

Beispiel 1: Vollplatte, einachsig gespannt

Inhalt

	Seite
Aufgabenstellung.....	1-2
1 System, Bauteilmaße, Betondeckung.....	1-2
1.1 System.....	1-2
1.2 Effektive Stützweiten.....	1-2
1.3 Mindestfestigkeitsklasse, Betondeckung.....	1-3
1.4 Bestimmung der Deckendicke aus der Begrenzung der Verformungen.....	1-3
2 Einwirkungen.....	1-5
2.1 Charakteristische Werte.....	1-5
2.2 Bemessungswerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.....	1-5
3 Schnittgrößenermittlung.....	1-5
3.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	1-5
3.2 Schnittgrößenumlagerung über dem Zwischenauflager	1-6
4 Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit.....	1-7
4.1 Bemessungswerte der Baustoffe.....	1-7
4.2 Bemessung für Biegung.....	1-7
4.2.1 Bemessung über dem Zwischenauflager.....	1-7
4.2.2 Bemessung in den Feldern.....	1-8
4.3 Bemessung für Querkraft.....	1-9
4.4 Brandschutztechnischer Nachweis.....	1-10
5 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.....	1-11
5.1 Begrenzung der Spannungen unter Gebrauchsbedingungen.....	1-11
5.2 Grenzzustände der Rissbildung.....	1-11
5.3 Begrenzung der Verformungen.....	1-11
6 Bewehrungsführung, bauliche Durchbildung.....	1-11
6.1 Grundwert der Verankerungslänge.....	1-11
6.2 Verankerung am Endauflager.....	1-12
6.3 Verankerung am Zwischenauflager.....	1-12
6.4 Verankerung außerhalb der Auflager.....	1-13
6.5 Stöße der Querbewehrung.....	1-14
6.6 Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens.....	1-14
6.7 Einspannbewehrung am Endauflager.....	1-14
7 Darstellung der Bewehrung.....	1-15

Beispiel 1: Vollplatte, einachsig gespannt

Aufgabenstellung

Zu bemessen ist eine Stahlbetondecke im Inneren eines Versammlungsgebäudes mit leichten Trennwänden. Die Deckenplatte ist einachsig gespannt und läuft über zwei Felder durch. Es wird eine frei drehbare Lagerung auf den Mauerwerkswänden angenommen. Die Decke ist keine horizontal aussteifende Scheibe.

Umgebungsbedingungen: trockener Innenraum.

Vorwiegend ruhende Einwirkung.

Brandschutztechnische Anforderung: REI 90 (feuerbeständig)

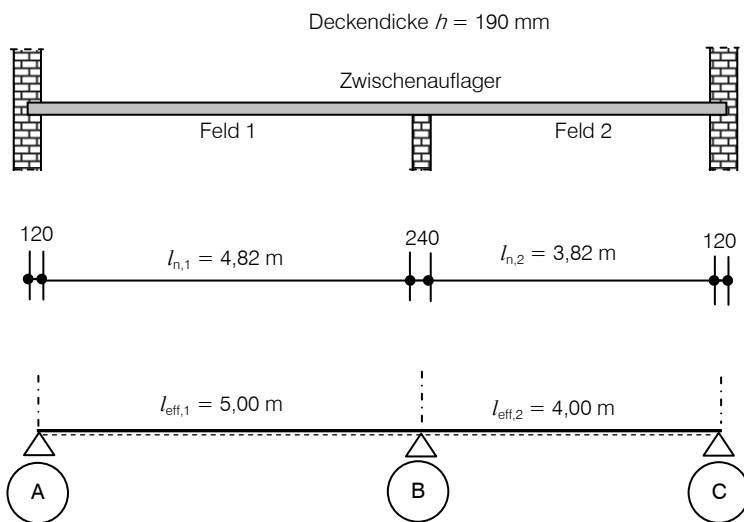
Baustoffe:

- Beton: C20/25
- Betonstabstahl: B500B (hochduktil)
- Betonstahlmatten: B500A (normalduktil)

1 System, Bauteilmaße, Betondeckung

1.1 System

Längsschnitt



1.2 Effektive Stützweiten

$$l_{\text{eff}} = l_n + a_1 + a_2$$

$$l_{\text{eff},1} = 4,82 + 0,12 / 2 + 0,24 / 2 = 5,00 \text{ m}$$

$$l_{\text{eff},2} = 3,82 + 0,12 / 2 + 0,24 / 2 = 4,00 \text{ m}$$

EC2-1-1, NA.1.5.2.5: üblicher Hochbau

EC2-1-1, 5.3.2.2: (2)

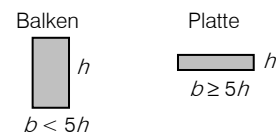
EC2-1-1, NA.1.5.2.20: Platte mit $b/h \geq 5$

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

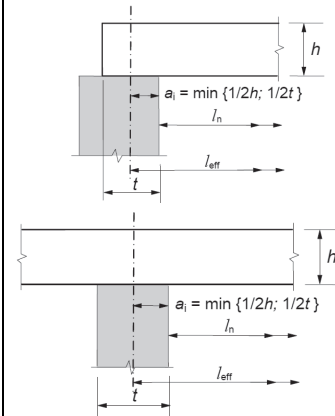
raumabschließende Geschossdecke
Gebäudeklasse 5 nach MBO [2]

EC2-1-1, 3.1: Beton

EC2-1-1, 3.2: Betonstahl (nach DIN 488)



EC2-1-1, 5.3.2.2: (1) und Bild 5.4
 l_n lichter Abstand zwischen den Auflagervorderkanten
 l_{eff} effektive Stützweite



Statisches System der Deckenplatte

EC2-1-1, 5.3.2.2: (1) und Bild 5.4

Endauflager: $t/2$

Zwischenauflager: $t/2$ (gewählt)

Hinweis: Der Nachweis der Mauerwerkspresung ist nach EC6 [E19], [E20] zu führen, nicht in diesem Beispiel.

1.3 Mindestfestigkeitsklasse, Betondeckung

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

Feuchtigkeitsklasse AKR: → WO

Gewählt: C20/25 XC1, WO

Betondeckung
wegen Expositionsklasse XC1:

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

Gewählt: Verlegemaß $c_v = 25 \text{ mm}$ für die 1. Bewehrungslagen

Sicherstellung des Verbundes:

$c_{\min, b} = 10 \text{ mm}$ darf nicht geringer sein als der Stabdurchmesser ϕ
dies ist bei der Bewehrungswahl zu beachten!
→ max $\phi 10 \text{ mm}$ einhalten oder $c_{\min, b}$ vergrößern!

1.4 Bestimmung der Deckendicke aus der Begrenzung der Verformungen

Die Begrenzung der Verformungen darf ohne direkte Berechnung durch Einhaltung einer Biegeschlankheit l/d vorgenommen werden.

Eingangswerte für den zulässigen Grenzwert sind die Betonfestigkeit f_{ck} und der erforderliche Längsbewehrungsgrad ρ . Wenn die Deckendicke im Entwurf vor der Bemessung festgelegt werden soll, ist zunächst eine Annahme für den Längsbewehrungsgrad zu treffen, da die erforderliche Bewehrung erst aus der Bemessung im GZT feststeht.

Ein möglicher Schätzwert ist der Referenzbewehrungsgrad

$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{\text{ck}}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{20} = 0,0045 = 0,45 \%$,
der den Bereich von gering bis mittel belasteten ($\rho \leq \rho_0$) von höher belasteten ($\rho > \rho_0$) Bauteilen abgrenzt.

Deckenplatten im üblichen Hochbau mit typischen Spannweiten weisen in der Regel kleinere erforderliche Längsbewehrungsgrade als ρ_0 auf.

Ein weiterer möglicher Schätzwert ist der Grenzbewehrungsgrad ρ_{lim} , der gerade den oberen Grenzwert $l/d \leq K \cdot 35$ ergibt. Dieser Grenzbewehrungsgrad ergibt sich für C20/25 zu $\rho_{\text{lim}} = 0,24 \%$ (siehe Grafik S. 1-4).

Stellt sich bei der Überprüfung der erforderlichen Biegebewehrung im GZT heraus, dass dieser Schätzwert unterschritten wird, ist der Verformungsnachweis mit dem oberen Grenzwert der Biegeschlankheit l/d erbracht. Anderenfalls ist die Deckendicke zu vergrößern und der Nachweis zu wiederholen.

EC2-1-1, 4: Dauerhaftigkeit und Betondeckung

EC2-1-1, Tab. 4.1: Expositionsklassen
XC1 trocken (Bauteile in Innenräumen mit normaler Luftfeuchte)
EC2-1-1, Anhang E, Tab. E.1.DE: Mindestbetondruckfestigkeit (NCI) WO – ohne Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäurereaktion AKR (Innenbauteile des üblichen Hochbaus)

Die Expositions- und Feuchtigkeitsklasse ist anzugeben (wichtig für die Betontechnologie nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2).

