

Stahlbauten

Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken

DIN
18 800
Teil 2

Steel structures; stability; buckling of bars and skeletal structures
Constructions métalliques; stabilité; flambement des barres et des structures à barres

Mit DIN 18 800 T 3/11.90
Ersatz für
DIN 4114 T 1/07.52 xx und
DIN 4114 T 2/02.53 x

Neben dieser Norm gelten DIN 4114 Teil 1/07.52 xx und DIN 4114 Teil 2/02.53 x noch bis zum Erscheinen einer europäischen (EN-)Norm über das Knicken von Stäben und Stabwerken von Stahlbauten.

Diese Norm wurde im NABau-Fachbereich 08 Stahlbau — Deutscher Ausschuss für Stahlbau e.V. ausgearbeitet.

Mit den vorliegenden neuen Normen der Reihe DIN 18 800 wurde erstmals das Sicherheits- und Bemessungskonzept der im Jahre 1981 vom NABau herausgegebenen „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen an bauliche Anlagen“ (GruSiBau) verwirklicht. Darüber hinaus ist auch den laufenden Entwicklungen hinsichtlich der europäischen Vereinheitlichungsbemühungen (Stichwort: EUROCODES) Rechnung getragen worden.

Alle Verweise auf die Normen DIN 18 800 Teil 1 und Teil 3 beziehen sich auf deren Ausgabe November 1990.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Allgemeine Angaben	2	5 Stabwerke	21
1.1 Anwendungsbereich	2	5.1 Fachwerke	21
1.2 Begriffe	2	5.1.1 Allgemeines	21
1.3 Häufig verwendete Formelzeichen	2	5.1.2 Knicklängen planmäßig mittig gedrückter Fachwerkstäbe	21
1.4 Grundsätzliches zum Tragsicherheitsnachweis	3	5.2 Rahmen und Durchlaufträger mit unverschieblichen Knotenpunkten	23
1.4.1 Allgemeines	3	5.2.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen	23
1.4.2 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie	5	5.2.2 Definition der Unverschieblichkeit von Rahmen	24
1.4.3 Tragsicherheitsnachweis bei Berechnung der Schnittgrößen nach der Fließgelenktheorie	5	5.2.3 Berechnung der Aussteifungselemente	24
2 Imperfektionen für Stäbe und für Stabwerke aus planmäßig geraden Stäben	5	5.2.4 Berechnung von Rahmen und Durchlaufträgern	25
2.1 Allgemeines	5	5.3 Rahmen und Durchlaufträger mit verschieblichen Knotenpunkten	26
2.2 Vorkrümmung	6	5.3.1 Vernachlässigbarkeit von Normalkraftverformungen	26
2.3 Vorverdrehung	6	5.3.2 Verschiebliche ebene Rahmen	26
2.4 Gleichzeitiger Ansatz von Vorkrümmung und Vorverdrehung	8	5.3.3 Elastisch gelagerte Durchlaufträger	29
3 Einteilige Stäbe	8	6 Bogenträger	29
3.1 Allgemeines	8	6.1 Mittiger Druck (Stützlinienbogen)	29
3.2 Planmäßig mittlerer Druck	8	6.1.1 Ausweichen in der Bogenebene	29
3.2.1 Biegeknicken	8	6.1.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene	32
3.2.2 Biegedrillknicken	10	6.2 Einachsige Biegung in Bogenebene mit Normalkraft	35
3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft	10	6.2.1 Ausweichen in der Bogenebene	35
3.3.1 Allgemeines	10	6.2.2 Ausweichen rechtwinklig zur Bogenebene	35
3.3.2 Behinderung der Verformung	11	6.3 Planmäßig räumliche Belastung	36
3.3.3 Nachweis des Druckgurtes als Druckstab	12	7 Planmäßig gerade Stäbe mit ebenen dünnwandigen Querschnittsteilen	36
3.3.4 Biegedrillknicken	13	7.1 Allgemeines	36
3.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft	14	7.2 Berechnungsgrundlagen	37
3.4.1 Stäbe mit geringer Normalkraft	14	7.3 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Elastisch	38
3.4.2 Biegeknicken	14	7.4 Wirksame Breite beim Verfahren Elastisch-Plastisch	40
3.4.3 Biegedrillknicken	15	7.5 Biegeknicken	40
3.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft	15	7.5.1 Spannungsnachweis beim Verfahren Elastisch-Elastisch	40
3.5.1 Biegeknicken	15	7.5.2 Vereinfachte Nachweise	40
3.5.2 Biegedrillknicken	17	7.6 Biegedrillknicken	42
4 Mehrteilige, einfeldrige Stäbe	17	7.6.1 Nachweis	42
4.1 Allgemeines	17	7.6.2 Planmäßig mittlerer Druck	42
4.2 Häufig verwendete Formelzeichen	17	7.6.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft	42
4.3 Ausweichen rechtwinklig zur stofffreien Achse	18	7.6.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft	42
4.3.1 Schnittgrößenermittlung am Gesamtstab	18	7.6.5 Zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft	42
4.3.2 Nachweis der Einzelstäbe	18	Zitierte Normen und andere Unterlagen	43
4.3.3 Nachweis der Einzelfelder von Rahmenstäben	19	Erläuterungen	44
4.4 Mehrteilige Rahmenstäbe mit geringer Spreizung	20		
4.5 Konstruktive Forderungen	21		

