

1

111. Jahrgang
Januar 2016
ISSN 0005-9900
A 1740

Beton- und Stahlbetonbau



- Erläuterungen zur Änderung des Nationalen Anhangs zu EC2
- Bemessungsmodell gegen Durchstanzen in Flachdecken und Fundamenten
- Biegeschlankheitsdiagramme für Balken und Unterzüge
- Verbund von Beton und Bewehrung bei hoch-dynamischer Belastung
- Dynamische Eigenschaften von Beton



BAUKONGRESS 2016
Verleihung des KOOP-Award
28.–29. April 2016, Austria Center Vienna
Ernst & Sohn: Stand 29

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

öbv österreichische
bautechnik
vereinigung

Neue Biegeschlankheitsdiagramme für Balken und Unterzüge aus Stahlbeton nach EC2

Auf der Grundlage von [1–3] wurden neue, sehr kompakte Biegeschlankheitsdiagramme für Einfeld- bzw. Durchlaufbalken entwickelt. Die aus diesen Diagrammen ablesbare Biegeschlankheit erlaubt die einfache Ermittlung einer statischen Höhe, mit der der indirekte Nachweis der Biegeschlankheit gemäß [4, 5] erfolgen kann. Dabei wird vorausgesetzt, dass die auf den betrachteten Unterzug wirkenden Lasten aus der angrenzenden Deckenkonstruktion aus einer Vorbemessung der zugehörigen Platten bekannt sind. Im vorliegenden Aufsatz wird die Entwicklung der Diagramme für Unterzüge skizziert und deren praxisnahe Anwendung beispielhaft aufgezeigt.

New span to depth ratio diagrams for beams according to EC2
A set of very compact and new span to depth ratio diagrams for simply supported and continuous beams was established on the basis of [1–3]. The span to depth ratios shown in the diagrams provide a simple method to establish the structural depth required for the indirect proof of the span to depth ratio requirements according to [4, 5]. The diagrams are based on the assumption that the loads acting on the chosen beam have been established through preliminary calculations of the adjacent slabs. The following article describes the development of the diagrams and gives examples for their practical application.

1. Einleitung

In [1] wurden die Grundlagen für die Lösung der Gleichungen zur Biegeschlankheit nach EC2 (vgl. [4] bzw. [5]) dargestellt. In [2] erfolgte die Fortschreibung der Grundgleichungen für Plattentragwerke. In [3] wurden anwendungsorientierte Diagramme für Durchlaufplatten und Kragplatten zur schnellen Ermittlung von Plattenstärken aufgezeigt. Der vorliegende Aufsatz entwickelt unter Verwendung o. g. Beiträge [1–3] entsprechende Biegeschlankheitsdiagramme für einfeldrige, durchlaufende und/oder auskragende Balken bzw. Unterzüge. Hierbei wird zwischen reinen Rechteckquerschnitten und gegliederten Querschnitten (Plattenbalken) unterschieden. Die praxis-

nahe und einfache Anwendung wird anhand dreier Beispiele aufgezeigt.

In [2, Abschnitt 1, Einführung] wurden die allgemeinen Grundgleichungen der Biegeschlankheit nach EC 2-1-1 [4] bzw. EC 2-1-1/NA [5] nochmals aufgezeigt und diskutiert. Im selben Abschnitt der genannten Literatur wurden die daraus in [1] entwickelten Iterationsgleichungen als Ausgangsbasis aufgeführt. Für die im gegenständlichen Aufsatz behandelte Fragestellung der Biegeschlankheit von Unterzügen und Balken bilden die letztgenannten Gleichungen ebenfalls die Ausgangsbasis und werden daher folgend nochmals dargestellt.

$$\left(\frac{l}{d}\right) = K \left[11 + \frac{1,5 \cdot (1 + \alpha_L) \cdot f_{ck} \cdot 10^4}{3,38 \cdot (1,35 \cdot \alpha_L + 1,5) \cdot f_{kb} \cdot (l/d)^2} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{(1 + \alpha_L) \cdot f_{ck} \cdot 10^4}{3,38 \cdot (1,35 \cdot \alpha_L + 1,5) \cdot f_{kb} \cdot (l/d)^2} - 1 \right)^{3/2} \right] \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{\max}$$

für $p < p_0$ (1a)

$$\left(\frac{l}{d}\right) = K \left[11 + \frac{1,5 \cdot (1 + \alpha_L) \cdot f_{ck} \cdot 10^4}{3,38 \cdot (1,35 \cdot \alpha_L + 1,5) \cdot f_{kb} \cdot (l/d)^2} \right] \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{\max}$$

für $p > p_0$ (1b)

α_L	g_k/q_k = Verhältnis von ständiger zu veränderlicher Last
f_{kb}	$g_k + q_k$ = charakteristische, äußere Volllast [kN/m ²]
g_k	charakteristische ständige Last [kN/m ²]
q_k	charakteristische veränderliche Last [kN/m ²]
l/d	Verhältnis ideale Spannweite [m] zu statischer Höhe [m] = Biegeschlankheit
l_{eff}	l/K = effektive Stützweite des betrachteten Feldes [m]

K	Beiwert für statisches System gemäß [4]
p_0	$f_{ck}^{0,5} \cdot 10^{-3}$ = Referenzbewehrungsgrad
f_{ck}	charakteristische Druckfestigkeit Beton [MN/m ²]
$(l/d)_{\max}$	$K \cdot 35$ als maximale Grenزشlankheit für allgemeine Anforderungen ($l/250$)
$(l/d)_{\max}$	$K^2 \cdot 150/l$ als maximale Grenزشlankheit für erhöhte Anforderungen ($l/500$) zur Vermeidung von Schäden in angrenzenden Bauteilen

Wie in [1] erläutert und in [4, 5] dargestellt, dürfen bzw. müssen die Gl. (1a, b) bzw. die damit errechneten Werte von l/d in bestimmten Fällen mit den Faktoren k_1 , k_2 , k_3 modifiziert werden:

- k_1 310/ σ_s falls $\sigma_s \neq 310 \text{ N/mm}^2$
oder
 k_1 310/($\alpha_A \cdot \sigma_s$) falls $\sigma_s \neq 310 \text{ N/mm}^2$ und mehr Bewehrung eingelegt wird als aus dem GZT erforderlich ist: $\alpha_A = A_{s, \text{erf}}/A_{s, \text{vorh}}$
 σ_s Stahlspannung unter der Bemessungslast im GZG im gerissenen Zustand. Der Wert 310 N/mm^2 ist der Bezugswert für die Gl. (1) und ergibt sich bei voller Ausnutzung der Tragfähigkeit zu $f_{yk}/(\gamma_L \cdot \gamma_s) = 500/(1,4 \cdot 1,15)$
 γ_L gewichteter Teilsicherheitsbeiwert für äußere Lasten (z. B. 1,4)
 k_2 0,8 für gegliederte Querschnitte wie Plattenbalken mit $b_{\text{eff}}/b_w > 3$
 k_3 7,0/ l_{eff} für Balken und Platten mit $l_{\text{eff}} \geq 7,0 \text{ m}$ und jeweils erhöhten Anforderungen

2. Herleitung der Biegeschlankheitsdiagramme

2.1 Allgemeines

Ursprünglich wurde in [1] die gemeinsame Formulierung für Platten und Unterzüge dargelegt. Die eingeschränkte Handhabbarkeit der seinerzeitigen Diagramme sowie die deutlichen Unterschiede von Geometrie- und Lastparametern nach Art und Größe zeigten jedoch, dass eine grundsätzliche Unterscheidung nach den Tragwerkstypen „Platte“ und „Unterzug“ sinnvoll ist:

- Statt der für Platten typischen, relativ geringen Flächenlasten treten bei Unterzügen vergleichsweise hohe Linienlasten auf.
- Das (noch unbekannte) Eigengewicht des (unterhalb der Platte vorhandenen) Querschnitts des Unterzugs sollte – mindestens bei Unterzügen mittlerer und größerer Abmessungen – mit in die Iterationsgleichungen einbezogen werden, da dieses bei den genannten Verhältnissen nicht mehr vernachlässigt werden kann.
- Die Erfassung des Querschnitts bzw. der Druckzonbreite von Unterzügen ist aufwendiger als bei Platten, sobald gegliederte Querschnitte (ein- und beidseitige Plattenbalken) verwendet werden.
- Mit Bezug auf die beiden vorangegangenen Spiegelstriche ändert sich das Verhältnis von ständiger zu veränderlicher Last bei Unterzügen gegenüber Platten.
- Die Definition des Bewehrungsgrads erfolgt im Allgemeinen durch Bezug der Bewehrung auf den Betonquerschnitt, bei Unterzügen speziell mit Bezug auf die Stegbreite.

