwerke und aus dem Zusatzterm $\varphi_0 \cdot N_r$ eine Vergrößerung der Lastglieder dieser Gleichungen. Der Rechenaufwand ist damit nur unwesentlich größer als nach Theorie I. Ordnung.

(522) Näherungsweise Berechnung der Stockwerksquerkraft

Wenn in allen Stockwerken Bedingung (57) erfüllt ist, darf V_r statt nach Gleichung (56) näherungsweise auch aus Gleichung (58) bestimmt werden.

$$\eta_{Ki,r} = \frac{S_{r,d}}{1,2 N_r} \geq 4 \tag{57}$$

$$V_r = \frac{1}{1 - \frac{1}{\eta_{Ki,r}}} (V_r^H + \varphi_0 \cdot N_r) \tag{58}$$

5.3.2.3 Nachweis nach dem Ersatzstabverfahren

(523) Allgemeiner Nachweis

Der Tragsicherheitsnachweis für verschiebliche Stabwerke darf durch den Nachweis der einzelnen Stäbe des Systems nach Abschnitt 3 erbracht werden, wobei die Knicklänge s_K für das Gesamtsystem zu ermitteln ist.

Behalten in Sonderfällen die am Rahmen angreifenden Druckkräfte ihre Richtung während des Ausknickens nicht bei, so ist dies bei der Berechnung der Knicklängen der Stäbe zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die Knicklängen s_K können z. B. nach Bild 29 bestimmt werden, bei nicht richtungstreuen Druckkräften nach den Bildern 36 bis 38.

(524) Querschnitte ohne Druckkräfte

Der Nachweis mit Bedingung (26) für Querschnitte ohne Druckkräfte braucht bei Riegeln in verschieblichen Rahmen nur geführt zu werden, wenn M_{pl} des Riegels kleiner ist als die Summe der M_{pl} der an einen Knoten angrenzenden Stiele.

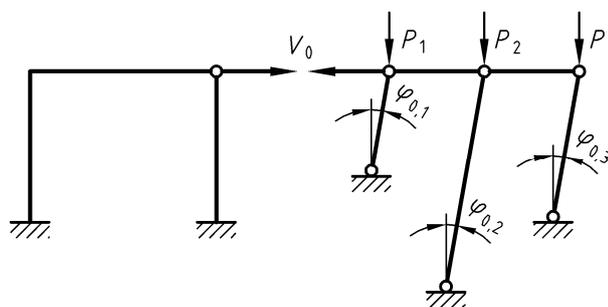
(525) Systeme mit Pendelstützen

Bei verschieblichen Systemen mit angeschlossenen Pendelstützen muss eine zusätzliche Ersatzbelastung V_0 nach Gleichung (59) und Bild 30 zur Berücksichtigung der Vorverdrehungen der Pendelstützen bei der Ermittlung der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung angesetzt werden.

$$V_0 = \Sigma(P_i \cdot \varphi_{0,i}) \tag{59}$$

Dabei ist

$\varphi_{0,i}$ nach 2.3, Element 205.



$$V_0 = \Sigma P_i \cdot \varphi_{0,i}$$

Bild 30 — Zusätzliche Stockwerksquerkraft V_0 für Systeme mit Pendelstützen

ANMERKUNG Neben der Ersatzbelastung V_0 brauchen die Vorverdrehungen nach DIN 18800-1:2008-11, 7.4, Elemente 729 und 730, nicht angesetzt zu werden.

5.3.2.4 Berechnung nach Fließgelenktheorie I. Ordnung

(526) Stockwerkrahmen

Stockwerkrahmen nach 5.3.2.1, deren Stiele keine oder nur an den Enden Fließgelenke aufweisen, dürfen nach Fließgelenktheorie I. Ordnung, jedoch unter Ansatz von Vorverdrehungen φ_0 nach 2.3, berechnet werden, wenn nach Abschluss der Berechnung für jedes Stockwerk r die Bedingung (60) eingehalten ist.

$$\varphi_r \leq \frac{V_r}{10 N_r} \tag{60}$$

mit

$$V_r = V_r^H + \varphi_0 \cdot N_r \tag{61}$$

Dabei ist

V_r^H Stockwerksquerkraft nur aus äußeren Horizontallasten;

N_r Summe aller im Stockwerk r übertragenen Vertikallasten;

φ_r Drehwinkel der Stiele im Stockwerk r nach der Fließgelenktheorie I. Ordnung.

ANMERKUNG Für einstöckige Rahmen sind in der Literatur Formeln zur Ermittlung von φ_r angegeben (siehe z. B. [12]).

(527) Einstöckige Rahmen

Für Rahmen nach Bild 31 darf nach Fließgelenktheorie I. Ordnung gerechnet werden, wenn in den Stielen keine oder nur an den Enden Fließgelenke auftreten und wenn die Bedingung (62) erfüllt ist,

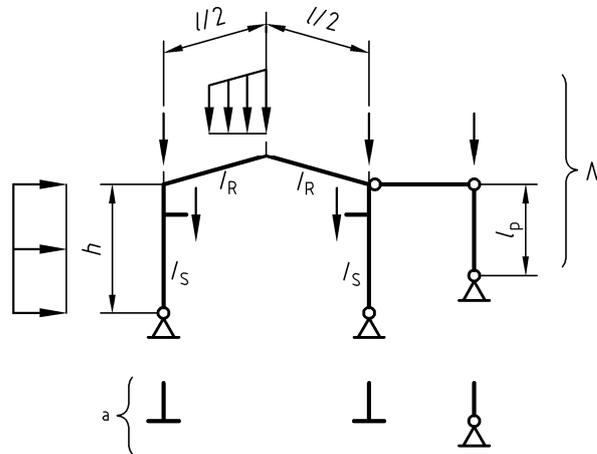
$$\frac{\alpha}{1 + \frac{I_s \cdot l}{I_R \cdot h}} \cdot \frac{(E \cdot I_s)_d}{N \cdot h^2} \geq 10 \tag{62}$$

mit

$\alpha = 3$ für gelenkige Lagerung der Fußpunkte;

$\alpha = 6$ für eingespannte Lagerung der Fußpunkte;

N Summe aller Vertikallasten.



Legende
^a oder:

Bild 31 — Festlegungen für Bedingung (62)

Sind die Längen l_p der Pendelstiele nicht gleich der Länge h der Rahmenstiele, so sind für die Berechnung von N die Vertikallasten der Pendelstiele mit dem Faktor h/l_p zu multiplizieren.

ANMERKUNG Da dieses Kriterium alle möglichen Fließgelenkstellungen erfassen muss, kann es im einzelnen Anwendungsfall weit auf der sicheren Seite liegen.

5.3.2.5 Vereinfachte Berechnung nach Fließgelenktheorie II. Ordnung

(528) Für Stockwerkrahmen darf die im 5.3.2.2 genannte vereinfachte Berechnung nach Elastizitätstheorie II. Ordnung unter Ansatz der Stockwerksquerkräfte V_r , berechnet nach Gleichung (56), unverändert auch bei der Fließgelenktheorie angewendet werden, wenn zusätzlich sichergestellt ist, dass die Stiele keine oder nur an den Enden Fließgelenke aufweisen. Für φ_r ist in Gleichung (56) der Stieldrehwinkel nach der hier beschriebenen vereinfachten Fließgelenktheorie II. Ordnung einzusetzen.

5.3.3 Elastisch gelagerte Durchlaufträger

5.3.3.1 Allgemeines

(529) Elastisch gelagerte Durchlaufträger dürfen analog 3.4.2 berechnet werden.

5.3.3.2 Druckgurte mit federnder Querstützung

(530) Fachwerk- und Vollwandträger

Druckgurte von Fachwerk- oder Vollwandträgern dürfen für das Ausweichen aus ihrer Ebene als planmäßig mittig gedrückte, elastisch gelagerte Durchlaufträger angesehen werden.

ANMERKUNG Bei Brücken wird im Allgemeinen die elastische Stützung durch Halbrahmen gebildet.

(531) Mittelung der Druckkraft

Bei Vollwandträgern darf für die Längskraft des gedrückten Gurtes zwischen zwei Halbrahmen ein konstanter, gemittelter Wert eingesetzt werden; zum Querschnitt des Druckgurtes sind die Gurtflächen und 1/5 der Stegfläche zu zählen.

Tabelle 18 — Beispiel für die Federsteifigkeit C_d des Halbrahmens bei Trogbriicken

Fachwerke und vollwandige Hauptträger mit rechtwinklig zur Hauptträgerenebene angeordneten Halbrahmen	
	$C_d = \frac{(E \cdot I_v)_d}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 \cdot b_q \cdot I_v}{2 I_q}}$

6 Bogenträger

6.1 Mittiger Druck (Stützlinienbogen)

6.1.1 Ausweichen in der Bogenebene

6.1.1.1 Gleichbleibender Querschnitt

(601) Nachweis

Der Tragsicherheitsnachweis darf mit der Bedingung (3) geführt werden. Für N ist dabei der Wert am Kämpfer einzusetzen.

