

Beispiel 4: Punktförmig gestützte Platte

Inhalt

	Seite
Aufgabenstellung.....	4-2
1 System, Bauteilmaße, Betondeckung.....	4-2
1.1 System.....	4-2
1.2 Mindestfestigkeitsklasse, Betondeckung.....	4-3
1.3 Bestimmung der Deckendicke aus der Begrenzung der Verformungen.....	4-3
2 Einwirkungen.....	4-5
2.1 Charakteristische Werte.....	4-5
2.2 Bemessungswerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.....	4-5
2.3 Repräsentative Werte in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.....	4-6
3 Schnittgrößenermittlung.....	4-6
3.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	4-6
3.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	4-10
4 Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.....	4-10
4.1 Bemessungswerte der Baustoffe.....	4-10
4.2 Bemessung für Biegung.....	4-11
4.3 Bemessung für Querkraft.....	4-12
4.3.1 Durchstanzen.....	4-12
4.3.1.1 Aufzunehmende Querkräfte.....	4-13
4.3.1.2 Innenstützen.....	4-14
4.3.1.3 Eck- und Randstützen.....	4-17
4.3.1.4 Wandende.....	4-20
4.3.2 Querkraftbemessung außerhalb der Durchstanzbereiche.....	4-22
4.4 Brandschutztechnischer Nachweis.....	4-23
5 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.....	4-24
5.1 Begrenzung der Spannungen unter Gebrauchsbedingungen.....	4-24
5.2 Grenzzustände der Rissbildung.....	4-24
5.2.1 Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite.....	4-24
5.2.2 Begrenzung der Rissbreite für die statisch erforderliche Bewehrung.....	4-25
5.3 Begrenzung der Verformungen.....	4-25
6 Bewehrungsführung, bauliche Durchbildung.....	4-26
6.1 Grundwert der Verankerungslänge.....	4-26
6.2 Verankerung an den Rand- und Eckstützen.....	4-26
6.3 Verankerung an den Innenstützen.....	4-28
6.4 Verankerung außerhalb der Auflager.....	4-28
6.5 Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens.....	4-29
7 Darstellung der Bewehrung.....	4-30

Beispiel 4: Punktförmig gestützte Platte

Aufgabenstellung

Zu bemessen ist die Flachdecke eines Geschossbaus.
 Untersucht werden: Innen-, Rand- und Eckfeld.

Die Stützen und die Flachdecke sind monolithisch verbunden.
 Rand- und Eckstützen sind bündig am Deckenrand angeordnet.
 Die Stützenachsen bilden ein quadratisches Raster.

Unverschiebliches System (Gebäude mit Wandscheiben ausgesteift).
 Bürogebäude, 5 Geschosse, Geschosshöhe 3,0 m.
 Umgebungsbedingungen: geschlossene Innenräume.

Vorwiegend ruhende Einwirkungen.

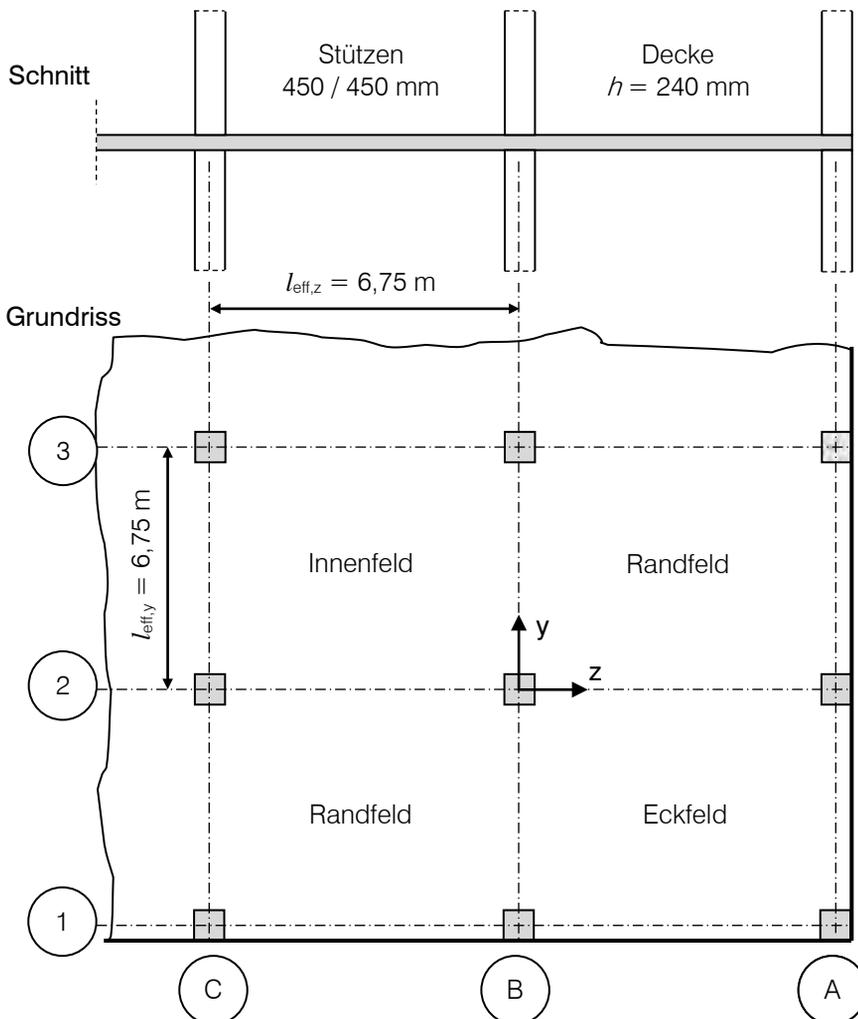
Brandschutztechnische Anforderung: REI 60 (hochfeuerhemmend)

Baustoffe:

- Beton C35/45
- Betonstabstahl B500B (hochduktil)

1 System, Bauteilmaße, Betondeckung

1.1 System



EC2-1-1, NA.1.5.2.5: üblicher Hochbau

EC2-1-1, 5.8.3.3: Kriterien für verschiebliche Systeme

EC2-1-1, NA.1.5.2.6: vorwiegend ruhende Einwirkung

Tragende und raumabschließende Decke in Gebäudeklasse 4 nach MBO [2]

EC2-1-1, 3.1: Beton
 EC2-1-1, 3.2: Betonstahl

Darstellung unmaßstäblich!

EC2-1-1, (NCI) 9.5.1:
 (1) Mindestquerschnitt für Stützen
 200 / 200 mm

Annahme:
 Anzahl der Felder ≥ 4 in beiden Richtungen,
 d. h. die Stütze C/3 ist nur von Innenfeldern
 umgeben.

