

Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V. (Hrsg.)

# Kurzfassung des Eurocode 2 für Stahlbetontragwerke im Hochbau

- **3 in 1: der Eurocode (EC), der Nationale Anhang (NA), Erläuterungen und Hinweise**
- **EC2 und NA als verwobenes Dokument, fehlerbereinigt und mit aktuellen Änderungen**
- **Empfehlungen und Vorschläge aus dem Eurocode, die für Deutschland nicht relevant sind, wurden entfernt**

Der gekürzte Normentext von Eurocode 2 Teil 1-1 mit Nationalem Anhang wurde zu einem durchgängig lesbaren Text zusammengefasst und alle nationalen Festlegungen farbig unterlegt. Diese Kurzfassung ist das ideale Handexemplar für die Bemessungspraxis bei üblichen Hochbauprojekten.



2012 · 160 Seiten · 95 Abbildungen ·  
34 Tabellen  
.....  
Softcover  
**ISBN 978-3-433-03045-5**      **€ 39\***

## ÜBER DAS BUCH

Der Eurocode 2 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“ (EC2-1-1) mit seinem Nationalen Anhang wurde zum 1. Juli 2012 bauaufsichtlich in Deutschland eingeführt.

Für die praktische Anwendung bei allen Fällen des üblichen Hochbaus wird mit diesem Buch eine gekürzte konsolidierte Normfassung aus dem berichtigten Eurocode 2-Text und den Regelungen aus dem Nationalen Anhang vorgelegt. Alle Empfehlungen und Vorschläge aus dem Eurocode, die für Deutschland nicht relevant sind, wurden entfernt. Zur Verbesserung des Gebrauchswertes sind alle nationalen Festlegungen, Änderungen und Ergänzungen farbig unterlegt. Ergänzende kurze Erläuterungen und Verweise in einer Randspalte erleichtern die Einarbeitung und die tägliche Handhabung.

Gegenüber der vollständigen Fassung „Eurocode 2 für Deutschland“ wurden neuere Änderungen berücksich-

tigt. Alle Abschnitte betreffend Spannbeton, Leichtbeton, hochfesten Beton, Plastizitätstheorie (außer Stabwerkmodelle), Ermüdung, große Bewehrungsdurchmesser und andere spezielle Themen wurden weggelassen.

Zur Erleichterung der Einarbeitung in den Eurocode 2 sind für den mit DIN 1045-1 vertrauten Leser in einem Anhang Zuordnungstabellen enthalten, die das schnelle Auffinden vergleichbarer Abschnitte und Gleichungen im Eurocode 2 garantieren.

Die Kurzfassung ist ein ideales Arbeitsexemplar für jeden Bauingenieur, der mit dieser übersichtlichen Normfassung für die täglichen Planungsaufgaben im Stahlbetonhochbau gut gerüstet ist.

## BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
.....	978-3-433-03045-5	Kurzfassung des Eurocode 2 für Stahlbetontragwerke im Hochbau [...]	€ 39*

Privat      Geschäftlich

Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:

Tel. +49 (0)30 47031-236  
Fax +49 (0)30 47031-240  
[marketing@ernst-und-sohn.de](mailto:marketing@ernst-und-sohn.de)

Firma, Abteilung      UST-ID Nr.

Name, Vorname      Telefon      Fax

108208 Free Shipping

Straße, Nr.

PLZ/Ort/Land      E-Mail

Datum/Unterschrift

## BESTELLEN

+49 (0)30 47031-236  
[marketing@ernst-und-sohn.de](mailto:marketing@ernst-und-sohn.de)  
[www.ernst-und-sohn.de/3045](http://www.ernst-und-sohn.de/3045)

## 5.4 Linear-elastische Berechnung

(1) Die Schnittgrößen von Bauteilen dürfen auf Grundlage der Elastizitätstheorie sowohl für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit bestimmt werden.

(2) Eine linear-elastische Schnittgrößenermittlung darf dabei unter folgenden Annahmen erfolgen:

- i) ungerissene Querschnitte,
- ii) lineare Spannungs-Dehnungs-Linien und
- iii) Mittelwert des Elastizitätsmoduls.

Es dürfen jedoch auch die Steifigkeiten der gerissenen Querschnitte (Zustand II) verwendet werden.

(3) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit darf bei Temperatureinwirkungen, Setzungen und Schwinden von einer verminderten Steifigkeit infolge gerissener Querschnitte ausgegangen werden. Dabei darf die Mitwirkung des Betons auf Zug vernachlässigt werden, während die Auswirkungen des Kriechens zu berücksichtigen sind. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist in der Regel eine sukzessive Rissbildung zu berücksichtigen.

(NA.4) Im Allgemeinen sind keine besonderen Maßnahmen zur Sicherstellung angemessener Verformungsfähigkeit erforderlich, sofern sehr hohe Bewehrungsgrade in den kritischen Abschnitten der Bauteile vermieden und die Anforderungen bezüglich der Mindestbewehrung erfüllt werden.

(NA.5) Für Durchlaufträger, bei denen das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleichen Steifigkeiten  $0,5 < l_{eff,1} / l_{eff,2} < 2,0$  beträgt, in Riegeln von Rahmen und in sonstigen Bauteilen, die vorwiegend auf Biegung beansprucht sind, einschließlich durchlaufender, in Querrichtung kontinuierlich gestützter Platten, sollte  $x_d / d$  den Wert 0,45 bis C50/60 nicht übersteigen, sofern keine geeigneten konstruktiven Maßnahmen getroffen oder andere Nachweise zur Sicherstellung ausreichender Duktilität geführt werden.

$x_d$  – Druckzonenhöhe infolge Bemessungsschnittgrößen

z. B. enge Bügelumschnürung der Betondruckzone

## 5.5 Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung

(1)P Die Auswirkungen einer Momentenumlagerung müssen bei der Bemessung durchgängig berücksichtigt werden.

(2) Die linear-elastische Schnittgrößenermittlung mit begrenzter Umlagerung darf für die Nachweise von Bauteilen im GZT verwendet werden.

(3) Die mit dem linear-elastischen Verfahren ermittelten Momente dürfen für die Nachweise im GZT umgelagert werden, wobei die resultierende Schnittgrößenverteilung mit den einwirkenden Lasten im Gleichgewicht stehen muss.

Für die Ermittlung von Querkraft, Drillmoment und Auflagerreaktion bei Platten darf im üblichen Hochbau entsprechend dem Momentenverlauf nach Umlagerung eine lineare Interpolation zwischen den Beanspruchungen bei voll eingespanntem Rand und denen bei gelenkig gelagertem Rand vorgenommen werden.

(4) Bei durchlaufenden Balken oder Platten, die:

- a) vorwiegend auf Biegung beansprucht sind und
- b) bei denen das Stützweitenverhältnis benachbarter Felder mit annähernd gleicher Steifigkeit 0,5 bis 2,0 beträgt, dürfen die Biegemomente ohne besonderen Nachweis der Rotationsfähigkeit umgelagert werden, vorausgesetzt, dass:

$$\delta \geq 0,64 + 0,8 \cdot x_u / d \geq 0,85 \text{ für B500A bzw. } \geq 0,70 \text{ für B500B} \quad (5.10a)$$

Dabei ist

- $\delta$  das Verhältnis des umgelagerten Moments zum Ausgangsmoment vor der Umlagerung;
- $x_u$  die bezogene Druckzonenhöhe im GZT nach Umlagerung;
- $d$  die statische Nutzhöhe des Querschnitts.