EC2-1-1, (NDP) 4.4.1.2: (5) Tab. 4.4DE: Mindestbetondeckung $c_{\min, \text{dur}}$
EC2-1-1, (NDP) 4.4.1.3: (1)P Vorhaltemaß Δc_{dev}
EC2-1-1, 4.4.1.1: (2) Gl. (4.1) Nennmaß c_{nom}
EC2-1-1, (NCI) 4.4.1.1: (2)P Verlegemaß

Hinweis: Verlegemaß mit Blick auf die Unterstützung der oberen Bewehrung (siehe 4.2.1) und Feuerwiderstand gemäß EC2-1-2 größer gewählt → Achsmaß der Bewehrung $\phi 10$:
 $a = 25 + 10 / 2 = 30 \text{ mm}$ (siehe 4.4)

EC2-1-1, 4.4.1.2: (3) Tab. 4.2
Verbundbedingung

Die Bauteildicke kann außerdem durch Brandschutz-, Schallschutz- oder konstruktive Forderungen bestimmt werden.

EC2-1-1, 7.4.2

EC2-1-1, 7.4.2: (2), Gl. (7.16)
mit $\rho = \text{erf } a_s / (d \cdot b)$

Im Prinzip ist eine iterative Abstimmung zwischen Nutzhöhe und erforderlicher Längsbewehrung erforderlich, wenn die maximal zulässige Biegeschlankheit ermittelt werden soll.

→ hier für C20/25
EC2-1-1, 7.4.2: (2)
Gl. (7.16a) für $\rho \leq \rho_0$
Gl. (7.16b) für $\rho > \rho_0$, ggf. mit erforderlicher Druckbewehrung

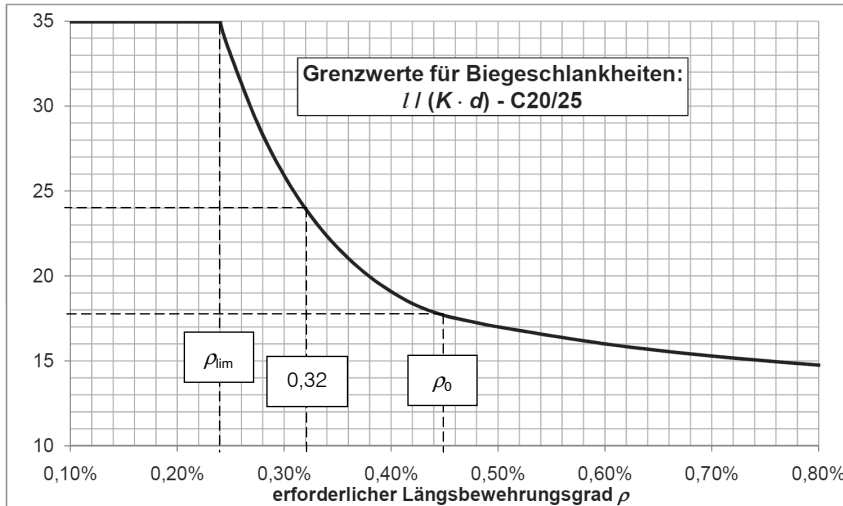
EC2-1-1, (NCI) 7.4.2: (2)
Die Biegeschlankheiten nach Gleichung (7.16) sollten jedoch allgemein auf die Maximalwerte $l/d \leq K \cdot 35$ und bei Bauteilen, die verformungsempfindliche Ausbauelemente beeinträchtigen können, auf $l/d \leq K^2 \cdot 150 / l$ begrenzt werden.

EC2-1-1, 7.4.2: (2), Tab. 7.4N
 $K = 1,3$ für Endfeld Durchlaufträger

Im Folgenden wird die Gleichung (7.16a) für $\rho \leq \rho_0$

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

grafisch ausgewertet.



Da die Decke mit einer relativ hohen Nutzlast von $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ belastet werden soll (siehe 2.1), wird hier zunächst ein Bewehrungsgrad $> \rho_{lim}$ von $\rho = 0,32 \%$ angenommen (bzw. geschätzt).

$$\frac{l}{1,3 \cdot d} = \left[11 + 1,5 \sqrt{20} \frac{0,45}{0,32} + 3,2 \sqrt{20} \left(\frac{0,45}{0,32} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 24,1 < 35$$

$$\text{erf } d \geq l / (1,3 \cdot 24,1) = 5000 / 31,3 = 160 \text{ mm}$$

$$\text{erf } h \geq \text{erf } d + \phi / 2 + a_v = 160 + 10 / 2 + 25 = 190 \text{ mm}$$

gewählt: $h = 190 \text{ mm}$
 $= \text{erf } h = 190 \text{ mm}$ (bei erf $\rho \leq 0,32 \%$)
 $> \text{min } h = 70 \text{ mm}$

Aus der Biegebemessung nach 4.2.2 ergibt sich ein erforderlicher Bewehrungsgrad im Feld 1:

$$\rho_1 = 5,16 \text{ cm}^2 / 16,0 = 0,323 \%$$

$\approx 0,32 \%$ wie angenommen

Der vereinfachte Nachweis der Begrenzung der Durchbiegung nach EC2-1-1 gilt damit als erbracht.

EC2-1-1, 7.4.2: (2) Gl. (7.16a)

Verformungsgrenzwerte EC2-1-1, 7.4.1:

(4) Das Erscheinungsbild und die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks können beeinträchtigt werden, wenn der berechnete Durchhang ... einer Platte ... unter quasi-ständiger Einwirkungskombination 1/250 der Stützweite überschreitet. ...

(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....

(6) Der Grenzzustand der Verformung darf nachgewiesen werden durch:
 - Begrenzung der Biegeschlankheit...

Diese Annahme wird nach der Biegebemessung im GZT überprüft.

EC2-1-1, 7.4.2: (2), Gl. (7.16a)

obere Grenzwerte:

$$l / d \leq K \cdot 35 \text{ bzw. } l / d \leq K^2 \cdot 150 / l$$

$$\rightarrow l / (d \cdot K) \leq 35 \text{ bzw.}$$

$$\rightarrow l / (d \cdot K) \leq K \cdot 150 / l = 1,3 \cdot 150 / 5,0 = 39$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{20} = 0,0045 \text{ für C20/25}$$

EC2-1-1, 7.4.2: (2), Tab. 7.4N

$K = 1,3$ für Endfeld Durchlaufträger

Feld 1 mit $l_{\text{eff},1} = 5,0 \text{ m}$

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

EC2-1-1, 9.3.1.1: (NA.5) min h

Im Feld 2 mit geringerer Spannweite und geringerem Längsbewehrungsgrad liegen günstigere Verhältnisse vor.

$$\rho = \text{erf } a_s / (d \cdot b) \text{ mit } b = 100 \text{ cm} \rightarrow [\%]$$

Beispiel Nachweis der Biegeschlankheit nach der Bemessung im GZT:

EC2-1-1, 7.4.2: (2)

$$\text{Gl. (7.16a)} \rightarrow \text{zul } l / d = 1,3 \cdot 24,1 = 31,3$$

$$\text{vorh } l / d = 5000 / 160 = 31,2 < \text{zul } l / d$$

Wenn die Biegebewehrung z. B. größer als erforderlich gewählt wurde oder die Stahlspannung unter maßgebender Einwirkungskombination im GZG weniger als 310 N/mm^2 beträgt, darf die zulässige Biegeschlankheit mit einem Faktor $310 / \sigma_s$ nach Gl. (7.17) angepasst werden. Darauf kann hier verzichtet werden.

2 Einwirkungen

2.1 Charakteristische Werte

Bezeichnung der Einwirkungen	Wert
Ständig (Eigenlasten):	
• 190 mm Stahlbetonvollplatte: $0,19 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3$	4,75 kN/m ²
• 50 mm Trittschalldämmung: $5 \text{ cm} \cdot 0,01 \text{ kN/m}^2$	0,05 kN/m ²
• 60 mm Zementestrich: $0,06 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3$	1,32 kN/m ²
• 15 mm Kunststofffußboden: $1,5 \text{ cm} \cdot 0,15 \text{ kN/m}^2$	0,23 kN/m ²
Summe G :	$g_k = 6,35 \text{ kN/m}^2$
Veränderlich (Nutzlast)	
• Versammlungsräume	$q_{k,1} = 4,00 \text{ kN/m}^2$
• Trennwandzuschlag	$\Delta q_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Summe Q :	$q_k = 5,00 \text{ kN/m}^2$

Index k = charakteristisch

EC1-1-1, Anhang A, Tab. A.1: Stahlbeton
 EC1-1-1, Tab. NA.A.8: Platten, Matten, Bahnen
 EC1-1-1, Tab. NA.A.6: Fußboden und Wandbeläge

EC1-1-1, (NDP) 6.3.1.1, Tab. 6.1DE, Kat. C2: Versammlungsräume $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$ + gew. Trennwandzuschlag $\Delta q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
 EC1-1-1, (NCI) 6.3.1.2: (8) Für leichte Trennwände mit Eigenlasten von $\leq 3,0 \text{ kN/m}$ (inkl. Putz) ist ein Zuschlag $\Delta q_k \geq 0,8 \text{ kN/m}^2$ anzusetzen.