Fortsetzung Seite 2 bis 44

Diese Neuauflage von DIN 18 800 Teil 2 enthält gegenüber der Erstauflage Druckfehlerberichtigungen, die an den entsprechenden Stellen durch einen Balken am Rand gekennzeichnet sind.

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.



Documents

1 Allgemeine Angaben

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 Teil 1.

(102) Gebrauchstauglichkeitsnachweis

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

Anmerkung: Vergleiche dazu DIN 18800 Teil 1, Abschnitte 7.2.3 und 7.3.1, Element 723.

1.2 Begriffe

(103) Knicken

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

Man unterscheidet Biegeknicken und Biegedrillknicken.

(104) Biegeknicken

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

(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 Teil 1 und Teil 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.

1.3 Häufig verwendete Formelzeichen

(106) Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen sowie Imperfektionen

x	Stabachse
y, z	Hauptachsen des Querschnitts (die Zeichen sind bei teileiligen 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 Vorkrümmung 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 Teil 1, Abschnitt 3.1 definiert.

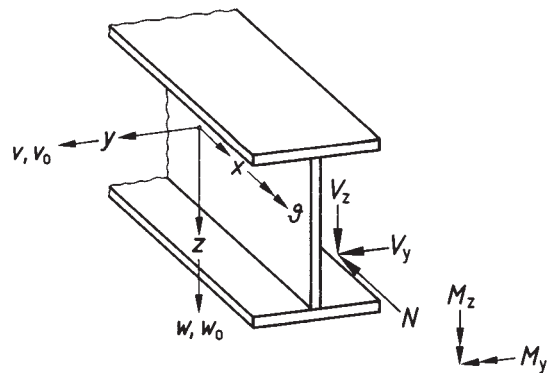


Bild 1. Koordinaten, Verschiebungs- und Schnittgrößen

(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 Teil 1, 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 Wölbfächenmoment 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

$$\kappa_M$$

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 Abschnitt 3.4.2.2, Element 316).

Anmerkung 2: Der Bezugsschlankheitsgrad beträgt für Erzeugnisdicken $t \leq 40$ mm:

$$\lambda_a = 92,9 \text{ für St 37 mit } f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_a = 75,9 \text{ für St 52 mit } f_{y,k} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Anmerkung 3: Bei der Ermittlung bezogener Schlankheitsgrade ist für f_y , $(E \cdot I)$, N_{Ki} und M_{Ki} entsprechend Abschnitt 1.4.1, 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 $M_{Ki,y}$ wird in der Literatur häufig als Kippmoment bezeichnet. Bei veränderlichen Querschnitten oder Schnittgrößen ist M_{Ki} 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 Teil 1, 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: $\gamma_M = 1,1$.

1.4 Grundsätzliches zum Tragsicherheitsnachweis

1.4.1 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 Teil 1, 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.

(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 Teil 1, Abschnitt 4.1, Element 401, Nummer 1 und 2 genannten Stahlsorten besitzen ein ausreichendes Plastizierungsvermögen.