Darstellung unmaßstäblich

1.2 Mindestfestigkeitsklasse, Betondeckung

Expositionsklasse für Bewehrungskorrosion
infolge Karbonatisierung: → XC1
Mindestfestigkeitsklasse Beton → C16/20

Feuchtigkeitsklasse für Betonangriff: → WO

Gewählt: C35/45 XC1, WO

Betondeckung

wegen Expositionsklasse XC1:

→ Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}} = 10 \text{ mm}$
+ Vorhaltemaß $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$
→ Mindestnenmaß $c_{\text{nom}} = 20 \text{ mm}$

Zur Sicherstellung des Verbundes: $c_{\min, b} \geq \text{Stabdurchmesser} \geq 10 \text{ mm}$

Bügel $\phi 10$: $c_{\min, b} = 10 \text{ mm}$ $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$ $c_{\text{nom, Bü}} = 20 \text{ mm}$

Längsbewehrung $\leq \phi 20$: $c_{\min, b} = 20 \text{ mm}$ $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$ $c_{\text{nom, l}} = 30 \text{ mm}$

Daraus ergeben sich als Verlegemaße (Bügel umfassen Längsbewehrung):

Bügel $\phi 10$: $c_{\text{Bü}} = c_{v, l} - \phi = 30 - 10 = 20 \text{ mm} \geq c_{\text{nom, Bü}}$

Längs $\leq \phi 20$: $c_{v, l} = c_{\text{Bü}} + \phi_{\text{Bü}} = 20 + 10 = 30 \text{ mm} \geq c_{\text{nom, l}}$

Die Längsbewehrung wird mit Abstandhaltern 30 mm unterstützt (auf dem Bewehrungsplan angeben). Die Bügel werden nur im Durchstanzbereich der Platte im Bewehrungskorb integriert (ohne Abstandhalter).

1.3 Bestimmung der Deckendicke aus der Begrenzung der Verformungen

Der Nachweis der Begrenzung der Verformungen nach EC2-1-1 darf vereinfacht durch eine Begrenzung der Biegeschlankheit geführt werden. Über diesen Nachweis lässt sich die erforderliche Mindestdeckendicke abschätzen.

Im Folgenden werden **zwei Varianten** untersucht:

- EC2-1-1, 7.4.1 (5): Verformungsbegrenzung zur Vermeidung von Schäden an angrenzenden Bauteilen (Durchbiegung unter quasi-ständiger Einwirkungskombination nach Einbau dieser Bauteile $\leq l / 500$)
- EC2-1-1, 7.4.1 (4): Verformungsbegrenzung für Erscheinungsbild und Gebrauchstauglichkeit (Durchhang unter quasi-ständiger Einwirkungskombination $\leq l / 250$)

Variante a): Durchbiegung $\leq l / 500$

Oberer Grenzwert der Biegeschlankheit für Deckenplatte mit höheren Anforderungen:

$$l / d \leq K^2 \cdot 150 / l = 1,2^2 \cdot 150 / 6,75 = 32$$

Zu diesem Wert gehört ein Grenzbewehrungsgrad, bei dessen Überschreitung geringere Biegeschlankheiten erforderlich werden. Es wird zunächst angenommen, dass der später erforderliche Bewehrungsgrad im GZT geringer sein wird.

EC2-1-1, 4: Dauerhaftigkeit und Betondeckung

EC2-1-1, Tab. 4.1: Expositionsklassen XC1 trocken (Bauteile in Innenräumen)
Annahme: Plattenrand im Innenbereich
EC2-1-1, Anhang E, Tab. E.1.DE: Mindestdruckfestigkeitsklasse WO – ohne Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion (Innenbauteile des üblichen Hochbaus)

Die höhere Betonfestigkeitsklasse wird im Hinblick auf die Bemessung gewählt.

EC2-1-1, (NDP) Tab. 4.4DE: Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}}$
EC2-1-1, (NDP) 4.4.1.3: (1) Vorhaltemaß Δc_{dev}
EC2-1-1, 4.4.1.1: (2), Gl. (4.1) Nennmaß c_{nom}
Keine Abminderung von $c_{\min, \text{dur}}$ um 5 mm gemäß Tab. 4.3DE zulässig, da Expositionsklasse XC1.

EC2-1-1, 4.4.1.2: (3)

EC2-1-1, (NCI) 4.4.1.1: (2)P
Das Verlegemaß c_v ergibt sich aus der Bewehrungskonstruktion unter Beachtung der nur in 5 mm-Stufen lieferbaren Abstandhalter.

EC2-1-1, (NCI) 9.4.3: (1) max $\phi_{\text{Bü}}$ der Durchstanzbewehrung
Die Annahme, dass die Bügel der Querkraftbewehrung die äußere Längsbewehrungslage umschließen, liegt für die Ermittlung der Nutzhöhe immer auf der sicheren Seite.
Hinweise zum Brandschutz siehe 4.4

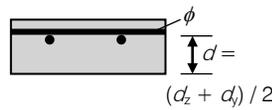
Der vereinfachte Durchbiegungsnachweis über Biegeschlankheiten ist nur eine Näherung. Bei durchbiegungsempfindlichen Bauteilen wie dünnen Flachdecken sollte eine realistischere Durchbiegungsberechnung unter Berücksichtigung der Lasten, der Lagerungsbedingungen und der Bewehrung durchgeführt werden.
Hinweis: Der zu erwartende Durchhang darf auch durch Schalungsüberhöhungen teilweise oder ganz ausgeglichen werden, siehe EC2-1-1, 7.4.1: (4)

EC2-1-1, (NCI) Zu 7.4.2: (2)
Die Biegeschlankheiten sollten jedoch bei Bauteilen, die verformungsempfindliche Ausbauelemente beeinträchtigen können, auf $l / d \leq K^2 \cdot 150 / l$ begrenzt werden.

EC2-1-1, 7.4.2: (2), Tab. 7.4N: $K = 1,2$
Flachdecke, die ohne Unterzüge auf Stützen gelagert ist (mit der größeren Spannweite)

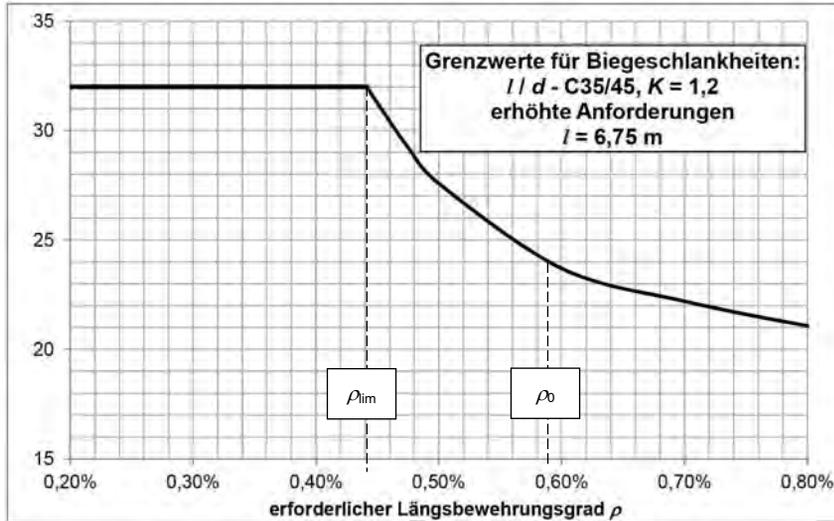
→ $\rho \leq \rho_{lim} = 0,442\%$ (siehe Grafik)

→ erf $d \geq l / 32 \geq 6750 / 32 = 211\text{ mm}$



im Feld: $h \geq \text{erf } d + \phi + c_v \rightarrow \text{beide Bewehrungslagen}$
 $= 211 + 20 + 30 = 261\text{ mm}$

gewählt $h = 260\text{ mm} \approx \text{erf } h = 261\text{ mm} > \text{min } h = 200\text{ mm}$



Die Unterschreitung des angenommenen Grenzbewehrungsgrades wäre in der Bemessung auf Biegung im GZT zu überprüfen.