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	$\gamma_Q = 0$	$\gamma_Q = 1,50$

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k = 1,35 \cdot 6,35 = 8,60 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k = 1,50 \cdot 5,00 = 7,50 \text{ kN/m}^2$$

$$e_d = 16,1 \text{ kN/m}^2$$

Repräsentative Werte für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit werden für diese Deckenplatte nicht ermittelt, da der Rissbreitenachweis entfallen darf ($h \leq 200 \text{ mm}$ und XC1, siehe 5.2) und die Verformungen indirekt nachgewiesen werden (siehe 1.4).

EC0, A.1.3.1 (4), Tab. NA.A.1.2 (B): Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen ungünstig bzw. günstig

Index d = design (Bemessung)
 günstig bzw. ungünstig bezeichnet die Auswirkungen der Einwirkungen auf die Schnittgrößen und die Bemessungsergebnisse.

3 Schnittgrößenermittlung

3.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Schnittgrößen: (kNm/m und kN/m)

Lastfall	$m_{Ed,B}$	$m_{Ed,F1}$	$m_{Ed,F2}$	$V_{Ed,A}$	$V_{Ed,Bli}$	$V_{Ed,Bre}$	$V_{Ed,C}$
1 $g_d + q_{d,1}$ in Feld 1+2	-42,26	31,40	14,53	31,80	-48,70	42,76	-21,64
2 $g_d + q_{d,1}$ in Feld 1	-35,60	34,09	4,03	33,13	-47,37	26,10	-8,30
3 $g_d + q_{d,1}$ in Feld 2	-29,24	14,24	19,23	15,65	-27,35	39,51	-24,89

EC2-1-1, 5.4 Linear-elastische Berechnung (NA.5) Für Durchlaufträger: bis C50/60 sollte die bezogene Druckzonenhöhe $x_d / d \leq 0,45$ eingehalten werden (mit $N_{Ed} = 0$ zu erwarten, Überprüfung bei der Biegebemessung).
 $l_{eff,1} / l_{eff,2} = 5,0 / 4,0 = 1,25 < 2,0$

3.2 Schnittgrößenumlagerung über dem Zwischenaufleger

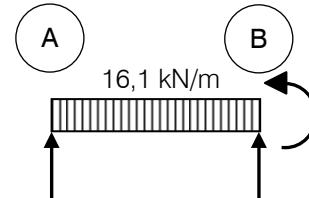
Gewählt: $\delta = 0,85 \rightarrow$ d. h. 15 % des Stützmomentes werden umgelagert.

Wird bei Bemessung überprüft!

$$m_{Ed,B} = m_{Ed,B} \cdot \delta = -42,26 \cdot 0,85$$

$$= -35,9 \text{ kNm/m}$$

Sicherstellung des Gleichgewichts in Feld 1:



$$V_{Ed,A} = (16,1 \cdot 5,00^2 / 2 - 35,9) / 5,00$$

$$= 33,1 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed,Bli} = (-16,1 \cdot 5,00^2 / 2 - 35,9) / 5,00$$

$$= -47,4 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed,F1} = 0,5 \cdot 33,1^2 / 16,1$$

$$= 34,0 \text{ kNm/m}$$

$$< 34,1 \text{ kNm/m}$$

$$= m_{Ed,F1}$$

LF2: $q_{d,1}$ nur im Feld 1

Sicherstellung des Gleichgewichts in Feld 2:

$$V_{Ed,C} = (-16,1 \cdot 4,00^2 / 2 + 35,9) / 4,00$$

$$= -23,2 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed,Bre} = (16,1 \cdot 4,00^2 / 2 + 35,9) / 4,00$$

$$= 41,2 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed,F2} = 0,5 \cdot 23,2^2 / 16,1$$

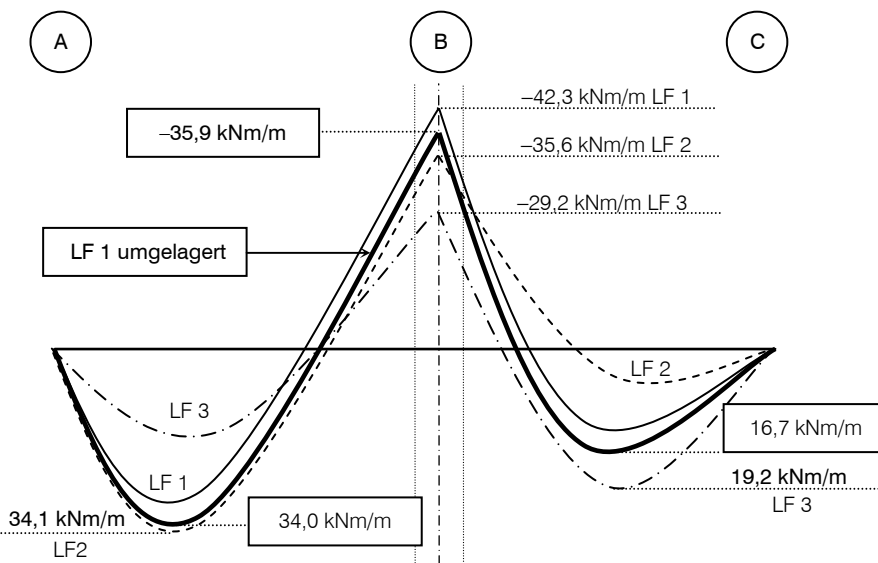
$$= 16,7 \text{ kNm/m}$$

$$< 19,2 \text{ kNm/m}$$

$$= m_{Ed,F2}$$

LF3: $q_{d,1}$ nur im Feld 2

Momentengrenzlinien im Grenzzustand der Tragfähigkeit



EC2-1-1, 5.5: Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung im GZT

\rightarrow maximal 15 %ige Umlagerung erlaubt auch Verzicht auf Spannungsnachweise nach EC2-1-1, 7.1 (NA.3) und Anwendung der Tabelle 5.8 nach EC2-1-2 (Brandfall, siehe 4.4).

EC2-1-1, 5.5: (4) Durchlaufträger bis C50/60 mit $l_{eff,1} / l_{eff,2} = 5 \text{ m} / 4 \text{ m} < 2,0$ und normalduktilen Betonstahlmatten B500A: Gl. (5.10a): $\delta \geq 0,64 + 0,8x_i / d \geq 0,85$
 $\delta =$ Verhältnis des umgelagerten zum Ausgangsmoment

Die Momente der Lastfälle 2+3 mit $q_{d,1}$ in den Einzelfeldern werden hier nicht umgelagert, da $M_{Ed,B}$ des Volllastfalles größer ist als $M_{Ed,B}$ der Einzellastfälle.

EC2-1-1, 5.5: (3) Schnittgrößen und Lasten müssen auch nach der Umlagerung im Gleichgewicht stehen.

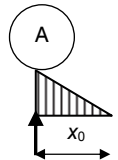
Bemessungswert der Querkraft

max m_F an Querkraftnullstelle:

$$x_0 = V_{Ed,A} / (g+q)$$

$$m_F(x) = V_{Ed,A} \cdot x - (g+q) \cdot x^2 / 2$$

$$\max m_F(x_0) = 0,5 \cdot V_{Ed,A}^2 / (g+q)$$



(siehe 3.1: Schnittgrößen)

Bemessungswert Feldmoment aus LF2

(siehe 3.1: Schnittgrößen)

Bemessungswert Feldmoment aus LF3

Darstellung nicht maßstäblich.

Hinweis: In der Regel werden Stützmomente in den Feldbereich umgelagert. Nur für diesen Fall gelten die Grenzwerte des EC2-1-1. Grundsätzlich sind aber auch Umlagerungen vom Feld zur Stütze zulässig, jedoch ergeben sich in diesen Fällen wie bei Überschreitung des zulässigen Stützweitenverhältnisses auf Grund der ungünstigeren Form der Momentenlinie wesentlich größere erforderliche Rotationsbereiche, so dass dann die Rotationskapazität nach Abschnitt 8.4.2 generell nachzuweisen ist [600].

In diesem Beispiel könnten so auch die Stützmomente im LF 2 und LF 3 angehoben werden (unter Einhaltung der Gleichgewichtsbedingungen). Dies wäre hier für Feld 1 (LF 2) nur geringfügig, jedoch für Feld 2 (LF 3) in größerem Umfang möglich.