Betonstähle B500 der Klassen  
A – normalduktil  
B – hochduktil

(5) Eine Umlagerung darf in der Regel nicht erfolgen, wenn die Rotationsfähigkeit nicht sichergestellt werden kann [...].

Bei verschiebblichen Rahmen, Tragwerken aus unbewehrtem Beton und solchen, die aus vorgefertigten Segmenten mit unbewehrten Kontaktfugen bestehen, ist keine Umlagerung zugelassen.

Kurzfassung Eurocode 2: DIN EN 1992-1-1 mit Nationalem Anhang 5 Ermittlung der Schnittgrößen	Hinweise
---	----------

(6) Für die Bemessung von Stützen in rahmenartigen Tragwerken sind in der Regel die elastischen Momente ohne Umlagerung zu verwenden.

## 5.6 Verfahren nach der Plastizitätstheorie

### 5.6.1 Allgemeines

[...] (NA.5) Bei Scheiben dürfen Verfahren nach der Plastizitätstheorie stets (also auch bei Verwendung von Stahl mit normaler Duktilität) ohne direkten Nachweis des Rotationsvermögens angewendet werden.

[...]

### 5.6.4 Stabwerkmodelle

(1) Stabwerkmodelle dürfen bei der Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit von Kontinuitätsbereichen (ungestörte Bereiche von Balken und Platten im gerissenen Zustand, siehe 6.1–6.4) und bei der Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der baulichen Durchbildung von Diskontinuitätsbereichen, siehe 6.5.1, angewendet werden. Üblicherweise sollten Stabwerkmodelle noch bis zu einer Länge  $h$  (Querschnittshöhe des Bauteils) über den Diskontinuitätsbereich ausgedehnt werden.

Stabwerkmodelle dürfen ebenfalls bei Bauteilen verwendet werden, bei denen eine lineare Dehnungsverteilung innerhalb des Querschnitts angenommen werden darf (z. B. bei einem ebenen Dehnungszustand).

(2) Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit, wie z. B. die Nachweise der Stahldruckspannung und die Rissbreitenbegrenzung, dürfen ebenfalls mit Hilfe von Stabwerkmodellen ausgeführt werden, sofern eine näherungsweise Verträglichkeit der Stabwerkmodelle sichergestellt ist (insbesondere die Lage und Richtung der Hauptstreben sollten der Elastizitätstheorie entsprechen).

(3) Ein Stabwerkmodell besteht aus Betondruckstreben (diskretisierte Druckspannungsfelder), aus Zugstreben (Bewehrung) und den verbindenden Knoten. Die Kräfte in diesen Elementen des Stabwerkmodells sind in der Regel unter Einhaltung des Gleichgewichts für die Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu ermitteln. Die Elemente des Stabwerkmodells sind in der Regel nach den in 6.5 angegebenen Regeln zu bemessen.

(4) Die Zugstreben des Stabwerkmodells müssen in der Regel nach Lage und Richtung mit der zugehörigen Bewehrung übereinstimmen.

(5) Geeignete Stabwerkmodelle können durch Übernehmen von Spannungs-trajektorien und -verteilungen nach der Elastizitätstheorie oder mit dem Lastpfadverfahren entwickelt werden. Alle Stabwerkmodelle dürfen mittels Energiekriterien optimiert werden.

(NA.6) Stabwerkmodelle dürfen kinematisch sein, wenn Geometrie und Belastung aufeinander abgestimmt sind.

(NA.7) Bei der Stabkraftermittlung für statisch unbestimmte Stabwerkmodelle dürfen die unterschiedlichen Dehnsteifigkeiten der Druck- und Zugstreben näherungsweise berücksichtigt werden. Vereinfachend dürfen einzelne statisch unbestimmte Stabkräfte in Anlehnung an die Kräfte aus einer linear-elastischen Berechnung des Tragwerks gewählt werden.

(NA.8) Die Ergebnisse aus mehreren Stabwerkmodellen dürfen i. Allg. nicht überlagert werden. Dies ist im Ausnahmefall möglich, wenn die Stabwerkmodelle für jede Einwirkung im Wesentlichen übereinstimmen.

## 5.7 Nichtlineare Verfahren

(1) Nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung dürfen sowohl für die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit als auch der Tragfähigkeit angewendet werden, wobei die Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen zu erfüllen und die Nichtlinearität der Baustoffe angemessen zu berücksichtigen sind. Die Berechnung kann nach Theorie I. oder II. Ordnung erfolgen.

(2) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist in der Regel die Aufnahmefähigkeit nichtelastischer Formänderungen in örtlich kritischen Bereichen zu überprüfen, soweit sie in der Berechnung berücksichtigt werden. Unsicherheiten sind hierbei in geeigneter Form Rechnung zu tragen.

6.5 Stabwerkmodelle  
6.5.2 Bemessung der Druckstreben  
6.5.3 Bemessung der Zugstreben  
6.5.4 Bemessung der Knoten

Zu (2): Bei Einhaltung der Empfehlung, das Stabwerkmodell an der Spannungsverteilung nach linearer Elastizitätstheorie zu orientieren, sind nur geringe Umlagerungen der inneren Kräfte von der Gebrauchslast zur Grenzlast der Tragfähigkeit zu erwarten. Somit ist insbesondere bei Scheiben kein Nachweis der Rotationsfähigkeit erforderlich und ein derart gewähltes Modell kann auch für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verwendet werden, also z. B. für die Ermittlung der Rissbreiten [D525].

Zu (5): Ausführliche Hinweise und Empfehlungen zur Entwicklung und Wahl von Stabwerkmodellen werden z. B. von Schlaich und Schäfer in [12] gegeben.

Wegen der Nichtlinearität gilt das Superpositionsprinzip nicht, sodass die Ergebnisse verschiedener Lastfälle nicht überlagert werden dürfen. Deshalb ist jede Einwirkungs- bzw. Lastfallkombination einer nichtlinearen Berechnung zu unterziehen.

(3) Für vorwiegend ruhend belastete Tragwerke dürfen die Auswirkungen der vorausgegangenen Lastgeschichte im Allgemeinen vernachlässigt und eine stetige Zunahme der Einwirkungen angenommen werden.

(4)P Für nichtlineare Verfahren müssen Baustoffeigenschaften verwendet werden, die zu einer realistischen Steifigkeit führen und die die Unsicherheiten beim Versagen berücksichtigen. Es dürfen nur Bemessungsverfahren verwendet werden, die in den maßgebenden Anwendungsbereichen gültig sind.

(5) Bei schlanken Tragwerken, bei denen die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung nicht vernachlässigt werden dürfen, darf das Bemessungsverfahren nach 5.8.6 angewendet werden.

(NA.6) Ein geeignetes nichtlineares Verfahren der Schnittgrößenermittlung einschließlich der Querschnittsbemessung ist in den Absätzen (NA.7) bis (NA.15) beschrieben.