Die genannten Punkte werden für die Formulierung und Auswertung der Iterationsgleichung gemäß [1] bzw. [2] berücksichtigt. Bei allen Modifizierungen und Ergänzungen wird – sinngemäß [2], Abschnitt 1 – versucht, die betreffenden Größen in Abhängigkeit von der statischen Höhe

„d“ oder dem zentralen Iterationsparameter „ l/d “ (Biegeschlankheit) darzustellen.

In [6] zeigte sich auch, dass – anders als bei den Platten-tragwerken – eine Unterscheidung von auskragenden und einfeldrigen bzw. durchlaufenden Balken keine entscheidenden wirtschaftlichen Vorteile bringt, vgl. auch [2]. Die Art der Auftragung der Biegeschlankheiten bzw. der zugehörigen Diagramme erfolgt entsprechend derjenigen für Platten, vgl. [3] bzw. [7].

2.2 Erfassung von Querschnittbreite und Eigengewicht des Unterzugs

Bild 1 zeigt die grundsätzlichen geometrischen Parameter eines typischen Unterzugs als beidseitigen Plattenbalken, bei dem die Platte bereichsweise (im positiven Momentenbereich) als Scheibe in der Druckzone mitwirkt (mitwirkende Breite b_{eff}). Das exakte Zusatzeigengewicht des Steges ergibt sich aus dem Produkt der Stegbreite, Steghöhe und Betonwichte. Als auf der sicheren Seite liegende Vereinfachung wird

$$g_{k, \text{Steg}} = b_w \cdot d \cdot \gamma_{\text{Beton}} \quad (2)$$

$g_{k, \text{Steg}}$ näherungsweise Zusatzeigengewicht des Steges [kN/m]

b_w Stegbreite [m]

d statische Nutzhöhe [m]

γ_{Beton} Wichte von Stahlbeton [kN/m³]

verwendet, sodass der Durchdringungsbereich zwischen Decke und Unterzug zwar doppelt berücksichtigt wird, der Fehler jedoch marginal und auf der sicheren Seite ist.

In Bild 2 werden einige im Hochbau übliche und repräsentative Unterzugsquerschnitte betrachtet, deren Abmessungen in etwa dem Anwendungsbereich der zu erzeugenden Biegeschlankheitsdiagramme entsprechen. In der letzten Spalte wird zusätzlich zu den gewählten Abmes-

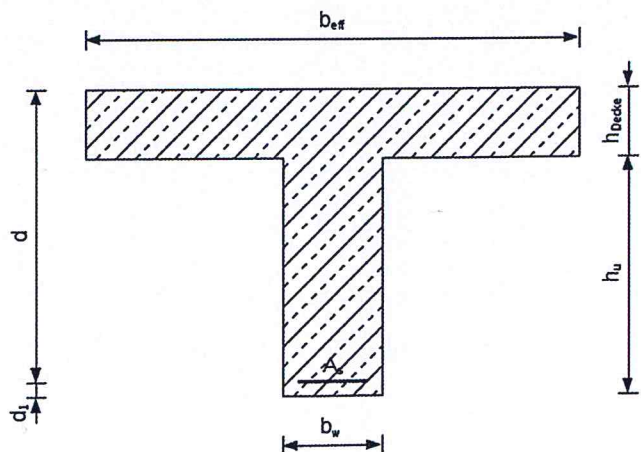


Bild 1 Definition des Unterzugsquerschnitts, aus [6]
Definition of cross section, according to [6]

h [cm]	d [cm]	b _w [cm]	b _w /d [-]
40	35	24	0,686
50	44	24–30	0,614
60	53	30	0,566
70	62	30–35	0,524
80	72	35–40	0,521
90	81	40–45	0,525
100	91	45–50	0,522
110	100	45–60	0,525
120	109	50–65	0,528
130	118	55–70	0,53
140	127	60–75	0,531
150	136	65–75	0,515
160	145	65–80	0,5
170	154	65–85	0,487
180	163	70–90	0,491
190	172	70–95	0,48
200	181	75–100	0,483

Bild 2 Tabelle üblicher Hauptabmessungen von Unterzugsquerschnitten, aus [6]
Table of common dimensions for cross sections, according to [6]

sungen der Quotient b_w/d eingetragen, der in Bild 3 grafisch aufgetragen ist.

Prinzipiell wäre die Approximation des Graphen in Bild 3 mithilfe einer Potenz- oder Polynomfunktion zur Weiterverwendung einfach möglich (analog dem Vorge-

hen in [2, Abschnitt 2.2]. Bei genauerer Betrachtung des Graphen fällt allerdings auf, dass dieser für statische Höhen $d > 0,50$ m (also Bauteildicke $h > 0,55$ m) genügend genau wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$b_w/d = 0,5 \quad (3)$$

Der einfache Ansatz nach Gl. (3) führt zwar zu einer Unterschätzung des Eigengewichts bei geringen Bauhöhen von Unterzügen ($0,35 \text{ m} < d < 0,50 \text{ m}$) mit entsprechend geringen Spannweiten, was sich bei den Ergebnissen der Biegeschlankheit bei derartigen Bauteilen jedoch praktisch nicht bemerkbar macht. Insofern wurde auf einen höherwertigeren Ansatz für die Stegbreite verzichtet.

Setzt man Gl. (3) in Gl. (2) ein und erweitert den Term, so ergibt sich näherungsweise für das Eigengewicht des Unterzugs:

$$g_{k, \text{Steg}} = b_w \cdot d \cdot \gamma_{\text{Beton}} = 0,5 \cdot d^2 \cdot \gamma_{\text{Beton}} \quad (4)$$

$$= 12,5 \cdot \left(l_{\text{eff}} / \left(l_{\text{eff}} / d \right) \right)^2$$

- $g_{k, \text{Steg}}$ näherungsweise Eigengewicht des Unterzugs [kN/m]
- l_{eff} l/K = effektive Stützweite des ideellen Einfeldunterzugs [m]
- b_w Stegbreite des Unterzugs [m]
- d statische Höhe des Unterzugs [m]
- γ_{Beton} 25 [kN/m³] Wichte von Stahlbeton
- l_{eff} effektive Stützweite des betrachteten Feldes des Unterzugs [m]

2.3 Verhältnis α_L der ständigen zur veränderlichen Last und Belastungsglied f_k

Da sich der ständige Lastanteil bei Unterzügen aus dem (bekannten) Anteil der Deckenlast (Einzugsfläche oder