4 Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

4.1 Bemessungswerte der Baustoffe

Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit:

- Beton $\gamma_c = 1,50$
- Betonstahl $\gamma_s = 1,15$

Beton C20/25: $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$
 $f_{cd} = 0,85 \cdot 20 / 1,50 = 11,3 \text{ N/mm}^2$

Betonstahlmatten B500A und Betonstabstahl B500B: $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
 $f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$

4.2 Bemessung für Biegung

4.2.1 Bemessung über dem Zwischenaufleger

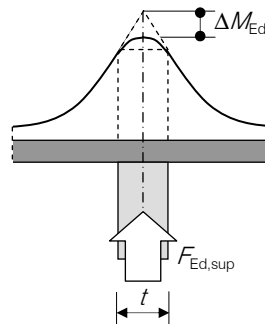
Ausrundung des Stützmomentes:

Zulässige Reduktion:

$$\begin{aligned} \Delta M_{Ed} &= F_{Ed,sup} \cdot t / 8 \\ &= (47,4 + 41,2) \cdot 0,24 / 8 \\ &= 2,66 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Bemessungsmoment:

$$\begin{aligned} m_{Ed,B,red} &= -35,9 + 2,66 \\ &= -33,2 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

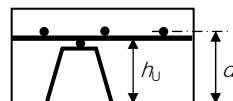


Nutzhöhe über dem Zwischenaufleger:

$$d = h - c_v - 0,5 \cdot \phi = 190 - 25 - 5 = 160 \text{ mm}$$

Bemessungsquerschnitt:

$$b / h / d = 1,00 / 0,19 / 0,16 \text{ m}$$



Bemessung mit dimensionslosen Beiwerten (je lfdm):

$$\mu_{Eds} = |m_{Ed,B,red}| / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 33,2 \cdot 10^{-3} / (1,0 \cdot 0,16^2 \cdot 11,3) = 0,115$$

Anhang A4: Werte für $\mu_{Eds} = 0,12$ abgelesen:

ω	ξ	ζ	σ_{sd}
0,1285	0,159	0,934	450,4 N/mm ²

$$\begin{aligned} \text{erf } a_s &= \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / \sigma_{sd} \\ &= 0,1285 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 11,3 / 450,4 \\ &= 5,16 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

EC2-1-1, (NDP) 2.4.2.4: (1), Tab. 2.1DE: Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstands – ständige und vorübergehende Bemessungssituation (Normalfall)

EC2-1-1, Tab. 3.1: Festigkeits- und Formänderungskennwerte für Beton
 EC2-1-1, 3.1.6: (1)P, Gl. (3.15)
 Abminderung mit $\alpha_{cc} = 0,85$ berücksichtigt Langzeitauswirkungen

EC2-1-1, 3.2.2: (3)P (bzw. DIN 488) Eigenschaften der Betonstähle
 EC2-1-1, 3.2.7: (2), Bild 3.8

EC2-1-1, 5.3.2.2: (4) Ausrundung des Stützmomentes unabhängig vom Rechenverfahren zulässig (also auch nach Momentenumlagerung).

EC2-1-1, 5.3.2.2: Gl. (5.9)
 $F_{Ed,sup}$ = Bemessungswert Auflagerreaktion nach Umlagerung siehe 3.3: $-V_{Ed',Bli} + V_{Ed',Bre}$
 t = Auflagertiefe

EC2-1-1, 5.3.2.2: (3)
 Eine Bemessung für das Moment am Auflagerrand wäre nur bei monolithischer Verbindung von Platte und Auflager zulässig.

Unterstützung für die obere Bewehrung:
 → DBV/EC2 – 150 – S – L [DBV3] (d. h. nach DBV-Merkblatt „Unterstützungen nach Eurocode 2“, Unterstützungshöhe 150 mm, auf der Schalung stehend, Linienförmig)
 → unterstützte Listenmatte mit $\phi 10 + \phi 7$:
 $h_u = 150 \text{ mm}$ (10 mm-Abstufung beachten)
 $c_{v,o} = 190 - 150 - 10 - 7 = 23 \text{ mm} \approx 25 \text{ mm}$
 $> 20 \text{ mm} = c_{nom}$ (XC1)

Die in dieser Beispielsammlung genutzten Bemessungshilfsmittel basieren auf der ansteigenden Spannungs-Dehnungslinie des Betonstahls nach EC2-1-1, 3.2.7, Bild 3.8.

Anhang A4:
 Bemessungstabelle bis C50/60
 Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung
 Biegung mit Längskraft
 bezogene Werte:
 ω = mechanischer Bewehrungsgrad
 ξ = Druckzonenhöhe x / d
 ζ = innerer Hebelarm z / d

Gewählt:

Betonstahlleistenmatte B500A

(alternativ: Betonstabstahl B500B)

längs $\phi 10 / 150 = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} > 5,16 \text{ cm}^2/\text{m} = \text{erf } a_{s,l}$

quer $\phi 7 / 250 = 1,54 \text{ cm}^2/\text{m} > 0,20 \cdot \text{erf } a_{s,l}$

Überprüfung des Umlagerungsbeiwertes δ :

$$\begin{aligned} \min \delta &= 0,64 + 0,8 \cdot x_u / d \\ &= 0,64 + 0,8 \cdot 0,159 = 0,77 < \text{vorh } \delta = 0,85 \end{aligned}$$

→ Die Momentenumlagerung von 15 % ist zulässig!

4.2.2 Bemessung in den Feldern

Bemessungsquerschnitt: $b / h / d = 1,00 / 0,19 / 0,16 \text{ m}$

Bemessung mit dimensionslosen Beiwerten (je lfdm):

Feld 1	Feld 2
$\begin{aligned} \mu_{Eds} &= m_{Ed,F1} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) \\ &= 34,1 \cdot 10^{-3} / (1,0 \cdot 0,16^2 \cdot 11,3) \\ &= 0,118 \approx 0,12 \end{aligned}$	$\begin{aligned} \mu_{Eds} &= m_{Ed,F2} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) \\ &= 19,2 \cdot 10^{-3} / (1,0 \cdot 0,16^2 \cdot 11,3) \\ &= 0,066 \approx 0,07 \end{aligned}$
A4 abgelesen für $\mu_{Eds} = 0,12$:	A4 abgelesen für $\mu_{Eds} = 0,07$:
$\omega = 0,1285$	$\omega = 0,073$
$\xi = 0,159$	$\xi = 0,097$
$\sigma_{sd} = 450,4 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{sd} = 456,5 \text{ N/mm}^2$
$\begin{aligned} \text{erf } a_s &= \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / \sigma_{sd} \\ &= 0,1285 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 11,3 / 450,4 \\ &= 5,16 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \text{erf } a_s &= \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / \sigma_{sd} \\ &= 0,073 \cdot 100 \cdot 16 \cdot 11,3 / 456,5 \\ &= 2,89 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$

Gewählt:

Betonstahlleistenmatte B500A

$= 150 \cdot 10,0 / 250 \cdot 7,0$

$= 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} / 1,54 \text{ cm}^2/\text{m}$

$> 5,16 \text{ cm}^2/\text{m} = \text{erf } a_{s,l}$

Gewählt:

Betonstahl-Lagermatte R335A

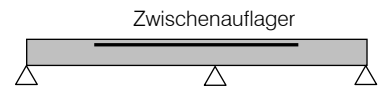
$= 150 \cdot 8,0 / 250 \cdot 6,0$

$= 3,35 \text{ cm}^2/\text{m} / 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}$

$> 2,89 \text{ cm}^2/\text{m} = \text{erf } a_{s,l}$

Alternativ:

Betonstabstahl B500B mit identischen Abmessungen
bzw. $\phi 6 / 250 \text{ mm}$ Querbewehrung



EC2-1-1, 9.3.1.1: Biegebewehrung

(2) einachsig gespannte Platten

Querbewehrung i. d. R. mindestens 20 % der Zugbewehrung

$\phi = 10 \text{ mm} \leq c_{\min}$

Sicherung des Verbundes siehe 1.2

DIN 488-4 [R4], 6.3.2.4.1: Einzelstabbetonstahlmatte → bei $\phi > 8,5 \text{ mm}$: $\phi_{\min} \geq 0,7 \phi_{\max}$

EC2-1-1, (NDP) 9.3.1.1: (3) Größtabstand

$s_{\max, \text{slabs}}$ der Bewehrung beachten!

hier: längs / quer $s \leq 190 / 250 \text{ mm}$ (interpoliert)

EC2-1-1, 5.5: (4) Gl. (5.10a):

Linear-elastische Berechnung mit Umlagerung

$x_u / d = \xi = 0,159 < 0,45$

$d = h - c_v - \phi / 2$

$= 190 - 25 - 10 / 2 = 160 \text{ mm}$

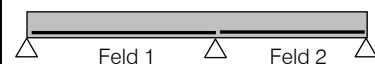
Anhang A4:

Bemessungstabelle bis C50/60

Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung
Biegung mit Längskraft

Lagermatten sind Betonstahlmatten mit bestimmten Mattenabmessungen, die im Lieferprogramm des Fachverbandes Betonstahlmatten e. V. enthalten sind, allgemein angeboten werden und über Händler zu beziehen sind (siehe Anhang A3).