Variante b): Durchhang $\leq l / 250$

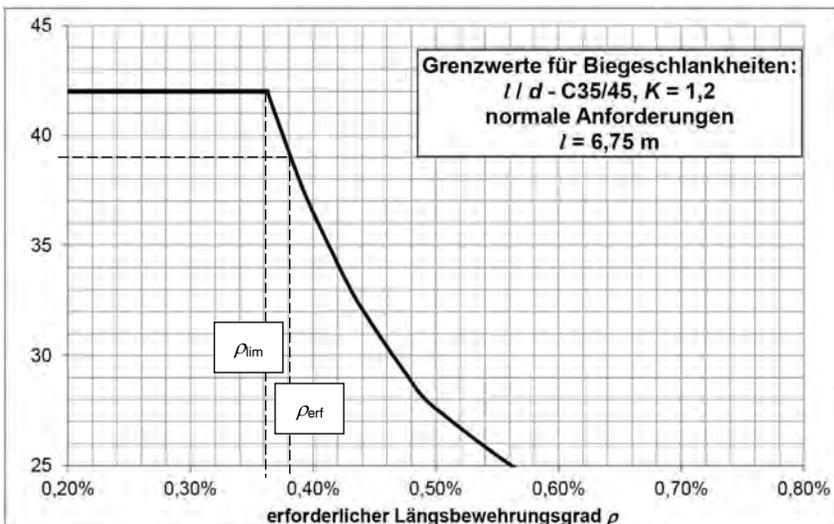
Oberer Grenzwert der Biegeschlankheit für Deckenplatte mit normalen Anforderungen:

$$l / d \leq K \cdot 35 = 1,2 \cdot 35 = 42$$

$$\rightarrow \text{erf } d \geq l / 42 \geq 6750 / 42 = 160\text{ mm}$$

Zu diesem Wert gehört ein Grenzbewehrungsgrad, bei dessen Überschreitung geringere Biegeschlankheiten erforderlich werden. Es wird zunächst angenommen, dass der später erforderliche Bewehrungsgrad im GZT geringer sein wird.

→ $\rho \leq \rho_{lim} = 0,363\%$ (siehe Grafik)



Bei Flachdecken mit Stützweiten über 8,5 m, die leichte Trennwände tragen, die durch übermäßige Durchbiegung beschädigt werden könnten, sind in der Regel die Werte l / d nach Gleichung (7.16) mit dem Faktor $8,5 / l_{eff}$ [m] zu multiplizieren → hier wegen 6,75 m nicht erforderlich.

Annahme: $\phi \leq 20\text{ mm}$

EC2-1-1, (NCI) 9.3.2: (1) Mindestdicke für Platten mit Durchstanzbewehrung
 min $h = 200\text{ mm}$

EC2-1-1, 7.4.2: (2)

Referenzbewehrungsgrad für C35/45

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{35} = 0,0059 = 0,59\%$$

→ grafische Auswertung der Gleichung (7.16a) für $\rho \leq \rho_0$

$$\frac{l}{d} = K \cdot \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Verformungsgrenzwerte EC2-1-1, 7.4.1:

(5) Verformungen, die angrenzende Bauteile des Tragwerks beschädigen könnten, sind in der Regel zu begrenzen. Für die Durchbiegung unter quasi-ständiger Einwirkungskombination nach Einbau dieser Bauteile darf als Richtwert für die Begrenzung $1/500$ der Stützweite angenommen werden....

EC2-1-1, (NCI) Zu 7.4.2: (2)

Die Biegeschlankheiten sollten jedoch allgemein auf die Maximalwerte $l / d \leq K \cdot 35$ begrenzt werden.

durch Einsetzen in EC2-1-1, Gleichung (7.16a) → vgl. auch [1], Kommentarteil zu 7.4

im Feld: $h \geq \text{erf } d + \phi + c_v \rightarrow \text{beide Bewehrungslagen}$
 $= 160 + 20 + 30 = 210 \text{ mm}$

gewählt $h = 240 \text{ mm} > \text{erf } h = 210 \text{ mm} > \text{min } h = 200 \text{ mm}$

Aus der Biegebemessung nach 4.2 ergibt sich mit dieser Deckendicke ein erforderlicher Bewehrungsgrad im Feldbereich:

$$a_{s,m,F} = (0,6 \cdot 6,72 + 0,4 \cdot 7,85) = 7,17 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho = 7,17 \text{ cm}^2 / 19 = 0,38 \% > \rho_{\text{lim}} = 0,363 \% (= \text{angenommen})$$

\rightarrow Nachweis **nicht** erfüllt!

Die Biegeschlankheit muss daher reduziert werden. Für $\rho_{\text{erf}} = 0,38 \%$ ergibt sich eine zulässige Biegeschlankheit von $l/d \leq 39$ (siehe auch Grafik).

$\rightarrow \text{erf } d \geq l / 42 \geq 6750 / 39 = 173 \text{ mm}$

im Feld: $h \geq \text{erf } d + \phi + c_v \rightarrow \text{beide Bewehrungslagen}$
 $= 173 + 20 + 30 = 223 \text{ mm}$

gewählt $h = 240 \text{ mm} > \text{erf } h = 223 \text{ mm} > \text{min } h = 200 \text{ mm}$

Der vereinfachte Nachweis der Begrenzung der Durchbiegung nach EC2-1-1 für die Deckenplatte des üblichen Hochbaues gilt damit als erbracht.

Um den direkten Vergleich mit dem Beispiel 4 aus der DBV-Beispielsammlung [10] nach DIN 1045-1 zu erleichtern, wird im Folgenden mit Variante b): normale Anforderungen an die Durchhangbegrenzung mit einer Deckendicke von **240 mm** weitergerechnet.

2 Einwirkungen

2.1 Charakteristische Werte

Bezeichnung der Einwirkungen	Charakteristischer Wert (kN/m ²)
Ständig (Eigenlasten):	
- 240 mm Stahlbetonvollplatte: $0,24 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3$	6,00
- Belag und abgehängte Decke	1,25
Summe:	$g_k = 7,25$
Veränderlich:	
- Nutzlast	2,00
- Trennwandzuschlag	1,25
Summe:	$q_{k,1} = 3,25$

2.2 Bemessungswerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit:

Einwirkungen:	günstig	ungünstig
• ständige	$\gamma_G = 1,0$	$\gamma_G = 1,35$
• veränderliche	$\gamma_Q = 0$	$\gamma_Q = 1,50$

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot 7,25 = 9,79 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,1} = \gamma_Q \cdot q_{k,1} = 1,50 \cdot 3,25 = 4,88 \text{ kN/m}^2$$

$$e_d = 14,67 \text{ kN/m}^2$$

EC2-1-1, (NCI) 9.3.2: (1) Mindestdicke für Platten mit Durchstanzbewehrung: $\text{min } h = 200 \text{ mm}$

siehe auch 3.1: aus den Gurt- und Feldstreifen gewichtet
 $(d_z + d_f) / 2 = 0,19 \text{ m}$

EC2-1-1, Gleichung (7.16a) für $\rho \leq \rho_0$

$$\frac{l}{d} = 1,2 \cdot \left[11 + 1,5 \sqrt{35} \frac{0,59}{0,38} + 3,2 \sqrt{35} \left(\frac{0,59}{0,38} - 1 \right)^{3/2} \right] = 39$$

Wird bei der Bemessung im GZT der Schätzwert ρ unterschritten, ist der Verformungsnachweis mit dem oberen Grenzwert der Biegeschlankheit l/d erbracht. Anderenfalls sind die Deckendicke zu vergrößern bzw. der Nachweis genauer zu führen \rightarrow hier nicht erforderlich.

