

DIN 18800-2

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 Durchlaufträgern 55
5.3	Rahmen und Durchlaufträger mit verschieblichen Knotenpunkten 57
5.3.1	Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen 57
5.3.2	Verschiebliche ebene Rahmen 57
5.3.3	Elastisch gelagerte Durchlaufträger.....63
6	Bogenträger 64
6.1	Mittiger Druck (Stützlinienbogen).....64
6.1.1	Ausweichen in der Bogenebene 64
6.1.2	Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene 68
6.2	Einachsige Biegung in Bogenebene mit Normalkraft 72
6.2.1	Ausweichen in der Bogenebene 72
6.2.2	Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene 73
6.3	Planmäßig räumliche Belastung.....74
7	Planmäßig gerade Stäbe mit ebenen dünnwandigen Querschnittsteilen 75
7.1	Allgemeines 75
7.2	Berechnungsgrundlagen 76
7.3	Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Elastisch 78
7.4	Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Plastisch 82
7.5	Biegeknicken 82
7.5.1	Spannungsnachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch 82
7.5.2	Vereinfachte Nachweise 82
7.6	Biegedrillknicken 86
7.6.1	Nachweis 86
7.6.2	Planmäßig mittiger Druck.....86
7.6.3	Einachsige Biegung ohne Normalkraft 86
7.6.4	Einachsige Biegung mit Normalkraft 87
7.6.5	Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft 87
Anhang A (informativ) Liste der zurückgezogenen oder ersetzten Normen und technischen Regelwerke soweit sie in Bezug genommen werden 88	
Literaturhinweise 90	

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.

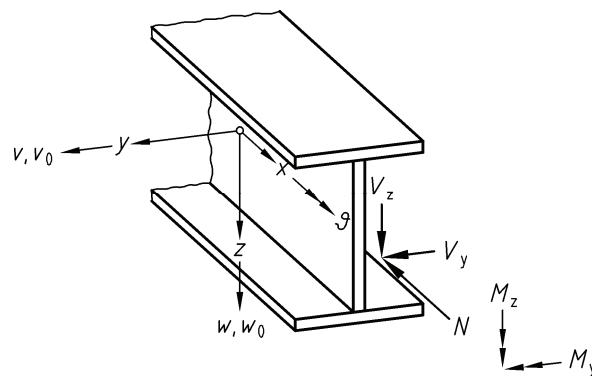


Bild 1 — Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen

(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_w 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 Querkraften V_z , und denen, die zu Biegemomenten M_z und Querkraften 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 vollplastisierten 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.

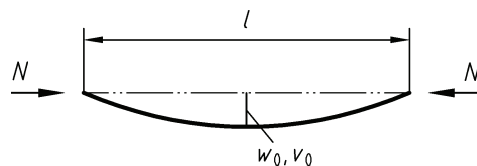


Bild 2 — Vorkrümmung eines Stabes, quadratische Parabel oder sin - Halbwelle

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.

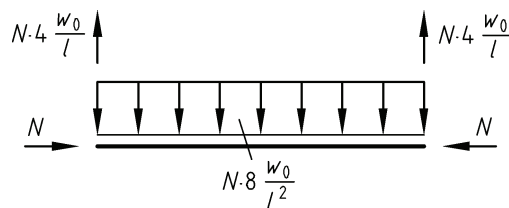


Bild 3 — Ersatzbelastung bei quadratischer Parabel (Gleichgewichtsgruppe)

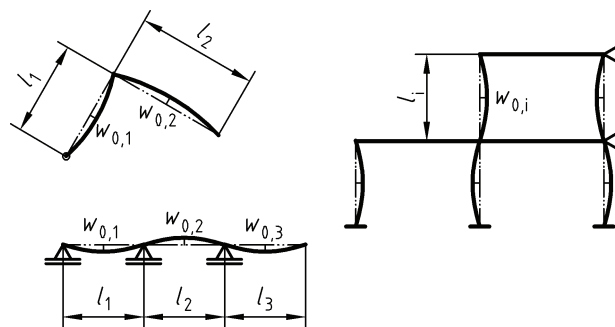


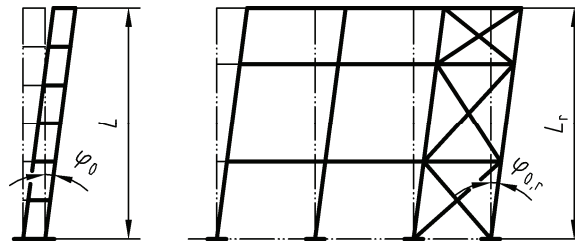
Bild 4 — Beispiele für den Ansatz von Vorkrümmungen

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:

$$\varphi_0 = \frac{1}{200} r_1 \cdot r_2 \quad (1)$$

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

$$\varphi_0 = \frac{1}{400} r_1 \cdot r_2 \quad (2)$$

Dabei ist

$r_1 = \sqrt{\frac{5}{l}}$ Reduktionsfaktor für Stäbe oder Stabzüge mit $l > 5$ m, wobei l die Systemlänge des vorverdrehen 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.

