

2.9 Bemessungsbeispiel

2.9.1 Einachsig gespannte Decke

Eingangswerte

h/d	18 cm / 15 cm
Stützweite	l = 4,0 m (Einfeldträger, direkte Lagerung)
Verkehrslast	q _k = 1,5 kN/m ²
Eigengewicht (Decke + Ausbau)	g _k = 6,0 kN/m ²
Beton	C20/25
Gitterträger	Standardträger, s _T = 62,5 cm, h _{GT} = 12 cm (Untergurt Ø5, Obergurt Ø8, Diagonale Ø5)
Innenbauteil	Expositionsklasse XC 1

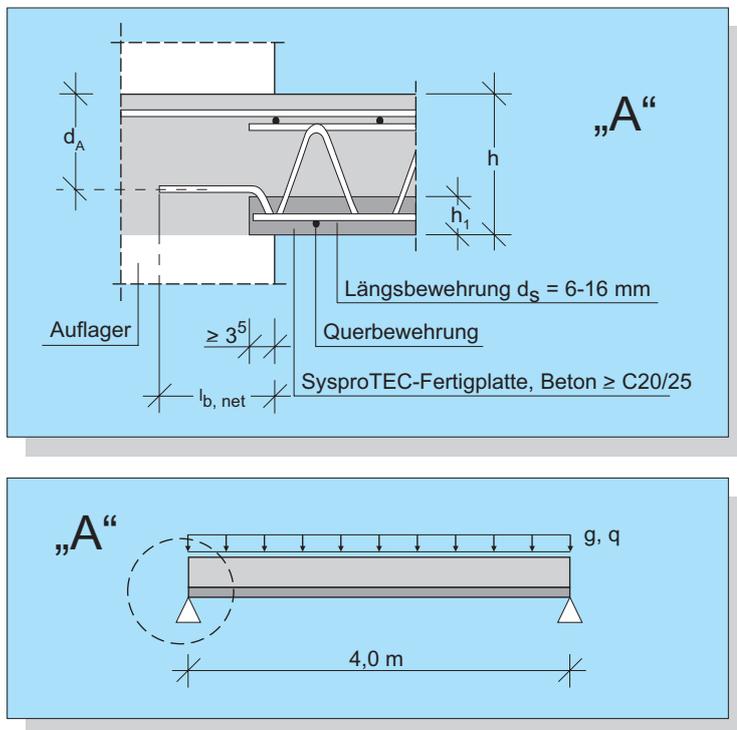


Bild 2.31: Statisches System und Auflagerdetail A

Der Bemessungswert der einaxialen Betondruckfestigkeit f_{cd} und der Stahlstreckgrenze f_{yd} ergibt sich nach DIN 1045-1 bzw. nach Abschnitt 1, Tabelle 1.3, weiter vorne:

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot 20/1,5 = 11,33 \text{ MN/m}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = 500/1,15 = 435 \text{ MN/m}^2 \text{ für gerippte Stäbe}$$

Unter Anwendung folgender Gleichung nach DIN 1055-100 sind verschiedene Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu berücksichtigen.

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,i}$$

Es ergibt sich somit folgende Lastkombination für die einwirkende Bemessungslast q_d :

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 1,35 \cdot 6,0 + 1,5 \cdot 1,5 = 10,35 \text{ kN/m}^2$$

Daraus folgen die Bemessungsschnittgrößen zu:

$$\text{Moment in Feldmitte:} \quad M_{Ed} = 10,35 \cdot \frac{4,0^2}{8} = 20,7 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Querkraft am Auflager:} \quad V_{Ed} = 10,35 \cdot \frac{4,0}{2} = 20,7 \text{ kN/m}$$

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung für Biegung erfolgt nach dem Bemessungsverfahren mit dimensionslosen Beiwerten. Da keine Normalkräfte wirken, entspricht das Moment in der Schwereachse M_{Ed} dem Moment M_{Eds} auf Höhe der Bewehrung. Es gilt:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,0207}{1,0 \cdot 0,15^2 \cdot 11,3} = 0,081$$

Aus der Bemessungstabelle in Bild 2.8 lassen sich damit die Beiwerte ablesen:

$$\omega = 0,081; \quad x/d = 0,109; \quad \sigma_{sd} = 457 \text{ N/mm}^2$$

Mit $\sigma_{sd} = 457 \text{ N/mm}^2$ ist der ansteigende Ast der Spannungs-Dehnungs-Linie nach Bild 27 der Norm erfasst.