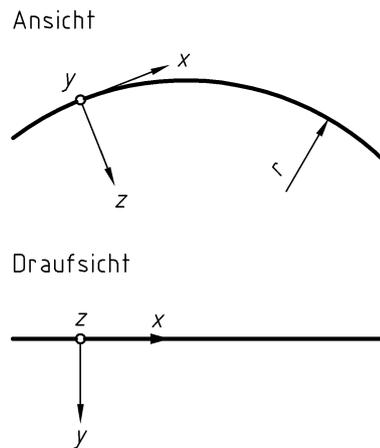


Bild 32 — Achsbezeichnungen am Bogen

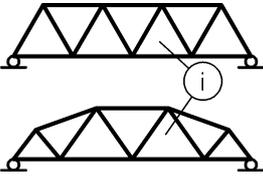
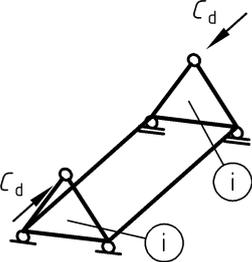
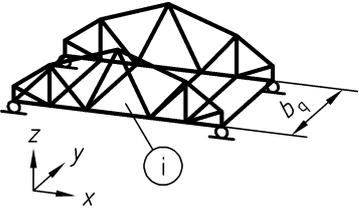
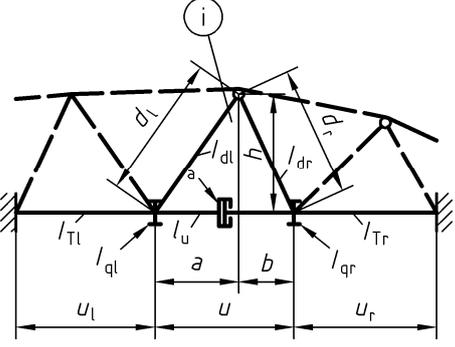
ANMERKUNG Für symmetrische Bögen sind in Bild 33 für verschiedene System- und Lagerungsfälle Knicklängenbeiwerte

$$\beta = \frac{s_K}{s} \tag{63}$$

unter der Voraussetzung vernachlässigbarer Normalkraftverformungen angegeben (s_K Knicklänge, s halbe Bogenlänge). Daraus ergibt sich die Normalkraft am Kämpfer K unter der kleinsten Verzweigungslast aus Gleichung (64).

$$N_{Ki} = \left(\frac{\pi}{\beta \cdot s} \right)^2 E \cdot I_y \tag{64}$$

Tabelle 19 — Federsteifigkeit C_d pfostenloser Strebenfachwerke

	1	2
1	 <p>Beispiele pfostenloser Strebenfachwerkbrücken</p>	 <p>Halbrahmen bei pfostenlosen Strebenfachwerkbrücken</p>
2	 <p>Der Rechnung zugrundeliegendes Trogbrückensystem</p>	<p>^a Torsionsgelenk</p>  <p>Das der Berechnung zugrunde gelegte System. Untergurtstab des Feldes nur biegesteif, benachbarte Untergurtstäbe nur torsionssteif.</p>
3	<p>Federsteifigkeit: $C_d = \frac{A + B - 2D}{A \cdot B - D^2} (E \cdot I_u)_d$</p>	
	$A = \frac{h^2 \cdot I_u}{n_l} + \frac{d_l^3 \cdot I_u}{3I_{dl}} + \frac{a^2 \cdot u}{3}$ $B = \frac{h^2 \cdot I_u}{n_r} + \frac{d_r^3 \cdot I_u}{3I_{dr}} + \frac{b^2 \cdot u}{3}$ $D = \frac{1}{6} a \cdot b \cdot u$ $n_l = \frac{2}{b_q} I_{ql} + \frac{G \cdot I_{Tl}}{E \cdot u_l}$ $n_r = \frac{2}{b_q} I_{qr} + \frac{G \cdot I_{Tr}}{E \cdot u_r}$	
4	<p>Die Längen d_l, d_r, a, b, u und b_q können gegebenenfalls um biegestarke, u_l und u_r um torsionsstarke Bereiche an den Stabenden verringert werden.</p> <p>I_{dl}, I_{dr}, I_u = Trägheitsmomente der Diagonalen und des Untergurts des Feldes bezüglich Biegung rechtwinklig zur Hauptträgerebene; I_{ql}, I_{qr} = Trägheitsmomente des linken und rechten Querträgers des Feldes bezüglich der Fahrbahndurchbiegung; I_{Tl}, I_{Tr} = St. Venantscher Torsionswiderstand der benachbarten Untergurtstäbe.</p> <p>Falls die Halbwellenzahl m der Knickbiegeline des Obergurts kleiner als die halbe Felderzahl ist, sind die Federsteifigkeiten abzumindern, indem die Trägheitsmomente I_q aller innenliegenden Querträger nur mit ihren halben Werten angesetzt werden.</p>	

Knicklängenbeiwerte β für Knicken in der Bogenebene

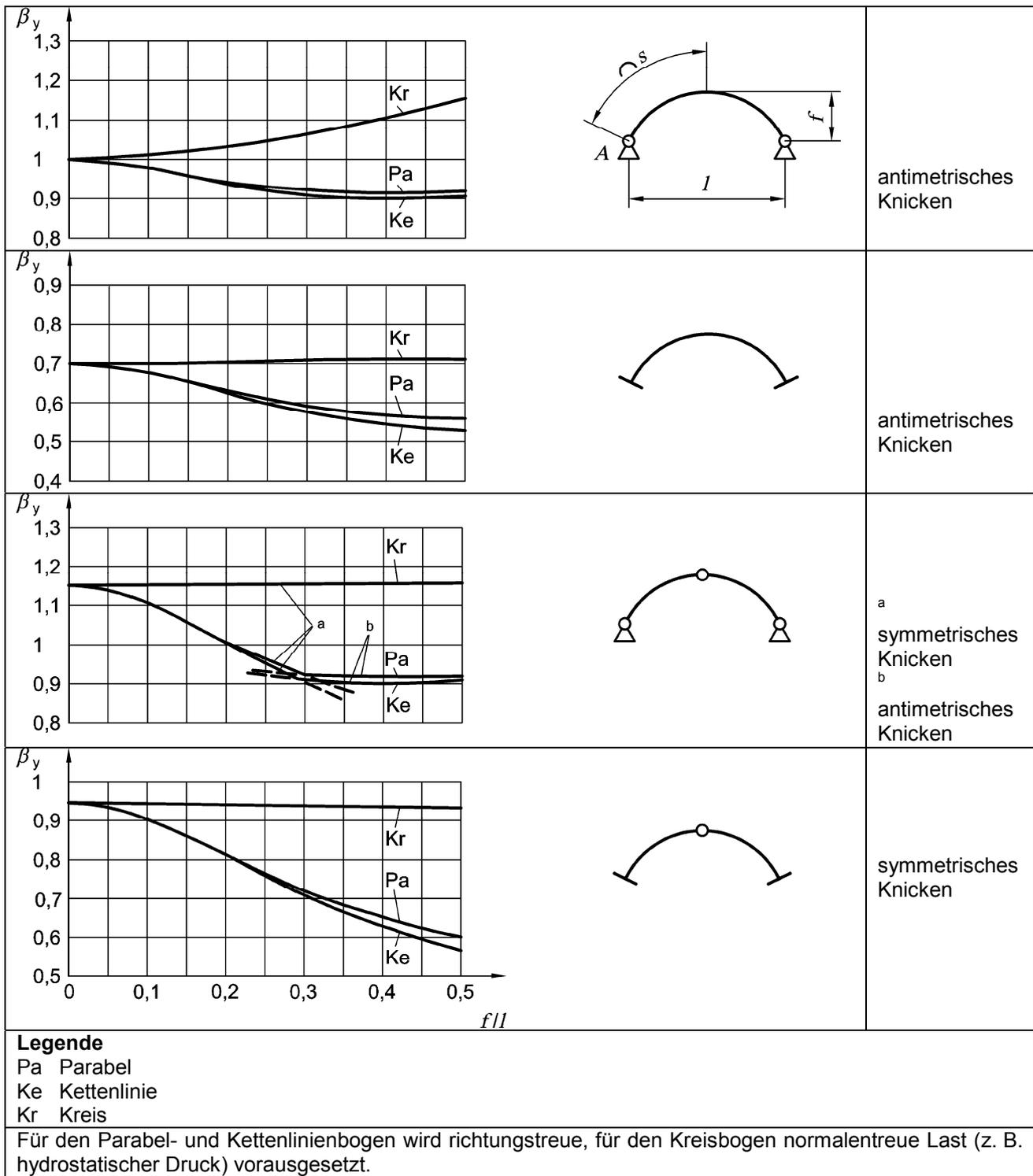


Bild 33 — Knicklängenbeiwerte β für Ausweichen in der Bogenebene (Normalkraftverformungen sind vernachlässigt) unter Stützlinienbelastung

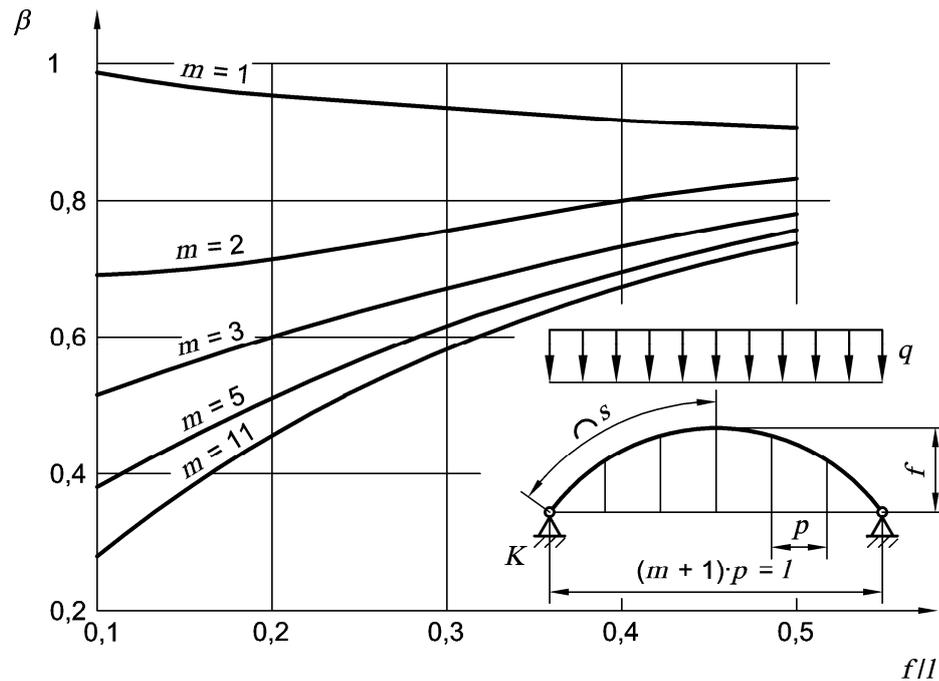


Bild 34 — Knicklängenbeiwert β für das Ausweichen des Parabelbogens mit m Hängern in der Bogenebene (Bezug: Normalkraft am Kämpfer K)

(602) Bogen mit Zugband

Auch beim Bogen mit Zugband, das durch Hänger mit dem Bogen verbunden ist, ist der Tragsicherheitsnachweis mit der Knicklänge für den gesamten Bogen zu führen. Der Nachweis für den Bogenabschnitt zwischen zwei benachbarten Hängern genügt in der Regel nicht.