Listenmatten sind Betonstahlmatten, deren Mattenumriss (Länge, Breite) und Mattenaufbau (Stababstände, -durchmesser, -längen) vom Konstrukteur bzw. Besteller entsprechend den bauteilbezogenen Anforderungen und den Möglichkeiten des Herstellers gewählt werden können (DIN 488-4 [R4] beachten).



EC2-1-1, (NDP) 9.3.1.1: (3) Größtabstand

$s_{\max, \text{slabs}}$ der Bewehrung beachten!

hier: längs / quer $s \leq 190 / 250 \text{ mm}$ (interpoliert)

EC2-1-1, 9.3.1.1: Biegebewehrung

(2) einachsig gespannte Platten

Querbewehrung i. d. R. mindestens 20 % der Zugbewehrung

DIN 488-4 [R4], 6.3.2.4.1: Einzelstabbetonstahlmatte → bei $\phi > 8,5 \text{ mm}$: $\phi_{\min} \geq 0,7 \phi_{\max}$

4.3 Bemessung für Querkraft

Der Nachweis wird für die extreme Querkraft am Auflager B links geführt.

$$|V_{Ed, \text{Bli}}| = 47,4 \text{ kN/m}$$

Der Ermittlung der Querkraftbewehrung darf bei gleichmäßig verteilter Belastung und direkter Auflagerung die Querkraft im Abstand d vom Auflagerrand zugrunde gelegt werden.

$$\begin{aligned} V_{Ed, \text{red}} &= 47,4 - (0,12 + 0,16) \cdot 16,1 \\ &= 42,9 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Aufnehmbare Querkraft $V_{Rd,c}$ bei Bauteilen ohne Querkraftbewehrung:

$$v_{Rd,c} = [(0,15 / \gamma_c) \cdot k \cdot (100\rho \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,12\sigma_{cp}] \cdot d$$

Dabei darf jedoch ein Mindestwert der Querkrafttragfähigkeit $v_{Rd,c, \text{min}}$ biegebewehrter Bauteile ohne Querkraftbewehrung nach Gleichung (6.2b) und (6.3aDE) für $d \leq 600 \text{ mm}$ angesetzt werden.

$$v_{Rd,c, \text{min}} = \left[\frac{0,0525}{\gamma_c} \cdot \sqrt{k^3 \cdot f_{ck}} + 0,12\sigma_{cp} \right] \cdot d$$

$$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} k &= 1 + (200 / d)^{1/2} && \leq 2,0 \\ &\text{wegen } d = 160 \text{ mm} < 200 \text{ mm}: && k = 2,0 \end{aligned}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0$$

$$v_{Rd,c, \text{min}} = \left[\frac{0,0525}{1,5} \cdot \sqrt{2,0^3 \cdot 20} \right] \cdot 0,16 \cdot 10^3 = 70,8 \text{ kN/m}$$

$$100\rho = a_{sl} / d = 5,24 / 16 = 0,33 \% \leq 2 \%$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= (0,15 / 1,5) \cdot 2,0 \cdot (0,33 \cdot 20)^{1/3} \cdot 0,16 \cdot 10^3 \\ &= 60,0 \text{ kN/m} < v_{Rd,c, \text{min}} \end{aligned}$$

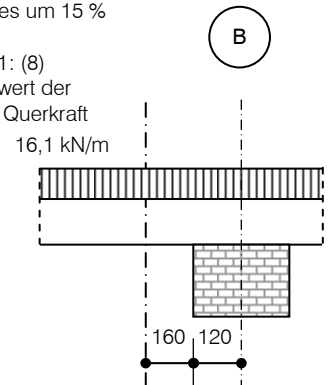
$$v_{Ed, \text{red}} = 42,9 \text{ kN/m} < v_{Rd,c, \text{min}} = 70,8 \text{ kN/m}$$

→ Keine Querkraftbewehrung erforderlich!

EC2-1-1, 6.2: Querkraft

siehe 3.3, nach Umlagerung des Stützmomentes um 15 %

EC2-1-1, 6.2.1: (8)
Bemessungswert der einwirkenden Querkraft



EC2-1-1, 6.2.2: (1) Gl. (6.2a) auf 1 m Plattenbreite bezogen

Die Mindestquerkrafttragfähigkeit nach den Gln. (6.2b) und (6.3aDE) wird bei gering längsbewehrten Bauteilen (ca. $\rho < 0,5 \%$ bis $0,8 \%$) größer als die Querkrafttragfähigkeit nach Gl. (6.2a).

EC2-1-1, 6.2.2: (1) Gl. (6.2b) mit Gl. (6.3aDE) auf 1 m bezogen, Mindestquerkrafttragfähigkeit

C20/25

EC2-1-1, 6.2.2: (1)

$N_{Ed} = 0$ Längskraft im Querschnitt infolge äußerer Einwirkung oder infolge wirksamer Vorspannung (Druck positiv)

EC2-1-1, Bild 6.3: A_{sl} = Fläche der Zugbewehrung, die mindestens um das Maß $(l_{bd} + d)$ über den betrachteten Querschnitt hinaus geführt und dort wirksam verankert wird. Hier: $a_{sl} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$ siehe 4.2.1 – Bei Zwischenauflagern ist für diesen Nachweis die obere Bewehrung maßgebend!

EC2-1-1, (NCI) 9.3.2: (2) Bei Platten ohne rechnerisch erforderliche Querkraftbewehrung ($v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$) mit einem Verhältnis $b/h > 5$ ist keine Mindestbewehrung für Querkraft erforderlich.

Die Begrenzung der Druckstreben­tragfähigkeit nach EC2-1-1, 6.2.2: (6), Gl. (6.5) ist nicht maßgebend, ggf. nur relevant bei auflagernahen Einzellasten

4.4 Brandschutztechnischer Nachweis

Die brandschutztechnischen Anforderungen an die Bauteile ergeben sich aus den Anforderungen der Landesbauordnungen (vgl. auch MBO [2]).

Bauaufsichtliche Anforderung	Tragende Bauteile ohne Raumabschluss	Tragende Bauteile mit Raumabschluss	Nichttragende Innenwände
feuerhemmend	R 30	REI 30	EI 30
hochfeuerhemmend	R 60	REI 60	EI 60
feuerbeständig	R 90	REI 90	EI 90
Brandwand	–	REI-M 90	EI-M 90

Die Anforderungen an Geschossdecken in mehrgeschossigen Gebäuden, die der Abtrennung von Brandabschnitten dienen, werden in der Regel mit REI 90 „feuerbeständig“ festgelegt.

Der Nachweis kann in den meisten Fällen für die einzelnen Bauteile mit der einfachsten Stufe 1: Tabellenverfahren geführt werden.

Maßgebend für unbekleidete Stahlbetonplatten ist EC2-1-2, Tabelle 5.8.

Auszug EC2-1-2, Tabelle 5.8: Mindestmaße und -achsabstände für statisch bestimmt gelagerte, einachsig gespannte Stahlbetonplatten

Feuerwiderstandsklasse	Mindestabmessungen (mm)	
	Plattendicke h_s	Achsabstand a
REI 30	60	10
REI 60	80	20
REI 90	100	30
REI 120	120	40
REI 180	150	55
REI 240	175	65

Die Randbedingungen für die Anwendung der Tabelle 5.8 sind in diesem Beispiel eingehalten:

- Die Plattendicke in Tabelle 5.8 gilt auch für statisch unbestimmt gelagerte Platten (Durchlaufplatten).

- Tabelle 5.8 und die folgenden Regeln gelten für Platten, bei denen die Momentenumlagerung bei Normaltemperatur nicht mehr als 15 % beträgt.

- Die Stützbewehrung ist gegenüber der nach DIN EN 1992-1-1 erforderlichen Länge aus der Zugkraftdeckung beidseitig um $0,15l$ weiter ins Feld zu führen, wobei l die Stützweite des angrenzenden größeren Feldes ist.

- Eine Mindestbewehrung $A_s \geq 0,005A_c = 0,005 \cdot 19,0 \cdot 100 = 9,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ über der Zwischenstütze ist hier nicht erforderlich, da kein kaltverformter Betonstahl verwendet wird und Lastwirkungen quer zur Spannrichtung wegen der durchgängigen Linienlagerung auf Wänden umgelagert werden können.

$$\begin{aligned} \text{vorh } h &= 190 \text{ mm} &> \text{min } h_s &= 100 \text{ mm} \\ \text{vorh } a &= 30 \text{ mm} &= \text{min } a &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

→ Der Nachweis für REI 90 ist erbracht.

EC2-1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall [E5], [E6]

Sinnvollerweise werden diese Anforderungen durch ein gebäudeübergreifendes Brandschutzkonzept unter Würdigung aller Schutzziele bauteilbezogen detailliert.