Die erforderliche Bewehrung berechnet sich zu:

$$a_{s,erf} = \frac{1}{\sigma_{sd}} \cdot (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd}) = \frac{1}{457} \cdot (0,081 \cdot 1,0 \cdot 0,15 \cdot 11,3) \cdot 10^4 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Gewählt:

Ø 8/18 und Untergurte der Gitterträger ($2 \cdot \text{Ø } 5 / 62,5 = > a_s = 0,63 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Damit insgesamt

$$a_{s,vorh} = 0,63 + 2,79 = 3,42 \text{ cm}^2/\text{m} > 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Die Zulagebewehrung wird nicht über die Bauteillänge abgestuft, so dass mehr als die geforderten 50 % der Feldbewehrung über das Auflager gezogen werden.

Mindestbewehrung nach Tabelle 2.10:

$$M_{cr} = 11,9 \text{ kNm/m} < M_{Ed} = 20,7 \text{ kNm/m}$$

Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft darf bei direkter Lagerung und gleichmäßig verteilten Lasten nach DIN 1045-1, Abschnitt 10.3.2(1) in einem der statischen Nutzhöhe d entsprechenden Abstand vom Auflagerrand ermittelt werden:

$$V_{Ed}^* = 20,7 - \underbrace{(0,058)}_{1/3 \text{ Auflagerbreite}} + \underbrace{0,15}_d \cdot 10,35 = 18,5 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Tragkraftfähigkeit $V_{Rd,ct}$ ohne erforderliche Querkraftbewehrung

$$V_{Rd,ct} = [0,1 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d$$

Mit der Fläche der gewählten Zugbewehrung $a_{s,vorh}$ beträgt der Längsbewehrungsgrad ρ_l

$$\rho_l = \frac{a_{s,vorh}}{b_w \cdot d} = \frac{2,79 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,15} = 0,00186$$

Die Untergurtstäbe der Gitterträger werden nicht verankert (siehe Seite 199) und sind daher nicht für den Längsbewehrungsgrad ρ_l anzusetzen.

Unter Berücksichtigung des Einflusses der Bauteilhöhe $k = 1 + \sqrt{200/150} = 2,15 \rightarrow \kappa = 2,0$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} V_{Rd,ct} &= [0,1 \cdot 2,0 \cdot (100 \cdot 0,00186 \cdot 20)^{1/3}] \cdot 1,0 \cdot 0,15 \\ &= 0,047 \text{ MN/m} > V_{Ed}^* = 0,0185 \text{ MN/m} \end{aligned}$$

Verbundfuge zwischen Fertigteil und Ortbeton

Die einwirkende Schubkraft V_{Ed} berechnet sich zu:

$$v_{Ed}^* = \frac{F_{cdi}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{ed}}{z} = 1 \cdot 18,5 / (0,9 \cdot 0,15) = 137,0 \text{ kN/m}^2$$

Ohne Anordnung einer Verbundbewehrung beträgt der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft:

$$\begin{aligned} v_{Rd,ct} &= [0,042 \cdot \eta_1 \cdot \beta_{ct} \cdot f_{ck}^{1/3}] \cdot b = [0,042 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 20^{1/3}] \cdot 1,0 \cdot 10^3 \\ &= 228,0 \text{ kN/m}^2 > 137,0 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

In diesem Beispiel wird eine raue Oberflächenbeschaffenheit der Fuge angenommen. Es ist somit rechnerisch keine Verbundbewehrung zur Übertragung der Schubkraft erforderlich.

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Spannungsnachweise für Betondruckspannungen und Betonstahlspannungen können entfallen, da es sich um ein nicht vorgespanntes Tragwerk im üblichen Hochbau handelt und die Schnittgrößen nach der Elastizitätstheorie ermittelt und nicht mehr als 15 % umgelagert wurden (DIN 1045-1, 11.1.1 (3)).

Eine Begrenzung der Rissbreite ist nicht erforderlich, da es sich um eine biegebeanspruchte Platte in Innenräumen mit $h \leq 20$ cm handelt (DIN 1045-1, 11.2.1 (12)).