Tabelle 2. Zusammenstellung vereinfachter Tragsicherheitsnachweise

	Schnittgrößen	Versagensart	Vereinfachte Nachweise nach	
			Abschnitt	Gleichung
1	Einteilige Stäbe 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
9	Mehrteilige Stäbe N	Biegeknicken	4.3	31 bis 38
10	$N + M_z$	Biegeknicken	4.3	

(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 Teil 1, Abschnitte 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 Schubmoduln 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 Verzweigungsfaktors 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 Teil 1, Abschnitt 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 Abschnitt 1.4.1, 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 Verzweigungsfaktors 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 5, 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 Statistischen Berechnung kenntlich zu machen, falls Verwechslungen nicht auszuschließen sind.

Anmerkung 3: Hinweise zu den Widerstandsgrößen siehe DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 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 Teil 1, Abschnitt 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 Teil 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 Teil 3 bzw. DIN 18800 Teil 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 Teil 1, Tabellen 12, 13, 15 und 18.

Anmerkung 2: Nähere Angaben über $\text{grenz}(d/t)$ von Rohren enthält DIN 18800 Teil 1, 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.

1.4.2 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 Abschnitt 1.4.1, Element 117, anwendbar ist.

In kleinen Bereichen darf die Vergleichsspannung die Grenzspannung $f_{y,d}$ um 10% überschreiten (vergleiche DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 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 Teil 1, Abschnitt 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 Teil 1, 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 Querkraften) 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.

1.4.3 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 Abschnitt 1.4.2, Element 123.

Anmerkung: Interaktionsbedingungen sind z.B. in DIN 18800 Teil 1, 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 Abschnitt 2.2) und Vorverdrehungen (siehe Abschnitt 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 Nachweisverfahrens Elastisch-Elastisch nach Tabelle 1, Zeile 1 brauchen nur $\frac{2}{3}$ der Werte der Ersatzimperfectionen nach den Abschnitten 2.2 und 2.3 angesetzt zu werden. Bei Tragsicherheitsnachweisen für mehrteilige Stäbe nach Abschnitt 4.3 ist die Ersatzimperfection nach Tabelle 3, Zeile 5, dagegen stets unvermindert anzusetzen.

Anmerkung 1: Der Faktor $\frac{2}{3}$ 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 Abschnitt 4.3 beruhen auf Vergleichen von experimentellen und rechnerischen Traglasten, die die Ersatzimperfectionen nach Tabelle 3, Zeile 5, belegen (siehe auch Anmerkung zu Abschnitt 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 gemäß Abschnitt 2.2 mit dem Stich $0,5 v_0$ anzusetzen.

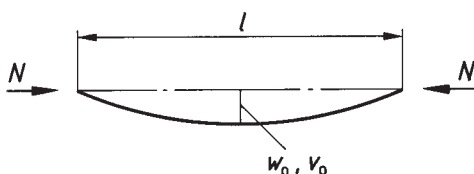
(203) Imperfectionen für Sonderfälle

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 Abschnitt 2.4, Element 207, sind in der Regel die Vorkrümmungen nach Bild 2 und Tabelle 3 anzusetzen.



quadratische Parabel
oder sin-Halbwellenlinie

Bild 2. Vorkrümmung eines Stabes

Wenn die Abgrenzungskriterien nach DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 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
1	Einteilige Stäbe mit Querschnitten, denen nach Tabelle 5 folgende Knickspannungslinie zugeordnet ist.	
2	a	$l/300$
3	b	$l/250$
4	c	$l/200$
5	d	$l/150$
6	Mehrteilige Stäbe , wenn der Nachweis nach Abschnitt 4.3 erfolgt	$l/500$

Anmerkung: Ersatzimperfectionen für Bogenträger enthält Tabelle 23.