(NA.7)P Der Bemessungswert des Tragwiderstands  $R_d$  ist bei nichtlinearen Verfahren nach Gleichung (NA.5.12.1) zu ermitteln:

$$R_d = R(f_{cr}; f_{yr}; f_{ir}) / \gamma_R \quad (\text{NA.5.12.1}) [\dots]$$

Dabei ist

$f_{cr}$ ,  $f_{yr}$ ,  $f_{ir}$ , der jeweilige rechnerische Mittelwert der Festigkeiten des Betons [und] des Betonstahls;

$\gamma_R$  der Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand.

(NA.8) Durch die Festlegung der Bewehrung nach Größe und Lage schließen nichtlineare Verfahren die Bemessung für Biegung mit Längskraft ein.

(NA.9)P Die Formänderungen und Schnittgrößen des Tragwerks sind auf der Grundlage der Spannungs-Dehnungs-Linien für Beton nach Bild 3.2 [und] Betonstahl nach Bild NA.3.8.1 zu berechnen, wobei die Mittelwerte der Baustofffestigkeiten zugrunde zu legen sind.

(NA.10) Die Mittelwerte der Baustofffestigkeiten dürfen rechnerisch wie folgt angenommen werden:

$$f_{yr} = 1,1 \cdot f_y \quad (\text{NA.5.12.2})$$

$$f_{ir} = 1,08 \cdot f_{vr} \text{ (für B500B)} \quad (\text{NA.5.12.3})$$

$$f_{ir} = 1,05 \cdot f_{vr} \text{ (für B500A)} \quad (\text{NA.5.12.4})$$

[...]

$$f_{cr} = 0,85 \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} \quad (\text{NA.5.12.7})$$

Hierbei sollte ein einheitlicher Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_R = 1,3$  (für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen) oder  $\gamma_R = 1,1$  (für außergewöhnliche Bemessungssituationen) für den Bemessungswert des Tragwiderstands berücksichtigt werden.

(NA.11)P Der Bemessungswert des Tragwiderstands darf nicht kleiner sein als der Bemessungswert der maßgebenden Einwirkungskombination.

(NA.12)P Der GZT gilt als erreicht, wenn in einem beliebigen Querschnitt des Tragwerks die kritische Stahldehnung oder die kritische Betondehnung oder am Gesamtsystem oder Teilen davon der kritische Zustand des indifferenten Gleichgewichts erreicht ist.

(NA.13) Die kritische Stahldehnung sollte auf den Wert  $\varepsilon_{ud} = 0,025$  [...] festgelegt werden. Die kritische Betondehnung  $\varepsilon_{cu1}$  ist Tabelle 3.1 zu entnehmen.

(NA.14) Die Mitwirkung des Betons auf Zug zwischen den Rissen (tension stiffening) ist zu berücksichtigen. Sie darf unberücksichtigt bleiben, wenn dies auf der sicheren Seite liegt.

(NA.15) Die Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Berücksichtigung der Mitwirkung des Betons auf Zug sollte in Abhängigkeit von der jeweiligen Bemessungsaufgabe getroffen werden.

Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand:  
 $\gamma_R = 1,3$  für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen  
bzw.  $\gamma_R = 1,1$  für außergewöhnliche Bemessungssituationen

$\varepsilon_{ud} = 0,025$   
 $\varepsilon_{cu1} = 0,0035$

für Betonstahl  
für  $\leq C50/60$

Kurzfassung Eurocode 2: DIN EN 1992-1-1 mit Nationalem Anhang 5 Ermittlung der Schnittgrößen	Hinweise
---	----------

## 5.8 Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

### 5.8.1 Begriffe

**Zweiachsige Biegung:** gleichzeitige Biegung um zwei Hauptachsen.

**Ausgesteifte Bauteile oder Systeme:** Tragwerksteile oder Subsysteme, bei denen in Berechnung und Bemessung davon ausgegangen wird, dass sie nicht zur horizontalen Gesamtstabilität eines Tragwerks beitragen.

**Aussteifende Bauteile oder Systeme:** Tragwerksteile oder Subsysteme, bei denen in Berechnung und Bemessung davon ausgegangen wird, dass sie zur horizontalen Gesamtstabilität eines Tragwerks beitragen.

**Knicken:** Stabilitätsversagen eines Bauteils oder Tragwerks unter reiner Normalkraft ohne Querbelastung.

**Knicklast:** Die Last, bei der Knicken auftritt; bei elastischen Einzelbauteilen entspricht sie der idealen Euler'schen Verzweigungslast.

**Knicklänge:** Länge einer beidseitig gelenkig gelagerten Ersatzstütze mit konstanter Normalkraft, die den Querschnitt und die Knicklast des tatsächlichen Bauteils unter Berücksichtigung der Knicklinie aufweist.

**Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung:** Die Auswirkungen der Einwirkungen, die ohne Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks berechnet werden, jedoch geometrische Imperfektionen beinhalten.

**Einzelstützen:** einzeln stehende Stützen oder Bauteile in einem Tragwerk, die in der Bemessung einzeln stehend idealisiert werden. Beispiele von Einzelstützen mit verschiedenen Lagerungsbedingungen sind in Bild 5.7 dargestellt.

**Rechnerisches Moment nach Theorie II. Ordnung:** Ein Moment nach Theorie II. Ordnung, das in bestimmten Bemessungsverfahren verwendet wird. Mit diesem lässt sich ein Gesamtmoment zur Bestimmung des erforderlichen Querschnittswiderstands für die GZT berechnen.

**Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung:** zusätzliche Auswirkungen der Einwirkungen unter Berücksichtigung der Verformungen des Tragwerks.

### 5.8.2 Allgemeines

(1)P Dieser Abschnitt behandelt Bauteile und Tragwerke, bei denen das Tragverhalten durch die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung wesentlich beeinflusst wird (z. B. Stützen, Wände, Pfähle, Bögen und Schalen). Auswirkungen auf das Gesamtsystem nach Theorie II. Ordnung treten insbesondere bei Tragwerken mit einem nachgiebigen Aussteifungssystem auf.

**ANMERKUNG** Für Nachweise am Gesamtsystem nach Theorie II. Ordnung wird auf DAFStb-Heft 600 verwiesen.

(2)P Bei Berücksichtigung von Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung (siehe auch (6)) müssen das Gleichgewicht und die Tragfähigkeit der verformten Bauteile nachgewiesen werden. Die Verformungen müssen unter Berücksichtigung der maßgebenden Auswirkungen von Rissen, nichtlinearer Baustoff-eigenschaften und des Kriechens berechnet werden.

**ANMERKUNG** Werden bei der Berechnung lineare Baustoffeigenschaften angenommen, dürfen diese Auswirkungen durch verminderte Steifigkeitswerte berücksichtigt werden.

(3)P Falls maßgebend, muss die Schnittgrößenermittlung den Einfluss der Steifigkeit benachbarter Bauteile und Fundamente beinhalten (Boden-Bauwerk-Interaktion).

(4)P Das Verhalten des Tragwerks muss in der Richtung, in der Verformungen auftreten können, berücksichtigt werden. Eine zweiachsige Lastausmitte ist erforderlichenfalls zu berücksichtigen.

(5)P Unsicherheiten der Geometrie und der Lage der axialen Lasten müssen als zusätzliche Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung auf Grundlage geometrischer Imperfektionen berücksichtigt werden. Siehe Abschnitt 5.2.