Die Biegeschlankheit l/d der Platte beträgt:

$$\frac{l}{d} = \frac{4,0}{0,15} = 26,7 < \text{zulässig } \frac{l}{d} = 35 \text{ bzw. } \frac{150}{4,0} = 37,5$$

Somit ist der Nachweis zur Begrenzung der Verformung nach DIN 1045-1, 11.3.2 (2) erfüllt.

Konstruktion

Die am Auflager ankommende Bewehrung ist zu verankern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Untergurtstäbe der Gitterträger 0,5 bis 1 cm vor den Stirnseiten der Fertigplatte im Beton enden. Sie werden bei dem Nachweis der Verankerung nicht mit berücksichtigt. Die Zulagebewehrung ($\emptyset 8/18$; $a_s = 2,79$ cm²/m) wird nicht abgestuft und kann somit vollständig zur Verankerung herangezogen werden.

Das Grundmaß der Verankerungslänge l_b beträgt für die 8 mm-Bewehrungsstäbe in einem Beton C 20/25 gemäß Abschnitt $l_b = 47 \cdot d_s = 37,8$ cm. Dabei wird die Bewehrung mit f_{yd} ermittelt.

Bei reiner Biegung ist die zu verankernde Zugkraft an den Endauflagern gleich der einwirkenden Querkraft V_{Ed} . Der erforderliche Bewehrungsquerschnitt bestimmt sich durch:

$$\text{erf } a_s = \frac{V_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{20,7}{43,5} = 0,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Die tatsächlich erforderliche Verankerungslänge $l_{b,net}$ beträgt damit:

$$l_{b,net} = \alpha_a \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,erf}}{A_{s,vorh}} = 1,0 \cdot 37,8 \cdot \frac{0,48}{2,79} = 6,5 \text{ cm}$$

Die Mindestverankerungslänge $l_{b,min}$ berechnet sich für Zugstäbe zu

$$l_{b,min} = \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_a \cdot l_b = 0,3 \cdot 37,8 = 11,3 \text{ cm (maßgebend)} \\ 10 \cdot d_s = 8 \text{ cm} \end{cases}$$

Bei direkter Lagerung darf abgemindert werden (DIN 1045-1, 13.2.2 (8)):

$$l_{b,dir} = \begin{cases} 11,3 \cdot \frac{2}{3} = 7,53 \text{ cm (maßgebend)} \\ 6 \cdot d_s = 4,8 \text{ cm} \end{cases}$$

Diese Verankerungslänge kann bei einer Auflagertiefe von 17,5 cm sicher eingehalten werden.

2.9.2 Hohe Querkraftbeanspruchung

Zur Verdeutlichung der Bemessung der Verbundfuge bei hoher Schubbeanspruchung, wird die Platte aus Beispiel 1 nun für ein Moment von 40 kNm/m und einer Querkraft von 80 kN/m bemessen.

Die Nachweise entsprechen dem Beispiel 1 bis auf die Nachweise für Querkraft und für die Verbundfuge, daher wird nachfolgend nur noch auf diese beiden Nachweise eingegangen.

Eingangswerte

$$M_{Ed} = 40,0 \text{ kNm/m} \quad \text{und} \quad V_{Ed} = 80,0 \text{ kN/m}$$

Die Querkraft im Abstand d vom Auflager beträgt $V_{Ed}^* = 70,0 \text{ kN/m}$

Aus dem Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Biegung ergibt sich $a_s = 6,8 \text{ cm}^2/\text{m}$. Diese Längsbewehrung wird für die weiteren Nachweise angesetzt.

Querkraftnachweis

Der Bemessungswert ohne Querkraftbewehrung beträgt nach Tabelle 2.4 näherungsweise:

$$V_{Rd,ct}/d = 376 \text{ kN/m}^2 < V_{Ed}^*/d = 70/0,15 = 467 \text{ kN/m}^2$$

Damit ist Querkraftbewehrung erforderlich. Gewählt:

Standardträger: $s_T = 62,5 \text{ cm}$; $s_d = 20 \text{ cm}$; $\varnothing_{diag} = 5 \text{ mm}$ ($0,196 \text{ cm}^2$, glatte Stäbe)
dazwischen Querkraftträger $\varnothing_{diag} = 7 \text{ mm}$ ($0,385 \text{ cm}^2$)