Zur Erfüllung der erhöhten Anforderungen an die Durchbiegungsbegrenzung nach EC2-1-1, 7.4.1 (5) wäre eine Vergrößerung der Deckendicke auf 260 mm erforderlich (siehe Variante a).

Hinweis: Mindestbauteildicke für Feuerwiderstand gemäß EC2-1-2 zusätzlich beachten (siehe 4.4)

Index k = charakteristisch
 Fassadenlasten (horizontal und vertikal) werden in diesem Beispiel nicht behandelt.

EC1-1-1, Tab. A.1: Stahlbeton

Annahme

EC1-1-1, (NDP) Tab. 6.1DE, Kategorie B1
 Büroflächen ohne besondere Anforderungen einschließlich der Flure mit $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ und Trennwandzuschlag $\Delta q_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$
 EC1-1-1, (NCI) 6.3.1.2: (8)
 für Trennwände mit Eigenlasten (inkl. Putz) von $3 \text{ kN/m} < q_k \leq 5 \text{ kN/m}$
 \rightarrow Zuschlag $\Delta q_k \geq 1,2 \text{ kN/m}^2$

EC0, (NDP) A.1.3.1 (4), Tab. NA.1.2 (B):

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen ungünstig bzw. günstig
 Die günstige Auswirkung der veränderlichen Einwirkung ist durch feldweise Lastanordnung zu berücksichtigen (entspricht $\gamma_Q = 0$).

EC2-1-1, 2.4.3: (2) Für die Eigenlast darf durchgängig entweder der untere oder der obere Bemessungswert innerhalb eines Tragwerks verwendet werden, je nachdem, welcher Wert ungünstiger wirkt.

2.3 Repräsentative Werte in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

Kombinationsbeiwert für veränderliche Einwirkungen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit:

- quasi ständige Einwirkungskombination: $\psi_{2,1} = 0,30$

Der Trennwandzuschlag zur Nutzlast $\Delta q_k = 1,25 \text{ kN/m}^2$ sollte in Bezug auf seinen Dauerlastanteil nicht mit ψ_2 abgemindert werden.

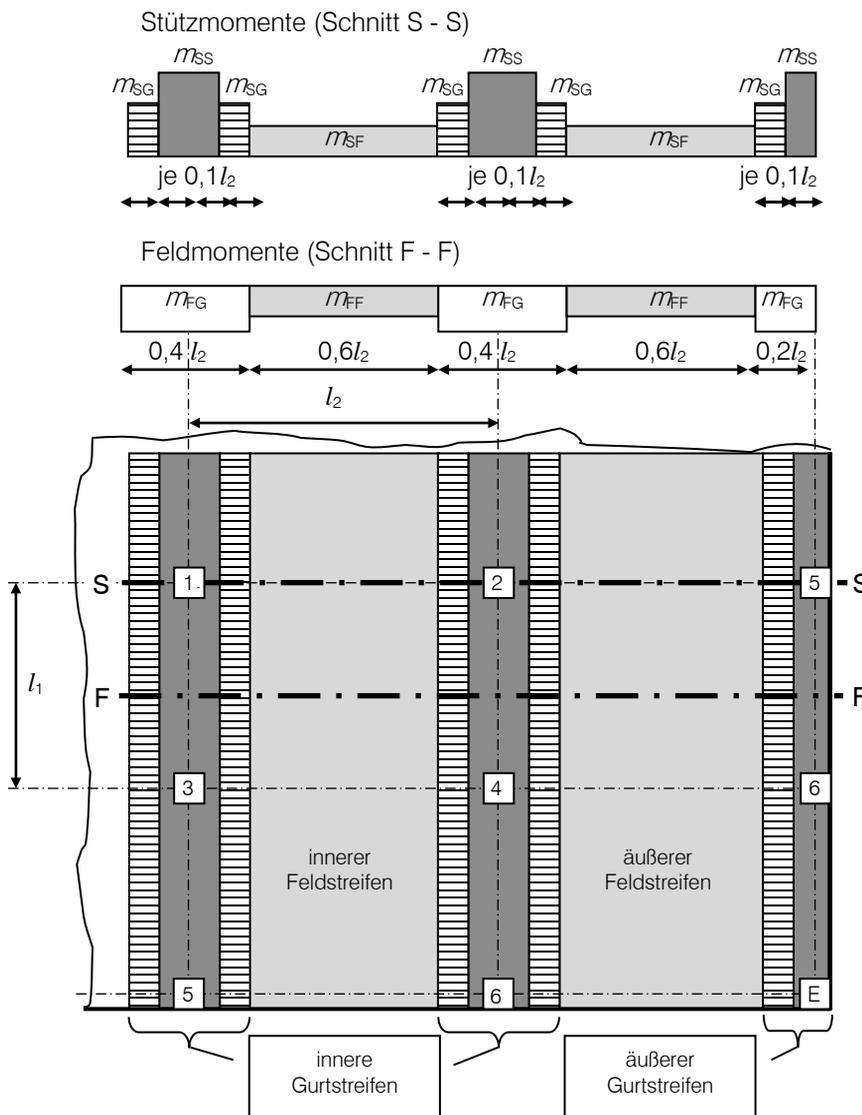
$$\begin{aligned} g_k &= 7,25 \text{ kN/m}^2 \\ \Delta q_k &= 1,25 \text{ kN/m}^2 \\ \psi_{2,1} \cdot q_k &= 0,3 \cdot 2,00 = 0,60 \text{ kN/m}^2 \\ e_{\text{perm}} &= 9,10 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

3 Schnittgrößenermittlung

3.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Näherungsverfahren zur Ermittlung der Momente in Flachdecken nach der Plattentheorie:

Verteilung der Momente **rechtwinklig** zur betrachteten Tragrichtung **1**:



EC0, 3.4: Kombinationsregeln für Einwirkungen

EC0, (NDP) A.1.2.2, Tab. NA.1.1:
Nutzlasten Kategorie B: Büros
→ siehe auch Anlage A11

Empfehlung

Für den Nachweis der Begrenzung der Rissbreiten nach EC2-1-1, 7.3 (siehe 5.2.2).

DAfStb-Heft [631]: Hilfsmittel zur Schnittgrößenermittlung und zu besonderen Detailnachweisen bei Stahlbetontragwerken Abschnitt 3.1.2.2: Näherungsverfahren zur Ermittlung der Momente nach der Plattentheorie

Das Näherungsverfahren ist zulässig, da $\varepsilon = l_1 / l_2 = 1,0$ in den Einzelfeldern und im Verhältnis der Nachbarfelder stets $0,67 \leq l_1 / l_2 \leq 1,50$ ist.

Auf eine mögliche Umlagerung der Stützmomente nach EC2-1-1, 5.5 aus der linear-elastischen Näherungsberechnung wird im Rahmen dieses Beispiels aus Vereinfachungsgründen verzichtet. Eine größere Menge der Längsbewehrung über den Stützen erhöht maßgeblich die Querkrafttragfähigkeit der Flachdecken gegenüber Durchstanzen.