ANMERKUNG Weitere Angaben hierzu können der Literatur entnommen werden, z. B. [13], [14].

(603) Durchschlagen von Bögen

Bei flachen Bögen tritt kein Durchschlagen auf, wenn Bedingung (65) eingehalten ist.

$$l \sqrt{\frac{E \cdot A}{12 E \cdot I_y}} > k \quad (65)$$

Dabei ist

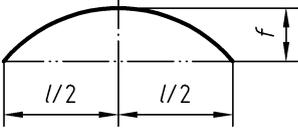
$E \cdot A$ Dehnsteifigkeit;

$E \cdot I_y$ Biegesteifigkeit in der Bogenebene;

k Hilfwert nach Tabelle 20.

ANMERKUNG Durchschlaglasten für Bögen können nach dieser Norm nicht ermittelt werden. Bei ihrer Berechnung ist die nichtlineare Theorie großer Verformungen anzuwenden.

Tabelle 20 — Hilfwert k

	1	2	3	4	5	6	7
1		f/l	0,05	0,075	0,10	0,15	0,20
2	Zweigelenkbogen	k	35	23	17	10	8
3	Starr eingespannter Bogen		319	97	42	13	6

6.1.1.2 Veränderlicher Querschnitt

(604) Der Tragsicherheitsnachweis ist nach Theorie II. Ordnung mit geometrischen Ersatzimperfektionen nach 6.2.1 zu führen.

6.1.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene

6.1.2.1 Bogenträger ohne seitliche Stützung zwischen den Kämpfern

(605) Der Tragsicherheitsnachweis darf mit Bedingung (3) geführt werden. Dabei ist der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ aus Gleichung (66) bzw. (67) zu ermitteln.

Beim Parabelbogen gilt

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot l}{i_z \cdot \lambda_a} \tag{66}$$

Dabei ist

- i_z Trägheitsradius bezüglich der z-Achse im Bogenscheitel;
- β_1 Knicklängenbeiwert nach Tabelle 21 (unter Annahme richtungstreuer Belastung) bei vertikaler gleichmäßig verteilter Volllast und starrer Einspannung beider Bogenenden quer zur Bogenebene;
- β_2 Knicklängenbeiwert nach Tabelle 22 zur Berücksichtigung der Lastrichtungsänderung beim seitlichen Ausweichen.

Beim Kreisbogen gilt

$$\bar{\lambda}_K = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{Ki,Kr}}} \tag{67}$$

mit

$$N_{Ki,Kr} = \frac{E \cdot I_z}{r^2} \cdot \frac{(\pi^2 - \alpha^2)^2}{\alpha^2(\pi^2 + \alpha^2 \cdot k)} \tag{68}$$

Dabei ist

$N_{Ki,Kr}$ Normalkraft unter der kleinsten Verzweigungslast eines gabelgelagerten Kreisbogens mit unveränderlichem, doppelsymmetrischem Querschnitt und konstanter, radialgerichteter, richtungstreuer Belastung;

r Radius des Kreisbogens;

α Öffnungswinkel des Kreisbogens, $0 < \alpha < \pi$,

$$k = \frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_T}$$

Tabelle 21 — Knicklängenbeiwert β_1

	1	2	3	4	5	6	7
1	f/l	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	
2	I_z konstant	0,50	0,54	0,65	0,82	1,07	
3	I_z veränderlich mit $I_z(\alpha_B) = \frac{I_{z,0}}{\cos \alpha_B}$	0,50	0,52	0,59	0,71	0,86	

Tabelle 22 — Knicklängenbeiwert β_2

	Belastung	β_2	Erläuterung
1	richtungstreu	1	q Gesamtlast
2	über Hänger	$1 - 0,35 \frac{q_H}{q}$	q_H Lastanteil, durch Hänger übertragen
3	über Ständer ^a	$1 + 0,45 \frac{q_{St}}{q}$	q_{St} Lastanteil, durch Ständer übertragen

^a Die Fahrbahn ist mit dem Bogenscheitel seitlich fest verbunden.

6.1.2.2 Bögen mit Windverband und Endportalen

(606) Für das Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene darf näherungsweise allein das Knicken der Portalrahmen als maßgebend angesehen werden.

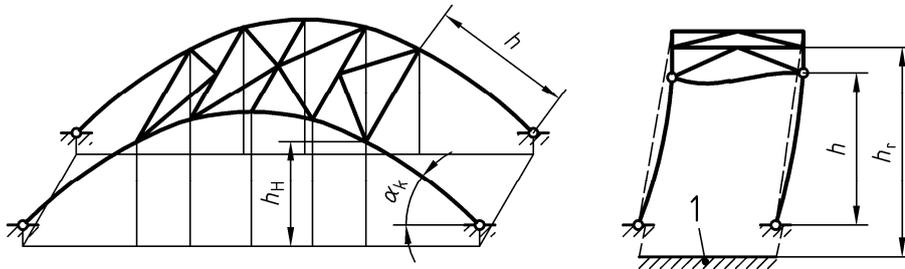
Der Tragsicherheitsnachweis für die Portalstiele darf mit der Bedingung (3) geführt werden, wobei $\bar{\lambda}_K$ aus Gleichung (69) zu ermitteln ist.

Bei Querlasten (z. B. aus Wind) ist zusätzlich ein Nachweis unter Berücksichtigung der Biegemomente nach Element 314 zu führen.

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta \cdot h}{i_z \cdot \lambda_a} \tag{69}$$

Dabei ist

- β der Knicklängenbeiwert;
- h die Stielhöhe des Portalrahmens in der Rahmenebene;
- i_z der Trägheitsradius bezüglich der z-Achse des Stiels des Portalrahmens.



Legende

- 1 Fahrbahn

Bild 35 — Bögen mit Windverband, Endportalen und angehängter Fahrbahn

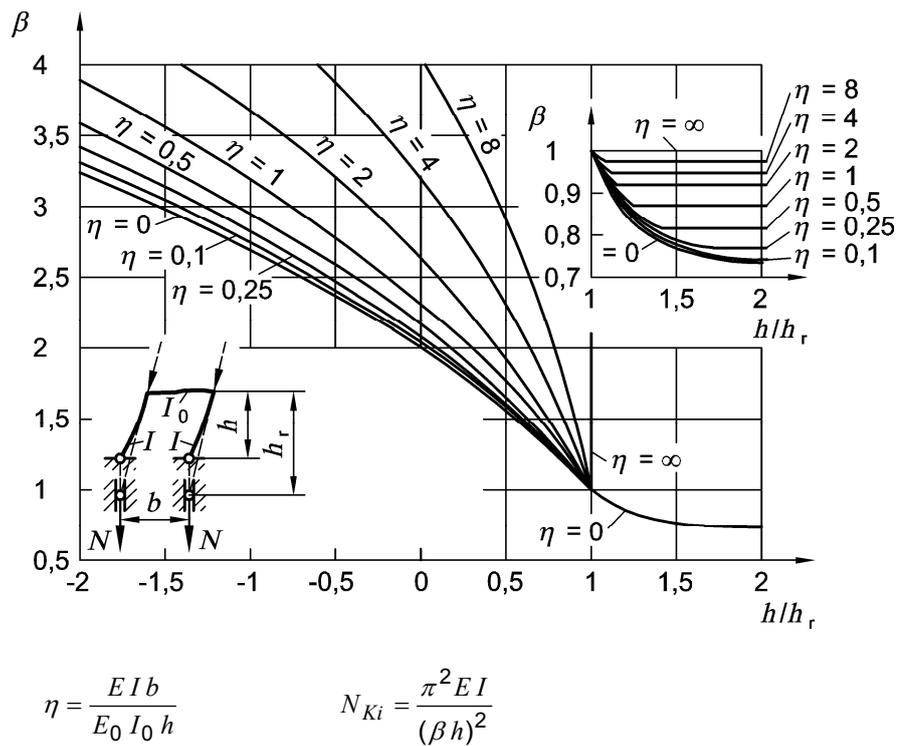
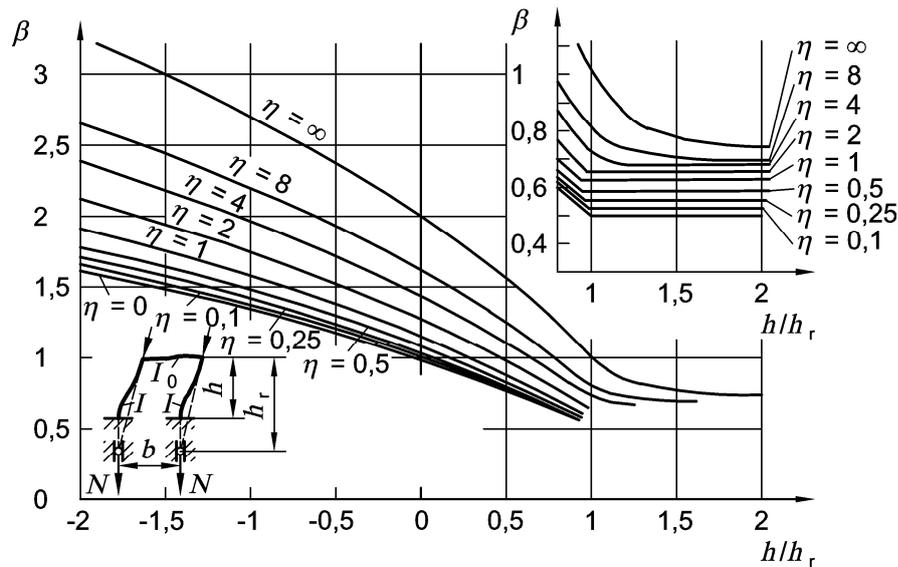
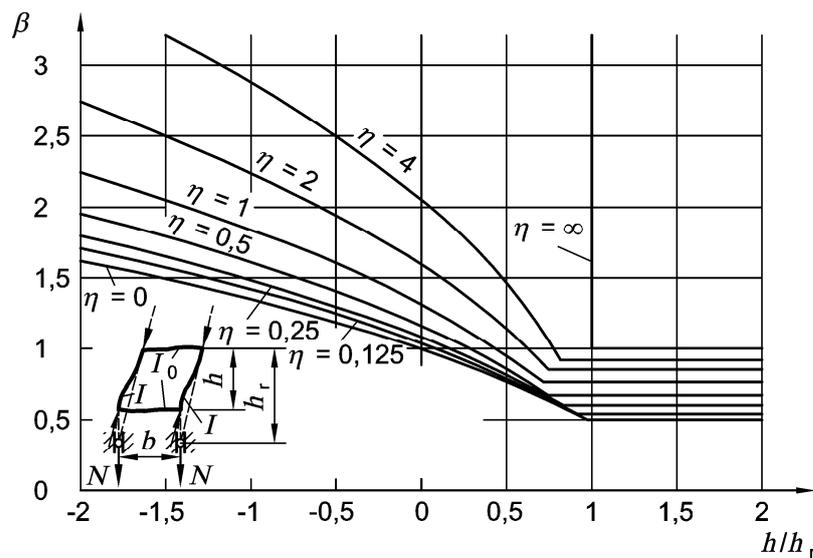