Die Standardträger reichen nicht aus:

$$a_{s,vorh} = 2 \cdot 0,196 / (0,625 \cdot 0,20) = 3,14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$V_{Rd,sy} = a_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha =$$

$$= 3,14 \cdot 36,5 \cdot 0,9 \cdot 0,15 \cdot (1,2 + \cot 45) \cdot \sin 45 = 24 \text{ kN/m}$$

Für die Querkraftträger wird mit

$$a_{s,vorh} = 2 \cdot 0,385 / (0,625 \cdot 0,20) = 6,28 \text{ cm}^2/\text{m}:$$

$$V_{Rd,sy} = a_{sw} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot [(\cot\theta + \cot 45^\circ) \cdot \sin 45^\circ + (\cot\theta + \cot 90^\circ) \cdot \sin 90^\circ] =$$

$$= 6,28 \cdot 36,5 \cdot 0,9 \cdot 0,15 \cdot ((1,0 + 1,0) \cdot 0,707 + 1,0) =$$

$$= 75 \text{ kN/m} > V_{Ed}^* = 70 \text{ kN/m}$$

Zum Vergleich aus Tabelle 2.5 b:

$$V_{Rd,sy} = 543 \cdot (0,9 \cdot 0,15) = 73 \text{ kN/m}$$

Die maximale Druckstreben­tragfähigkeit ist nach Tabelle 2.6 für $\alpha = 90^\circ$ eingehalten.

Mit $0,3 \cdot V_{Rd,max} / z = 1275 \text{ kN/m}^2$ wird

$$0,3 \cdot V_{Rd,max} = 1275 \cdot 0,9 \cdot 0,15 = 172 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 80,0 \text{ kN/m}$$

Nachweis der Verbundfuge

Einwirkende Schubkraft $V_{Ed} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z} = 1 \cdot 70 / (0,9 \cdot 0,15) = 519 \text{ kN/m}^2$

Bemessungswert $v_{Rd,ct}$ einer rauhen Verbundfuge nach Tabelle 2.8:

$$V_{Rd,ct} = 228 \text{ kN/m}^2 < V_{Ed}$$

Folglich ist eine Verbundbewehrung entsprechend Tabelle 2.9 vorzusehen.
Es ergibt sich für $V_{Rd,sy} = V_{Ed} = 517 \text{ kN/m}^2$:

$$\cot\theta = 1,41$$

$$a_{s,erf} = 8,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Damit sind die vorgesehenen Querkraft- und Standard-Gitterträger ausreichend.

2.9.3 Zweiachsig gespannte Decke

Eingangswerte

h/d _x (d _y)	20 cm / 17,5 cm (14,0 cm siehe Erläuterung auf Seite 192)
Stützweite	l _x / l _y = 5,5 m / 6,6 m (zweiachsig gespannte Platte, direkte Lagerung)
Verkehrslast Eigengewicht (Decke + Ausbau)	q _k = 3,5 kN/m ² g _k = 6,5 kN/m ²
Beton Gitterträger	C20/25 Standardträger, s _T = 50 cm, h _{GT} = 14 cm (Obergurt Ø 8, Untergurt Ø 5, Diagonale Ø 5)
Innenbauteil	Expositions­klasse XC 1
Bemessungswerte:	f _{cd} = 11,33 MN/m ² f _{yd} = 435 MN/m ²