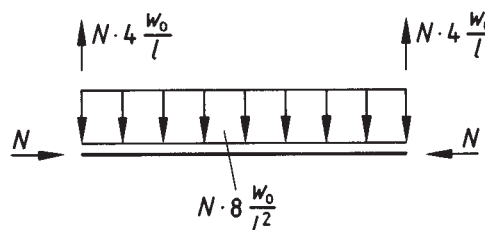


Bild 3. Ersatzbelastung bei quadratischer Parabel (Gleichgewichtsgruppe)

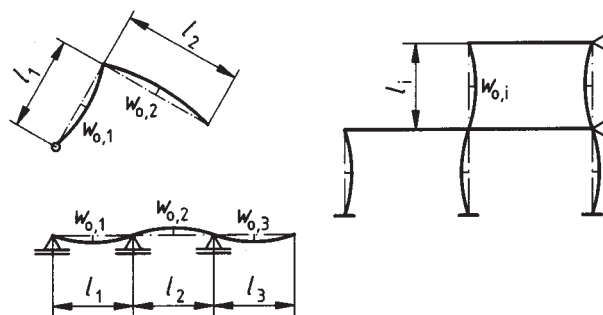


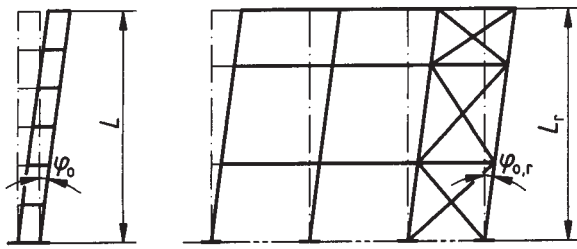
Bild 4. Beispiele für den Ansatz von Vorkrümmungen

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 Teil 1, Abschnitt 7.5.1, Element 739, für die Anwendung der Theorie I. Ordnung erfüllt sind, darf mit verminderten Vorverdrehungen gerechnet werden.



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 Abschnitt 4.3

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

Es bedeuten:

$$r_1 = \sqrt{\frac{5}{l}}$$

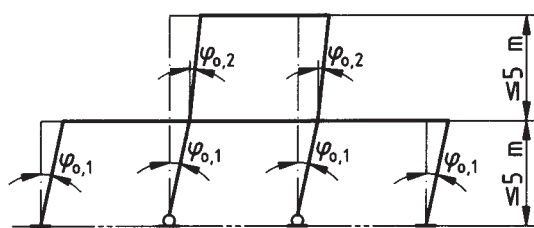
Reduktionsfaktor für Stäbe oder Stabzüge mit $l > 5$ m, wobei l die Systemlänge des vorverdrehen Stabes L bzw. Stabzuges L_r in m ist. Maßgebend ist jeweils derjenige Stab oder Stabzug, dessen Vorverdrehung sich auf die betrachtete Beanspruchung am ungünstigsten auswirkt.

$$r_2 = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{n}} \right)$$

Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung von n voneinander unabhängigen Ursachen für Vorverdrehungen von Stäben und Stabzügen.

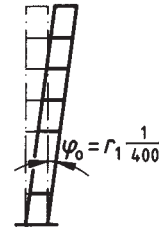
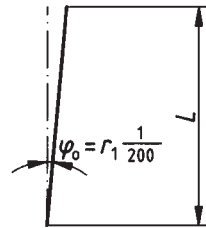
Bei der Berechnung des Reduktionsfaktors r_2 für Rahmen darf in der Regel für n die Anzahl der Stiele des Rahmens je Stockwerk in der betrachteten Rahmenebene eingesetzt werden. Stiele mit geringer Normalkraft zählen dabei nicht. Als Stiele mit geringer Normalkraft gelten solche, deren Normalkraft kleiner 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).

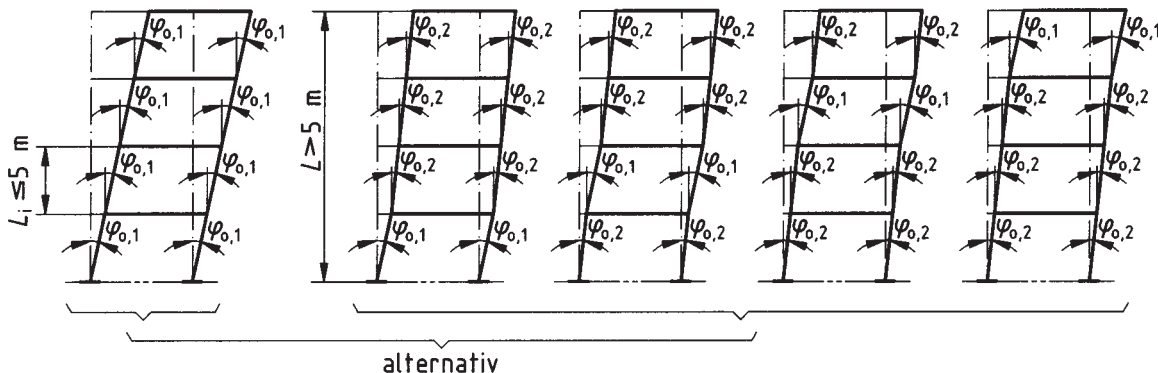
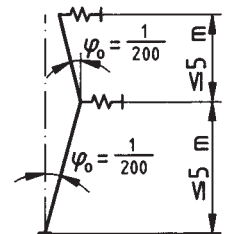