Bild 36 — Knicklängenbeiwerte für den an den Stiefüßen gelenkig gelagerten Portalrahmen



$$\eta = \frac{E I b}{E_0 I_0 h} \quad N_{Ki} = \frac{\pi^2 E I}{(\beta h)^2}$$

Bild 37 — Knicklängenbeiwerte für den an den Stief Füßen eingespannten Portalrahmen



$$\eta = \frac{E I b}{E_0 I_0 h} \quad N_{Ki} = \frac{\pi^2 E I}{(\beta h)^2}$$

Bild 38 — Knicklängenbeiwerte für den Portalrahmen mit zwei Riegeln gleicher Steifigkeit

ANMERKUNG 1 Knicklängenbeiwerte können der Literatur [15] und den Bildern 36 bis 38 entnommen werden. Mit den hier angegebenen Diagrammen wird der Fall der nicht richtungstreuen Belastung behandelt. Ihre Anwendung ist nicht auf Portalrahmen von Bögen beschränkt.

ANMERKUNG 2 Für h_r nach den Bildern 36 bis 38 ist die gemittelte Hängelänge h_H vergrößert mit dem Faktor $1/\sin \alpha_k$ einzusetzen, wobei α_k der Winkel zwischen den schrägliegenden Portalstielen und der Waagerechten ist. Bei aufgeständerter Fahrbahn ist h_r negativ einzusetzen.

6.2 Einachsige Biegung in Bogenebene mit Normalkraft

6.2.1 Ausweichen in der Bogenebene

(607) Für Tragsicherheitsnachweise nach einem der in Tabelle 1 genannten Verfahren sind geometrische Ersatzimperfectionen nach Tabelle 23 in ungünstiger Richtung anzusetzen.

Bögen mit gleichbleibendem Querschnitt, die die Bedingung (70) erfüllen, dürfen ohne Ersatzimperfectionen nach Theorie I. Ordnung berechnet werden.

$$s_K \sqrt{\frac{N}{(E \cdot I_y)_d}} \leq 1 \tag{70}$$

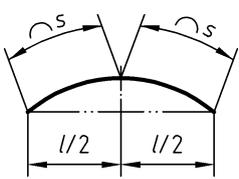
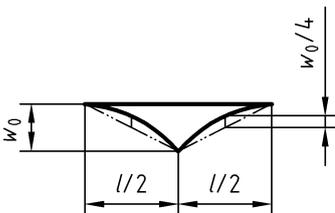
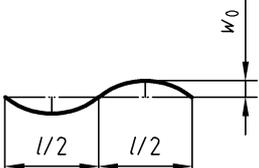
Dabei ist

s_K Knicklänge des Bogens für das Ausweichen in der Bogenebene.

ANMERKUNG 1 Angaben für s_K können aus Gleichung (63) mit Hilfe von Bild 33 entnommen werden.

ANMERKUNG 2 Von der Erleichterung für das Verfahren Elastisch-Elastisch nach 2.1, Element 201 darf Gebrauch gemacht werden.

Tabelle 23 — Geometrische Ersatzimperfectionen in der Bogenebene

	1	2	3			
		Verlauf der geometrischen Ersatzimperfection (sinus- oder parabelförmig)	w_0 für Querschnitte der Knickspannungslinie (vgl. Tabelle 5)			
			a	b	c	d
1	Dreigelenkbogen bei symmetrischem Ausweichen		$\frac{s}{300}$	$\frac{s}{250}$	$\frac{s}{200}$	$\frac{s}{150}$
2	Zweigelenkbogen, eingespannter Bogen, Dreigelenkbogen bei antimetrischem Ausweichen		$\frac{l}{600}$	$\frac{l}{500}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{300}$

6.2.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene

6.2.2.1 Allgemeines

(608) Der Tragsicherheitsnachweis darf nach 6.1.2 geführt werden.

6.2.2.2 In der Sehne gedrückte oder gezogene kreisförmige Bögen mit unveränderlichem, rechteckigem oder I-förmigem Querschnitt

(609) Für rechtwinklig zur Bogenebene starr eingespannte Bögen mit dem in Bild 39 angegebenen System darf näherungsweise Bedingung (3) angewendet werden, jedoch mit dem bezogenen Schlankheitsgrad nach Gleichung (71).

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta \cdot s}{i_z \cdot \lambda_a} \quad (71)$$

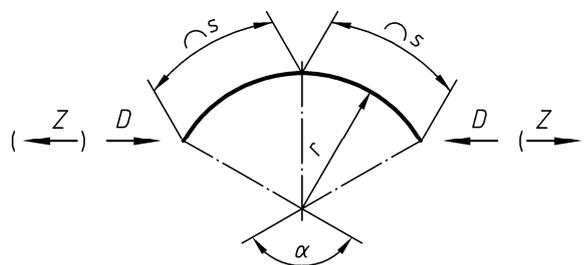


Bild 39 — Definitionen

Hierin bedeuten:

$$\alpha = \frac{2s}{r} \quad \text{Öffnungswinkel des Kreisbogens mit } 0 \leq \alpha \leq \pi,$$

$$\beta = \frac{\pi}{\sqrt{K_1}} \quad \text{Knicklängenbeiwert} \quad (72)$$

Für gedrückte Bögen gilt:

$$K_1 = 2,47 - (3 + 0,21k) \frac{\alpha}{100} + (700 - 6k + 0,08k^2) \left(\frac{\alpha}{100} \right)^2 \quad (73)$$

Für gezogene Bögen gilt:

$$K_1 = -0,036 + \frac{9,58}{10+k} + \frac{7,58}{(10+k)^2} + \left(0,134 - \frac{36,2}{5+k} - \frac{62,5}{(5+k)^2} \right) \frac{1}{\alpha} - \left(0,226 + \frac{13,4}{k} + \frac{1,94}{k^2} \right) \left(\frac{1}{\alpha} \right)^2 \quad (74)$$

mit

$$k = \frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_T}$$

6.2.2.3 Gabelgelagerte Kreisbogenabschnitte mit gleichbleibendem, I-förmigem Querschnitt

(610) Der Tragsicherheitsnachweis darf näherungsweise mit Bedingung (27) geführt werden. Dabei ist der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_K$ aus Gleichung (75) zu ermitteln

$$\bar{\lambda}_K = \frac{\beta \cdot s}{i_z \cdot \lambda_a} \tag{75}$$

Dabei ist

$$\alpha = \frac{2s}{r} \quad \text{Öffnungswinkel des Kreisbogens mit } 0 \leq \alpha \leq \pi,$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\sqrt{K_1}} \quad \text{Knicklängenbeiwert} \tag{76}$$

$$K_1 = \frac{(\pi^2 - \alpha^2)^2}{\pi^2 + \alpha^2 \cdot k} \tag{77}$$

mit

$$k = \frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_T}$$

Für die Berechnung des Abminderungsfaktors κ_M aus Gleichung (18) mit $\bar{\lambda}_M$ nach Abschnitt 1.4, Element 110 ist $M_{K_{i,y}}$ aus Gleichung (78) zu bestimmen.

$$M_{K_{i,y}} = -\frac{E \cdot I_z + \bar{C}}{2r} \mp \sqrt{\left(\frac{E \cdot I_z - \bar{C}}{2r}\right)^2 + \frac{E \cdot I_z \cdot \bar{C} \cdot \pi^2}{r^2 \cdot \alpha^2}} \tag{78}$$

mit

$$\bar{C} = \frac{E \cdot I_\omega \cdot \pi^2}{r^2 \cdot \alpha^2} + G \cdot I_T$$

In Gleichung (78) gilt vor der Wurzel das Pluszeichen, wenn M_y auf der Bogeninnenseite Zug erzeugt.

ANMERKUNG Gleichung (78) setzt Gabellagerung rechtwinklig zur Bogenebene voraus.

6.3 Planmäßig räumliche Belastung

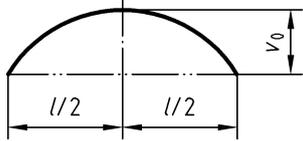
(611) Der Tragsicherheitsnachweis ist in der Regel nach Elastizitätstheorie II. Ordnung zu führen (Tabelle 1, Zeile 1, Verfahren Elastisch-Elastisch). Dabei sind sinnvolle geometrische Ersatzimperfectionen zusätzlich zu den planmäßigen Lasten anzusetzen. Bei seitlich zwischen den Kämpfern nicht gehaltenen Bögen dürfen die Ersatzimperfectionen nach den Tabellen 23 oder 24 gewählt werden.