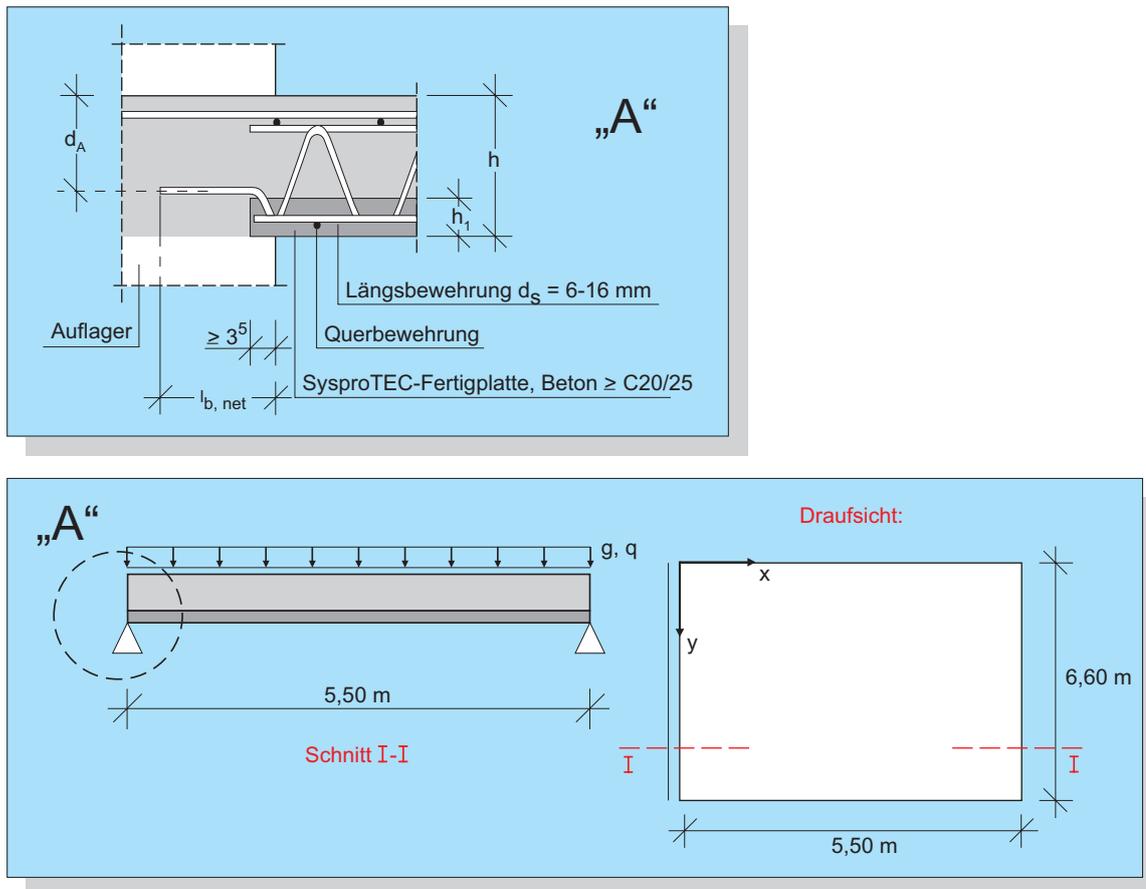


Bild 2.32:
Statisches System und Auflagerdetail A

Die Decke ist in x-Richtung gelenkig an die Wand angeschlossen. In y-Richtung liegt einseitig eine Einspannung vor. Es ergeben sich mit dem Verfahren nach Czerny [2.20] für das Verhältnis $l_y/l_x = 6,6/5,5 = 1,2$ die in Tabelle 2.14 angegebenen Schnittgrößen.

Feldmoment x-Richtung	Feldmoment y-Richtung	Stützmoment y-Richtung	Querkraft x-Richtung	Querkraft y-Richtung (gelenkig)	Querkraft y-Richtung (eingespannt)
m_{xm} [kNm/m]	m_{ym} [kNm/m]	m_{yem} [kNm/m]	q_x [kN/m]	$q_{y,m}$ [kN/m]	$q_{y,em}$ [kN/m]
Eigengewicht $g = 6,5 \text{ kN/m}^2$					
7,6	6,8	19,5	15,6	12,1	22,9
Nutzlast $q = 3,5 \text{ kN/m}^2$					
4,1	3,7	10,5	8,4	6,5	12,3

Tabelle 2.14:
Schnittgrößen nach Czerny [2.20]

Über die entsprechenden Sicherheitsbeiwerte ergeben sich die Bemessungsschnittgrößen:

Feldmoment x-Richtung	Feldmoment y-Richtung	Stützmoment y-Richtung	Querkraft x-Richtung	Querkraft y-Richtung (gelenkig)	Querkraft y-Richtung (eingespannt)
$m_{Ed, x}$ [kNm/m]	$m_{Ed, y}$ [kNm/m]	$m_{Ed, yerm}$ [kNm/m]	$q_{Ed, x}$ [kN/m]	$q_{y,m}$ [kN/m]	$q_{y,erm}$ [kN/m]
16,4	14,7	42,1	33,7	26,0	49,5

Tabelle 2.15:
Bemessungsschnittgrößen

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Bemessung für Biegung erfolgt wie bei einachsig gespannten Platten nach dem Verfahren mit dimensionslosen Beiwerten. Es sind jedoch die unterschiedlichen statischen Nutzhöhen d_x bzw. d_y zu berücksichtigen. Die statische Nutzhöhe in x-Richtung im Feld und in y-Richtung im Stützbereich ergibt sich aus der Betondeckung (hier 2,5 cm) zu $d_x = 17,5$ cm.