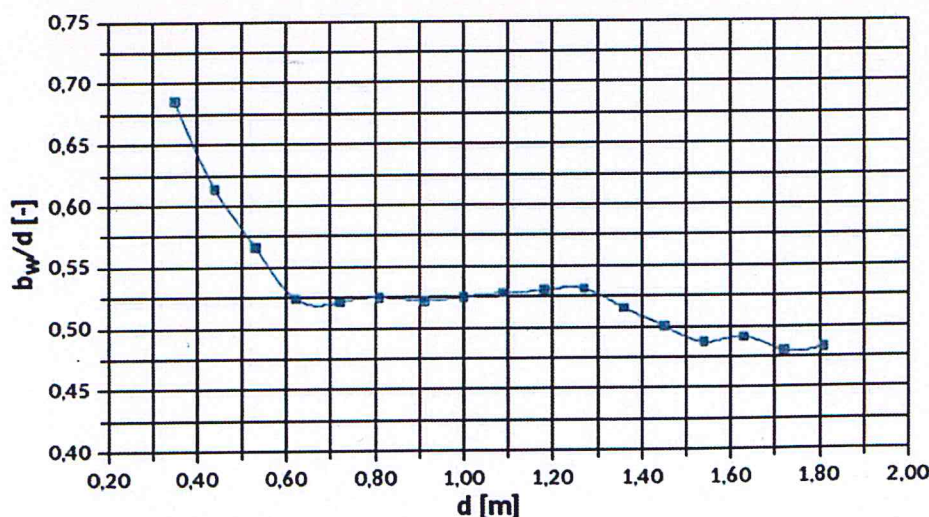


Bild 3 Grafische Darstellung des Quotienten b_w/d über der statischen Höhe d , aus [6]
Diagram showing the quotient b_w/d in relation to the structural depth d , according to [6]

höherwertige Methode) zuzüglich dem (unbekannten) Anteil des Eigengewichts des Steges (Abschnitt 2.2.) zusammensetzt, müssen die Faktoren $\alpha_L = g_k/q_k$ und das Belastungsglied f_{kb} in Analogie zu [2, Abschnitt 2.1] für die Behandlung von Gl. (1) entsprechend für Unterzüge umformuliert werden. Mit Benutzung von Gl. (4) ergibt sich:

$$\alpha_L = g_k/q_k = (g_{k,Decke} + g_{k,Steg})/q_{k,Decke}$$

$$\alpha_L = \left(g_{k,Decke} + 12,5 \cdot \left(l_{eff} / \left(l_{eff} / d \right) \right)^2 \right) / q_{k,Decke} \quad (5)$$

und mit $f_{kb} = f_k$ für den Übergang von Flächenlasten zu Linienlasten:

$$f_k = g_{k,Decke} + q_{k,Decke} + g_{k,Steg} \text{ und damit}$$

$$f_k = g_{k,Decke} + q_{k,Decke} + 12,5 \cdot \left(l_{eff} / \left(l_{eff} / d \right) \right)^2 \quad (6)$$

α_L	Verhältnis ständiger zu veränderlicher Last
f_k	charakteristische Volllast [kN/m]
$g_{k,Decke}$	charakteristische ständige Deckenlast [kN/m]
$q_{k,Decke}$	charakteristische veränderliche Deckenlast [kN/m]

2.4 Ansatz für die Druckzonbreite b_w^*

Zur Unterscheidung der Stegbreite b_w des Unterzugs wird die Druckzonbreite des Unterzugs mit b_{eff} bezeichnet. Es werden drei Fälle unterschieden:

a) Rechteckquerschnitt

Für Rechteckquerschnitte ist die Druckzonbreite gleich der Stegbreite. Mit Gl. (3) und der Erweiterung des Terms gilt:

$$b_w^* = b_{eff} = b_w \approx 0,5 \cdot d$$

$$= 0,5 \cdot \left[\left(l_{eff} / K \right) / \left(l_{eff} / K \right) / d \right] \quad (7a)$$

b) einseitiger Plattenbalkenquerschnitt:

In Anlehnung an [8] kann die mitwirkende Breite eines einseitigen Plattenbalkens zu $b_{eff} = b_w + l_0/6$ ermittelt werden, wobei l_0 den Abstand der Momentennullpunkte darstellt. Für die Anwendung der Iterationsgleichungen kann vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend geschrieben werden:

$$b_w^* = b_{eff} = b_w + l_0 / 6 \approx l_0 / 6 = \left(l_{eff} / K \right) / 6 \quad (7b)$$

c) beidseitiger Plattenbalkenquerschnitt:

Analog zu b) und in Anlehnung an [8] gilt für beidseitige Plattenbalkenquerschnitte $b_{eff} = b_w + l_0/3$. Für die Anwendung der Iterationsgleichungen kann wieder vereinfachend und auf der sicheren Seite liegend geschrieben werden:

$$b_w^* = b_{eff} = b_w + l_0 / 3 \approx l_0 / 3 = \left(l_{eff} / K \right) / 3 \quad (7c)$$

b_w^*	Druckzonbreite des Unterzugs [m]
b_w	Stegbreite des Unterzugs [m]
d	statische Höhe des Unterzugs [m]
l_{eff}	effektive Stützweite des betrachteten Feldes des Unterzugs [m]
l_0	l_{eff}/K = Abstand der Momentennullpunkte bzw. ideale Stützweite des Einfeldunterzugs [m]
K	Beiwert für statisches System gemäß [4]

2.5 Bemessungsmoment für Unterzüge (GZT)

Für den Wert μ_{Eds} gilt je nach Querschnittsart mit Bezug auf die Gl. (7a,b,c):

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{1000 \cdot b_w^* \cdot d^2 \cdot f_{ck}} \quad (8)$$

μ_{Eds}	bezogener, dimensionsloser Beiwert im GZT [/]
M_{Eds}	Bemessungswert der Einwirkung (Biegung) im GZT [kNm]
b_w^*	querschnittsabhängige Druckzonbreite des Unterzugs [m] nach Gl. (7a,b,c)
d	statische Höhe des Unterzugs [m]
f_{cd}	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit des Unterzugs [MPa]

Das Bemessungsmoment ergibt sich bei reiner Biegebeanspruchung zu:

$$M_{Ed} = M_{Eds} = \gamma_L \cdot f_k \cdot \left(l_{eff} / K \right)^2 / 8 \quad (9)$$

f_k	charakteristische Volllast [kN/m]
l_{eff}/K	Abstand der Momentennullpunkte bzw. ideale Stützweite des Einfeldunterzugs
γ_L	gewichteter Teilsicherheitsbeiwert der äußeren Lasten im GZT

Mit Bezug auf [1, Gl. (10)] kann für γ_L geschrieben werden:

$$\gamma_L = (1,35\alpha_L + 1,5) / (1 + \alpha_L) \quad (10)$$

wobei α_L mit Gl. 5 auf Unterzüge angewendet wird.

Durch Einsetzen der Gl. (10) in Gl. (9) und weiter in Gl. (8) sowie Umformulierung unter Benutzung der Gl. (5) und Gl. (6) ergibt sich für μ_{Eds} :

$$\mu_{Eds} = \frac{2,98 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\bar{f}_k + 12,5 \cdot \left(\frac{l}{l/d} \right)^2 \right)}{b_w^* \cdot f_{ck}} \cdot \left(\frac{l_{eff}}{K \cdot d} \right)^2 \quad (11a)$$

$$\bar{f}_k = g_{k,Decke} + 1,111 \cdot q_{k,Decke} \quad (11b)$$

μ_{Eds}	bezogener, dimensionsloser Beiwert im GZT
-------------	---

$\bar{f}_k$	modifizierte äußere Last des Unterzugs aus der Decke: $g_{k,Decke} + 1,111 q_{k,Decke}$ [kN/m]
$g_{k,Decke}$	charakteristische ständige Deckenlast [kN/m], ermittelt z. B. aus Lasteinzugsflächen oder statischer Berechnung/Lastabtrag der den Unterzug belastenden Decke
$q_{k,Decke}$	charakteristische veränderliche Deckenlast [kN/m], ermittelt z. B. aus Lasteinzugsflächen oder statischer Berechnung/Lastabtrag der den Unterzug belastenden Decke
b_w^*	querschnittsabhängige Druckzonenbreite des Unterzugs [m] nach Gl. (7a, b, c)
d	statische Höhe des Unterzugs [m]
f_{cd}	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit des Unterzugs [MPa]
l_{eff}	effektive Stützweite des betrachteten Feldes des Unterzugs [m]
l_{eff}/K	Abstand der Momentennullpunkte bzw. ideale Stützweite des Einfeldunterzugs [m]
K	Beiwert für statisches System [l]

2.6 Ansatz des Hebelarmes der inneren Kräfte (GZT) für Unterzüge

Für die Hebelarme der inneren Kräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden die gleichen Ansätze wie in [2] bzw. [6] verwendet. Dadurch werden diese auch für die Balkenquerschnitte in Abhängigkeit von der Belastung bzw. dem bezogenen Moment μ_{Eds} und damit dem Bewehrungsgrad ρ ermittelt.