Es genügt, die Imperfectionen nur in einer, nämlich der ungünstigsten Richtung anzunehmen (in Bogenebene oder rechtwinklig dazu).

Bei Bögen mit Lasteinleitung über Hänger oder Ständer ist anzunehmen, dass diese im Vorverformungszustand ihre planmäßige Richtung haben.

ANMERKUNG Der Fall der planmäßig räumlichen Belastung liegt insbesondere bei Bogentragwerken im Freien wegen der möglichen Windwirkung quer zur Bogenebene vor. In diesem Falle sind die Voraussetzungen nach 6.1 und 6.2 nicht erfüllt.

Tabelle 24 — Geometrische Ersatzimperfectionen rechtwinklig zur Bogenebene

	Verlauf der geometrischen Ersatzimperfectionen in horizontaler Richtung (sinus- oder parabelförmig)	v_0 für Querschnitte der Knickspannungslinie (vgl. Tabelle 5)				
		a	b	c	d	
Dreigelenkbogen Zweigelenkbogen eingespannter Bogen		$l \leq 20 \text{ m}$	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{250}$	$\frac{l}{200}$	$\frac{l}{150}$
		$l \geq 20 \text{ m}$ $l_1 = \sqrt{20 l} \text{ [m]}$	$\frac{l_1}{300}$	$\frac{l_1}{250}$	$\frac{l_1}{200}$	$\frac{l_1}{150}$

7 Planmäßig gerade Stäbe mit ebenen dünnwandigen Querschnittsteilen

7.1 Allgemeines

In Abschnitt 7 ist unter „Normalkraft“ stets Druck zu verstehen.

(701) Anwendungsbereich

Abschnitt 7 ist zu beachten, wenn die Grenzwerte $g_{\text{renz}}(b/t)$ einzelner Querschnittsteile überschritten sind. Dann ist der Einfluss des Beulens einzelner Querschnittsteile auf das Knicken zu berücksichtigen. Dies betrifft sowohl die Berechnung der Schnittgrößen als auch die der Beanspruchbarkeiten.

ANMERKUNG 1 Die Grenzwerte $g_{\text{renz}}(b/t)$ sind DIN 18800-1:2008-11, Tabellen 12, 13 und 15, zu entnehmen.

ANMERKUNG 2 Der Einfluss des Beulens einzelner Querschnittsteile auf das Knicken besteht im Wesentlichen darin, dass die Stabsteifigkeit durch das Ausbeulen herabgesetzt wird und das sich Spannungen innerhalb des Querschnitts auf steifere oder weniger beanspruchte Querschnittsteile umlagern.

(702) Nachweisverfahren

Der Tragsicherheitsnachweis ist nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch oder Elastisch-Plastisch (siehe Tabelle 1, Zeilen 1 und 2) zu führen.

Dazu dürfen vereinfachend die Hinweise nach 7.2 bis 7.6 angewendet werden.

ANMERKUNG 1 Die Anwendung der Fließgelenktheorie ist zunächst ausgeschlossen, da darüber bisher keine Bestätigung durch Versuche vorliegt.

ANMERKUNG 2 In 7.2 bis 7.6 ist der Einfluss des Beulens der einzelnen Querschnittsteile auf das Knicken berücksichtigt.

(703) Einfluss von Schubspannungen

Bei Anwendung von 7.2 bis 7.6 müssen Schubspannungen hinsichtlich des Beulens der dünnwandigen Querschnittsteile vernachlässigbar sein. Dies gilt als erfüllt, wenn die Bedingungen (79) und (80) erfüllt sind.

$$\tau \leq 0,2 f_{y,d} \quad (79)$$

$$\tau \leq 0,3 \tau_{p_i,d} \quad (80)$$

Sind die Bedingungen (79) und (80) nicht erfüllt, so darf der zusätzliche Einfluss der Schubspannungen nach DIN 18800-3 berücksichtigt werden. Unabhängig davon ist auch dann die Steifigkeitsverminderung des Gesamtstabes zu beachten,

$\bar{\tau}_{Pi,d}$ ist die ideale Plattenbeulspannung bei alleiniger Wirkung von Randspannungen τ . Sie ist nach DIN 18800-3 zu ermitteln.

(704) Zulässige Profilformen

7.2 bis 7.6 dürfen nur für Stäbe konstanten Querschnitts mit folgenden Profilformen angewendet werden: rechteckige Hohlprofile, doppelt- oder einfachsymmetrische I-Profile, U-Profile, C-Profile, Z-Profile, Hutprofile, Trapezhohlrippen.

ANMERKUNG Als rechteckig gelten Hohlprofile, solange $b/r \geq 5$ ist. Kreisförmige Rohre und T-Profile sind nicht erfasst.

7.2 Berechnungsgrundlagen

(705) Modell des wirksamen Querschnitts

Bei dem hier verwendeten Modell wird die geometrische Breite b des dünnwandigen Teils ersetzt durch eine wirksame Breite b' (Bild 40) bzw. b'' . Der sich so ergebende wirksame Querschnitt ist der Berechnung zugrunde zu legen.

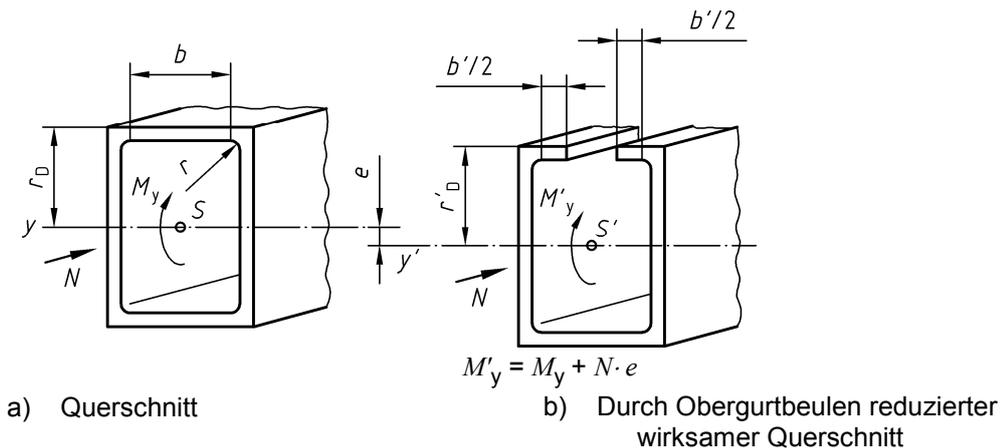


Bild 40 — Beispiel für wirksame Querschnitte

ANMERKUNG 1 Es sind also alle Querschnittswerte für den wirksamen Querschnitt zu bestimmen.

ANMERKUNG 2 Die Berechnung der wirksamen Breiten b' bzw. b'' ist in 7.3 (Verfahren Elastisch-Elastisch) bzw. 7.4 (Verfahren Elastisch-Plastisch) geregelt. Entsprechend sind Querschnittswerte A' , I' usw. den wirksamen Breiten b' und A'' , I'' usw. den wirksamen Breiten b'' zugeordnet. In Bild 40 b) ist der reduzierte Querschnitt entsprechend dem Verfahren Elastisch-Elastisch dargestellt. Für das Verfahren Elastisch-Plastisch gilt das Bild sinngemäß.

ANMERKUNG 3 Die in 3.2 bis 3.5 angegebenen Nachweismöglichkeiten gelten prinzipiell auch für Stäbe mit wirksamen Querschnitten, wobei die in 7.5 und 7.6 angegebenen Modifikationen zu beachten sind.

(706) Näherungsverfahren

Der wirksame Querschnitt ergibt sich aus der Reduktion des Biegedruckbereiches. Ist der Querschnitt bezüglich der Biegeachse nicht symmetrisch und treten Biegemomente mit verschiedenen Vorzeichen auf, so ist jene Richtung des Biegemomentes maßgebend, die das kleinere wirksame Trägheitsmoment liefert. Das wirksame Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment) ist dabei über die Stablänge konstant anzunehmen.

ANMERKUNG 1 Bei der Reduktion des Biegedruckbereiches kann vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend als Druckspannung $\sigma_D = f_{y,k} / \gamma_M$ angenommen werden. Um eine Iteration zu vermeiden, kann für das Randspannungsverhältnis ψ ebenfalls eine auf der sicheren Seite liegende Vereinfachung getroffen werden.

ANMERKUNG 2 Der Biegezugbereich wird bei diesen Näherungsverfahren nicht reduziert, auch wenn dort resultierend Druckspannungen vorhanden sind. Dieses Näherungsverfahren ist durch Beispiele in der Literatur [16] näher erläutert.

(707) Querschnittsnachweis

Die Nachweise werden für den wirksamen Querschnitt geführt. Die Reduktion des Querschnitts ist stets in Übereinstimmung mit dem Drehsinn des vorhandenen Biegemomentes auf der Momentendruckseite des verformten Stabes vorzunehmen.

ANMERKUNG Sofern kein planmäßiges Biegemoment vorliegt, ist das Biegemoment infolge Vorkrümmung einzusetzen. Bei einfachsymmetrischen Querschnitten kann es erforderlich sein, beide Ausweichrichtungen zu untersuchen.

(708) Schwerpunktverschiebung infolge Querschnittsreduktion

Der Einfluss der Verschiebung e des Schwerpunktes beim Übergang vom vollen auf den wirksamen Querschnitt muss berücksichtigt werden.

Dies darf vereinfachend nach 7.2, Elemente 709 und 710 erfolgen.

(709) Vergrößerung des Stiches der Vorkrümmung

Bei Stäben, für die eine Vorkrümmung mit dem Stich w_0 anzunehmen ist, muss w_0 um Δw_0 nach Tabelle 25 erhöht werden.