$$\varphi_{0,2} = r_2 \frac{1}{200} \text{ mit } n = 2$$

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



Einzelner
Rahmenstab



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

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

$$n = 2$$

Bild 6. Beispiele für Vorverdrehungen in Stabwerken und Rahmen

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



Bild 7. Ersatzbelastung für eine Vorverdrehung φ_0

Anmerkung 3: Vorverdrehungen aus Schraubenschlupf sind gegebenenfalls zusätzlich zu berücksichtigen; vergleiche Abschnitt 1.4.1, Element 118.

Anmerkung 4: Die verminderten Vorverdrehungen sind in DIN 18800 Teil 1, Abschnitt 7.4, Element 730, angegeben; auch hier sind gegebenenfalls Vorverdrehungen aus Schraubenschlupf zusätzlich zu berücksichtigen.

Anmerkung 5: Der Reduktionsfaktor r_2 kann 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 Abschnitt 2.3) auch die Vorkrümmung (nach Abschnitt 2.2) in ungünstigster Richtung anzusetzen.

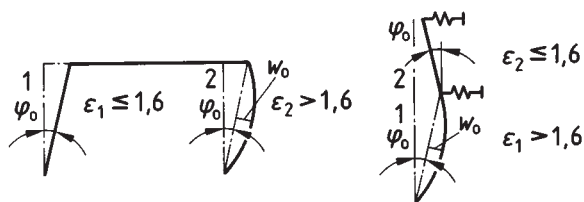


Bild 8. Beispiele für die gleichzeitige Berücksichtigung von Vorkrümmung und Vorverdrehung

3 Einteilige Stäbe

3.1 Allgemeines

(301) Geltungsbereich

Die in den Abschnitten 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 der Abschnitte 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 den Abschnitten 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 die Abschnitte 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 Abschnitt 3.3.2.

3.2 Planmäßig mittlerer 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 (4 a) bis (4 c) zu ermitteln.

$$\bar{\lambda}_K \leq 0,2 : \kappa = 1$$

(4 a)

Tabelle 4. Parameter α zur Berechnung des Abminderungsfaktors κ

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

(4 b)

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

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

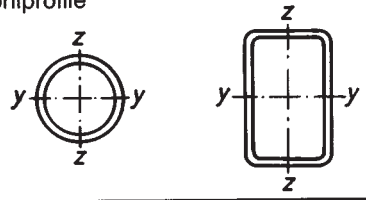
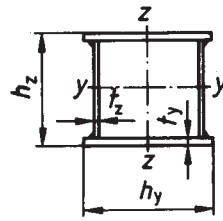
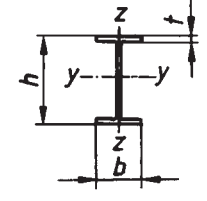
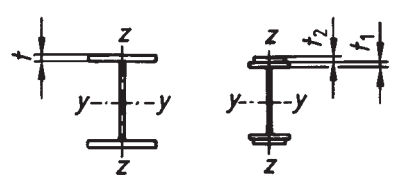
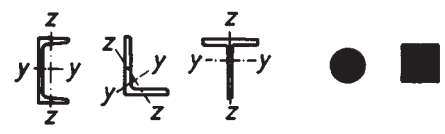
vereinfachend für $\bar{\lambda}_K > 3,0$:

$$\kappa = \frac{1}{\bar{\lambda}_K (\bar{\lambda}_K + \alpha)}$$

(4 c)

mit α nach Tabelle 4.