- 1 – Innenstütze
- 2 + 3 – erste Innenstütze
- 4 – innere Eckstütze
- 5 – Randstütze
- 6 – erste Randstütze
- E – Eckstütze

Gleichungen:

Stützmomente:

(3.1) $m_{SS} = (k_{SS}^g \cdot g + k_{SS}^q \cdot q) \cdot c \cdot l_{m1}^2$
 (3.2) $m_{SS} = (M_{Su} - M_{So}) / [d_s \cdot (2,2 + 8d_s / l)]$
 (3.3) $m_{SS} = (M_{Su} - M_{So}) / 1,5d_s$
 (3.4) $m_{SG} = 0,7 \cdot m_{SS}$
 (3.5) $m_{SF} = (k_{SF}^g \cdot g + k_{SF}^q \cdot q) \cdot l_{m1}^2$

Feldmomente:

(3.6) $m_{FG} = (k_{FG}^g \cdot g + k_{FG}^q \cdot q) \cdot l_1^2$
 (3.7) $m_{FF} = (k_{FF}^g \cdot g + k_{FF}^q \cdot q) \cdot l_1^2$

Kopf- und Fußmomente:

(3.9) $M_{So} = M_R^{(0)} \cdot c_o / (1 + c_o + c_u)$
 (3.10) $M_{Su} = M_R^{(0)} \cdot c_u / (1 + c_o + c_u)$
 (3.13) $M_R^{(0)} = -\psi \cdot (g + q) \cdot b_L \cdot l_1^2 / 12$

DAfStb-Heft [631]: Abschnitt 3.1.2.2

- 3.1 Gurtstreifen über der Stütze
- 3.2 Randstützenanschnitt rechth. zum Rand
- 3.3 Eckstützenanschnitt rechtwinklig zum Rand
- 3.4 im restlichen Gurtstreifen
- 3.5 im Feldstreifen
- 3.6 im Gurtstreifen
- 3.7 im Feldstreifen

l_{m1} mittlere Stützweite benachbarter Felder der betrachteten Richtung

l_{m2} mittlere Stützweite benachbarter Felder rechtwinklig zur betrachteten Richtung

l_1 Stützweite der betrachteten Richtung

l_2 Stützweite rechtwinklig zur betrachteten Richtung

$\min l_1$ kleinere Stützweite der betrachteten Richtung

d_s Kantenlänge Quadratstütze = 0,45 m

c Korrekturfaktor abhängig von d_s und ε

DAfStb-Heft [631]: Abschnitt 3.1.2.3

ψ Korrekturbewert nach Bild 3.3

b_L Lasteinzugsbreite rechtwinklig zur betrachteten Richtung

Innenfeld in z- und y-Richtung									
		l_1 (m) = 6,75 m		l_2 (m) = 6,75					
		$\varepsilon = 1,0$		$d_s / \min l_i = 0,067$		Tab. 3.4:		$c = 1,00$	
		g [kN/m ²] = 9,79		q [kN/m ²] = 4,88					
Tab.: Streifen:	Feldmomente		Stützmomente						
	3.1 Feld	3.1 Gurt	3.1 Feld	(1) Innenstütze		(2) 1. Innenstütze		(4) Innere Eckstütze	
	k_{FF}	k_{FG}	k_{SF}	k_{SS}		k_{SS}		k_{SS}	
Lastfall g	0,041	0,052	-0,030	-0,203		-0,247		-0,273	
max q	0,083	0,089							
min q			-0,050	-0,277		-0,296		-0,303	
Gl.:	3.7	3.6	3.5	3.4	3.1	3.4	3.1	3.4	3.1
Lastfall g	m_{FF}	m_{FG}	m_{SF}	m_{SG}	m_{SS}	m_{SG}	m_{SS}	m_{SG}	m_{SS}
	18,29	23,19	-13,38	-63,38	-90,55	-77,1	-110,18	-85,24	-121,77
max q	18,45	19,79							
min q			-11,12	-43,11	-61,59	-46,1	-65,81	-47,16	-67,37
Summe m:	36,74	42,98	-24,50	-106,50	-152,14	-123,2	-175,99	-132,40	-189,14

DAfStb-Heft [631]:
Abschnitt 3.1.2.2

$\varepsilon =$ Stützweitenverhältnis = 1

siehe 2.2: $g + q = e_d$

Randfeld in Richtung des freien Randes									
		l_1 (m) = 6,75		l_2 (m) = 6,75					
		$\varepsilon = 1,0$		$d_s / \min l_i = 0,067$		Tab. 3.4:		$c = 1,00$	
		g (kN/m ²) = 9,79		q (kN/m ²) = 4,88					
Tab.: Streifen:	Feldmomente			Stützmomente					
	3.2 äußerer Gurt	3.2 Feld	3.2 innerer Gurt	3.2 Feld	(5) Randstütze		(6) 1. Randstütze		
	k_{FG}	k_{FF}	k_{FG}	k_{SF}	k_{SS}		k_{SS}		k_{SS}
Lastfall g	0,063	0,045	0,055	-0,033	-0,165		-0,198		
max q	0,097	0,086	0,090						
min q				-0,045	-0,211		-0,225		
Formel:	3.6	3.7	3.6	3.5	3.4	3.1	3.4	3.1	
Lastfall g	m_{FG}	m_{FF}	m_{FG}	m_{SF}	m_{SG}	m_{SS}	m_{SG}	m_{SS}	
	28,10	20,07	24,53	-14,72	-51,52	-73,60	-61,82	-88,32	
max q	21,57	19,12	20,01						
min q				-10,01	-32,84	-46,91	-35,02	-50,03	
Summe m:	49,67	39,19	44,54	-24,73	-84,36	-120,51	-96,84	-138,35	

DAfStb-Heft [631]:
Abschnitt 3.1.2.2

$\varepsilon =$ Stützweitenverhältnis = 1

parallel zum freien Rand!

siehe 2.2: $g + q = e_d$

Randfeld rechteckig zum freien Rand					Für Randstützen		
$l_1 (m) = 6,75$ $l_2 (m) = 6,75$ $\varepsilon = 1,0$ $d_s / \min l_i = 0,067$ Tab. 3.4: $c = 1,00$ $g (kN/m^2) = 9,79$ $q (kN/m^2) = 4,88$					Ersatzrahmen Abschnitt 3.1.2.2:		
					Bild 3.3: $\psi = 0,701$ $\lambda = 0,468$		
					Gl. 3.8: $b_m(m) = 3,16$		
					$I_{So}(m^4) = 0,00342$ $I_{Su}(m^4) = 0,00342$ $I_R(m^4) = 0,00363$		
					$h_o = 3 m$ $c_o = 2,12$ $h_u = 3 m$ $c_u = 2,12$		
		Feldmomente		Stützmomente			
Tab.:	3.2	3.2	3.2	(5) + (6)			
Streifen:	Feld	Gurt	Feld	Randstützen			
				3.5			
				Gurt	Gurt	Gurt	
Lastfall	k_{FF}	k_{FG}	k_{SF}				
g	0,069	0,080	-0,047				
max q	0,095	0,104					
min q			-0,058				
Gl.:	3.7	3.6	3.5	3.4	3.2		
Lastfall	m_{FF}	m_{FG}	m_{SF}	m_{SG}	m_{SS}		
g	30,78	35,68	-20,96				
max q	21,12	23,12	0,00				
min q	0,00	0,00	-12,90				
Summe m:	51,90	58,81	-33,86	-121,35	-173,35		
					$M_R^{(0)}$	M_{So}	M_{Su}
					-263,56	106,61	-106,61