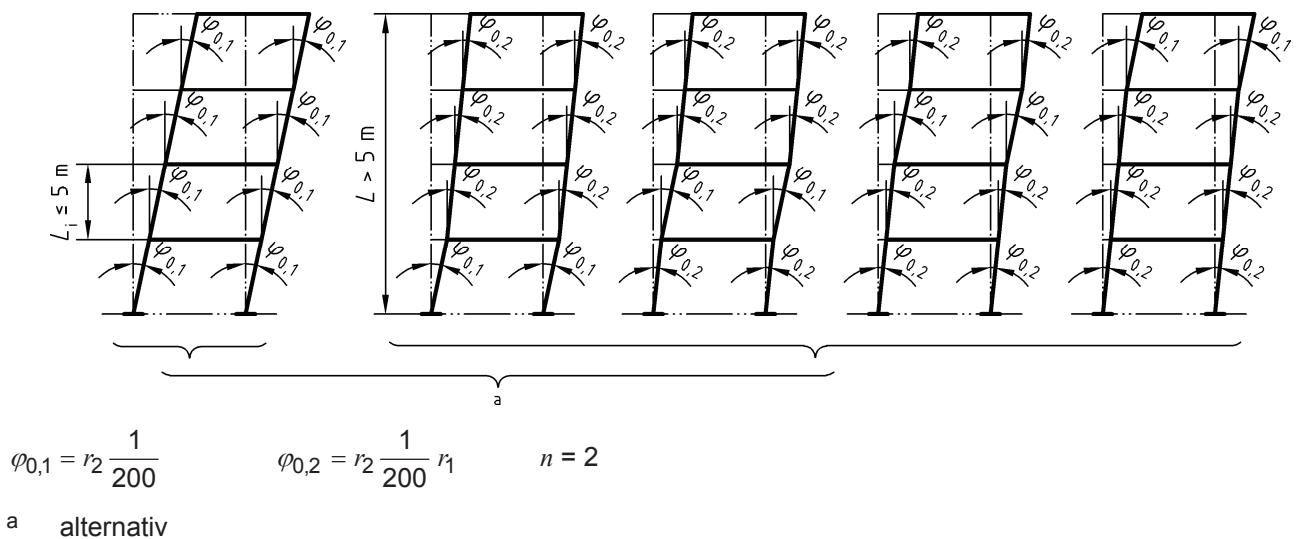
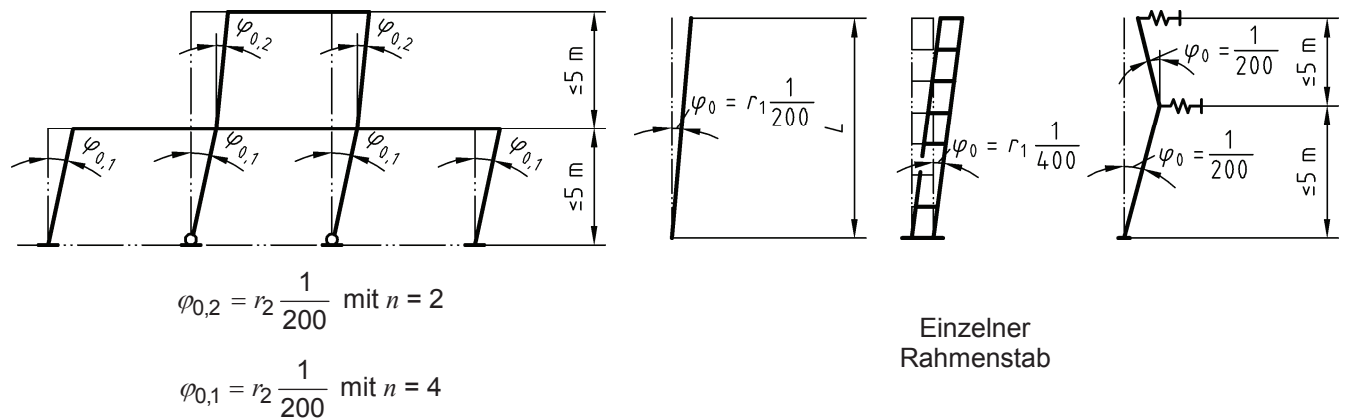
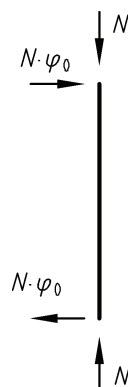