R – Standsicherheit (Résistance)
 E – Raumabschluss in Bezug auf Feuer und Rauch (Étanchéité)
 I – Wärmedämmung in Bezug auf die Bauteiltemperatur auf der brandabgewandten Seite (Isolation)
 M – Widerstand gegen mechanische Beanspruchung, (z. B. Standsicherheit beim Versagen benachbarter Bauteile im Brandfall (Mechanical))
 Öffnungen in solchen Decken, z. B. für Installationen, müssen dann mit den Anforderungen EI 90 geschlossen werden.

EC2-1-2, 5.1: Tabellarische Daten
 (1) für die Normbrandbeanspruchung (ETK - Einheitstemperaturzeitkurve) bis 240 Minuten
 (2) für Normalbeton mit quarzithaltiger Gesteinskörnung (Reduzierung der Mindestabmessung des Querschnitts um 10 % bei Balken oder Platten mit kalksteinhaltiger Gesteinskörnung zulässig)
 (3) keine weiteren Überprüfungen hinsichtlich Schub- und Torsionstragfähigkeit und Verankerung der Bewehrung erforderlich.

EC2-1-2, 5.7.2: Tab. 5.8
 EC2-1-2, 5.7.1: (2) Mindestplattendicke h_s für Raumabschluss (Kriterien E und I) erforderlich. Für die Tragfähigkeit (Kriterium R) allein ist die erforderliche Plattendicke aus der Kaltbemessung nach EC2-1-1 ausreichend. In diesem Beispiel: direkt brandbeanspruchte Deckenunterseite ohne Bekleidung (z. B. durch Putz). Eine mögliche Brandbeanspruchung auf der Deckenoberseite ist wegen des 60 mm dicken Zementstrichs nicht maßgebend → ohne weiteren Nachweis.

EC2-1-2, 5.7.3: (1)

EC2-1-2, 5.7.3: (2) → siehe Umlagerung in 3.3

EC2-1-2, (NDP) 5.7.3:
 (2) Zusätzliche Regeln zur Rotationsfähigkeit über dem Zwischenaufleger
 → in 6.4: bei Verankerung der Stützbewehrung beachten

EC2-1-2, 5.7.3: (3) $A_{s,min} \geq 0,005 A_c$ wenn:
 a) Verwendung kaltverformter Betonstahl;
 b) keine Biegeeinspannung bei Zweifeld-Durchlaufplatten an den Endauflagern;
 c) keine Lastquerverteilung
 Hier: Betonstahl B500B warmgewalzt

$$a = 25 + 10 / 2 = 30 \text{ mm, siehe 1.3}$$

5 Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit

5.1 Begrenzung der Spannungen unter Gebrauchsbedingungen

Die Bedingungen nach EC2-1-1, 7.1 (NA.3) (siehe Kommentar) sind im Beispiel eingehalten, die Spannungsnachweise unter Gebrauchsbedingungen dürfen entfallen.

5.2 Grenzzustände der Rissbildung

Bei den vorliegenden Verhältnissen (Abmessungen, Lagerausbildung) kann davon ausgegangen werden, dass eine unter Umständen auftretende Zwangsbeanspruchung der dünnen Platte die Risschnittgröße nicht erreicht bzw. auftretende Risse in der Expositionsklasse XC1 die Dauerhaftigkeit nicht beeinträchtigen.

Auf Nachweise zur Begrenzung der Rissbreite wird daher verzichtet.

5.3 Begrenzung der Verformungen

Der vereinfachte Nachweis durch eine Begrenzung der Biegeschlankheit wurde bei der Bestimmung der erforderlichen Deckendicke geführt.

6 Bewehrungsführung, bauliche Durchbildung

6.1 Grundwert der Verankerungslänge

Grundwert:

$$l_{b,reqd} = (\phi / 4) \cdot (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

Bemessungswert Verbundspannung:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

$$\text{gute Verbundbedingungen: } \eta_1 = 1,0$$

$$\phi < 32 \text{ mm: } \eta_2 = 1,0$$

$$C20/25: f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_C = 1,0 \cdot 1,5 / 1,5 = 1,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \approx 2,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Bemessungswert Stahlspannung: } f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

Ort	Betonstahl	
	ϕ (mm)	$l_{b,reqd}$ (mm)
Auflager B + Feld 1	10	473
Feld 2	8	378

EC2-1-1, 7.1: (NA.3) Die Spannungsnachweise nach 7.2 dürfen für Stahlbetontragwerke des üblichen Hochbaus i. Allg. entfallen, wenn die Schnittgrößen nach E-Theorie ermittelt und im GZT um nicht mehr als 15 % umgelagert wurden und die bauliche Durchbildung nach Abschnitt 9 (Konstruktionsregeln) durchgeführt wird und insbesondere die Festlegungen für die Mindestbewehrungen eingehalten sind.

EC2-1-1, 7.3.3: (1) Bei Stahlbetonplatten in der Expositionsklasse XC1, die durch Biegung ohne wesentlichen zentrischen Zug beansprucht werden, sind keine Nachweise zur Begrenzung der Rissbreite notwendig, wenn deren Gesamtdicke 200 mm nicht übersteigt und die Festlegungen nach 9.3 (Konstruktionsregeln für Vollplatten) eingehalten sind.

EC2-1-1, 7.4

siehe in diesem Beispiel unter 1.4.

EC2-1-1, 8.4.3

EC2-1-1, 8.4.3 (2), Gl. (8.3)

EC2-1-1, 8.4.2 (2), Gl. (8.2)

EC2-1-1, (NCI) 8.4.2 (2): gute Verbundbedingungen bis $h \leq 300$ mm

EC2-1-1, 3.1.3, Tab. 3.1: $f_{ctk;0,05}$

EC2-1-1, (NDP) 3.1.6 (2),

Gl. (3.16) mit $\alpha_{ct} = 1,0$

Ermittlung der Grundwerte mit Bemessungswert der Streckgrenze: $\sigma_{sd} = f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$. Wenn die Betonstahlspannung in der Bemessung von f_{yd} abweicht, kann alternativ der Bemessungswert der Verankerungslänge mit dem Faktor $\sigma_{sd} / f_{yd} = (A_{s,erf} / A_{s,vorh})$ angepasst werden.

6.2 Verankerung am Endauflager

Mindestens die Hälfte der (erforderlichen) Feldbewehrung ist über das Auflager zu führen und dort zu verankern.
 Im Beispiel: Führung der gesamten Feldbewehrung über das Endauflager.

Zu verankernde Zugkraft Endauflager A:

$$F_{Ed} = |V_{Ed}| \cdot a_i / z + N_{Ed} \geq |V_{Ed}| / 2$$

$$V_{Ed} = 33,1 \text{ kN/m} \quad N_{Ed} = 0$$

$$\text{Versatzmaß } a_i = 1,0d = 160 \text{ mm}$$

$$F_{Ed} = 33,1 \cdot 1,0 / 0,9 = 36,8 \text{ kN/m}$$

$$a_{s,erf} = F_{Ed} / f_{yd} = 0,0368 \cdot 10^4 / 435 = 0,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Erforderliche Verankerungslänge:

Kriterium	Betonstabstahl $\phi 10 / 150 \text{ mm}$
$l_{b,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot l_{brq}$ $\geq 10\phi$	gerade Stabenden: $\alpha_1 = 1,0$ $l_{b,min} = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 473 = 142 \text{ mm}$ $> 10 \cdot 10 = 100 \text{ mm}$
$l_{bd} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \cdot (a_{s,erf} / a_{s,vorh})$ $\geq l_{b,min}$	$l_{bd} = 1,0 \cdot 473 \cdot (0,85 / 5,24)$ $= 77 \text{ mm}$ $< 142 \text{ mm}$
$l_{bd,dir} = \alpha_5 \cdot l_{b,rqd}$ $\geq 6,7\phi$	$l_{bd,dir} = (2/3) \cdot 142 = 95 \text{ mm}$ $> 6,7 \cdot 10 = 67 \text{ mm}$
Gewählt:	$l_{bd,dir} = 100 \text{ mm}$

Die Feldbewehrung wird um das Maß $100 \text{ mm} = t - c_{nom} = 120 - 20 \text{ mm}$
 $> erf l_{bd,dir}$ hinter die Auflagervorderkante von Endauflager A und C geführt.

6.3 Verankerung am Zwischenaufleger

Mindestens die Hälfte der (erforderlichen) Feldbewehrung ist über das Auflager zu führen und dort zu verankern.

Im Beispiel:
 Führung der gesamten Feldbewehrung über das Auflager B.

$$\min l_{bd,dir} > 6\phi = 6 \cdot 10 = 60 \text{ mm}$$

Annahme: Vertragliche Festlegung wegen sehr ungleichmäßiger Gründung
 Zur Aufnahme positiver Momente infolge außergewöhnlicher Beanspruchungen wegen unplanmäßiger Auflagersetzungen wird die Feldbewehrung über Auflager B kraftschlüssig gestoßen.