(6) Die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn sie weniger als 10 % der entsprechenden Auswirkungen nach Theorie I. Ordnung betragen. Vereinfachte Kriterien dürfen für Einzelstützen 5.8.3.1 und für Tragwerke 5.8.3.3 entnommen werden.

Dies gilt für jede Richtung, in der ein Versagen nach Theorie II. Ordnung auftreten kann.

Hinweis: Druckspannungen sind im EC2 mit positivem Vorzeichen definiert.

**ANMERKUNG** Dieses „reine Knicken“ ist bei realen Tragwerken kein maßgebender Grenzzustand wegen der gleichzeitig zu berücksichtigenden Imperfektionen und Querbelastungen. Die rechnerische Knicklast darf jedoch als Parameter bei einigen Verfahren nach Theorie II. Ordnung eingesetzt werden.

Zu (2)P: Nachweise nach Theorie II. O. dürfen entweder am Gesamttragwerk oder an Einzeldruckgliedern geführt werden. In beiden Fällen darf das nichtlineare Verfahren nach 5.7 angewendet werden. Werden die Nachweise nach Theorie II. O. an Einzeldruckgliedern geführt oder die infolge Verformungen nach Theorie II. O. zusätzlich zu berücksichtigenden Beanspruchungen an einzelnen Tragwerksteilen ermittelt, dann dürfen die Beanspruchungen dieser einzelnen Tragwerksteile nach Theorie I. Ordnung mit einem der Verfahren nach 5.4, 5.5 oder 5.6 ermittelt werden. Für den Nachweis von Einzeldruckgliedern eignet sich das Näherungsverfahren mit Nennkrümmung nach 5.8.8 [1].

### 5.8.3 Vereinfachte Nachweise für Bauteile unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung

#### 5.8.3.1 Grenzwert der Schlankheit für Einzeldruckglieder

(1) Alternativ zu 5.8.2 (6) dürfen die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden, wenn die Schlankheit  $\lambda$  (in 5.8.3.2 definiert) unterhalb eines Grenzwertes  $\lambda_{lim}$  liegt. Es gilt:

$$\lambda_{lim} = 25 \quad \text{für } |\eta| \geq 0,41 \quad (5.13aDE)$$

$$\lambda_{lim} = 16 / \sqrt{n} \quad \text{für } |\eta| < 0,41 \quad (5.13bDE)$$

Dabei ist  $n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ .

(2) Für Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte darf das Schlankheitskriterium für jede Richtung einzeln geprüft werden.

Demnach dürfen die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung (a) in beiden Richtungen vernachlässigt werden bzw. sind (b) in einer Richtung oder (c) in beiden Richtungen zu berücksichtigen.

#### 5.8.3.2 Schlankheit und Knicklänge von Einzeldruckgliedern

(1) Die Schlankheit ist wie folgt definiert:

$$\lambda = l_0 / i \quad (5.14)$$

Dabei ist

$l_0$  die Knicklänge, siehe auch 5.8.3.2 (2) bis (7);

$i$  der Trägheitsradius des ungerissenen Betonquerschnitts.

(2) Eine allgemeine Definition der Knicklänge enthält 5.8.1. Beispiele von Knicklängen bei Einzelstützen mit konstanten Querschnitten sind in Bild 5.7 dargestellt.

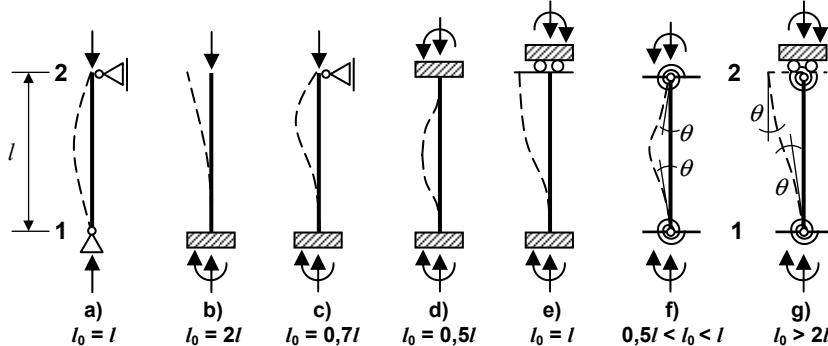


Bild 5.7 – Beispiele verschiedener Knickfiguren und der entsprechenden Knicklängen von Einzelstützen

[...]

(7) Die einspannende Wirkung von Querwänden darf bei der Berechnung der Knicklänge von Wänden mit dem Faktor  $\beta$  gemäß 12.6.5.1 berücksichtigt werden. In Gleichung (12.9) und Tabelle 12.1 wird  $l_w$  dann durch  $l_0$  nach 5.8.3.2 ersetzt.

#### 5.8.3.3 Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung im Hochbau

(1) Alternativ zu 5.8.2 (6) dürfen Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung im Hochbau vernachlässigt werden, falls

$$\frac{F_{V,Ed} \cdot L^2}{\sum E_{cd} I_c} \leq 0,31 \frac{n_s}{n_s + 1,6} \quad (5.18DE)$$

Dabei ist

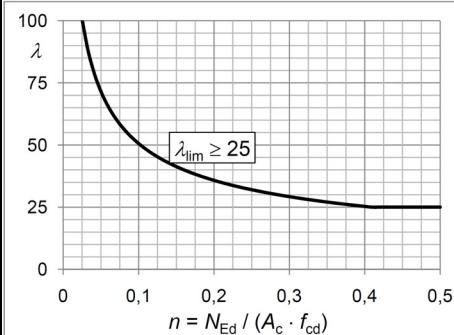
$F_{V,Ed}$  die gesamte vertikale Last mit  $\gamma_f = 1,0$  (auf ausgesteifte und aussteifende Bauteile);

$n_s$  die Anzahl der Geschosse;

$L$  die Gesamthöhe des Gebäudes oberhalb der Einspannung;

$E_{cd}$  der Bemessungswert des Elastizitätsmoduls von Beton, siehe 5.8.6 (3):  $E_{cd} = E_{cm} / 1,2$ ;

$I_c$  das Trägheitsmoment des ungerissenen Betonquerschnitts der aussteifenden Bauteile.



Trägheitsradius:

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

Rechteckquerschnitt mit Höhe  $h$ :

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

Kreisquerschnitt mit Durchmesser  $h$ :

$$i = \frac{h}{4}$$

Empfehlung:

Bei Stützen in ausgesteiften Skelettbauten ohne nachgewiesene und konstruktiv durchgebildete Einspannbewehrung an Kopf und Fuß sollte die Knicklänge gleich der Geschoss Höhe Bild 5.7a) gewählt werden ( $\rightarrow$  Regelfall mit konstruktiven monolithischen Anschlüssen).

In der Regel wird im üblichen Hochbau auf die klassischen Euler-Fälle zurückgegriffen. Wenn elastische Einspannungen in Rahmentragwerken berücksichtigt werden sollen, sind aufwändigere Knicklängengleichungen in der Langfassung [1] enthalten oder der Fachliteratur zu entnehmen.