Tabelle 25 — Vergrößerung Δw_0 des Stiches der Vorkrümmung

	1	2	3
Momentenverlauf			
Δw_0	e_p	$e_p + \frac{1}{2} e_n$	$e_p + e_n$
e_p Schwerpunktverschiebung infolge eines positiven Momentes; e_n Schwerpunktverschiebung infolge eines negativen Momentes.			

Bei zur Biegeachse symmetrischem Querschnitt und der Annahme, dass σ_D infolge des positiven und negativen Momentes gleich groß ist, ergibt sich $e_p = e_n = e$.

ANMERKUNG Der Momentenverlauf in Tabelle 25 ist beispielhaft dargestellt. Wesentlich ist das Auftreten von positiven und negativen Momenten.

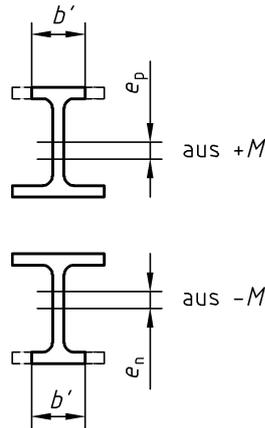


Bild 41 — Beispiele für Schwerpunktsverschiebung

(710) Vergrößerung der Vorverdrehung

Bei Stäben, für die eine Vorverdrehung φ_0 anzunehmen ist, muss φ_0 um $\Delta\varphi_0 = (e_p + e_n)/l$ erhöht werden, wenn beide Stabenden eingespannt sind und dort Momente verschiedener Vorzeichen auftreten können. Ist ein Stabende gelenkig gelagert, so ist dort $e_p = 0$ bzw. $e_n = 0$. Die Schwerpunktsverschiebungen e_p und e_n sind in 7.2, Element 709, definiert.

ANMERKUNG Dies führt bei Anwendung des Ersatzstabverfahrens zum Ansatz einer zusätzlichen Imperfektion.

7.3 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Elastisch

(711) Spannungsverteilung

Die Spannungen sind mit der Annahme einer linearen Spannungsverteilung im wirksamen Querschnitt zu berechnen.

ANMERKUNG Tatsächlich sind die Spannungen im Querschnitt nichtlinear verteilt.

(712) Größe der wirksamen Breite

Die wirksame Breite ist bei beidseitiger Lagerung der Plattenränder und konstanter Druckbeanspruchung aus Gleichung (81), bei einseitiger Lagerung der Plattenränder aus Gleichung (82) zu bestimmen. Die Annahme beidseitiger Lagerung setzt ausreichende Steifigkeit der Unterstüzung voraus.

$$b' = b \quad \text{für } \bar{\lambda}_{p\sigma} \leq 0,673 \quad (81a)$$

$$b' = \frac{(1 - 0,22 / \bar{\lambda}_{p\sigma})}{\bar{\lambda}_{p\sigma}} \cdot b \quad \text{für } \bar{\lambda}_{p\sigma} > 0,673 \quad (81b)$$

$$b' = \frac{0,7}{\bar{\lambda}_{p\sigma}} \cdot b \quad \text{jedoch } b' \leq b \quad (82)$$

Dabei ist

b Breite des dünnwandigen Querschnittsteils gemäß Tabelle 26;

$\bar{\lambda}_{p\sigma}$ bezogener Schlankheitsgrad für das Beulen des Bleches nach Gleichung (83):

$$\bar{\lambda}_{p\sigma} = \sqrt{\frac{\sigma}{k \cdot \sigma_e / \gamma_M}} \tag{83}$$

$$\sigma_e = 189\,800 \left(\frac{t}{b}\right)^2 \text{ N/mm}^2;$$

t Dicke des dünnwandigen Querschnittsteils;

k Beulwert nach Tabelle 26, wobei das Verhältnis ψ der Randspannungen aus dem am wirksamen Querschnitt vorhandenen Spannungszustand zu bestimmen ist. Für beidseitige Lagerung darf das Randspannungsverhältnis unter der Annahme des vollen, nicht reduzierten Querschnittes der betrachteten Teilfläche bestimmt werden.

Der Spannungszustand ist aus der gemeinsamen Wirkung aller Schnittgrößen zu ermitteln.

σ in N/mm². Die unter Zugrundelegung des wirksamen Querschnittes berechnete maximale Druckspannung nach Theorie II. Ordnung am Längsrand des dünnwandigen Querschnittsteils. Dabei wird unter Längsrand ein Rand des vorhandenen, nicht reduzierten Querschnittsteils verstanden.

Falls in Gleichung (83) $\sigma < f_{y,d}$ angenommen wird, ist bei Nachweisen nach 7.5.2.1 bis 7.5.2.3 jeweils $f_{y,d}$ durch σ zu ersetzen.

ANMERKUNG 1 Ausreichende Steifigkeiten der Unterstützung von Plattenrändern für Kaltprofile können z. B. der DAST-Richtlinie 016 „Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen“, 3.10.2, entnommen werden.

ANMERKUNG 2 Für den Grenzfall $\sigma = f_{y,d}$ geht $\bar{\lambda}_{p\sigma}$ in $\bar{\lambda}_p$ nach DIN 18800-3:2008-11, Tabelle 1, über.

ANMERKUNG 3 σ_e ergibt sich aus

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 b^2 (1 - \mu^2)}$$

mit der Querdehnungszahl $\mu = 0,3$.

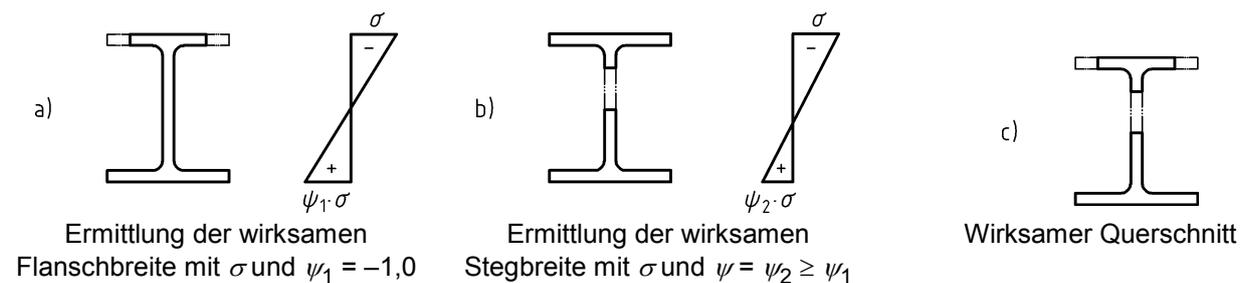


Bild 42 — Ermittlung des wirksamen Querschnittes eines I-Trägers unter einachsiger Biegung

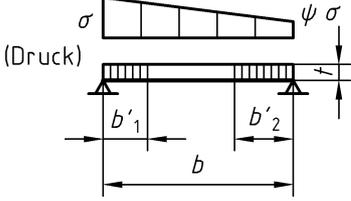
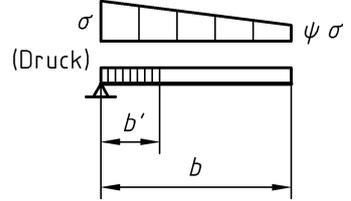
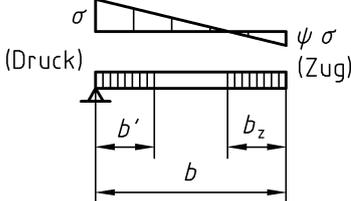
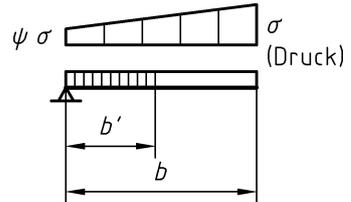
Tabelle 26 — Beulwerte k

		1	2	
1	Lagerung	beidseitig 	einseitig 	
		Spannungsverlauf 	Spannungsverlauf 	
3	$\psi = 1$	4	0,43	
4	$1 > \psi > 0$	$\frac{8,2}{\psi + 1,05}$	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$
5	$\psi = 0$	7,81	1,70	0,57
6	$0 > \psi > -1$	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	$1,70 - 5 \psi + 17,1 \psi^2$	$0,57 - 0,21 \psi + 0,07 \psi^2$
7	$\psi = -1$	23,9	23,8	0,85

(713) Aufteilung der wirksamen Breite

Die wirksame Breite ist nach Tabelle 27 aufzuteilen.

Tabelle 27 — Aufteilung der wirksamen Breite b'

1	Beidseitige Lagerung A	 <p style="text-align: center;">$-1 \leq \psi \leq 1$</p> <p style="text-align: center;">$b'_1 = \rho \cdot b \cdot k_1$</p> <p style="text-align: center;">$b'_2 = \rho \cdot b \cdot k_2$</p> <p>mit $\rho = \frac{1}{\lambda_{P\sigma}} \left[(0,97 + 0,03\psi) - (0,16 + 0,06\psi) / \lambda_{P\sigma} \right]$</p> <p style="text-align: center;">$k_1 = -0,04 \psi^2 + 0,12 \psi + 0,42$</p> <p style="text-align: center;">$k_2 = +0,04 \psi^2 - 0,12 \psi + 0,58$</p>
2		 <p style="text-align: center;">$0 \leq \psi \leq 1$</p>
3	Einseitige Lagerung B	 <p style="text-align: center;">$-1 \leq \psi < 0$</p>
4		 <p style="text-align: center;">$-1 \leq \psi \leq 1$</p>

ANMERKUNG 1 Im Unterschied zu DIN 18800-3:2008-11, Tabelle 1, Zeile 3, und DIN 18800-1:2008-11, Tabelle 12, wird bei Randspannungsverhältnissen $0 \leq \psi \leq 1$ der Faktor c hier nicht berücksichtigt, um zu einfachen Regeln und zu einer Übereinstimmung mit anderen nationalen und internationalen Regelwerken zu kommen.

ANMERKUNG 2 Die Werte ρ , k_1 , k_2 sind so ermittelt, dass vereinfachend der Beulwert k entsprechend Element 712 bestimmt werden kann.