EC2-1-1, 9.3.1.2: (1)
 Bewehrung von Platten in Auflagernähe

EC2-1-1, 9.2.1.4: (2) Gl. (9.3DE)

siehe 3.1, LF2

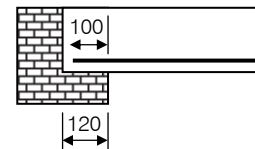
EC2-1-1, 9.2.1.3: (2)
 Versatzmaß ohne Querkraftbewehrung

EC2-1-1, 6.2.3: (1)
 $z = 0,9d$ angenommen.

EC2-1-1, 8.4.4 (1), Gl. (8.6) Zugstäbe
 Tab. 8.2: Verankerungsart gerade Stäbe
 α_2 bis $\alpha_5 = 1,0$

EC2-1-1, 8.4.4 (1), Gl. (8.4)
 $l_{b,rqd}$ mit f_{yd} ermittelt

EC2-1-1, (NCI) 9.2.1.4: (3)
 bei direkter Auflagerung



Die Endauflager A und C werden aus konstruktiven Gründen gleich behandelt, insbesondere da hier $l_{b,min}$ maßgebend und ($V_{Ed,C} < V_{Ed,A}$) ist.

EC2-1-1, 9.3.1.2: (1)
 Bewehrung von Platten in Auflagernähe

EC2-1-1, (NCI) 9.2.1.5: (2)
 An Zwischenauflagern von durchlaufenden Bauteilen ist es ausreichend die erforderliche Bewehrung mindestens um das Maß 6ϕ hinter den Auflagertrand zu führen.

EC2-1-1, (NCI) 9.2.1.5: (3)
 Eine Bewehrung, die mögliche positive Momente aufnehmen kann (z. B. Auflagersetzungen, Explosion usw.), ist in der Regel in den Vertragsunterlagen festzulegen.

50 % der aufnehmbaren Zugkraft der (schwächeren) Feldbewehrung 2 soll im Stoß übertragen werden können.
 Diese Annahme nimmt die Forderung nach mindestens der Hälfte der zum Auflager zu führenden und zu verankernden Feldbewehrung auf.

Übergreifungslänge über dem Zwischenaufleger (Verschränkung)

Kriterium	Betonstahlmatte R335A: ϕ 8 mm
$l_{0,min} = 0,3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd}$ $\geq 15\phi$ $\geq 200 \text{ mm}$ $\geq s_{quer}$	gerade Stabenden: $\alpha_1 = 1,0$ $\alpha_6 = 1,0$ $l_{0,min} = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 378 = 113 \text{ mm}$ $< 15 \cdot 8 = 120 \text{ mm}$ $< 200 \text{ mm}$ $< 250 \text{ mm}$ Abstand Querbewehrung ϕ 6
$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \cdot (a_{s,erf} / a_{s,vorh})$ $\geq l_{0,min}$	$l_0 = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 378 \cdot (0,5) = 189 \text{ mm}$ $< 250 \text{ mm}$
Gewählt:	$l_0 = 250 \text{ mm}$

Querbewehrung im Stoßbereich

Die Querbewehrung $\geq 20 \%$ für $\phi < 16 \text{ mm}$ von $a_{s,l}$ (wie gewählt) ist ausreichend!

6.4 Verankerung außerhalb der Auflager

Die Stäbe der nichtgestaffelten oberen Biegebewehrung über Auflager B sind im Feld von dem Punkt der Zugkraftlinie um das Maß l_{bd} zu verankern, ab dem sie nicht mehr benötigt werden.

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \cdot (a_{s,erf} / a_{s,vorh}) = 0 \quad (\text{wegen } a_{s,erf} = 0)$$

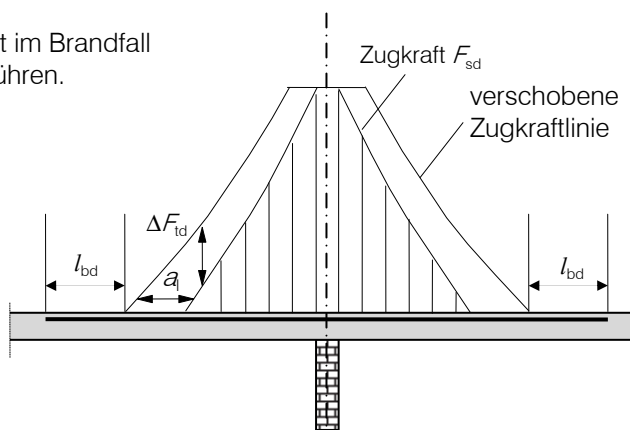
$$< l_{b,min} = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 473 = 142 \text{ mm}$$

Die Stützbewehrung ist auf beiden Seiten des Zwischenauflegers um

$$0,15l = 0,15 \cdot 5000 = 750 \text{ mm}$$

für die Tragfähigkeit im Brandfall weiter ins Feld zu führen.

Gewählt:
 $l_{bd} = 900 \text{ mm}$



Eine Alternative dazu ist der Ausschluss außergewöhnlicher Einwirkungen. Das Auftreten und die Folgen einer außergewöhnlichen Einwirkung werden in der Praxis einem bestimmten Risiko zugeordnet. Dabei sollte die Schädigung im Verhältnis zur Schadensursache stehen.
 EC1-1-7 [E17] enthält Strategien und Regelungen für die Sicherung von Hochbauten gegen identifizierbare und nicht-identifizierbare außergewöhnliche Einwirkungen.

Ein-Ebenen-Stöße können z. B. mit Randsparbereichen von Bewehrungsmatten oder den Stoß überdeckenden Zulagestäben hergestellt werden.

EC2-1-1, 8.7.3 (1), Gl. (8.11) Zugstäbe Tab. 8.2: Verankerungsart gerade Stäbe Tab. NA.8.3DE: Stoßbeiwert α_6 für gestoßene Stäbe $> 33 \%$ in der Zugzone und $\phi < 16 \text{ mm}$ mit $a > 8\phi$ (lichtes Maß) daher $\alpha_6 = 1,0$ ansetzbar;
 $l_{b,rqd}$ siehe 6.1, Feld 2
 EC2-1-1, (NCI) 8.7.5.1: (3) hier ϕ 6 / 250 mm

EC2-1-1, 8.7.3 (1), Gl. (8.10) mit $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_5 = 1,0$ angeschweißte Querstäbe dürfen nicht angesetzt werden.
 Annahme: 50 % der aufnehmbaren Zugkraft aus Feld 2 soll übertragen werden ($a_{s,erf} / a_{s,vorh}) = 0,5$

EC2-1-1, 8.7.4.1: (2) Wenn der Durchmesser der gestoßenen Stäbe $\phi < 20 \text{ mm}$ ist, dann darf die aus anderen Gründen vorhandene Querbewehrung als ausreichend angesehen werden.

EC2-1-1, 9.2.1.3: (3), Bild 9.2 Zugkraftdeckung

EC2-1-1, 8.4.4 (1), Gl. (8.4) $l_{b,rqd}$ siehe 6.1, Auflager B

EC2-1-2, (NDP) 5.7.3: (2) Zusätzliche Regeln zur Rotationsfähigkeit über dem Zwischenaufleger \rightarrow vorgeschrieben bei Anwendung des Tabellenverfahrens.
 mit l – Stützweite des angrenzenden größeren Feldes $l_{eff,1}$

Die Stützbewehrung wird weiter in die benachbarten Felder geführt, um die Rotationsfähigkeit über dem Zwischenaufleger im Brandfall sicherzustellen (siehe 4.4). Von der stärker temperaturbeanspruchten Feldbewehrung können sich so im Brandfall Anteile der Feldmomente auf die kühlere Stützbewehrung umlagern. Auch beim vereinfachten und allgemeinen Rechenverfahren kann eine fehlende Verlängerung der Stützbewehrung zum vorzeitigen Versagen des Bauteils führen.

EC2-1-1, 9.2.1.3: (3) Annahme auf der sicheren Seite: konstanter Kraftverlauf bis zum Nullpunkt der Zugkraftlinie, ab dort verankert.

6.5 Stöße der Querbewehrung

Variante Betonstahlmatte:

Der Übergreifungsstoß der Querbewehrung mit $\phi = 7 \text{ mm} \leq 8,5 \text{ mm}$ muss mindestens zwei Mattenmaschen $l_{0,\min} = 2 \cdot 150 = 300 \text{ mm}$ (= drei Längsstäbe) und mindestens $l_{0,\min} = 250 \text{ mm}$ überdecken.