DAfStb-Heft [631]:
 Abschnitt 3.1.2.2
 Momente in den Rand- und Eckstützen von Flachdecken
 $\varepsilon =$ Stützweitenverhältnis = 1
 $\psi = 0,5 + 3 \cdot (d_s / \min l_2)$
 $\lambda = 0,2 + 4 \cdot (d_s / \min l_2)$
 für $0,4 \leq \lambda \leq 1,0$
 $b_m = \lambda \cdot \min l_2$
 siehe 2.2: $g + q = e_d$

Trägheitsmomente
 Ersatzrahmen:
 $I_{So} = I_{Su} = 0,45^4 / 12$
 $I_R = b_m \cdot 0,24^3 / 12$
 $c_o = l_1 \cdot I_{So} / (h_o \cdot I_R)$ Gl. (3.11)
 $c_u = l_1 \cdot I_{Su} / (h_u \cdot I_R)$ Gl. (3.12)

Lasteinzugsbreite:
 $b_L = 6,75 m$

Eckfeld in z- und y-Richtung							Für Eckstützen		
$l_1 (m) = 6,75$ $l_2 (m) = 6,75$ $\varepsilon = 1,0$ $d_s / \min l_i = 0,067$ Taf. 3.4: $c = 1,00$ $g (kN/m^2) = 9,79$ $q (kN/m^2) = 4,88$							Ersatzrahmen Abschnitt 3.1.2.2:		
							Bild 3.3: $\psi = 0,900$ $\lambda = 0,733$		
							$\min l_2(m) = 3,375$ $d_s / \min l_2 = 0,133$ Gl. 3.8: $b_m(m) = 2,48$		
							$I_{So}(m^4) = 0,00342$ $I_{Su}(m^4) = 0,00342$ $I_R(m^4) = 0,00284$		
							$h_o = 3 m$ $c_o = 2,70$ $h_u = 3 m$ $c_u = 2,70$		
		Feldmomente			Stützmomente				
Tab.:	3.3	3.3	3.3	3.2	(E) Eckstütze				
Streifen:	äußerer	Feld	innerer	Feld	3.5				
					Gurt	Gurt			
Lastfall	k_{FG}	k_{FF}	k_{FG}	k_{SF}					
g	0,085	0,070	0,082	-0,042					
max q	0,105	0,094	0,102						
min q				-0,049					
Gl.:	3.6	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3			
Lastfall	m_{FG}	m_{FF}	m_{FG}	m_{SF}	m_{SG}	m_{SS}			
g	37,91	31,22	36,58	-18,73					
max q	23,35	20,90	22,68	0,00					
min q	0,00	0,00	0,00	-10,89					
Summe m:	61,26	52,12	59,26	-29,63	-148,07	-211,53			
					$M_R^{(0)}$	M_{So}	M_{Su}		
					-169,19	71,39	-71,39		

DAfStb-Heft [631]:
 Abschnitt 3.1.2.2
 Momente in den Rand- und Eckstützen von Flachdecken
 $\varepsilon =$ Stützweitenverhältnis = 1
 $\psi = 0,5 + 3 \cdot (d_s / \min l_2)$
 $\lambda = 0,2 + 4 \cdot (d_s / \min l_2)$
 für $0,4 \leq \lambda \leq 1,0$
 $b_m = \lambda \cdot \min l_2$
 siehe 2.2: $g + q = e_d$

Trägheitsmomente
 Ersatzrahmen:
 $I_S = 0,45^4 / 12$
 $I_R = b_m \cdot 0,24^3 / 12$
 Lasteinzugsbreite:
 $b_L = 6,75 / 2 m$

Die Erfahrungen mit dem hier angewandten Näherungsverfahren nach DAfStb-Heft [631] zeigen, dass die an einem Ersatzrahmen ermittelten Einspannmomente der Rand- und Eckstützen rechteckig zum Plattenrand oft sehr weit auf der sicheren Seite liegen. Wesentliche Ursache hierfür ist die zu hoch angesetzte mitwirkende Plattenbreite für den Riegel des Ersatzrahmens. Weiterhin werden diese zu hohen Momente aus den Stützen bei der Bemessung der angrenzenden Plattenbereiche noch einmal mit einem Erhöhungsfaktor belegt. Es ergibt sich eine unwirtschaftliche Lösung für die Rand- und Eckstützen sowie für die angrenzenden Plattenbereiche.

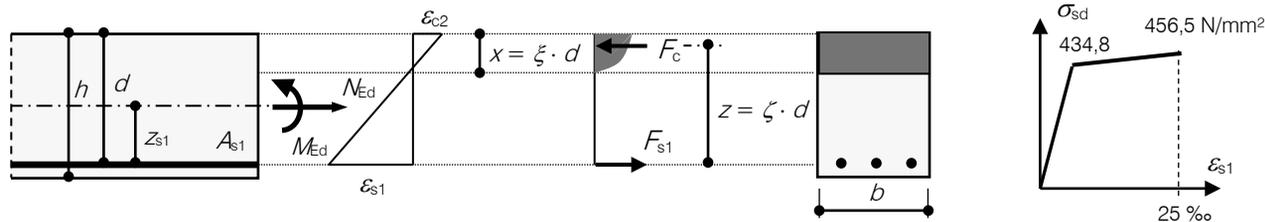
Diskretisierungsverfahren (z. B. die FEM) für die Schnittgrößenermittlung erfassen die Steifigkeitsverhältnisse insgesamt besser und können realistischere Bemessungsergebnisse liefern.

Auf eine im Allgemeinen zu empfehlendere detailliertere Untersuchung der Einspannmomente an den Rand- und Eckstützen wird im Rahmen dieses Beispiels verzichtet, da die prinzipiellen Nachweisabläufe des EC2-1-1 im Vordergrund stehen sollen.

Zweckmäßigerweise können die effektiven Biegesteifigkeiten der Stützen auch mit gegenüber Zustand I reduzierten Werten angesetzt werden. Dann werden geringere Endmomente an den Rand- und Eckstützen angezogen, die realistischer sind.