In y-Richtung wird die Längsbewehrung auf der Fertigteilplatte im Ortbeton angeordnet. Nach Bild 2.15 ist für die Bewehrung in y-Richtung eine Betondeckung von $c_{nom} = c_{min} = 0,5$ cm einzuhalten. Dabei ist zur Verbundsicherung die Rautiefe von etwa 3 mm berücksichtigt. Mit einem Stabdurchmesser $d_s < 10$ mm ergibt sich mit der Fertigteilplattendicke $h_1 = 5$ cm eine statische Nutzhöhe in y-Richtung von $d_y = 14$ cm. Der maximal zulässige Höhenabstand zwischen den beiden Längsbewehrungen wird dabei eingehalten.

Da keine Normalkräfte wirken, entspricht das Moment in der Schwerachse M_{Ed} dem Moment M_{Eds} auf Höhe der Bewehrung. Es gilt:

$$\mu_{Ed,sx} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_x^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,0164}{1,0 \cdot 0,175^2 \cdot 11,3} = 0,047 \quad (\text{Feldbereich x-Richtung})$$

$$\mu_{Eds,y} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,0147}{1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 11,3} = 0,066 \quad (\text{Feldbereich y-Richtung})$$

$$\mu_{Eds,y,erm} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d_y^2 \cdot f_{cd}} = \frac{0,0421}{1,0 \cdot 0,175^2 \cdot 11,3} = 0,122 \quad (\text{Stützbereich y-Richtung})$$

Aus Tabelle 2.8 lassen sich die Beiwerte ablesen:

$$\omega_x = 0,048 \quad ; \quad x_x/d_x = 0,073; \quad \sigma_{sd,x} = 457 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega_y = 0,068 \quad ; \quad x_y/d_y = 0,079; \quad \sigma_{sd,y} = 457 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega_{y,erm} = 0,131; \quad x_{y,erm}/d_{y,erm} = 0,162; \quad \sigma_{sd,y,erm} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Dabei ist $x_{y,erm} = 0,162 \cdot 0,175 = 0,028 < 0,05 = h_1$ (Fertigplattendicke) eingehalten.

Die erforderliche Bewehrung berechnet sich zu:

$$a_{sx,erf} = \frac{1}{\sigma_{sd,x}} (\omega_x \cdot b \cdot d_x \cdot f_{dc}) = \frac{1}{457} \cdot (0,048 \cdot 1,0 \cdot 0,175 \cdot 11,3) \cdot 10^4 = 2,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{sy,erf} = \frac{1}{\sigma_{sd,x}} (\omega_y \cdot b \cdot d_y \cdot f_{dc}) = \frac{1}{457} \cdot (0,068 \cdot 1,0 \cdot 0,14 \cdot 11,3) \cdot 10^4 = 2,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$a_{sy,erm,erf} = \frac{1}{\sigma_{sd,y,erm}} (\omega_{y,erm} \cdot b \cdot d_{y,erm} \cdot f_{dc}) = \frac{1}{450} \cdot (0,131 \cdot 1,0 \cdot 0,175 \cdot 11,3) \cdot 10^4 = 5,8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Gewählt:

x-Richtung: $\emptyset 8/25$ und Untergurte der Gitterträger ($2 \emptyset 5/50 \Rightarrow a_s = 0,78 \text{ cm}^2/\text{m}$)
 $a_{sx,vorh} = 0,78 + 2,01 = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m} > 2,1 \text{ cm}^2/\text{m}$

y-Richtung: im Feld $\emptyset 10/25$ und im Stützbereich $\emptyset 12/15$
 $a_{sy,vorh} = 3,14 \text{ cm}^2/\text{m} > 2,4 \text{ cm}^2/\text{m}$ (Feldbewehrung)
 $a_{sy,erm,vorh} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m} > 5,8 \text{ cm}^2/\text{m}$ (Stützbewehrung)

Mindestbewehrung nach Tabelle 2.10: $M_{cr} = 14,7 \text{ kNm/m}$. Das Rissmoment ist kleiner als das Bemessungsmoment, und somit nicht maßgebend.

Zulagebewehrung: wird nicht über die Bauteillänge abgestuft, so dass mehr als die geforderten 50 % der Feldbewehrung über das Auflager gezogen werden.