$$z/d^{GZT} = -0,6845 \cdot \mu_{Eds}^2 - 0,4148 \cdot \mu_{Eds} + 0,9944 \quad (12)$$

z/d^{GZT}	Verhältnis des Hebelarmes der inneren Kräfte zur statischen Höhe im GZT
z	Hebelarm der inneren Kräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit [m]
d	statische Höhe [m]

Einsetzen von Gl. (11) in Gl. (12) ergibt:

$$\frac{z}{d}^{GZT} = \left[\frac{2,465 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\bar{f}_k + 12,5 \cdot \left(\frac{l}{l/d} \right)^2 \right)}{b_w^* \cdot f_{ck}} \cdot \left(\frac{l_{eff}}{K \cdot d} \right)^2 \right]^2 - \left[\frac{1,236 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\bar{f}_k + 12,5 \cdot \left(\frac{l}{l/d} \right)^2 \right)}{b_w^* \cdot f_{ck}} \cdot \left(\frac{l_{eff}}{K \cdot d} \right)^2 \right] \quad (13)$$

(Erläuterung der verwendeten Größen vgl. oben)

2.7 Formulierung des Bewehrungsgrads (GZT) für Unterzüge

Unter Bezug auf die in den vorangegangenen Abschnitten zusammengestellten Größen kann für die im GZT erforderliche Bewehrung geschrieben werden:

$$A_s^{GZT} = \frac{M_{Ed}^{GZT}}{z^{GZT} \cdot f_{yd}} = \frac{M_{Ed}^{GZT}}{\frac{z}{d}^{GZT} \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (14)$$

A_s^{GZT}	im GZT notwendige Biegezugbewehrung [cm ²]
M_{Ed}^{GZT}	im GZT vorhandenes Bemessungsmoment [kNm]
z^{GZT}	Hebelarm der inneren Kräfte im GZT
$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$	Bemessungswert Streckgrenze Betonstahl [MN/m ²]
f_{yk}	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls [MN/m ²]
$\gamma_s = 1,15$	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl

Gemäß der Definition des Bewehrungsgrads für vorwiegend biegebeanspruchte Bauteile gilt:

$$\rho = \frac{A_s^{GZT}}{(b_w \cdot d)} \times 10^{-4} \quad (15)$$

b_w	Stegbreite des Unterzugs [m]
d	statische Höhe [m]
10^{-4}	Dimensionsfaktor

2.8 Grundsätzliche Formulierung der Iterationsgleichungen (ideeller Einfeld-Unterzug)

Durch Einsetzen der Gln. (13), (14), (15) in die iterativ zu lösende Gl. (1) ergibt sich:

$$\frac{l_{eff}}{d} / K = 11 + \frac{1932,98 \cdot f_{ck} \cdot \frac{z}{d}}{\left(\bar{f}_k + 12,5 \cdot \left(\frac{l_{eff}}{l_{eff}/d} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{l_{eff}/K} \right) \cdot \left(\frac{l_{eff}}{K \cdot d} \right)^3 \right)} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left[\frac{1288,65 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{z}{d}}{\left(\bar{f}_k + 12,5 \cdot \left(\frac{l_{eff}}{l_{eff}/d} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{l_{eff}/K} \right) \cdot \left(\frac{l_{eff}}{K \cdot d} \right)^3 \right)} - 1 \right]^{\left(\frac{3}{2} \right)} \quad (16)$$

Für den Term z/d in Gl. (16) gilt Gl. (13), welche hier aus Platzgründen nicht eingesetzt wird. Wie bereits in Ab-

schnitt 2.5 dargestellt, entscheidet in Gl. (13) die Größe b_w^* über die Querschnittsart (Rechteckquerschnitt, ein- oder beidseitiger Plattenbalkenquerschnitt).

Eine Unterscheidung in Gl. (16) – sinngemäß wie in Gl. (1) – in normal oder in hoch beanspruchte Querschnitte kann entfallen, da bei entsprechend hohen Bewehrungsgraden der dritte Term auf der rechten Seite der Gl. (16) imaginär und daher bei der Lösung nicht berücksichtigt wird.

2.9 Darstellung der Biegeschlankheitsdiagramme für Balken

In [6] wurden die Lösungen der Gl. (16) für Rechteckquerschnitte, ein- und beidseitige Plattenbalkenquerschnitte in Form von betongütenabhängigen Diagrammen aufgetragen, bei denen innerhalb gewählter Stützweiten l_{eff}/K interpoliert werden muss. Da diese Diagramme unhandlich sind, wurde in [7] – sinngemäß zu den Plattendiagrammen aus [3] – als Abszisse der Biegeschlankheitsdiagramme l_{eff}/K und als Ordinate die abzulesende Biegeschlankheit gewählt. Es entstehen dabei Kurvenscharen, die nach Betongüten und Laststufen geordnet werden können. Die Ergebnisse beider Darstellungsarten in [6] bzw. [7] sind identisch, was durch eine

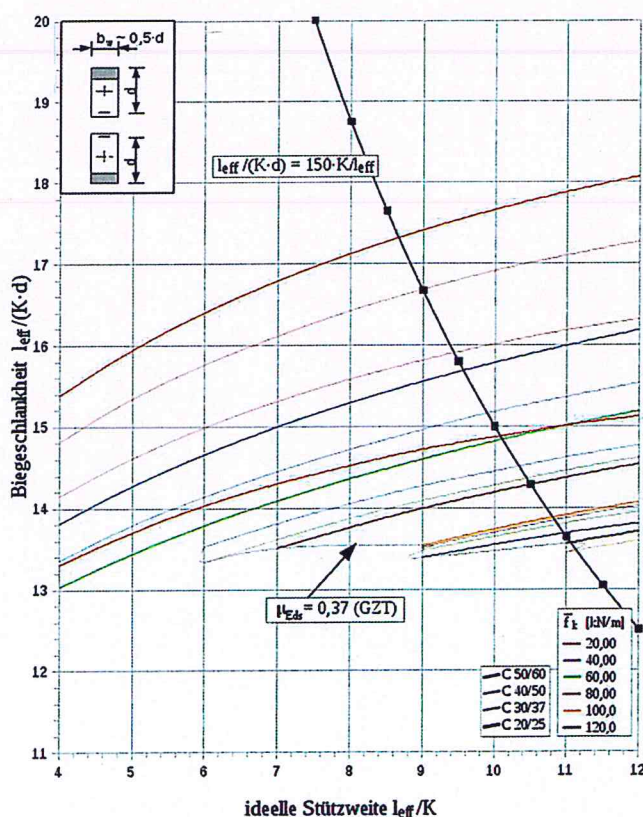


Bild 4 Biegeschlankheiten für Rechteckquerschnitte nach Gln. (16) für die Betongüten C20/25 bis C50/60 für unterschiedliche Laststufen $\bar{f}_k$ und Spannweiten l_{eff}/K , aus [7]
Span to depth ratio for rectangular cross sections according to equation (16), applicable for C20/25 to C50/60 concrete for different loading magnitudes $\bar{f}_k$ and spans l_{eff}/K , according to [7]

ausreichende Anzahl von Vergleichsrechnungen in [7] belegt wurde. Die Bilder 4 und 5 zeigen die entsprechenden Diagramme aus [7] bzw. [9] für Rechteckquerschnitte sowie für gegliederte Querschnitte (ein- und beidseitige Plattenbalken). Die Kurvenscharen des Bildes 4 für Rechteckquerschnitte sind am unteren Rand begrenzt durch eine gestrichelte Linie, die den Bereich der Erschöpfung der Druckzonentragfähigkeit ($\mu_{Eds} = 0,37$) im GZT repräsentiert.