Bild 6 — Beispiele für Vorverdreungen in Stabwerken und Rahmen

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

Bild 7 — Ersatzbelastung für eine Vorverdreung φ_0

ANMERKUNG 4 Die verminderten Vorverdreungen sind in DIN 18800-1:2008-11, 7.4, Element 730, angegeben; auch hier sind gegebenenfalls Vorverdreungen 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 $\varepsilon > 1,6$ haben, ist zusätzlich zu den Vorverdrehungen (nach 2.3) auch die Vorkrümmung (nach 2.2) in ungünstigster Richtung anzusetzen.

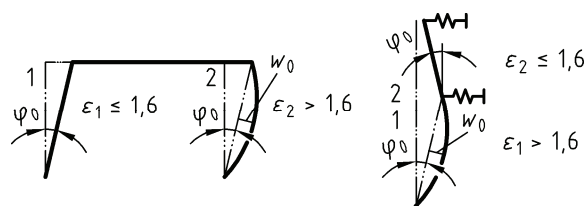


Bild 8 — Beispiele für die gleichzeitige Berücksichtigung von Vorkrümmung und Vorverdrehung

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 Biegeknickenuntersuchungen 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 Biegedrillknickenuntersuchung 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 ($= \kappa_y$ 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

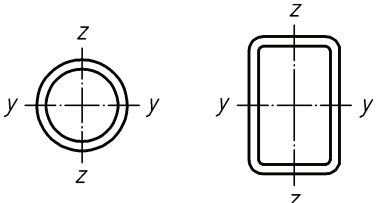
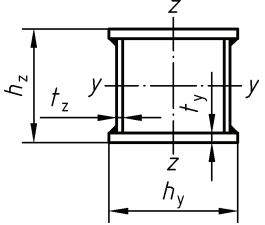
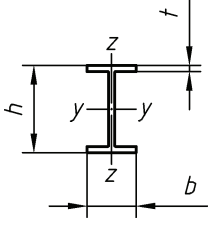
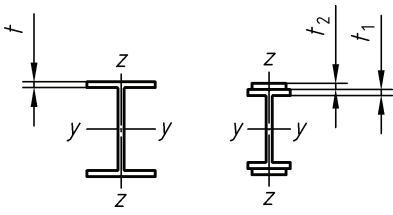
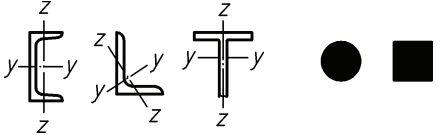
$$\bar{\lambda}_K > 3,0: \quad \kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_K (\bar{\lambda}_K + \alpha)} \quad (4c)$$

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 	y — y z — z	a ^a b ^a
	$h/b > 1,2$; $40 < t \leq 80$ mm	y — y z — z	b ^a
	$h/b \leq 1,2$; $t \leq 80$ mm	y — y z — z	c ^a
	$t > 80$ mm	y — y z — z	d ^a
4	geschweißte I-Querschnitte 	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.

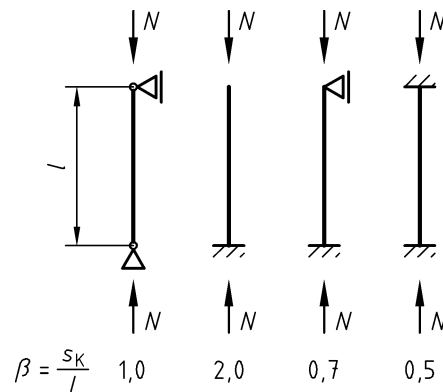


Bild 9 — Beispiele für Knicklängen einfacher Stäbe mit konstantem Querschnitt

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.