Tabelle 5. Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien

	1	2	3
	Querschnitt	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspannungslinie
1	Hohlprofile  warm gefertigt kalt gefertigt	y — y z — z y — y z — z	a b
2	geschweißte Kastenquerschnitte  dicke Schweißnaht und $h_y/t_y < 30$ $h_z/t_z < 30$	y — y z — z y — y z — z	b c
3	gewalzte I-Profile  $h/b > 1,2; \quad t \leq 40 \text{ mm}$ $h/b > 1,2; \quad 40 < t \leq 80 \text{ mm}$ $h/b \leq 1,2; \quad t \leq 80 \text{ mm}$ $t > 80 \text{ mm}$	y — y z — z y — y z — z y — y z — z	a b b c d
4	geschweißte I-Querschnitte  $t_i \leq 40 \text{ mm}$ $t_i > 40 \text{ mm}$	y — y z — z y — y z — z	b c c d
5	U-, L-, T- und Vollquerschnitte  und mehrteilige Stäbe nach Abschnitt 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.		

Anmerkung: Als dicke Schweißnähte sind solche mit einer vorhandenen Nahtdicke $a \geq \min t_i$ 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.

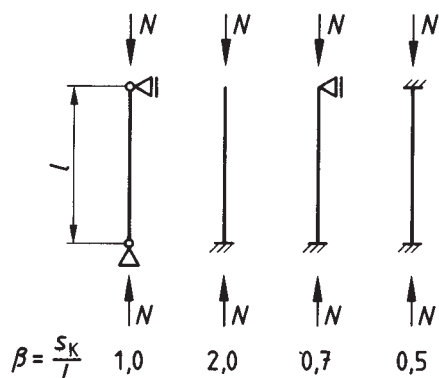


Bild 9. Beispiele für Knicklängen einfacher Stäbe mit konstantem Querschnitt

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:

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

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

3.2.2 Biegedrillknicken

(306) Für Stäbe mit beliebiger, aber unverschieblicher Lagerung der Enden, mit unveränderlichem Querschnitt und konstanter Normalkraft ist ein Tragsicherheitsnachweis nach Abschnitt 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.

3.3 Einachsige Biegung ohne Normalkraft

3.3.1 Allgemeines

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

Dieser Nachweis darf

- bei Biegung um die z-Achse oder
- wenn jeweils die Bedingungen der Abschnitte 3.3.2 oder 3.3.3 eingehalten werden

entfallen.

Anmerkung: Der hier behandelte Stabilitätsfall wurde in DIN 4114 Teil 1/0752 und meistens in der Literatur als „Kippen“ bezeichnet.

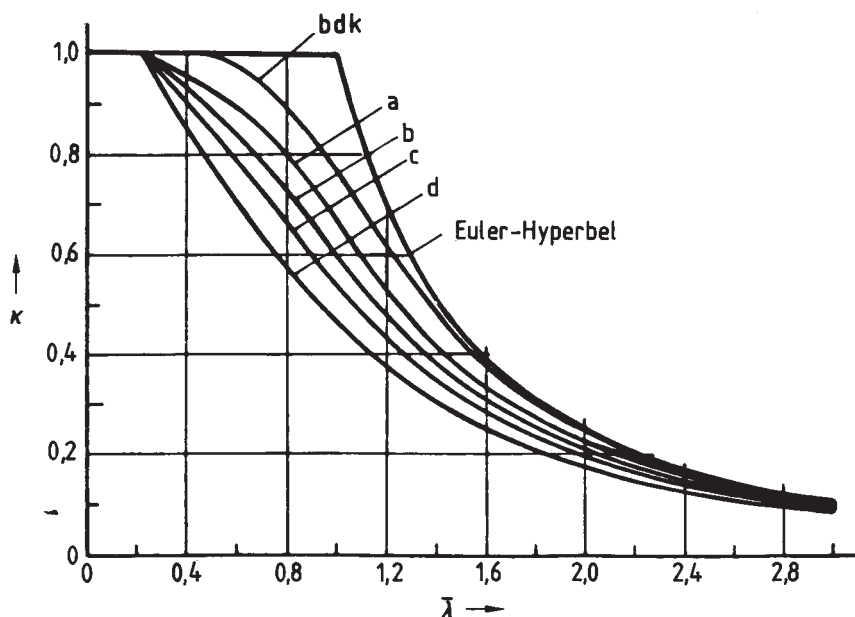


Bild 10. Abminderungsfaktoren κ für Biegeknicken (Knickspannungslinien a, b, c, d) und κ_M für Biegedrillknicken (bdk) nach Gleichung (18) mit $n = 2,5$