2.10 Hintergründe und Bewertung der Biegeschlankheitsdiagramme für Rechteckquerschnitte sowie für ein- und beidseitige Plattenbalkenquerschnitte

Sowohl in [6] bzw. [7] und [9] zeigte sich, dass eine Unterscheidung in drei querschnittsabhängige Biegeschlankheitsdiagramme (Rechteckquerschnitt, ein- oder beidseitiger Plattenbalkenquerschnitt) nicht zwingend notwendig ist. Bau- und entwurfspraktisch ausreichend ist eine Unterscheidung in Rechteckquerschnitte und gegliederte Querschnitte gemäß den Bildern 4 und 5. Letzteres enthält die Ergebnisse des einseitigen Plattenbalkens, steht jedoch stellvertretend für gegliederte Querschnitte, also ein- und beidseitige Plattenbalken (sichere Seite). Wie gering und unerheblich die Differenzen zwischen den ermittelten Biegeschlankheiten der ein- und beidseitigen Plat-

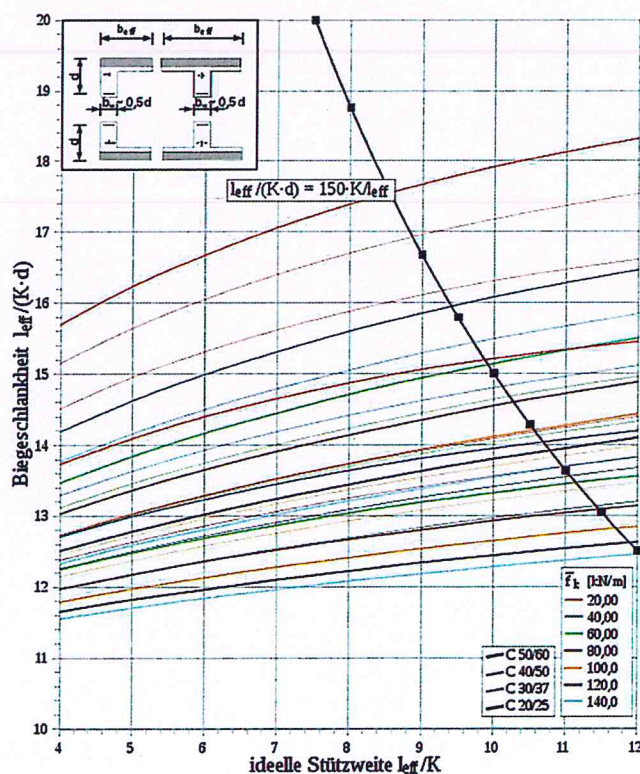


Bild 5 Biegeschlankheiten für gegliederte Querschnitte nach Gln. (16) für die Betongüten C20/25 bis C50/60 für unterschiedliche Laststufen $\bar{f}_k$ und Spannweiten l_{eff}/K , aus [7]
Span to depth ratio for non-rectangular cross sections according to equation (16), applicable for C20/25 to C50/60 concrete for different loading magnitudes $\bar{f}_k$ and spans l_{eff}/K , according to [7]

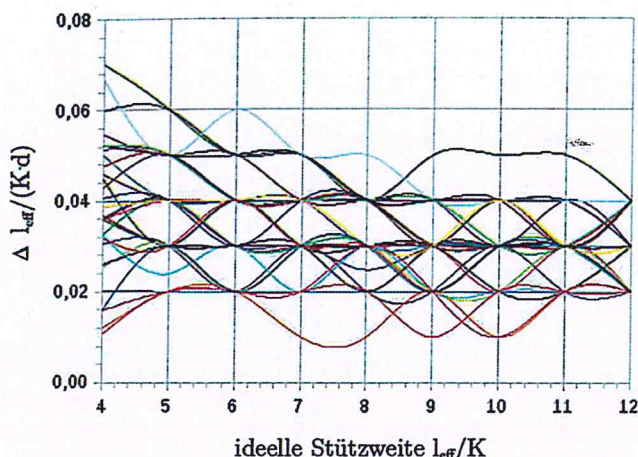


Bild 6 Differenzen der Biegeschlankheiten des beidseitigen zum einseitigen Plattenbalken nach Gl. (17) für die Betongüten C20/25 bis C50/60 für unterschiedliche Laststufen und Spannweiten l_{eff}/K , aus [9]
Differences between the span to depth ratio for T and L-shaped cross sections according to equation (17). Applicable for C20/25 to C50/60 concrete for different loading magnitudes and spans l_{eff}/K , according to [9]

tenbalkenquerschnitte sind, zeigt Bild 6, in dem Gl. (17) aufgetragen ist.

$$\Delta \frac{l_{eff}}{(K \cdot d)} = \frac{l_{eff}^{PB2}}{(K \cdot d)} - \frac{l_{eff}^{PB1}}{(K \cdot d)} \quad (17)$$

- $\Delta l_{eff}/(K \cdot d)$ Differenz der Biegeschlankheiten des zwei- und einseitigen Plattenbalkens [°]
- $l_{eff}/(K \cdot d)^{PB2}$ Biegeschlankheit des beidseitigen Plattenbalkens [°]
- $l_{eff}/(K \cdot d)^{PB1}$ Biegeschlankheit des einseitigen Plattenbalkens [°]

Auf die Legende in Bild 6 kann verzichtet werden, da die Funktionsgraphen (Laststufen/Betongüten) denjenigen der Bilder 4 und 5 entsprechen und gemäß Gl. (17) nur die Differenzen der Biegeschlankheiten des beidseitigen bzw. einseitigen Plattenbalkens darstellen. In Bild 6 ist deutlich erkennbar, dass die größte Differenz der Biegeschlankheiten im betrachteten Last-, Betongüten- und Spannweitenbereich maximal 0,07 beträgt. Bezieht man diese Differenz auf die kleinste vorkommende Schlankheit von 11,6 (vgl. Bild 5) so ergibt sich maximal ein Fehler von $0,07/11,6 = 0,6 \%$.

Die Erklärung für dieses – auf den ersten Blick verwunderliche – Ergebnis liegt in der Definition des Bewehrungsgrads gemäß Gl. (15) begründet. Hierbei wird die Menge der Biegezugbewehrung (GZT) auf das Produkt aus Stegbreite b_w und statischer Höhe d bezogen. Im GZT wirkt sich eine Querschnittsänderung von ein- zu beidseitigem Plattenbalken unter sonst gleichen Bedingungen (Belastung, Stützweite, Betongüte) in den parametrisierten Bereichen der Diagramme weder auf den Hebelarm der inneren Kräfte noch auf die Bewehrungsmenge und damit auch nicht signifikant auf den Bewehrungs-

grad aus. Da letzterer gemäß Gl. (1) ausschlaggebend ist, unterscheiden sich auch die zugehörigen iterierten Biegeschlankheiten kaum.

Im Zusammenhang mit der direkten Berechnung von Durchbiegungen gegliederter Stahlbetonquerschnitte ergeben sich sehr wohl deutliche Steifigkeits- und damit auch deutliche Durchbiegungsunterschiede zwischen ein- und beidseitigen Plattenbalkenquerschnitten, vgl. auch [8].

3. Benutzung der Biegeschlankheitsdiagramme für Unterzüge und Anwendungshinweise

3.1 Allgemeines

Im Folgenden werden die beiden neuen Biegeschlankheitsdiagramme für Balken bezüglich ihrer Handhabung beschrieben, mit deren Hilfe sehr einfach Balken- bzw. Unterzugsabmessungen innerhalb monolithischer Deckensysteme aus Stahlbeton entworfen werden können, die die Anforderungen der Durchbiegungsbeschränkung gemäß EC 2-1-1 (vgl. [4]) bzw. EC 2-1-1/NA vgl. [5] erfüllen. Die Diagramme liefern zusätzlich die unmittelbare Aussage darüber, ob die gefundene Schlankheit mit der zugehörigen statischen Höhe die Grundanforderung ($w \leq l_{eff}/250$) und/oder die erhöhte Anforderung ($w \leq l_{eff}/500$) erfüllt. Die Grundanforderung ($w \leq l_{eff}/250$) ist bei allen ermittelten Schlankheiten erfüllt.