Anhang Bemessungstabeln Biegung mit Längskraft

A4 ω -Tafel, ohne Druckbewehrung, für Beton bis C50/60, B500, σ_{sd} ansteigend bis $f_{td,cal}$



bezogenes Moment:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c} \quad (\text{Druckkraft negativ})$$

erforderliche Biegezugbewehrung:

$$A_{s1} = \frac{\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{sd}}$$

μ_{Eds}	ω_1	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	ϵ_{c2} ‰	ϵ_{s1} ‰	σ_{sd} N/mm ²
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,77	25,00	456,5
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,15	25,00	456,5
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,46	25,00	456,5
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,76	25,00	456,5
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,06	25,00	456,5
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,37	25,00	456,5
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,68	25,00	456,5
0,08	0,0836	0,107	0,956	-3,01	25,00	456,5
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,35	25,00	456,5
0,10	0,1058	0,131	0,946	-3,50	23,29	454,9
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,50	20,71	452,4
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,50	18,55	450,4
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,50	16,73	448,6
0,14	0,1519	0,188	0,922	-3,50	15,16	447,1
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,50	13,80	445,9
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,50	12,61	444,7
0,17	0,1882	0,232	0,903	-3,50	11,55	443,7
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,50	10,62	442,8
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,50	9,78	442,0
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,50	9,02	441,3
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,50	8,33	440,6
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,50	7,71	440,1
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,50	7,13	439,5
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,50	6,60	439,0
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,50	6,12	438,5
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,50	5,67	438,1
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,50	5,25	437,7
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,50	4,86	437,3
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,50	4,49	437,0

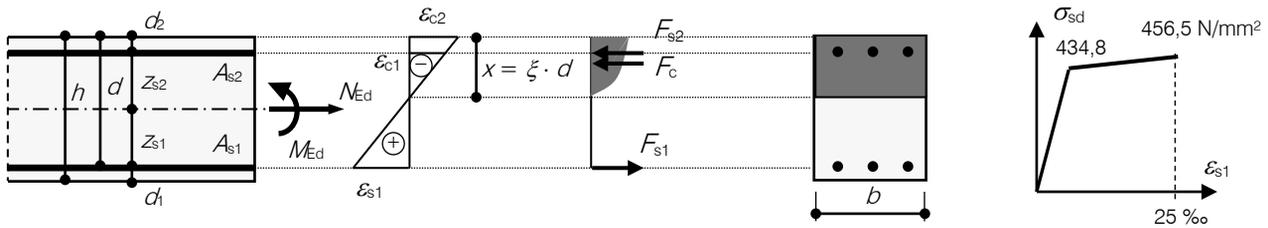
5.4 (NA.5): Linear-elastische Berechnung Biegebauteile $\xi > 0,45 \rightarrow$ Druckbewehrung empfehlenswert \rightarrow A5

0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,50	4,15	436,7
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,50	3,82	436,4
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,50	3,52	436,1
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,50	3,23	435,8
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,50	2,95	435,5
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,50	2,69	435,3
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,50	2,44	435,0
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,50	2,20	434,8

Bemessungswert der Fließgrenze des Betonstahls wird unterschritten \rightarrow Druckbewehrung empfehlenswert \rightarrow A5

Anhang Bemessungstabeln Biegung mit Längskraft

A5 ω -Tafel, mit Druckbewehrung, für $\xi_{lim} = 0,45$, für Beton bis C50/60, B500, σ_{sd} ansteigend bis $f_{td,cal}$



bezogenes Moment:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}}{b \cdot d^2 \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c} \quad (\text{Druckkraft negativ})$$

erforderliche Biegezugbewehrung:

$$A_{s1} = \frac{\omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s1d}}$$

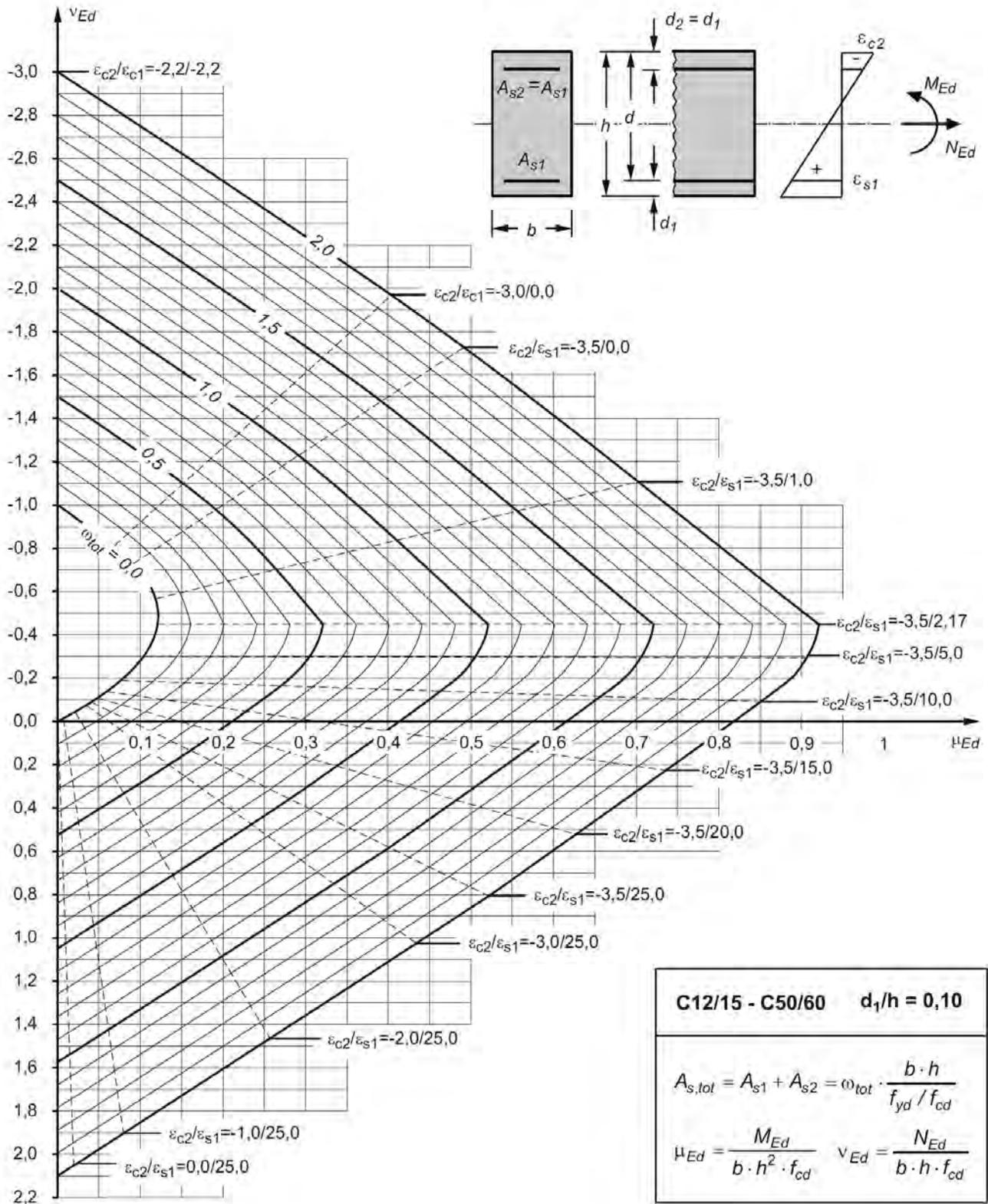
erforderliche Druckbewehrung:

$$A_{s2} = \frac{\omega_2 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}}{\sigma_{s2d}}$$