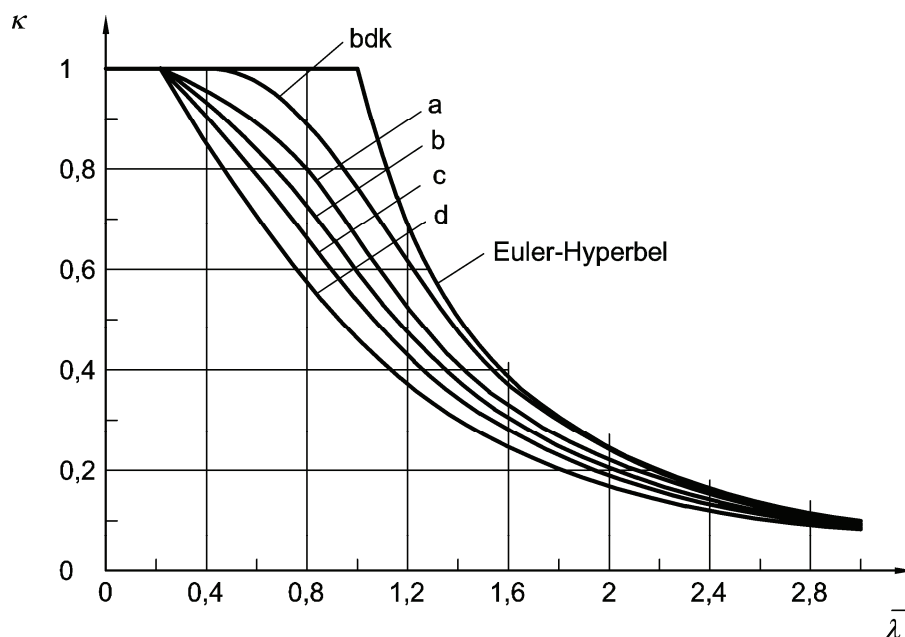


Bild 10 — Abminderungsfaktoren κ für Biegeknicken (Knickspannungslinien a, b, c, d) und κ_M für Biegedrillknicken (bdk) nach Gleichung (18) mit $n = 2,5$

3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft

3.3.1 Allgemeines

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

Dieser Nachweis darf

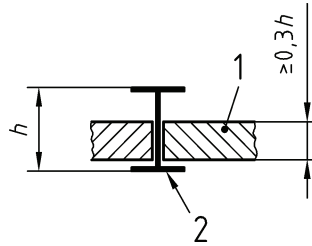
- bei Biegung um die z-Achse oder
 - wenn, jeweils die Bedingungen nach 3.3.2 oder 3.3.3 eingehalten werden
- entfallen.

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 Trägers (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

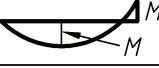
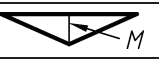
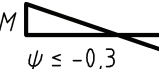
$k_v = 1,0$ bei Anwendung der Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch (Tabelle 1, Zeilen 2 und 3);

$k_v = 0,35$ 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 ist (gebundene Drehachse).

Tabelle 6 — Beiwerte k_g

	1	2	3
	Momentenverlauf	Freie Drehachse	Gebundene
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.

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

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

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

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 Hilfwerten 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].

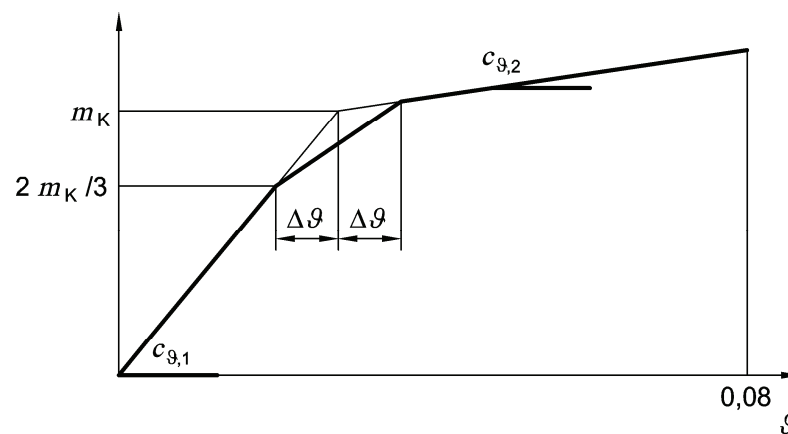


Bild 11a — Momenten-Verdrehungsbeziehung

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	Trapezprofillage		Schrauben im		Schrauben-abstand		Scheiben-durch-messer	$\bar{c}_{gA,k}$	$\max b_t^c$
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	b_r^a	$2 b_r^a$	mm	kNm/m	mm
	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 $60 \text{ mm} \leq \text{vorh } b \leq 100 \text{ mm}$		Z- oder U-Profile $60 \text{ mm} \leq \text{vorh } b \leq 80 \text{ mm}$	
$c_{g1} =$	$c_1 \cdot E_s \cdot \frac{\text{vorh } b}{82}$	(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