Zu (7): Die zusätzliche Abminderung von  $\beta$  nach 12.6.5.1 (4) für unbewehrte Wände darf dann jedoch nicht vorgenommen werden, da der Einfluss der Wandelastizität schon in  $l_0$  nach 5.8.3.2 berücksichtigt wird.

bzw.  $\leq 0,62 \cdot n_s / (n_s + 1,6)$ , wenn die Aussteifungsbauteile im GZT ungerissen sind

Gleichung (5.18DE) gilt nur unter Einhaltung aller folgenden Bedingungen:

- ein ausreichender Torsionswiderstand ist vorhanden, d. h., das Tragwerk ist annähernd symmetrisch,
- die Schubkraftverformungen am Gesamttragwerk sind vernachlässigbar (wie in Aussteifungssystemen überwiegend aus Wandscheiben ohne große Öffnungen),
- die Aussteifungsbauteile sind starr gegründet, d. h., Verdrehungen sind vernachlässigbar,
- die Steifigkeit der Aussteifungsbauteile ist entlang der Höhe annähernd konstant,
- die gesamte vertikale Last nimmt pro Stockwerk annähernd gleichmäßig zu.

(2) In Gleichung (5.18DE) darf das Aussteifungskriterium auf  $0,62n_s / (n_s + 1,6)$  verdoppelt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass die Aussteifungsbauteile im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht gerissen sind.

ANMERKUNG 3 Die aussteifenden Bauteile dürfen als nicht gerissen angenommen werden, wenn die Betonzugspannungen den Wert  $f_{ctm}$  nach Tab. 3.1 nicht überschreiten.

ANMERKUNG 4 In Gleichung (NA.5.18.1) darf das Aussteifungskriterium ebenfalls verdoppelt werden.

(NA.3) Wenn die lotrechten aussteifenden Bauteile nicht annähernd symmetrisch angeordnet sind oder nicht vernachlässigbare Verdrehungen zulassen, muss zusätzlich die Verdrehsteifigkeit aus der Kopplung der Wölbsteifigkeit  $E_{cd}I_\omega$  und der Torsionssteifigkeit  $G_{cd}I_T$  der Gleichung (NA.5.18.1) genügen, um Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung zu vernachlässigen:

$$\frac{1}{\left( \frac{1}{L} \sqrt{\sum_j F_{v,Ed,j} \cdot r_j^2} + \frac{1}{2,28} \sqrt{\sum_j F_{v,Ed,j} \cdot r_j^2} \right)^2} \leq 0,31 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \quad (\text{NA.5.18.1})$$

Dabei ist

$n_s, L, E_{cd}, I_c$  nach Absatz (1);

$r_j$  der Abstand der Stütze j vom Schubmittelpunkt des Gesamtsystems;

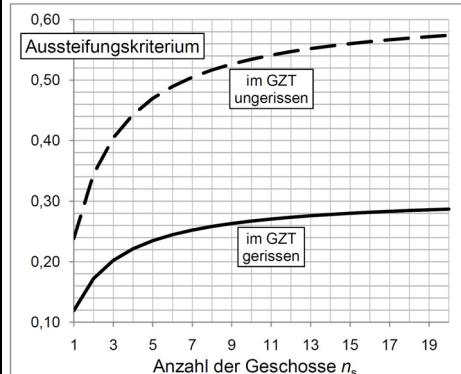
$F_{v,Ed,j}$  der Bemessungswert der Vertikallast der aussteifenden und ausgesteiften Bauteile j mit  $\gamma_f = 1,0$ ;

$E_{cd}I_\omega$  die Summe der Nennwölbsteifigkeiten aller gegen Verdrehung aussteifenden Bauteile (Bemessungswert);

$G_{cd}I_T$  die Summe der Torsionssteifigkeiten aller gegen Verdrehung aussteifenden Bauteile (St. Venant'sche Torsionssteifigkeit, Bemessungswert).

Aussteifungskriterium:

- gerissen  $0,31 \cdot n_s / (n_s + 1,6)$
- ungerissen  $0,62 \cdot n_s / (n_s + 1,6)$



Zu Anmerkung 3:

$$\rightarrow \text{für } \leq C50/60: f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

bzw.  $\leq 0,62 \cdot n_s / (n_s + 1,6)$ , wenn die Aussteifungsbauteile im GZT ungerissen sind

$$E_{cd} = E_{cm} / 1,2$$

$$G_{cd} = E_{cd} / [2(1 + \mu)] = E_{cd} / 2,4 \quad \text{mit Querdehnzahl } \mu = 0,2$$

#### 5.8.4 Kriechen

(1) P Kriechauswirkungen müssen bei Verfahren nach Theorie II. Ordnung berücksichtigt werden. Dabei sind die Grundlagen des Kriechens (siehe 3.1.4) sowie die unterschiedlichen Belastungsdauern in den Einwirkungskombinationen zu beachten.

(2) Die Dauer der Belastungen darf vereinfacht mittels einer effektiven Kriechzahl  $\varphi_{ef}$  berücksichtigt werden. Zusammen mit der Bemessungslast ergibt diese eine Kriechverformung (Krümmung), die der quasi-ständigen Beanspruchung entspricht:

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eq} / M_{0Ed} \quad (5.19)$$

Dabei ist

$\varphi(\infty, t_0)$  die Endkriechzahl gemäß 3.1.4;

$M_{0Eq}$  das Biegemoment nach Theorie I. Ordnung unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination (GZG);

$M_{0Ed}$  das Biegemoment nach Theorie I. Ordnung unter der Bemessungseinwirkungskombination (GZT).

Die Biegemomente  $M_{0Eq}$  und  $M_{0Ed}$  in Gleichung (5.19) beinhalten die Imperfektionen, die bei Nachweisen nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen sind.

ANMERKUNG Es besteht auch die Möglichkeit,  $\varphi_{ef}$  auf Grundlage der Gesamtbiegemomente  $M_{Eq}$  und  $M_{Ed}$  zu ermitteln. Dies bedarf allerdings der Iteration und des Nachweises der Stabilität unter quasi-ständiger Belastung mit  $\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0)$ .

Gesamtbiegemomente nach Theorie II. Ordnung

(3) Wenn  $M_{0\text{Eq}} / M_{0\text{Ed}}$  in einem Bauteil oder Tragwerk variiert, darf das Verhältnis für den Querschnitt mit dem maximalen Moment berechnet oder ein repräsentativer Mittelwert verwendet werden.

(4) Die Kriechauswirkungen dürfen vernachlässigt werden ( $\varphi_{\text{ef}} = 0$ ), wenn die folgenden drei Bedingungen eingehalten werden:

- $\varphi(\infty, t_0) \leq 2$ ,
- $\lambda \leq 75$ ,
- $M_{0\text{Ed}} / N_{\text{Ed}} \geq h$ .

Dabei ist  $M_{0\text{Ed}}$  das Moment nach Theorie I. Ordnung und  $h$  ist die Querschnittshöhe in der entsprechenden Richtung.

Kriechauswirkungen dürfen in der Regel auch vernachlässigt werden, wenn die Stützen an beiden Enden monolithisch mit lastabtragenden Bauteilen verbunden sind oder wenn bei verschieblichen Tragwerken die Schlankheit des Druckgliedes  $\lambda < 50$  und gleichzeitig die bezogene Lastausmitte  $e_0 / h > 2$  ( $M_{0\text{Ed}} / N_{\text{Ed}} > 2h$ ) ist.