Zunächst erfolgt – sinngemäß der Plattendiagramme in [2] bzw. [3] – eine überschlägliche Einschätzung des Momentenverlaufs des betrachteten Unterzugs, sodass der ungünstigste bzw. größte Abstand der Momentennullpunkte und damit der Wert K realistisch abgeschätzt werden kann. Die Diagramme (Bilder 4 und 5) können daher zum Entwurf von Einfeldsystemen, End- und Innenfeldern von Durchlaufsystemen und Kragssystemen verwendet werden. Dabei sollte der Nutzer für Letztere eigenverantwortlich entscheiden, ob er die Faktoren K für das statische System ($K = 1,3$ für Endfelder; $K = 1,5$ für Innenfelder, $K = 0,4$ für Kragarme) gemäß [4] verwendet oder z. B. aufgrund deutlich unterschiedlicher Stützweiten und/oder hoher Verkehrslastanteile entsprechend andere Werte ermittelt bzw. vorgibt.

3.2 Eingangswerte

g_k ständige äußere Deckenlast [kN/m], die vom Unterzug abgetragen wird (z. B. aus überschläglicher Berechnung oder Lasteinzugsflächen). Die Festlegung der Deckenstärke ist also bekannt bzw. zuvor bereits erfolgt.

Hinweis: Das Eigengewicht des Unterzugs ist innerhalb der Diagrammlösung bereits berücksichtigt (Iteration).

q_k veränderliche äußere Deckenlast [kN/m], die vom Unterzug abgetragen wird (z. B. aus überschläglicher Berechnung oder Lasteinzugsflächen).

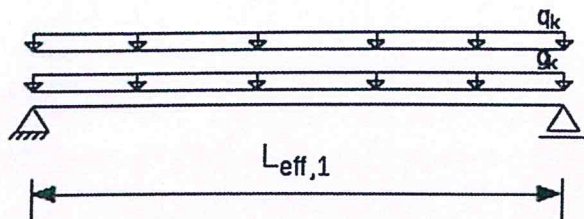


Bild 8 Unterzug in Achse 2 gemäß Bild 7, System und Belastung zu Beispiel 4.1
Beam along gridline 2 according to Fig. 7, Structural system and acting loads for example 4.1

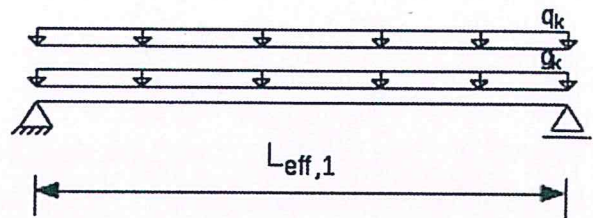


Bild 9 Unterzug in Achse 1 und 3 gemäß Bild 7, System und Belastung zu Beispiel 4.2
Beam along gridline 1 and 3 according to Fig. 7, Structural system and acting loads for example 4.2

Die Decke Pos. D1 wurde bereits in [3, Abschn. 3.2] behandelt, es ergab sich eine Deckenstärke von $h = 22$ cm.

4.1 Beidseitiger Plattenbalken Pos. U1

Statisches System (Bild 8):

Gegeben:

Systemwerte	$l_{\text{eff,Decke}} = 6,50$ m $l_{\text{eff},1} = 7,40 + 2 \cdot 0,30/3 = 7,60$ m; Systembeiwert $K = 1,0$
Eigengewicht aus Pos. D1	$g_{k1} = 25 \cdot 0,22 \cdot 1,25 \cdot 6,5 = 44,7$ kN/m
Ausbaulast aus Pos. D1	$g_{k2} = 2,0 \cdot 1,25 \cdot 6,5 = 16,25$ kN/m
Ständige Last aus Decke	$g_k^D = 16,25 + 44,7 = 61,0$ kN/m
Veränderliche Last	$q_k^D = 5,0 \cdot 1,25 \cdot 6,5 = 40,63$ kN/m
Baustoffe Anforderung	C30/37; B 500 A erhöht ($w \leq 1/500$)

Berechnung:

Charakteristische Vollast	$\bar{f}_k = g_k^D + 1,111 \cdot q_k^D$ $\bar{f}_k = 61,0 + 1,111 \cdot 40,63 = 106,1$ kN/m
---------------------------	--

Biegeschlankheit aus (Bild 10):

Eingangsparameter	$l_{\text{eff},1}/K = 7,60/1,0 = 7,60$ m; Beton C 30/37; $\bar{f}_k = 106,1$ kN/m
Ablesung Biegeschlankheit	$l_{\text{eff}}/(K \cdot d) = 12,8$
Modifikation mit k_3 -Faktor	aufgrund der Stützweite nötig, da $l_{\text{eff}} > 7$ m im Verhältnis $7,00/l_{\text{eff}} = 7,00/7,60 = 0,921$ $l_{\text{eff}}/(K \cdot d) = 12,8 \cdot 0,921 = 11,79$
Statische Nutzhöhe	$l_{\text{eff}}/(K \cdot 11,79) = d$ $d = 760/(1,0 \cdot 11,79) = 64,46$ cm $\rightarrow h = d + d_1 = 64,46 + 6,5 = 70,95$ cm

(Beachte: d_1 berücksichtigt eine 2-lagige Bewehrung im GZT)

$\rightarrow$ gew. $h = 71$ cm

$\rightarrow$ Empfehlung Breite:

$$b_w \approx 0,5 \cdot d \approx 0,5 \cdot 64,46 \approx 32,5 \text{ cm}$$

4.2 Einseitiger Plattenbalken Pos. U2

Statisches System (Bild 9):

Gegeben:

Systemwerte	$l_{\text{eff,Decke}} = 6,50$ m $l_{\text{eff},1} = 7,40 + 2 \cdot 0,30/3 = 7,60$ m; Systembeiwert $K = 1,0$
Eigengewicht aus Pos. D1	$g_{k1} = 25 \cdot 0,22 \cdot 0,375 \cdot 6,5 = 13,41$ kN/m
Ausbaulast aus Pos. D1	$g_{k2} = 2,0 \cdot 0,375 \cdot 6,5 = 4,88$ kN/m (0,375 – Faktor für Randunterzug aus Bautabelle SCHNEIDER)
Ständige Last aus Decke	$g_k^D = 13,41 + 4,88 = 18,29$ kN/m
Veränderliche Last	$q_k^D = 5,0 \cdot 0,438 \cdot 6,5 = 14,24$ kN/m (0,438 – Faktor für Randunterzug aus Bautabelle Schneider)
Baustoffe Anforderung	C30/37; B 500 A erhöht ($w \leq 1/500$)

Berechnung:

Charakteristische Vollast	$\bar{f}_k = g_k^D + 1,111 \cdot q_k^D$ $\bar{f}_k = 18,29 + 1,111 \cdot 14,24 = 34,11$ kN/m
---------------------------	---

Biegeschlankheit aus (Bild 10):

Eingangsparameter	$l_{\text{eff},1}/K = 7,60/1 = 7,60$ m; Beton C 30/37; $\bar{f}_k = 34,11$ kN/m
Ablesung Biegeschlankheit	$l_{\text{eff}}/(K \cdot d) = 14,6$
Modifikation mit k_3 -Faktor	aufgrund der Stützweite nö-

Statische Nutzhöhe

tig, da $l_{\text{eff}} > 7 \text{ m}$ im Verhält-
 nis $7,00/l_{\text{eff}} = 7,00/7,60$
 $= 0,921$
 $l_{\text{eff}}/(K \cdot d) = 14,6 \cdot 0,921$
 $= 13,45$
 $l_{\text{eff}}/(K \cdot 13,45) = d$
 $d = 760/(1,0 \cdot 13,45)$
 $= 56,5 \text{ cm}$

$\rightarrow h = d + d_1 = 56,5 + 6,5$
 $= 63 \text{ cm}$ (Beachte: d_1 berück-
 sichtigt eine 2-lagige Beweh-
 rung im GZT)
 $\rightarrow \text{gew. } h = 63 \text{ cm}$
 $\rightarrow \text{Empfehlung Breite:}$
 $b_w \approx 0,5 \cdot d \approx 0,5 \cdot 56,5$
 $\approx 29 \text{ cm}$

4.3 Fertigteilunterzug

Die in Bild 7 dargestellte, monolithische Deckenkon-
 struktion wird im Rahmen des Beispiels 4.3 als Fertigteil-
 konstruktion mit Spannbetonhohldielen und Fertigteilun-
 terzügen konstruiert (Elastomerlager), Bilder 11 und 12.
 Gemäß Angabe des Herstellers der Spannbetondecken
 sollen diese ein Flächengewicht von $g_{k1} = 3,75 \text{ kN/m}^2$ be-
 sitzen.