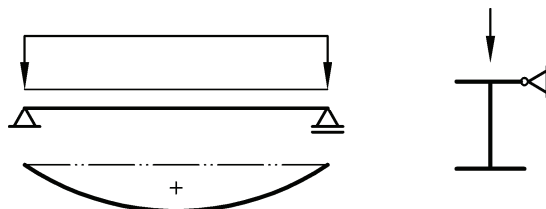


Bild 12 — Beispiel für die Lage einer gebundenen Drehachse

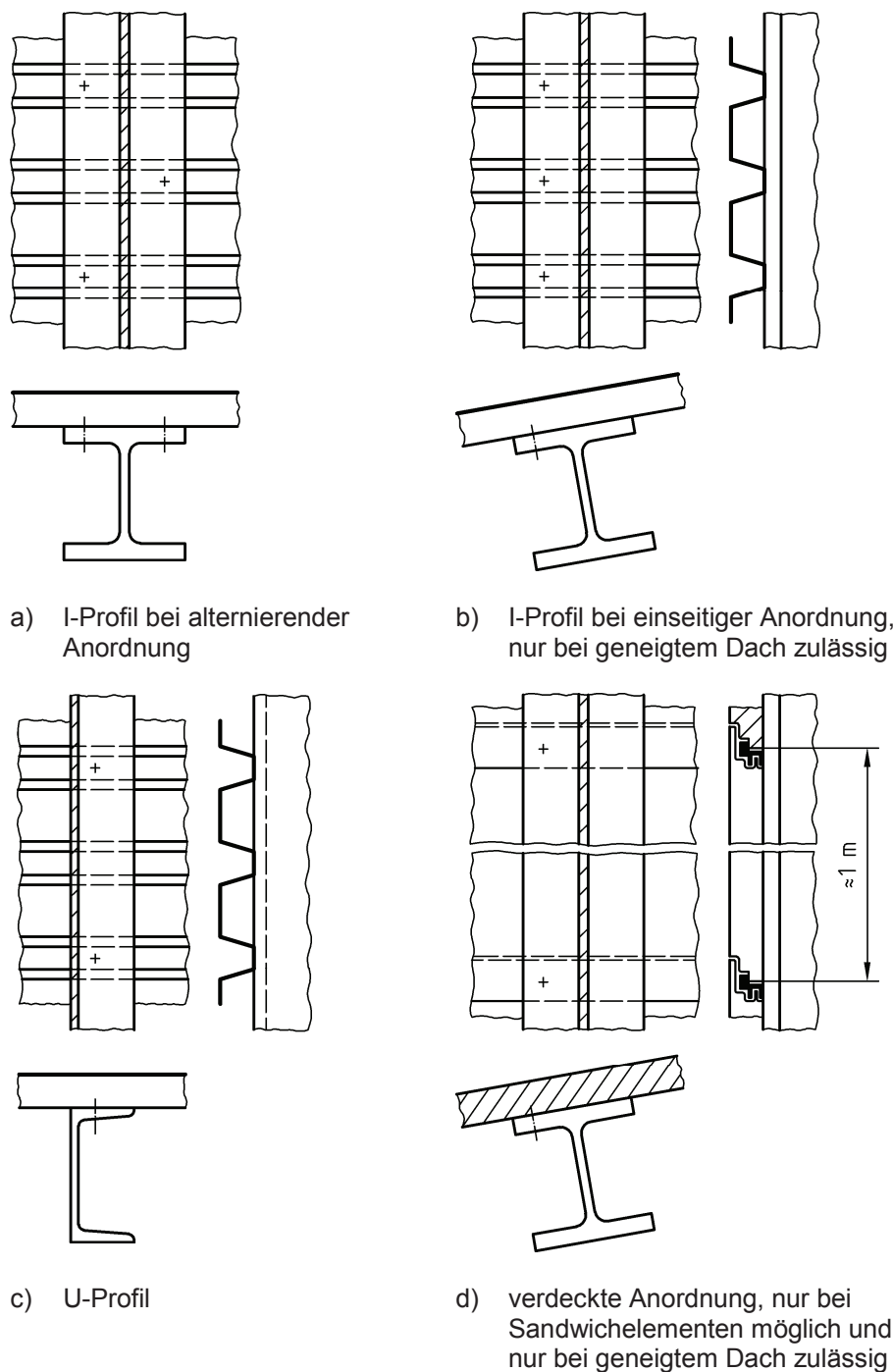


Bild 13 — Beispiele für die Schraubenanordnung bei Trapezprofilen und Sandwichelementen

3.3.3 Nachweis des Druckgurt 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.

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