**ANMERKUNG** Wenn die Bedingungen zum Vernachlässigen der Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung gemäß 5.8.2 (6) oder 5.8.3.3 nur knapp eingehalten werden, kann es unsicher sein, die Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung und des Kriechens zu vernachlässigen, außer der mechanische Bewehrungsgrad  $\omega$  beträgt mindestens 0,25.

### 5.8.5 Berechnungsverfahren

(1) Die Berechnungsverfahren umfassen ein allgemeines Verfahren auf Grundlage einer nichtlinearen Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung (siehe 5.8.6) sowie ein Näherungsverfahren auf Grundlage einer Nennkrümmung, siehe 5.8.8.

**ANMERKUNG** Die mittels Näherungsverfahren ermittelten rechnerischen Momente nach Theorie II. Ordnung sind manchmal größer als infolge Instabilität. Damit soll sichergestellt werden, dass das Gesamtmoment mit dem Querschnittswiderstand kompatibel ist.

(3) Das Verfahren nach 5.8.8 eignet sich vorwiegend für Einzelstützen. Bei realistischen Annahmen hinsichtlich der Krümmungsverteilung darf dieses Verfahren jedoch auch für Tragwerke angewendet werden.

### 5.8.6 Allgemeines Verfahren

(1)P Das allgemeine Verfahren basiert auf einer nichtlinearen Schnittgrößenermittlung, die die geometrische Nichtlinearität nach Theorie II. Ordnung beinhaltet. Es gelten die allgemeinen Regeln für nichtlineare Verfahren nach 5.7.

(2)P Für die Schnittgrößenermittlung müssen geeignete Spannungs-Dehnungs-Linien für Beton und Stahl verwendet werden. Kriechauswirkungen sind zu berücksichtigen.

(3) Die in 3.1.5, Gleichung (3.14) und 3.2.7 (Bild 3.8) dargestellten Spannungs-Dehnungs-Linien für Beton und Stahl dürfen verwendet werden. Mit auf Grundlage von Bemessungswerten ermittelten Spannungs-Dehnungs-Linien darf der Bemessungswert der Tragfähigkeit direkt ermittelt werden. In Gleichung (3.14) und im  $k$ -Wert werden dabei  $f_{cm}$  durch den Bemessungswert der Betondruckfestigkeit  $f_{cd}$  und  $E_{cm}$  nach Gleichung (5.20) ersetzt.

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{CE} \quad (5.20)$$

Dabei ist der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{CE} = 1,5$  anzusetzen.

Die Formänderungen dürfen auf der Grundlage von Bemessungswerten, die auf den Mittelwerten der Baustoffkennwerte beruhen (z. B.  $f_{cm} / \gamma_c$ ,  $E_{cm} / \gamma_{CE}$ ), ermittelt werden. Für die Ermittlung der Grenztragfähigkeit im kritischen Querschnitt sind jedoch die Bemessungswerte der Baustofffestigkeiten anzusetzen.

Für die Aussteifungskriterien nach 5.8.3.3 gilt  $\gamma_{CE} = 1,2$ .

(4) Fehlen genauere Berechnungsmodelle, darf das Kriechen berücksichtigt werden, indem alle Dehnungswerte des Betons in der Spannungs-Dehnungs-Linie gemäß 5.8.6 (3) mit einem Faktor  $(1 + \varphi_{\text{ef}})$  multipliziert werden. Dabei ist  $\varphi_{\text{ef}}$  die effektive Kriechzahl gemäß 5.8.4.

(5) Die günstigen Auswirkungen der Mitwirkung des Betons auf Zug dürfen berücksichtigt werden.

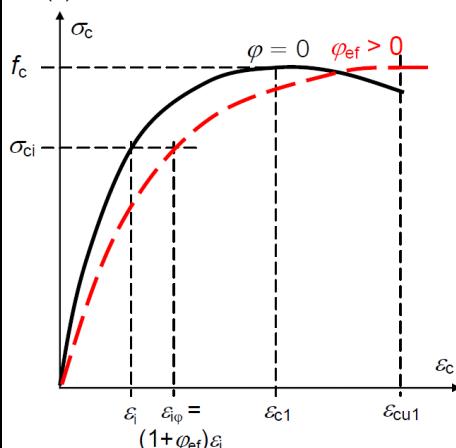
**ANMERKUNG** Diese Auswirkung ist nur bei Einzeldruckgliedern immer günstig.

mechanischer Bewehrungsgrad:  
 $\omega = A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot f_{cd})$

Das zusätzliche vereinfachte Verfahren auf Grundlage einer Nenn-Steifigkeit kann in Deutschland entfallen. Daher auch hier und Absatz (2) gestrichen.

Zu (3): Der E-Modul des Betonstahls  $E_s$  (Mittelwert) braucht nicht durch  $\gamma_s$  dividiert zu werden.

Zu (4):



Zu (5): Die günstigen Auswirkungen dürfen zur Vereinfachung auch vernachlässigt werden.

(6) Üblicherweise werden die Gleichgewichtsbedingungen und die Dehnungsverträglichkeit von mehreren Querschnitten erfüllt. Werden vereinfachend nur die kritischen Querschnitte untersucht, darf ein realistischer Verlauf der dazwischen liegenden Krümmungen angenommen werden (d. h. ähnlich dem Momentenverlauf nach Theorie I. Ordnung oder entsprechend einer anderen zweckmäßigen Vereinfachung).

### 5.8.8 Verfahren mit Nennkrümmung

#### 5.8.8.1 Allgemeines

(1) Dieses Näherungsverfahren eignet sich vor allem für Einzelstützen mit konstanter Normalkraftbeanspruchung und einer definierten Knicklänge  $l_0$  (siehe 5.8.3.2). Mit dem Verfahren wird ein Nennmoment mit einer Verformung nach Theorie II. Ordnung berechnet, die auf der Grundlage der Knicklänge und einer geschätzten Maximalkrümmung ermittelt wird (siehe auch 5.8.5 (3)).

(2) Das auf dieser Grundlage ermittelte Bemessungsmoment wird für die Bemessung von Querschnitten unter Biegung mit Normalkraft gemäß 6.1 verwendet.

#### 5.8.8.2 Biegemomente

(1) Das Bemessungsmoment ist:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad (5.31)$$

Dabei ist

$M_{0Ed}$  das Moment nach Theorie I. Ordnung, einschließlich der Auswirkungen von Imperfektionen, siehe auch 5.8.8.2 (2);

$M_2$  das Nennmoment nach Theorie II. Ordnung, siehe 5.8.8.2 (3).

Der Maximalwert für  $M_{Ed}$  wird durch den Verlauf von  $M_{0Ed}$  und  $M_2$  bestimmt. Der Momentenverlauf von  $M_2$  darf dabei als sinus- oder parabelförmig über die Knicklänge angenommen werden.

ANMERKUNG Bei statisch unbestimmten Bauteilen wird  $M_{0Ed}$  für die tatsächlichen Randbedingungen festgelegt, wobei  $M_2$  von den Randbedingungen für die Knicklänge abhängt; vergleiche auch 5.8.8.1 (1).