Der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft darf bei direkter Lagerung und gleichmäßig verteilten Lasten nach DIN 1045-1, Abschnitt 10.3.2(1) in einem der statischen Nutzhöhe d entsprechenden Abstand vom Auflagerrand ermittelt werden. Da diese Abminderung bei zweiachsig gespannten Platten relativ gering ist kann sie auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt werden. Die Querkrafttragfähigkeit ist am Auflager zu prüfen:

- x-Richtung: $q_{Ed,x}$
- y-Richtung: $q_{y,rm}$ mit gelenkiger Lagerung bzw. $q_{y,erm}$ mit Einspannung

Mit den Parametern

a) Längsbewehrungsgrad ρ_l

$$\rho_{l,x} = \frac{a_{sx,vorh}}{b_w \cdot d} = \frac{2,01 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,175} = 0,0011$$

$$\rho_{l,y} = \frac{a_{sy,vorh}}{b_w \cdot d} = \frac{3,14 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,14} = 0,0022$$

$$\rho_{l,y,erm} = \frac{a_{sy,erm,vorh}}{b_w \cdot d} = \frac{7,5 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,175} = 0,0043$$

b) Bauteilhöhe

$$\kappa = 1 + \sqrt{200/175} = 2,07 \rightarrow \kappa = 2,0 \quad (\text{x-Richtung, y-Richtung Stützbereich})$$

$$\kappa = 1 + \sqrt{200/140} = 2,20 \rightarrow \kappa = 2,0 \quad (\text{y-Richtung Feldbereich})$$

ergibt sich die Tragkraftfähigkeit $V_{Rd,ct}$ ohne Querkraftbewehrung aus der Interpolation mit den Werten der Tabelle 2.4 zu:

$$V_{Rdx,ct} = 270 \cdot 0,175 = 47 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 33,7 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rdy,ct} = 330 \cdot 0,140 = 46 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 26,2 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rdy,erm,ct} = 370 \cdot 0,175 = 65 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 49,5 \text{ kN/m}$$

Da für diese Platte gemäß Seite 166 keine Mindestquerkraftbewehrung gefordert wird, ist eine Querkraftbewehrung nicht erforderlich. In diesem Falle kann nach DIN 1045-1 der Nachweis der Druckstrebentragfähigkeit entfallen.

Verbundfuge zwischen Fertigteil und Ortbeton

Anders als für die Querkraft muss die Verbundfuge nur in x-Richtung und in y-Richtung an der Einspannung nachgewiesen werden. Am gelenkigen Lager in y-Richtung erfolgt die Lastabtragung ausschließlich über den Ortbeton, da sowohl die Druckzone als auch die Biegezugbewehrung im Ortbeton liegt. Die einwirkende Schubkraft V_{Ed} berechnet sich zu:

$$v_{Edx} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z} = \frac{1 \cdot 33,7}{0,9 \cdot 0,175} = 214,0 \text{ kN/m}^2$$

$$v_{Edy,erm} = \frac{F_{cdj}}{F_{cd}} \cdot \frac{V_{Ed}}{z} = 1 \cdot \frac{49,5}{0,9 \cdot 0,175} = 314 \text{ kN/m}^2$$

Der Bemessungswert der aufnehmbaren Schubkraft $v_{Rd,ct}$ unter Annahme einer rauen Oberfläche ergibt sich nach Tabelle 2.8:

$$v_{Rd,ct} = 228,0 \text{ kN/m}^2 \begin{cases} > v_{Edx} = 214 \text{ kN/m}^2 \\ < v_{Edy,erm} = 314 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$$

Damit ist in x-Richtung keine Verbundbewehrung erforderlich, für die y-Richtung ist jedoch die notwendige Verbundbewehrung zu berechnen. Der aufnehmbare Schubkraft in bewehrten Fugen ist in Tabelle 2.9 angegeben:

$$- \cot\theta = 3,0$$

$$- a_{s,erf} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Es wird ein Standardgitterträger (\emptyset_{diag} 5 mm: $0,196 \text{ cm}^2/\text{m}$) mit einer Höhe von 14 cm und einem Abstand von $s_T = 50 \text{ cm}$ und $s_d = 20 \text{ cm}$ verwendet. Die vorhandene Verbundbewehrung beträgt:

$$a_{s,vorh} = 2 \cdot 0,196 / (0,2 \cdot 0,5) = 3,9 \text{ cm}^2/\text{m} > a_{s,erf} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Die verwendeten Gitterträger sind somit ausreichend.