3.3.2 Behinderung der Verformung

(308) Behinderung der seitlichen Verschiebung

Ausreichende Behinderung der seitlichen Verschiebung ist vorhanden bei Stäben, die durch ständig am Druckgurt anschließendes Mauerwerk aussteift sind, dessen Dicke nicht geringer ist als die 0,3fache Querschnittshöhe des Stabes.

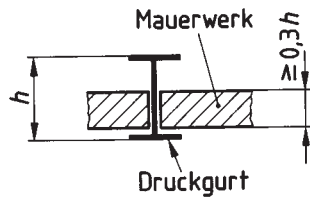


Bild 11. Aussteifung durch Mauerwerk

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.

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

Hierin bedeutet:

S der auf den untersuchten Träger entfallende Anteil der Schubsteifigkeit der Trapezblechscheiben nach DIN 18807 Teil 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 entsprechen, ist eine ausreichende Drehbettung vorhanden, wenn Bedingung (8) erfüllt ist.

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

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)

k_{∂} 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_{∂}

	1 Momentenverlauf	2	3
		freie Drehachse	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 $c_{\partial,k}$ sind gegebenenfalls Verformungen des Anschlußbereiches zwischen dem gestützten Träger und dem abstützenden Bauteil zu berücksichtigen. Dies kann z.B. nach Gleichung (9) geschehen.

$$\frac{1}{c_{\partial,k}} = \frac{1}{c_{\partial M,k}} + \frac{1}{c_{\partial A,k}} + \frac{1}{c_{\partial P,k}} \quad (9)$$

Hierin bedeuten:

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

$$c_{\partial M,k} = k \frac{(E \cdot I_a)_k}{a} \quad (10)$$

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

$c_{\partial A,k}$ Drehbettung aus der Verformung des Anschlusses, für Trapezprofile mit den Werten $\bar{c}_{\partial A,k}$ nach Tabelle 7 aus Gleichung (11 a) bzw. (11 b) zu ermitteln

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

für $\frac{\text{vorh } b}{100} \leq 1,25$



Documents

Document Sharing Hub

Tabelle 7. Charakteristische Werte für Anschlußsteifigkeiten $\bar{c}_{\partial A, k}$ von Trapezprofilen aus Stahl, bezogen auf eine Gurtbreite $b = 100$ mm

Zeile	Trapezprofilage		Schrauben im		Schraubenabstand		Scheiben- durchmesser mm	$\bar{c}_{\partial A, k}$ kNm/m	max b_t ³⁾ mm
	positiv	negativ	Untergurt	Obergurt	b_r ¹⁾	2 b_r ¹⁾			
	Auflast								
1	x		x		x		22	5,2	40
2	x		x			x	22	3,1	40
3		x		x	x		Ka ²⁾	10,0	40
4		x		x		x	Ka ²⁾	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

¹⁾ b_r Rippenabstand

²⁾ Ka Abdeckkappen aus Stahl mit $t \geq 0,75$ mm

³⁾ 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 angegeben sind, sowie für Unterlegscheiben aus Stahl mit der Dicke $d \geq 1,0$ mm und aufvulkanisierter Neoprendichtung.