μ_{Eds}	$\sigma_{s1d} = 436,8 \text{ N/mm}^2$							
	$d_2 / d = 0,05$		$d_2 / d = 0,10$		$d_2 / d = 0,15$		$d_2 / d = 0,20$	
	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2
	$\sigma_{s2d} = -435,7 \text{ N/mm}^2$		$\sigma_{s2d} = -435,3 \text{ N/mm}^2$		$\sigma_{s2d} = -434,9 \text{ N/mm}^2$		$\sigma_{s2d} = -388,9 \text{ N/mm}^2$	
0,30	0,3684	0,0041	0,3686	0,0043	0,3689	0,0046	0,3692	0,0049
0,31	0,3789	0,0146	0,3797	0,0155	0,3806	0,0164	0,3817	0,0174
0,32	0,3895	0,0252	0,3908	0,0266	0,3924	0,0281	0,3942	0,0299
0,33	0,4000	0,0357	0,4020	0,0377	0,4042	0,0399	0,4067	0,0424
0,34	0,4105	0,0462	0,4131	0,0488	0,4159	0,0517	0,4192	0,0549
0,35	0,4210	0,0567	0,4242	0,0599	0,4277	0,0634	0,4317	0,0674
0,36	0,4316	0,0673	0,4353	0,0710	0,4395	0,0752	0,4442	0,0799
0,37	0,4421	0,0778	0,4464	0,0821	0,4512	0,0869	0,4567	0,0924
0,38	0,4526	0,0883	0,4575	0,0932	0,4630	0,0987	0,4692	0,1049
0,39	0,4631	0,0989	0,4686	0,1043	0,4748	0,1105	0,4817	0,1174
0,40	0,4737	0,1094	0,4797	0,1155	0,4865	0,1222	0,4942	0,1299
0,41	0,4842	0,1199	0,4908	0,1266	0,4983	0,1340	0,5067	0,1424
0,42	0,4947	0,1304	0,5020	0,1377	0,5101	0,1458	0,5192	0,1549
0,43	0,5052	0,1410	0,5131	0,1488	0,5218	0,1575	0,5317	0,1674
0,44	0,5158	0,1515	0,5242	0,1599	0,5336	0,1693	0,5442	0,1799
0,45	0,5263	0,1620	0,5353	0,1710	0,5454	0,1811	0,5567	0,1924
0,46	0,5368	0,1725	0,5464	0,1821	0,5571	0,1928	0,5692	0,2049
0,47	0,5473	0,1831	0,5575	0,1932	0,5689	0,2046	0,5817	0,2174
0,48	0,5579	0,1936	0,5686	0,2043	0,5806	0,2164	0,5942	0,2299
0,49	0,5684	0,2041	0,5797	0,2155	0,5924	0,2281	0,6067	0,2424
0,50	0,5789	0,2146	0,5908	0,2266	0,6042	0,2399	0,6192	0,2549
0,51	0,5895	0,2252	0,6020	0,2377	0,6159	0,2517	0,6317	0,2674
0,52	0,6000	0,2357	0,6131	0,2488	0,6277	0,2634	0,6442	0,2799
0,53	0,6105	0,2462	0,6242	0,2599	0,6395	0,2752	0,6567	0,2924
0,54	0,6210	0,2567	0,6353	0,2710	0,6512	0,2869	0,6692	0,3049
0,55	0,6316	0,2673	0,6464	0,2821	0,6630	0,2987	0,6817	0,3174

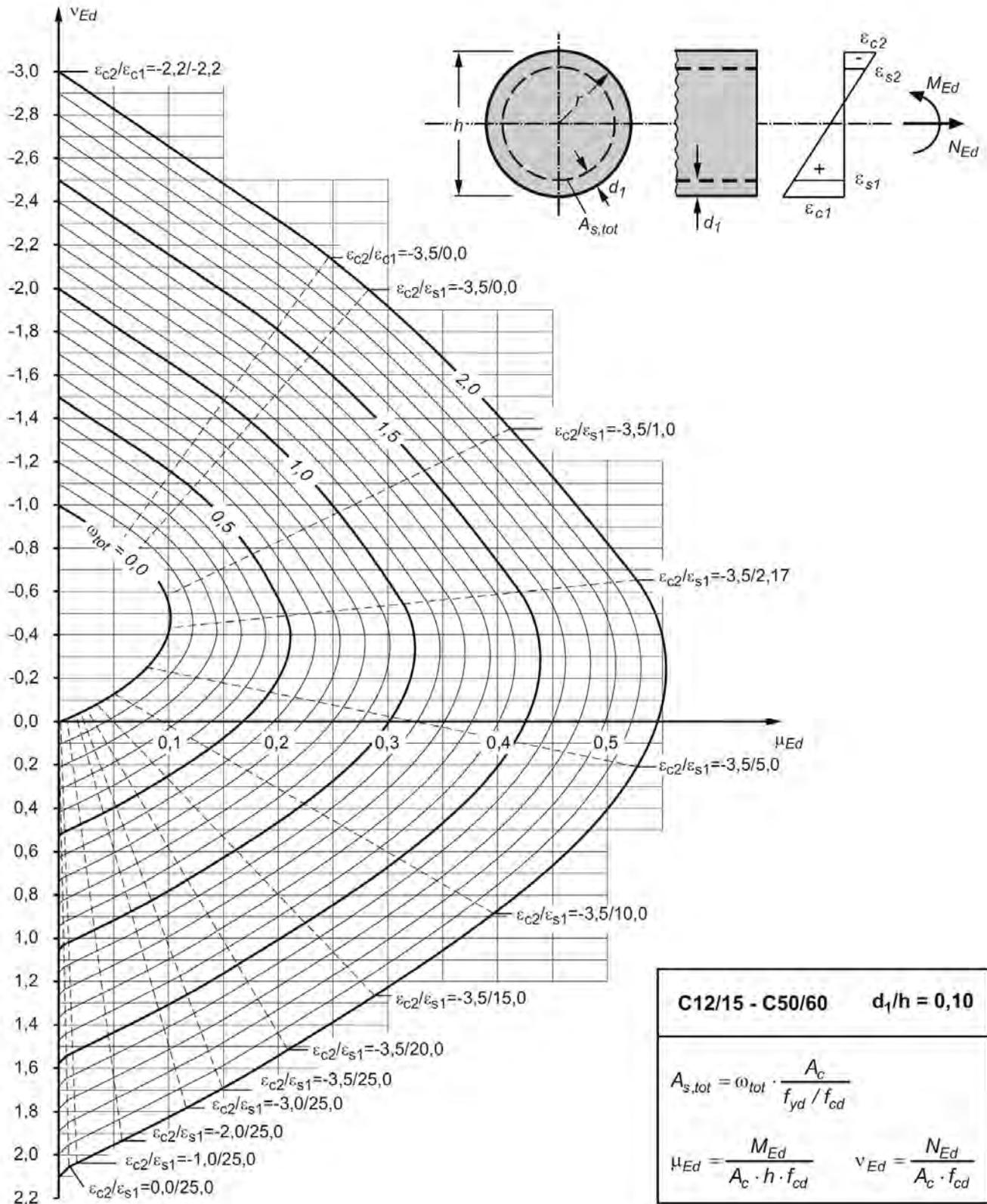
Anhang Bemessungstabeln Biegung mit Längskraft

A6 Interaktionsdiagramm für den symmetrisch bewehrten Rechteckquerschnitt (C12/15 bis C50/60; $d_1 / h = 0,10$; B500; $\gamma_s = 1,15$) [12]



Anhang Bemessungstabeln Biegung mit Längskraft

A7 Interaktionsdiagramm für Kreisquerschnitt
(C12/15 bis C50/60; $d_1 / h = 0,10$; B500; $\gamma_s = 1,15$) [12]



Anhang Bemessungstabeln Biegung mit Längskraft

A8 Allgemeines Bemessungsdiagramm für Rechteckquerschnitte (C12/15 bis C50/60) [12]