7.4 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Plastisch

(714) Die Größe der wirksamen Breite ist den Gleichungen (85) bis (87) zu entnehmen. Die Beiwerte k und die Aufteilung der wirksamen Breite sind aus Tabelle 28 zu bestimmen. Dabei ist die Gleichgewichtsbedingung

$$\Sigma N_i = N$$

zu erfüllen und

$$b'' = \Sigma b_1'' \quad \text{jedoch} \quad b'' \leq b \quad (84)$$

einzuhalten ($i = 1$ bis 3).

$$b_1'' = k_1 \cdot t \cdot \sqrt{240 / f_{y,k}} \quad (85)$$

$$b_2'' = k_2 \cdot t \cdot \sqrt{240 / f_{y,k}} \quad (86)$$

$$b_3'' = \frac{\psi_\varepsilon}{\psi_\varepsilon - 1} \cdot b \quad (\psi_\varepsilon < 0) \quad (87)$$

ANMERKUNG Im Allgemeinen ist zur Bestimmung der wirksamen Breite eine Iteration erforderlich.

7.5 Biegeknicken

7.5.1 Spannungsnachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch

(715) Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (88) zu führen.

$$\sigma_D \leq f_{y,d} \quad (88)$$

Dabei ist σ_D die unter Zugrundelegung des wirksamen Querschnittes berechnete, maximale Druckspannung am Längsrand des dünnwandigen Querschnittsteils. Unter Längsrand wird ein Rand des vorhandenen, nicht reduzierten Querschnittsteils verstanden.

Es darf 7.2, Element 706, angewendet werden.

7.5.2 Vereinfachte Nachweise

7.5.2.1 Planmäßig mittiger Druck

(716) Es wird der durch Einführung wirksamer Breiten für den Biegedruckgurt und gegebenenfalls Steg erhaltene wirksame Querschnitt zugrunde gelegt. Hierbei ist für den Steg eine Spannungsverteilung zu schätzen. Der Biegezuggurt wird nicht reduziert. Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (89) zu führen.

$$\frac{N}{\kappa' \cdot A' \cdot f_{y,d}} \leq 1 \quad (89)$$

Dabei ist

$$\kappa' = \frac{1}{k' + \sqrt{k'^2 - \bar{\lambda}_K'^2}} \quad \text{jedoch} \quad \kappa' \leq 1 \quad (90)$$

$$k' = \frac{1}{2} \left(1 + \alpha' (\bar{\lambda}_K' - 0,2) + \bar{\lambda}_K'^2 + \frac{\Delta w_0 \cdot r_D'}{i'^2} \right) \quad (91)$$

$$\alpha' = \alpha \frac{i \cdot r_D'}{i' \cdot r_D} \quad (92)$$

$$\bar{\lambda}_K' = \frac{s_K}{i' \cdot \lambda_a} \quad (93)$$

$$i' = \sqrt{I' / A'} \quad (94)$$

- I', A' Flächenmoment 2. Grades (Trägheitsmoment), Querschnittsfläche des wirksamen Querschnitts;
- Δw_0 Schwerpunktverschiebung durch Querschnittsreduzierung, entsprechend den Angaben in 7.2, Element 709, zu berechnen;
- r_D, r_D' Abstand des Biegedruckrandes von der Schwerachse des vollen bzw. wirksamen Querschnittes (Bild 40);
- α Parameter nach Tabelle 4;
- i Trägheitsradius des vollen Querschnitts;
- s_K Knicklänge, berechnet unter Berücksichtigung des wirksamen Flächenmomentes 2. Grades I' .

ANMERKUNG 1 Der Nachweis entspricht im Prinzip demjenigen nach 3.2.1, Element 304. Ähnlich wie in 3.4.2.1, Element 313, ist der Einfluss der zusätzlichen Exzentrizität Δw_0 durch ein Zusatzglied bei k' berücksichtigt.

ANMERKUNG 2 Eine andere Nachweismöglichkeit ist auch durch 7.5.2.2 gegeben, wobei dort der Einfluss aus Δw_0 durch ein planmäßiges Biegemoment $M_y = N \cdot \Delta w_0$ zu berücksichtigen ist. In diesem Falle ist dann in k' der Anteil mit Δw_0 zu streichen.

(717) Zusätzlich zum Nachweis nach 7.5.2.1, Element 716, ist ein Nachweis mit Bedingung (95) mit einer anderen wirksamen Fläche A' zu führen. Diese wirksame Fläche A' wird unter der Annahme bestimmt, dass der gesamte wirksame Querschnitt eine konstante Druckspannung aufweist.

$$\frac{N}{A' \cdot f_{y,d}} \leq 1 \quad (95)$$

7.5.2.2 Einachsige Biegung mit Normalkraft

(718) Nachweis

Der Tragsicherheitsnachweis darf mit Bedingung (24) geführt werden. Bei der Ermittlung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_K$ ist das wirksame Flächenmoment 2. Grades I' (Element 719) bzw. I'' (Element 720) zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Eine andere Nachweismöglichkeit ist durch die Literatur [18] gegeben.

(719) Verfahren Elastisch-Elastisch

In Bedingung (24) sind

$$N_{pl,d} \quad \text{durch} \quad N'_{pl,d}$$

$$M_{pl,d} \quad \text{durch} \quad M'_{pl,d}$$

$$\kappa \quad \text{durch} \quad \kappa'$$

$$\bar{\lambda}_K \quad \text{durch} \quad \bar{\lambda}'_K$$

zu ersetzen, mit

$$N'_{pl,d} = A' \cdot f_{y,d} \tag{96}$$

$$M'_{pl,d} = \frac{I'}{r'_D} \cdot f_{y,d} \tag{97}$$

κ' , $\bar{\lambda}'_K$ nach 7.5.2.1, Element 716.

(720) Verfahren Elastisch-Plastisch

In Bedingung (24) sind

$$N_{pl,d} \quad \text{durch} \quad N''_{pl,d}$$

$$M_{pl,d} \quad \text{durch} \quad M''_{pl,d}$$

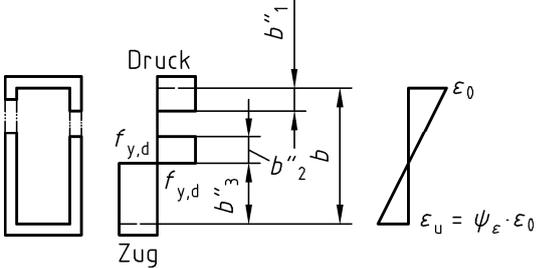
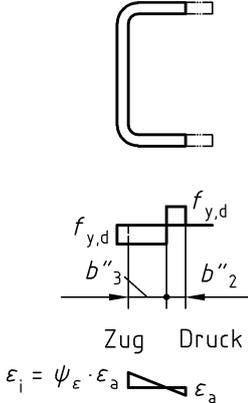
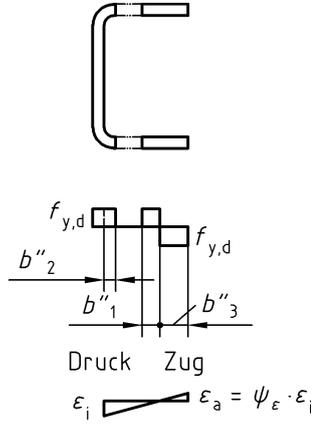
$$\kappa \quad \text{durch} \quad \kappa''$$

$$\bar{\lambda}_K \quad \text{durch} \quad \bar{\lambda}''_K$$

zu ersetzen. Diese Werte ergeben sich analog zu den Gleichungen (96), (97) nach 7.5.2.1, Element 716, an dem mit b'' reduzierten Querschnitt.

ANMERKUNG Beispiele für diese Reduktion von b'' sind in Tabelle 28 angegeben.

Tabelle 28 — Größe und Aufteilung der wirksamen Breit b''

<p>1</p>	<p>Beidseitige Lagerung</p>	 <p style="text-align: right;"> $k_1 = 18,5$ $k_2 = 18,5$ </p>
<p>2</p>	<p>Einseitige Lagerung</p>	 <p style="text-align: center;"> $k_1 = 0$ $k_2 = 11$ </p>
<p>3</p>		 <p style="text-align: center;"> $k_1 = \begin{cases} 0 & 1 \geq \psi_\varepsilon \geq 0 \\ 4,56 \cdot \psi_\varepsilon & 0 \geq \psi_\varepsilon \geq -1 \end{cases}$ $k_2 = 11$ </p>

7.5.2.3 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

(721) Der Tragsicherheitsnachweis darf nach 3.5.1 geführt werden. Abschnitt 7.5.2.2 ist sinngemäß anzuwenden.

7.6 Biegedrillknicken

7.6.1 Nachweis

(722) Der Tragsicherheitsnachweis darf nach Abschnitt 3 geführt werden. Dabei sind jedoch in den dort aufgeführten Bedingungen die nachfolgenden Änderungen durch 7.6.2 und 7.6.3 (Elemente 723 bis 727) zu beachten.

7.6.2 Planmäßig mittiger Druck

(723) Die Berechnung erfolgt analog zu 3.2.2 wie beim Biegeknicken nach 7.5. Bei der Ermittlung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_K$ sind bei der Berechnung der Normalkraft N_{Ki} unter der kleinsten Verzweigungslast für das Biegedrillknicken nach der Elastizitätstheorie die reduzierten Querschnittswerte zu berücksichtigen.

7.6.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft

7.6.3.1 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab

(724) Die Berechnung erfolgt nach 3.3.3. Dabei ist jedoch in Gleichung (13) $k_c = 1$ zu setzen, $i_{z,g}$ nach Gleichung (98) zu bestimmen und in Bedingung (14) $M_{pl,y,d}$ durch $M'_{pl,d}$ zu ersetzen.

$$i_{z,g} = \sqrt{\frac{I'_{z,g}}{A'_g + A_s / 5}} \quad (98)$$

Dabei ist

$I'_{z,g}$ reduziertes Flächenmoment 2. Grades des Druckgurtes um die z-Achse;

A'_g reduzierte Fläche des Druckgurtes;

A_s nichtreduzierte Stegfläche.