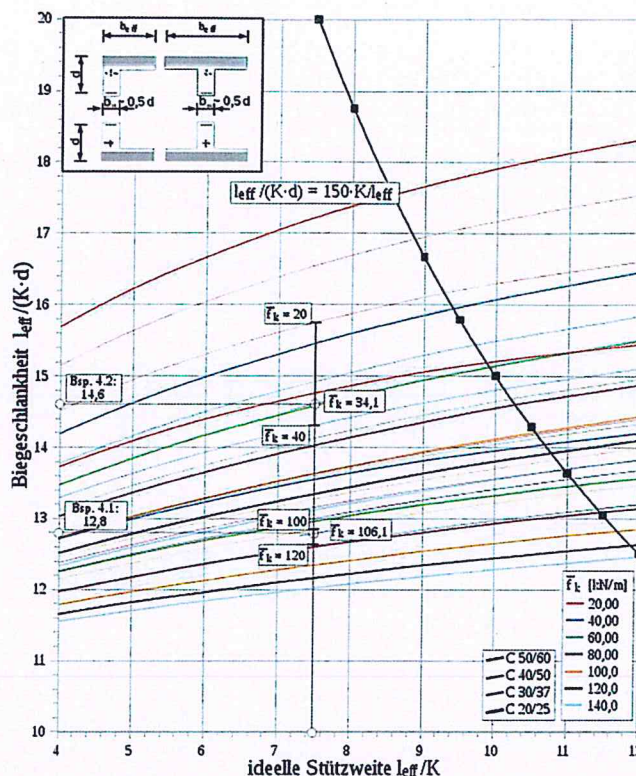


Bild 10 Unterzug in Achse 1 – 3 Bild 7. System/Belastung zu Beispiel 4.1 und 4.2

Beam along gridline 1 – 3, Fig. 7. Structural system and acting loads for example 4.1 and 4.2

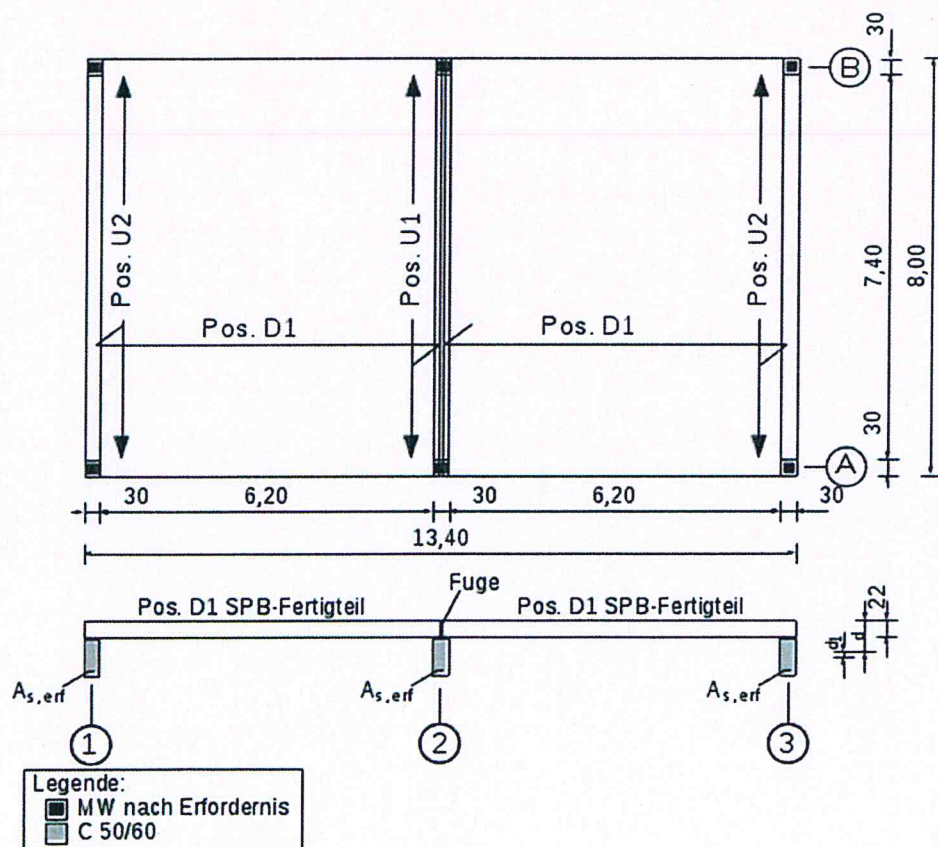


Bild 11 Grundriss Fertigteildeckenkonstruktion zu Beispiel 4.3
 Roof plan of prefabricated construction for example 4.3

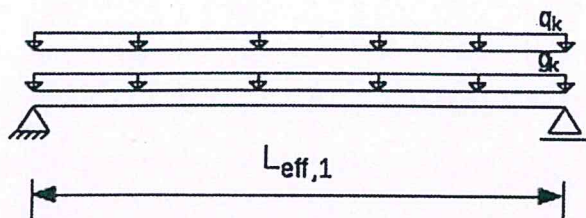


Bild 12 Unterzug in Achse 2 gemäß Bild 11, System und Belastung zu Beispiel 4.3
Beam along gridline 2 according to Fig. 11, Structural system and acting loads for example 4.3

Gegeben:

Systemwerte

$$l_{\text{eff,Decke}} = 6,25 + 2 \cdot 0,05 + 0,075/3 + 0,20/3 \approx 6,45 \text{ m}$$

$$l_{\text{eff},1} = 7,4 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,20/3 \approx 7,65 \text{ m;}$$

Systembeiwert $K = 1,0$

Belastung

$$g_{k,1} = 3,75 \cdot 6,45/2 \cdot 2 \approx 24,20 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,2} = 2,0 \cdot 6,45/2 \cdot 2 \approx 12,9 \text{ kN/m (Ausbaulast)}$$

Ständige Last aus Decke

$$g_k^D = 24,20 + 12,9 = 37,10 \text{ kN/m}$$

Veränderliche Last

$$q_k^D = 5,0 \cdot 6,45/2 \cdot 2 = 32,35 \text{ kN/m}$$

Baustoffe

C50/60; B 500 A

Anforderung

erhöht ($w \leq l/500$)

Berechnung:

Charakteristische Vollast

$$\bar{f}_k = g_k^D + 1,111 \cdot q_k^D$$

$$\bar{f}_k = 37,10 + 1,111 \cdot 32,35 \approx 73,10 \text{ kN/m}$$

Biegeschlankheit aus (Bild 13):

Eingangsparameter

$$l_{\text{eff},1}/K = 7,65/1 = 7,65 \text{ m;}$$

Beton C 50/60;

$$= 73,10 \text{ kN/m}$$

Ablesung Biegeschlankheit

$$l_{\text{eff}}/(K \cdot d) = 13,8$$

Modifikation mit k_3 -Faktor

aufgrund der Stützweite nötig, da $l_{\text{eff}} > 7 \text{ m}$ im Verhältnis
 $7,00/l_{\text{eff}} = 7,00/7,65 = 0,915$
 $l_{\text{eff}}/(K \cdot d) = 13,8 \cdot 0,915 = 12,63$

Statische Nutzhöhe

$$l_{\text{eff}}/(K \cdot 12,63) = d$$

$$d = 765/(1,0 \cdot 12,63) = 60,57 \text{ cm}$$

$$\rightarrow h = d + d_1 = 60,57 + 7,0 = 67,57 \text{ cm (Beachte: } d_1 \text{ berücksichtigt eine 2-lagige Bewehrung im GZT)}$$

$$\rightarrow \text{gew. } h = 68 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{Empfehlung Breite: } b_w \approx 0,5 \cdot d \approx 0,5 \cdot 60,57 \approx 30 \text{ cm}$$

Im Ergebnis der Benutzung des Diagramms ist erkennbar, dass bei vorliegender Belastung lediglich eine höherwertigere Betongüte in Betracht kommt.