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

$$\text{für } 1,25 \leq \frac{\text{vorh } b}{100} \leq 2,0$$

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

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

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

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

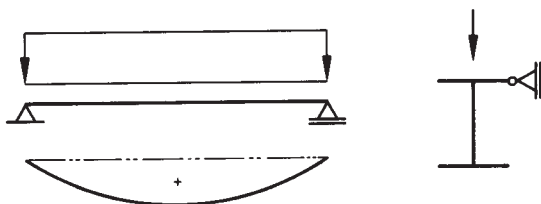


Bild 12. Beispiel für die Lage einer gebundenen Drehachse

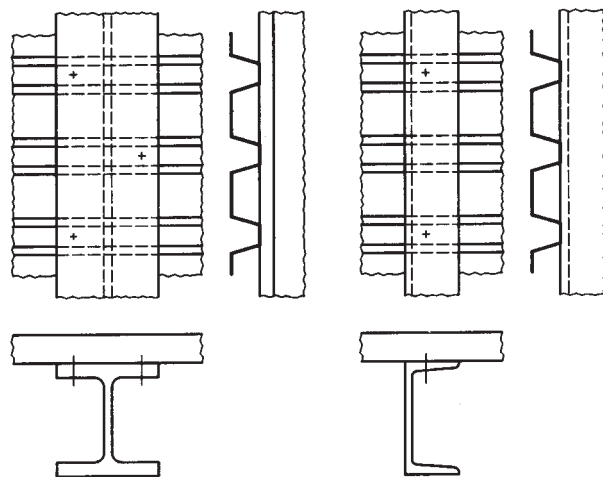


Bild 13. Beispiel für die Schraubenanordnung beim Trapezprofilanschluss

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.

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

Hierin ist

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

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.

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

Hierin 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.

$$\frac{h}{t} \leq 44 \sqrt{240/f_{y,k}} \quad (15)$$

mit den Trägerabmessungen

h größte Gesamthöhe

t Dicke des Druckgurt

— Knickspannungslinie c darf in den übrigen Fällen gewählt werden.

Anmerkung: Vereinfachend kann 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.

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

Hierin bedeuten:

M_y größter Absolutwert des Biegemomentes nach Abschnitt 3.1, Element 303

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

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

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

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.

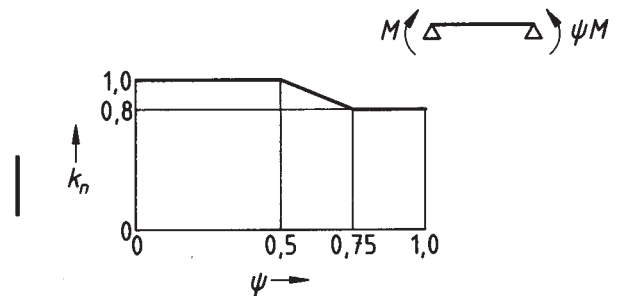
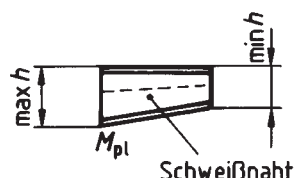


Bild 14. Faktor k_n für den Trägerbeiwert

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*) 	$0,7 + 1,8 \frac{\min h}{\max h}$ $\frac{\min h}{\max h} \geq 0,25$

*) 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.

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

mit

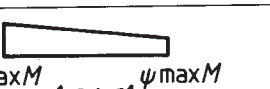
ζ Momentenbeiwert für Gabellagerung an den Enden, nach Tabelle 10

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

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

z_p Abstand des Angriffspunktes der Querbelastung vom Schwerpunkt, auf der Biegezugseite positiv

Tabelle 10. Momentenbeiwerte ζ

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

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

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

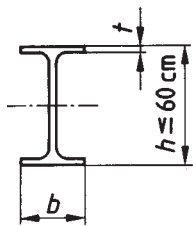


Bild 15. Abmessungen für die vereinfachten Nachweise nach Gleichung (20) oder (21)

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.

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

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 $M_{Ki,y}$ erfaßt werden.

3.4 Einachsige Biegung mit Normalkraft

3.4.1 Stäbe mit geringer Normalkraft

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

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

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 Einzelast und dem maximalen Moment M nach Theorie I. Ordnung darf Bedingung (3) angewendet werden, wobei jedoch in Gleichung (4 b) 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 Abschnitt 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 Abschnitt 3.2.1 zu führen

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

mit

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

$$\Delta n = \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \left(1 - \frac{N}{\kappa \cdot N_{pl,d}} \right) \kappa^2 \cdot \bar{\lambda}_K^2$$

jedoch $\Delta n \leq 0,1$

Bei der Berechnung von $M_{pl,d}$ ist Abschnitt 1.4.2, 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.