ANMERKUNG Falls das Verfahren Elastisch-Plastisch nach Tabelle 1, Zeile 3 angewendet wird, sind die Werte $I'_{z,g}$, A'_g und $M'_{pl,d}$ durch $I''_{z,g}$, A''_g und $M''_{pl,d}$ zu ersetzen.

7.6.3.2 Allgemeiner Nachweis

(725) Biegedrillknickmoment nach Elastizitätstheorie

Das Moment $M_{Ki,y}$ ist durch $\text{red } M_{Ki}$ zu ersetzen, das näherungsweise aus der Gleichung (99) berechnet werden darf.

$$\text{red } M_{Ki} = M_{Ki,y} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{M_{Ki,y}}{M_{Ki,P}}\right)^2}} \quad (99)$$

Dabei ist

$$M_{K_i,P} = k \cdot \sigma_e \cdot W \quad (100)$$

$M_{K_i,P}$ ideales Biegemoment für das Plattenbeulen des Querschnitts oder maßgebenden Querschnittsteils;

k Beulwert (z. B. nach Tabelle 26);

σ_e nach 7.3, Element 712;

W maßgebendes Widerstandsmoment des vollen Querschnitts.

ANMERKUNG 1 Bei einer genaueren Berechnung wird $\text{red } M_{K_i}$ direkt unter Beachtung des Beulens der Einzelteile des Querschnittes ermittelt.

ANMERKUNG 2 Beulwerte für Gesamtprofile können zum Teil der Literatur entnommen werden, z. B. [17], [18].

(726) Nachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch

Bei der Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_M$ nach Abschnitt 1.4, Element 110 ist $M_{pl,y}$ durch M'_{pl} zu ersetzen. Im Nachweis nach Bedingung (16) ist $M_{pl,y,d}$ durch $M'_{pl,d}$ zu ersetzen. Der Wert $M'_{pl,d}$ ergibt sich aus Gleichung (97).

(727) Nachweis beim Verfahren Elastisch-Plastisch

Bei der Berechnung des bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_M$ nach Abschnitt 1.4, Element 110 ist $M_{pl,y}$ durch M''_{pl} zu ersetzen. Im Nachweis nach Bedingung (16) ist $M_{pl,y,d}$ durch $M''_{pl,d}$ zu ersetzen. M''_{pl} ist am wirksamen Querschnitt mit den Breiten b'' analog zu Gleichung (97) zu ermitteln.

7.6.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft

(728) Der Tragsicherheitsnachweis ist mit Bedingung (27) zu führen. Dabei sind die aufnehmbare Normalkraft nach 7.5.2.1, das aufnehmbare Biegemoment nach 7.6.3, Element 726 (bei Anwendung des Verfahrens Elastisch-Elastisch) bzw. 727 (bei Anwendung des Verfahrens Elastisch-Plastisch) zu berechnen.

7.6.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft

(729) Der Tragsicherheitsnachweis darf mit Bedingung (30) geführt werden. 7.6.4 ist sinngemäß anzuwenden.

Anhang A (informativ)

Liste der zurückgezogenen oder ersetzten Normen und technischen Regelwerke soweit sie in Bezug genommen werden

Nachstehende Tabelle fasst diejenigen Normen und technischen Regelwerke der DIN 18800-2:1990-11 zusammen, die bis zur Erarbeitung der vorliegenden Änderung A2 zurückgezogen oder ersetzt worden sind. Die entsprechenden Ausgabedaten sind ebenfalls angegeben, damit ist jedoch keine Datierung im Sinne der Regeln von DIN 820-2 beabsichtigt.

Lfd. Nr.	Stand 1990-11	Stand 2008-11
1	<p><u>Zurückgezogen:</u> 1995-05</p> <p>DIN 1025-1:1963-10, <i>Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Schmale I-Träger, I-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte</i></p>	<p>Nachfolgedokumente:</p> <p>DIN 1025-1:1995-05, <i>Warmgewalzte I-Träger - Teil 1: Schmale I-Träger, I-Reihe - Maße, Masse, statische Werte</i></p> <p>DIN EN 10024:1995-05, <i>I-Profile mit geneigten inneren Flanschflächen - Grenzabmaße und Formtoleranzen</i></p>
2	<p><u>Zurückgezogen:</u> 1994-03</p> <p>DIN 1025-2:1963-10, <i>Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, IPB- und IB-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte</i></p>	<p>Nachfolgedokumente:</p> <p>DIN 1025-2:1995-11, <i>Warmgewalzte I-Träger - Teil 2: I-Träger, IPB-Reihe; Maße, Masse, statische Werte</i></p> <p>DIN EN 10034:1994-03, <i>I- und H-Profile aus Baustahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen</i></p>
3	<p><u>Zurückgezogen:</u> 1994-03</p> <p>DIN 1025-3:1963-10, <i>Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, leichte Ausführung, IPBI-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte</i></p>	<p>Nachfolgedokumente:</p> <p>DIN 1025-3:1994-03, <i>Warmgewalzte I-Träger; Breite I-Träger, leichte Ausführung, IPBI-Reihe; Maße, Masse, statische Werte</i></p> <p>DIN EN 10034:1994-03, <i>I- und H-Profile aus Baustahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen</i></p>
4	<p><u>Zurückgezogen:</u> 1994-03</p> <p>DIN 1025-4:1963-10, <i>Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Breite I-Träger, verstärkte Ausführung, IPBv-Reihe, Maße, Gewichte, Zulässige Abweichungen, statische Werte</i></p>	<p>Nachfolgedokumente:</p> <p>DIN 1025-4:1994-03, <i>Warmgewalzte I-Träger; Breite I-Träger, verstärkte Ausführung, IPBv-Reihe; Maße, Masse, statische Werte</i></p> <p>DIN EN 10034:1994-03, <i>I- und H-Profile aus Baustahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen</i></p>

Lfd. Nr.	Stand 1990-11	Stand 2008-11
5	<p><u>Zurückgezogen:</u> 1994-03</p> <p>DIN 1025-5:1965-03, Formstahl; Warmgewalzte I-Träger, Mittelbreite I-Träger, IPE-Reihe, Maße, Gewichte, zulässige Abweichungen, statische Werte</p>	<p>Nachfolgedokumente:</p> <p>DIN 1025-5:1994-03, <i>Warmgewalzte I-Träger; Mittelbreite I-Träger, IPE-Reihe; Maße, Masse, statische Werte</i></p> <p>DIN EN 10034:1994-03, I- und H-Profile aus Baustahl; Grenzabmaße und Formtoleranzen</p>

Literaturhinweise

DAST-Richtlinie 016, Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen¹⁾

- [1] ECCS-CECM-EKS, Publication No. 33: Ultimate Limit State Calculation of Sway Frames with Rigid Joints. Brüssel, 1984
- [2] Stahl im Hochbau, 14. Auflage, Band I/ Teil 2, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf, 1986
- [3] Lindner, J. und Gregull, T.: Drehbettungswerte für Dachdeckungen mit untergelegter Wärmedämmung, Stahlbau 58 (1989), S. 173-179
- [4] Lindner, J.: Stabilisierung von Biegeträgern durch Drehbettung — eine Klarstellung, Stahlbau 56 (1987), S.365-373
- [5] Roik, K., Carl, J. und Lindner, J.: Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe. Berlin, München, Düsseldorf: Ernst & Sohn 1972
- [6] Petersen, Chr.: Statik und Stabilität der Baukonstruktionen. Braunschweig, Wiesbaden: Friedr. Vieweg und Sohn, 2. Auflage 1982
- [7] Roik, K. und Kindmann, R.: Das Ersatzstabverfahren — Tragsicherheitsnachweise für Stabwerke bei einachsiger Biegung und Normalkraft, Stahlbau 51 (1982), S. 137-145
- [8] Lindner, J. und Gietzelt, G.: Zweiachsige Biegung und Längskraft — ein ergänzender Bemessungsvorschlag, Stahlbau 54 (1985), S. 265-271
- [9] Ramm, W. und Uhlmann, W.: Zur Anpassung des Stabilitätsnachweises für mehrteilige Druckstäbe an das europäische Nachweiskonzept, Stahlbau 50 (1981), S. 161-172
- [10] Vogel, U. und Rubin, H.: Baustatik ebener Stabwerke. In: Stahlbau-Handbuch Band 1, Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln, 1982
- [11] Rubin, H.: Näherungsweise Bestimmung der Knicklängen und Knicklasten von Rahmen nach E-DIN 18800 Teil 2, Stahlbau 58 (1989), S. 103-109
- [12] Rubin, H.: Das Drehverschiebungsverfahren zur vereinfachten Berechnung unverschieblicher Stockwerkrahmen nach Theorie I. und II. Ordnung, Bauingenieur 59 (1984) S. 467-475
- [13] Palkowski, S.: Stabilität von Zweigelenkbögen mit Hängern und Zugband, Stahlbau 56 (1987), S. 169-172
- [14] Palkowski, S.: Statik und Stabilität von Zweigelenkbögen mit schrägen Hängern und Zugband, Stahlbau 56 (1987), S. 246-250
- [15] Dabrowski, R.: Knicksicherheit des Portalrahmens, Bauingenieur 35 (1960), S. 178-182
- [16] Rubin, H.: Beul-Knick-Problem eines Stabes unter Druck und Biegung, Stahlbau 55 (1986), S. 79-86.

1) Zu beziehen bei: Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf.

- [17] Schardt, R. und Schrade, W.: Bemessung von Dachplatten und Wandriegeln aus Kaltprofilen, Forschungsbericht des Ministers für Landes- und Stadtentwicklung des Landes Nordrhein-Westfalen, TH Darmstadt, 1981
- [18] Bulson, P. S.: The Stability of Flat Plates, Chatto and Windus Ltd., London, 1970
- [19] Grube, R. und Priebe, J: Zur Methode der wirksamen Querschnitte bei einachsiger Biegung mit Normalkraft, Stahlbau 59 (1990), S.141-148