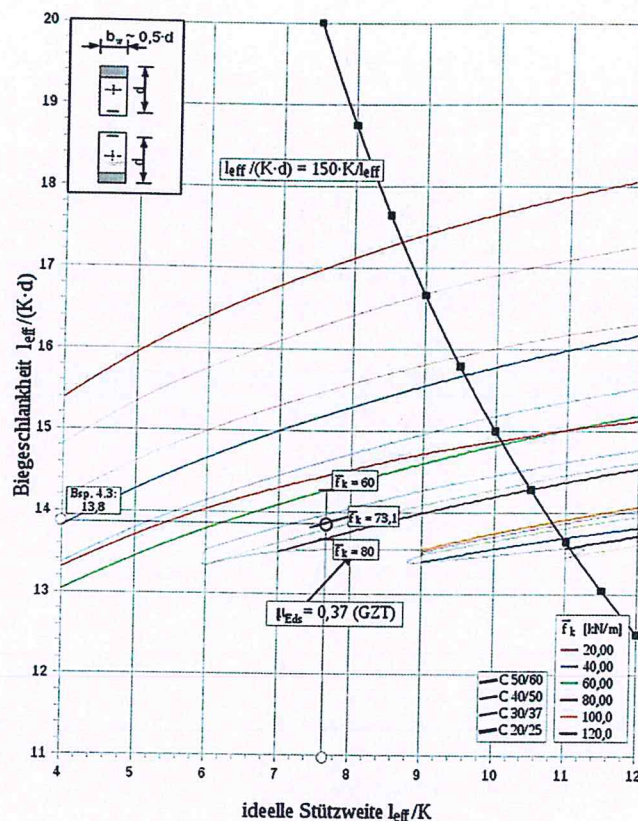


Bild 13 Unterzug in Achse 2 Bild 11. System/Belastung zu Beispiel 4.3
Beam along gridline 2, Fig. 11. Structural system and acting loads for example 4.3

4. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurden zwei Diagramme zum Entwurf von Balkentragwerken des üblichen Hochbaus vorgestellt, eines für Rechteckquerschnitte sowie eines für gegliederte Querschnitte. Die Diagramme sind kompakt in der Darstellung und einfach in ihrer Handhabung. Zwischen einzelnen Laststufen der modifizierten äußeren Last $\bar{f}_k$ kann (bei gewählter bzw. vorgegebener Betongüte) eine Interpolation durchgeführt werden. Letztere darf für das Auffinden der Biegeschlankheit entweder näherungsweise linear oder aber etwa „optisch per Augenmaß“ erfolgen. Dies ist – im Sinne des Entwurfs des Tragwerks – durchaus akzeptabel, sofern sich der Anwender nicht grob oder vorsätzlich auf die unsichere Seite begibt. Das mittels der Diagramme erhaltene Ergebnis der Biegeschlankheiten ist ggf. noch mit den Modifikationsfaktoren nach Abschn. 3.4 zu versehen. Das Eigengewicht des Unterzugs ist innerhalb der Diagrammlösung bereits berücksichtigt.

Aufgrund der Auftragung der Kurvenscharen über die gewählten Koordinatenachsen – Ordinate $l_{\text{eff}}/(K \cdot d)$ über Abszisse l_{eff}/K – ermöglichen die Diagramme für eine ermittelte bzw. gewählte Biegeschlankheit die sofortige Beurteilung auf Einhaltung der erhöhten Anforderung ($l_{\text{eff}}/(K \cdot d) \leq 150 \cdot K/l_{\text{eff}}$), vgl. [4]. Die dort vorgegebenen Grenزشlankheiten wurden seinerzeit bereits in [8] formuliert.

Abschließend sei vermerkt, dass exemplarische Vergleichsrechnungen in Form von direkten Durchbiegungsberechnungen von Balken bzw. Unterzügen aus Stahlbeton mit Bauhöhen gemäß den hier behandelten Biegeschlankheitsdiagrammen und denen nach [3] durchgeführt wurden, vgl. [10, 11]. Es ergaben sich befriedigende Ergebnisse in Bezug auf die Einhaltung der erhöhten Anforderung ($w \leq L/500$) und der Grundanforderung ($w \leq L/250$). Zur Überprüfung der Erfüllung der erhöhten Anforderungen wurde die Durchbiegung einiger Bauteile

(Platten, Balken) zum Zeitpunkt $t = \infty$ (Zustand I und II, Kriechen, Schwinden, Gebrauchslast) um einen sinnvollen Wert der Durchbiegung zum Zeitpunkt $t = 0$ (Zustand I und II, ohne Kriechen und Schwinden, Gebrauchslast zum Ausschaltzeitpunkt) reduziert.

Weitere Vergleichsrechnungen und Auswertungen, die umfassend die parametrisierten Bereiche der Biegeschlankheitsdiagramme abdecken und verifizieren, werden fortgeführt.

Literatur

- [1] GÖTTLICH, P.: *Begrenzung der Biegeschlankheit nach EC2*. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 1, S 38–45.
- [2] GÖTTLICH, P.: *Einfache Ermittlung von Plattenstärken nach EC2 – Fortschreibung der Grundgleichungen*. Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 4, S 284–295.
- [3] GÖTTLICH, P.; FLECKENSTEIN, D.: *Neue Biegeschlankheitsdiagramme für Platten und Kragplatten nach EC2*. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015), Heft 4, S. 270–274.
- [4] Eurocode 2: DIN EN 1992-1-1: 2005 (inklusive Berichtigung 1/2010), vereinfacht bezeichnet als: EC 2-1-1.
- [5] Nationales Anwendungsdokument DIN EN 1992-1-1/NA 2010, vereinfacht bezeichnet als EC 2-1-1/NA.
- [6] KRUSCHINSKI, S.: *Weiterentwicklung von praxisnahen Lösungen zur Neufassung der Biegeschlankheit von Stahlbetondecken und -balken nach Eurocode EC 2-1-1/NA*. Masterarbeit an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (Kooperation HTW Berlin – FH Potsdam), 2012.
- [7] FLECKENSTEIN, D.: *Beitrag und Softwareentwicklung zur Neufassung der Biegeschlankheit von Platten und Balken aus Stahlbeton nach EC 2/NA*. Diplomarbeit an der FH-Potsdam, 2014.
- [8] GRASSER, E.; THIELEN, G.: *Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken*. Heft 240 DAfStb: 3. Auflage 1991, Beuth-Verlag.
- [9] GÖTTLICH, P.; FLECKENSTEIN, D.: *Bewertung der Biegeschlankheitsdiagramme für Balken*. Unveröffentlichtes Arbeitsmanuskript (2014/2015).
- [10] SCHRECKENBERG, M.: *Beitrag zur Neufassung der Biegeschlankheit von Platten und Balken aus Stahlbeton nach EC2/NA sowie die Entwicklung einer Software*. Bachelorarbeit an der Technischen Universität Berlin (Kooperation TU Berlin – FH Potsdam), 2015.
- [11] GÖTTLICH, P.; SCHRECKENBERG, M.: *Direkte Durchbiegungsberechnungen von Platten und Balken aus Stahlbeton EC 2-1-1/NA*. Unveröffentlichtes Arbeitsmanuskript, 2015.

Autoren



Prof. Dipl.-Ing. Peter Göttlich
Fachhochschule Potsdam
FG Massivbau
Kiepenheuerallee 5
14469 Potsdam
goettlich@fh-potsdam.de



Dipl.-Ing. (FH) Dirk Fleckenstein
Fachhochschule Potsdam
Kiepenheuerallee 5
14469 Potsdam
fleckenstein@fh-potsdam.de