(2) Für Bauteile ohne Querlasten zwischen den Stabenden dürfen unterschiedliche Endmomente  $M_{01}$  und  $M_{02}$  nach Theorie I. Ordnung durch ein äquivalentes Moment nach Theorie I. Ordnung  $M_{0e}$  ersetzt werden.

$$M_{0e} = 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \geq 0,4M_{02} \quad (5.32)$$

$M_{01}$  und  $M_{02}$  haben dasselbe Vorzeichen, wenn sie auf derselben Seite Zug erzeugen, andernfalls haben sie gegensätzliche Vorzeichen. Darüber hinaus gilt  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$ .

(3) Das Nennmoment nach Theorie II. Ordnung  $M_2$  in Gleichung (5.31) lautet

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 \quad (5.33)$$

Dabei ist

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der Normalkraft;

$e_2$  die Verformung  $e_2 = K_1 \cdot (1/r) \cdot l_0^2 / c$ ;

$K_1 = \lambda / 10 - 2,5$  interpolierender Faktor für Druckglieder mit Schlangheiten  $25 \leq \lambda \leq 35$ ;

$1/r$  die Krümmung, siehe 5.8.8.3;

$l_0$  die Knicklänge, siehe 5.8.3.2;

$c$  ein Beiwert, der vom Krümmungsverlauf abhängt, siehe 5.8.8.2 (4).

(4) Bei konstantem Querschnitt wird üblicherweise  $c = 10 (\approx \pi^2)$  verwendet.

Wenn das Moment nach Theorie I. Ordnung konstant ist, ist in der Regel ein niedrigerer Wert anzusetzen (8 ist ein unterer Grenzwert, der einem konstanten Verlauf des Gesamtmomentes entspricht).

ANMERKUNG Der Wert  $\pi^2$  entspricht einem sinusförmigen Krümmungsverlauf. Der Wert einer konstanten Krümmung ist 8.

Das zusätzliche vereinfachte Verfahren auf Grundlage einer Nenn-Steifigkeit kann in Deutschland entfallen. Daher ist Kapitel 5.8.7 hier gestrichen.

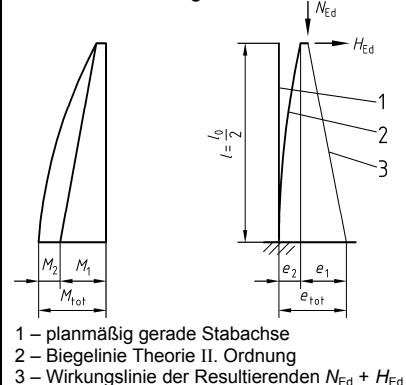
Modellstütze (DIN 1045-1, Bild 12)

→ Ausmitten

Theorie I. Ordnung + Imperfektion:

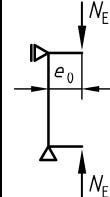
$$e_1 = e_0 + e_i$$

Theorie II. Ordnung:  $e_2$

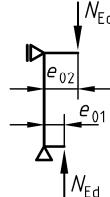


$$M_{01,02} = N_{Ed} \cdot e_{01,02} \rightarrow M_{0e} = N_{Ed} \cdot e_{0e}$$

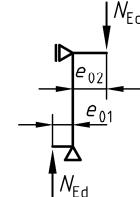
a)



b)



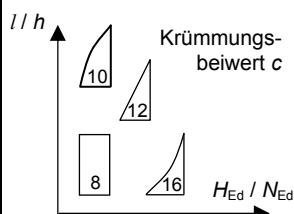
c)



(DIN 1045-1, Bild 13)

$K_1 = 1$  liegt auf der sicheren Seite.

[9] Der Krümmungsverlauf wird umso rechteckiger, je kleiner die  $H$ -Last und je kleiner die bezogene Zusatzausmitte  $e_2 / h$  ist.



### 5.8.8.3 Krümmung

(1) Bei Bauteilen mit konstanten symmetrischen Querschnitten (einschließlich Bewehrung) darf die Krümmung wie folgt ermittelt werden:

$$1/r = K_r \cdot K_0 \cdot 1/r_0 \quad (5.34)$$

Dabei ist

$K_r$  ein Beiwert in Abhängigkeit von der Normalkraft, siehe 5.8.8.3 (3);

$K_0$  ein Beiwert zur Berücksichtigung des Kriechens, siehe 5.8.8.3 (4);

$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45d)$ ;

$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s$ ;

$d$  die statische Nutzhöhe, siehe auch 5.8.8.3 (2).

(2) Wenn die gesamte Bewehrung nicht an den gegenüberliegenden Querschnittsseiten konzentriert, sondern teilweise parallel zur Biegungsebene verteilt ist, wird  $d$  definiert als

$$d = (h/2) + i_s \quad (5.35)$$

wobei  $i_s$  der Trägheitsradius der gesamten Bewehrungsfläche ist.

(3) In Gleichung (5.34) ist  $K_r$  in der Regel wie folgt anzunehmen:

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1 \quad (5.36)$$

Dabei ist

$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ , die bezogene Normalkraft;

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der Normalkraft;

$n_u = 1 + \omega$ ;

$n_{bal}$  der Wert von  $n$  bei maximaler Biegetragfähigkeit; es darf der Wert 0,4 verwendet werden;

$\omega = (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd})$ ;

$A_s$  die Gesamtquerschnittsfläche der Bewehrung;

$A_c$  die Betonquerschnittsfläche.

(4) Die Auswirkungen des Kriechens dürfen mit dem folgenden Beiwert berücksichtigt werden:

$$K_0 = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1 \quad (5.37)$$

Dabei ist

$\varphi_{ef}$  die effektive Kriechzahl, siehe 5.8.4;

$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150$ ;

$\lambda$  die Schlankheit, siehe 5.8.3.2.

### 5.8.9 Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte

(1) Das allgemeine Verfahren nach 5.8.6 darf auch für Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte verwendet werden. Die folgenden Regeln gelten, wenn Näherungsverfahren angewendet werden. Besonders wichtig ist die Feststellung des Bauteilquerschnitts mit der maßgebenden Momentenkombination.

(2) Als erster Schritt darf eine getrennte Bemessung in beiden Hauptachsenrichtungen ohne Beachtung der zweiachsigen Lastausmitte erfolgen.

Imperfektionen müssen nur in der Richtung berücksichtigt werden, in der sie zu den ungünstigsten Auswirkungen führen.

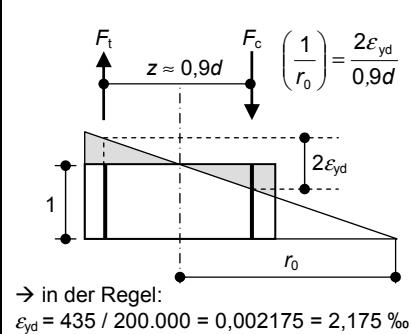
Die getrennten Nachweise dürfen dabei in den Richtungen der beiden Hauptachsen jeweils mit der gesamten im Querschnitt angeordneten Bewehrung durchgeführt werden.