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für die Spannungsnachweise und die Rissesicherung gelten analog die Ausführungen zu Beispiel 1.

Die Biegeschlankheit ist in beiden Richtungen nachzuweisen. Aufgrund der einseitigen Einspannung darf die Spannweite in y-Richtung mit dem Faktor von 0,8 abgemindert werden (DIN 1045-1, Tabelle 11).

Da in x-Richtung keine Einspannung vorliegt, darf die Spannweite in x-Richtung nicht variiert werden. Die Ersatzstützweiten ergeben sich zu:

$$l_i = \begin{cases} 5,5 \text{ m} \\ 0,8 \cdot 6,6 = 5,28 \text{ (maßgebend)} \end{cases}$$

Die Biegeschlankheit l/d der Platte beträgt damit:

$$\frac{l}{d} = \frac{5,28}{0,175} = 30,2 < \text{zulässig } \frac{l}{d} = 35 \quad (\text{bzw. } \frac{150}{5,28} = 28,4 \text{ nicht erfüllt})$$

Somit ist der Nachweis zur Begrenzung der Verformung nach DIN1045-1 nur für einfache und nicht für höhere Anforderungen erfüllt. Nichttragende Wände unter der Decke sind daher nach DIN 1045-1, Abschnitt 11.3.1 (10) so zu konstruieren, dass sie Verformungen von etwas mehr als $l/500$ – z. B. durch Anordnung einer Schattenfuge – ohne Schaden aufnehmen können.

Verankerungslängen

Der Nachweis für die x-Richtung der am Auflager ankommende Bewehrung ist analog zu Beispiel 1.

Beim Nachweis der y-Richtung ist zu beachten, dass in dieser Richtung keine Gitterträger liegen und die Bewehrung im Ortbeton angeordnet ist. Diese Bewehrung ($\varnothing 10/25$; $a_s = 3,14 \text{ cm}^2/\text{m}$) wird nicht abgestuft und kann somit vollständig zur Verankerung herangezogen werden. Die Zahlenwerte für die Verankerung ergeben sich analog zu Beispiel 1 für die 10-mm-Bewehrungsstäbe in einem Beton C20/25 ($f_{bd} = 2,3 \text{ N/mm}^2$):

$$l_b = \frac{d_s}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{10,0}{4} \cdot \frac{435}{2,3} = 473 \text{ mm} = 47,3 \text{ cm}$$

$$\text{erf } a_s = \frac{V_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{26,0}{43,5} = 0,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$l_{b,\text{net}} = \alpha_a \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,\text{erf}}}{A_{s,\text{vorh}}} = 1,0 \cdot 47,3 \cdot \frac{0,60}{3,14} = 9,0 \text{ cm}$$

$$l_{b,\text{min}} = \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_a \cdot l_b = 0,3 \cdot 47,3 = 14,2 \text{ cm} \\ 10 \cdot 1,0 = 10 \text{ cm} \end{cases}$$

Somit ergibt sich eine erforderliche Verankerungslänge von 14,2 cm, die aufgrund der direkten Lagerung mit dem Faktor 2/3 auf 9,5 cm abgemindert werden darf. Diese Verankerungslänge kann bei einer Auflagertiefe von 17,5 cm sicher eingehalten werden.

Verankerung der unteren Bewehrung am eingespannten Auflager

Das eingespannte Auflager entspricht in etwa einem Zwischenaufleger. Daher ist die dort ankommende untere Bewehrung mindestens $6 \cdot d_s = 6 \text{ cm}$ über den Auflagerrand zu führen. Es wird empfohlen, wegen rechnerisch nicht berücksichtigte Beanspruchungen die Verankerungslänge größer als $6 \cdot d_s$ zu wählen und die Stäbe bis über die Auflagermitte zu führen.

Obere Bewehrung

Bei der oberen Bewehrung ist der Nachweis als Ortbeton zu führen. Zu beachten ist, dass hierbei das Grundmaß der Verankerung infolge des oberen angesetzten Astes der Stahl-Spannungs-Dehungs-Linie mit $\sigma_{sd} = \sigma_{su}/\gamma$ durchzuführen ist.