(3) Es bedarf keiner weiteren Nachweise, wenn die Schlankheitsverhältnisse die folgenden beiden Bedingungen erfüllen:

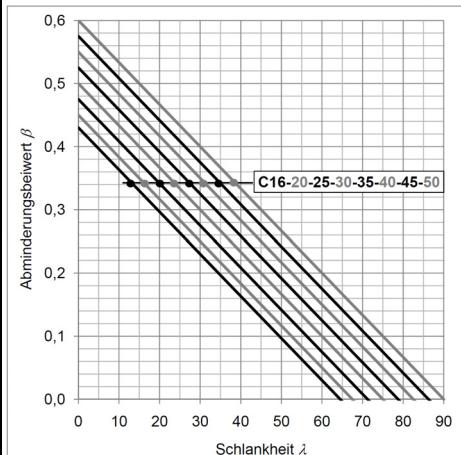
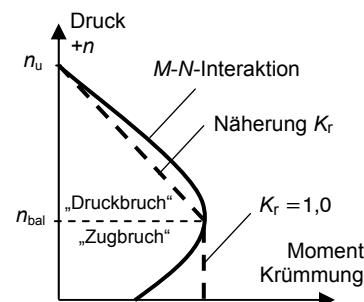
$$\lambda_y / \lambda_z \leq 2 \text{ und } \lambda_z / \lambda_y \leq 2 \quad (5.38a)$$

und wenn die bezogenen Lastausmitten  $e_y / h_{eq}$  und  $e_z / b_{eq}$  (siehe Bild 5.8) eine der folgenden Bedingungen erfüllt:

$$\frac{e_y / h_{eq}}{e_z / b_{eq}} \leq 0,2 \text{ oder } \frac{e_z / b_{eq}}{e_y / h_{eq}} \leq 0,2 \quad (5.38b)$$



$$i_s = \sqrt{\frac{I_s}{A_s}}$$



Ein genauerer Nachweis wird erforderlich, wenn die Bedingungen nach Gleichung (5.38) nicht erfüllt sind → schiefe Biegung mit Normalkraft.

Es bestehen keine Bedenken, die Ausmitten  $e_y$  und  $e_z$  mit den Bemessungsmomenten nach Th. I. Ordnung analog DIN 1045-1 zu ermitteln.

Dabei ist

- $b, h$  die Breite und Höhe des Querschnitts;
- $b_{eq} = i_y \cdot \sqrt{12}$  und  $h_{eq} = i_z \cdot \sqrt{12}$  für einen gleichwertigen Rechteckquerschnitt;
- $\lambda_y, \lambda_z$  die Schlankheit ( $l_0 / i$ ) jeweils bezogen auf die  $y$ - und  $z$ -Achse;
- $i_y, i_z$  die Trägheitsradien jeweils bezogen auf die  $y$ - und  $z$ -Achse;
- $e_z = M_{Edy} / N_{Ed}$ ; Lastausmitte in Richtung der  $z$ -Achse;
- $e_y = M_{Edy} / N_{Ed}$ ; Lastausmitte in Richtung der  $y$ -Achse;
- $M_{Edy}$  das Bemessungsmoment um die  $y$ -Achse, einschließlich des Moments nach Theorie II. Ordnung;
- $M_{Edz}$  das Bemessungsmoment um die  $z$ -Achse, einschließlich des Moments nach Theorie II. Ordnung;
- $N_{Ed}$  der Bemessungswert der Normalkraft in der zugehörigen Einwirkungskombination.

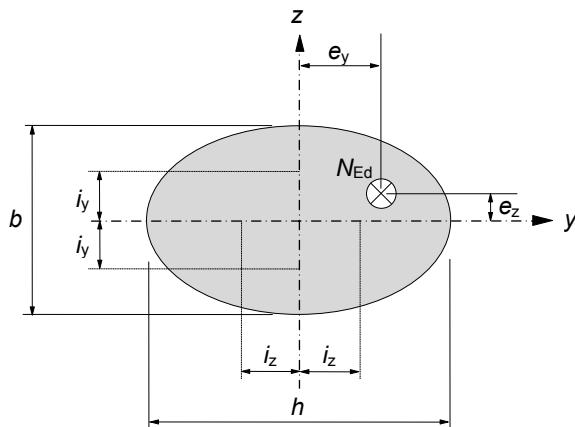


Bild 5.8 – Definition der Lastausmitten  $e_y$  und  $e_z$

Für Druckglieder mit rechteckigem Querschnitt und mit  $e_{0z} > 0,2h$  dürfen getrennte Nachweise nur dann geführt werden, wenn der Nachweis der Biegung über die schwächere Hauptachse  $z$  des Querschnitts auf der Grundlage der reduzierten Querschnittsdicke  $h_{red}$  nach Bild NA.5.8.1 geführt wird. Der Wert  $h_{red}$  darf unter der Annahme einer linearen Spannungsverteilung nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$h_{red} = \frac{h}{2} \left( 1 + \frac{h}{6(e_{0z} + e_{iz})} \right) \leq h \quad (\text{NA.5.38.1})$$

Dabei ist

- $h$  die größere der beiden Querschnittsseiten;
- $e_{iz}$  die Zusatzausmitte zur Berücksichtigung geometrischer Ersatzimperfektionen in  $z$ -Richtung;
- $e_{0z}$  die Lastausmitte nach Theorie I. Ordnung in Richtung der Querschnittsseite  $h$ .

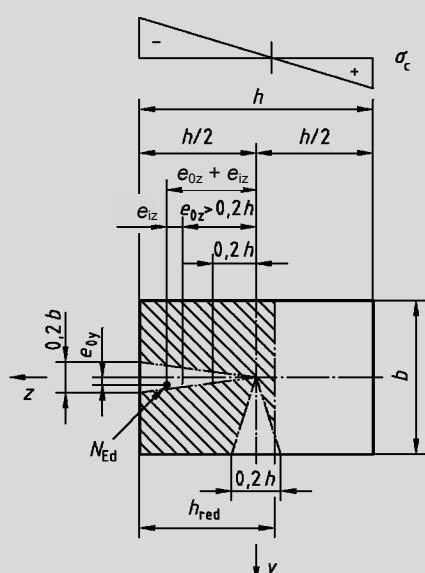


Bild NA.5.8.1 – Reduzierte Querschnittsdicke  $h_{red}$

Trägheitsradius:

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

Kreisquerschnitt mit Durchmesser  $h$ :

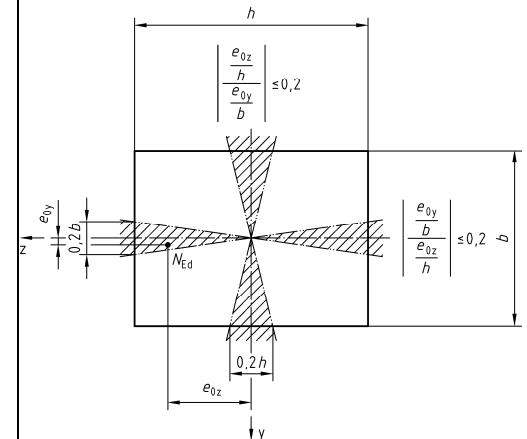
$$i = \frac{h}{4}$$

Rechteckquerschnitt mit Höhe  $h$ :

$$i = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

$\rightarrow h_{eq} = h$  bzw.  $b_{eq} = b$

Dies bedeutet, dass der Lastangriffspunkt von  $N_{Ed}$  innerhalb der schraffierten Bereiche beim Rechteckquerschnitt liegt:



DIN 1045-1, Bild 14

( $b$  und  $h$  hier gegenüber Bild 5.8 vertauscht)