EC2-1-1, 8.7.5.2: (1), Tab. 8.4
Stöße von Betonstahlmatten – Querbewehrung

Variante Betonstahl:

Übergreifungslänge l_0
für $\phi \leq 6 \text{ mm}$ maßgebend $l_{0,\min} = 200 \text{ mm}$

EC2-1-1, 8.7.3 (1), Gl. (8.10)
Übergreifungslänge l_0 für Bewehrungsstoß maßgebend wird $l_{0,\min} = 200 \text{ mm}$
siehe 6.3: für $\phi = 8 \text{ mm}$ ist $l_0 = l_{0,\min} = 200 \text{ mm}$, auch für $\phi = 6 \text{ mm}$ maßgebend!

6.6 Mindestbewehrung zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens

Rissmoment:

$$\begin{aligned} m_{cr} &= f_{ctm} \cdot h^2 / 6 \\ &= 2,2 \cdot 10^3 \cdot 0,19^2 / 6 \\ &= 13,2 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Widerstandsmoment des ungerissenen Querschnitts: $W = b \cdot h^2 / 6$

EC2-1-1, (NDP) 9.2.1.1:
Mindestbewehrung und Höchstbewehrung
(1) Anmerkung 2:
Bemessung mit f_{ctm} und $\sigma_s = f_{yk}$

$$\begin{aligned} \min a_s &= m_{cr} / (f_{yk} \cdot z) \\ &= 0,0132 \cdot 10^4 / (500 \cdot 0,9 \cdot 0,16) \\ &= 1,83 \text{ cm}^2/\text{m} \\ &< \text{vorh } a_{sI} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

EC2-1-1, Tab. 3.1:
 $f_{ctm} = 2,2 \text{ N/mm}^2$ für C20/25

$z = 0,9d$ angenommen.
siehe 4.2

6.7 Einspannbewehrung am Endauflager

$$\text{erf } a_{s,E} = 0,25 \cdot \text{erf } a_{s,F}$$

$$\begin{aligned} \text{erf } a_{s,E,1} &= 0,25 \cdot 5,16 = 1,29 \text{ cm}^2/\text{m} && \text{Feld 1} \\ \text{erf } a_{s,E,2} &= 0,25 \cdot 2,89 = 0,72 \text{ cm}^2/\text{m} && \text{Feld 2} \end{aligned}$$

EC2-1-1, 9.3.1.2: (2) Rechnerisch nicht erfasste Einspannwirkungen an den Endauflagern müssen bei der baulichen Durchbildung berücksichtigt werden. Bei Annahme frei drehbarer Lagerung sind die Querschnitte der Endauflager für ein Stützmoment zu bemessen, das mindestens 25 % des benachbarten Feldmomentes entspricht. Die Bewehrung muss, vom Auflagerrand gemessen, mindestens über die 0,2fache Länge des Endfeldes eingelegt werden.

eingebaut auf 0,2facher Länge des Endfeldes:

$$\begin{aligned} l_{1,E} &= 0,2 \cdot 5,00 \text{ m} = 1,00 \text{ m} \\ l_{2,E} &= 0,2 \cdot 4,00 \text{ m} = 0,80 \text{ m} \end{aligned}$$

Feldbewehrung siehe 4.2.2

Diese Bewehrung wird wie die Feldbewehrung 100 mm hinter die Auflagervorderkante geführt.

siehe 6.2

Gewählt:

Feld 1 (und 2*) oben

Betonstahl-Lagermatte B500A

$$\begin{aligned} \mathbf{R188A} &= 150 \cdot 6,0 / 250 \cdot 6,0 \\ &= 1,88 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

$$> 1,29 \text{ cm}^2/\text{m} = \text{erf } a_{s,E,1} \text{ längs}$$

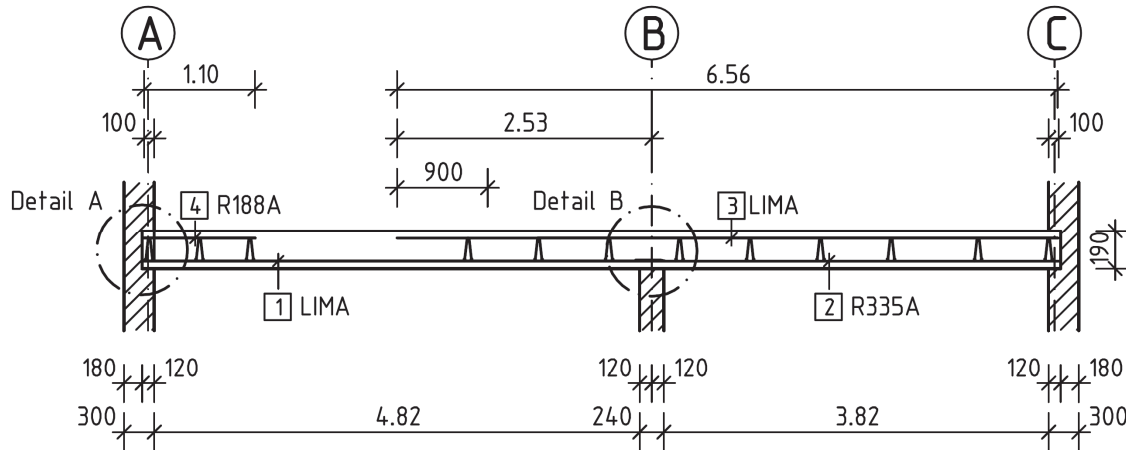
$$> 0,72 \text{ cm}^2/\text{m} = \text{erf } a_{s,E,2} \text{ längs}$$

* Wegen der aus Brandschutzgründen verlängerten Stützbewehrung wird diese mit der konstruktiven oberen Einspannbewehrung am Auflager zu einer oberen Bewehrungslage im Feld 2 zusammengeführt (mit durchgehender Listenmatte $\phi 10 / 150 \text{ mm}$).

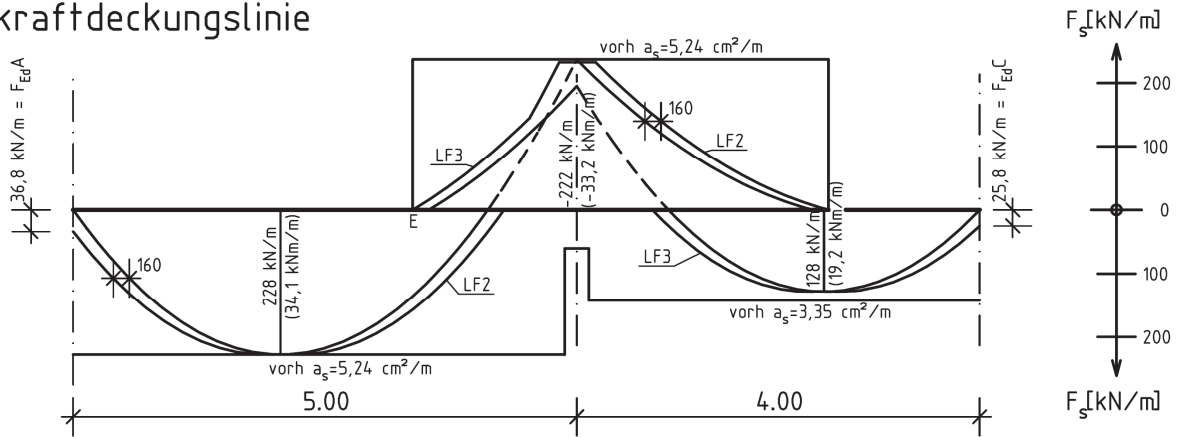
7 Darstellung der Bewehrung

Längsschnitt

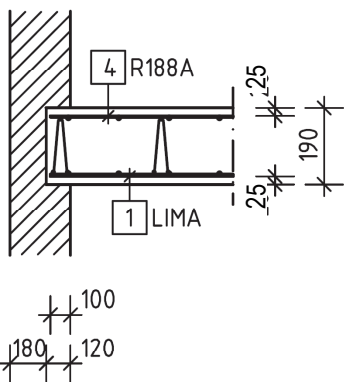
(Höhenmaßstab verzerrt)



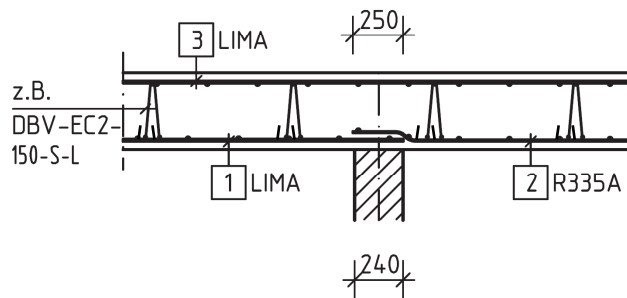
Zugkraftdeckungslinie



Detail A



Detail B



Liste der verwendeten Betonstahlmatten:

1	LIMA	150 × 10,0	- 80/80	5,16
		250 × 7,0	- 25/25	2,30
2	R335A	150 × 8,0	- 125/125	5,34
		250 × 6,0	- 25/25	2,30
3	LIMA	150 × 10,0	- 30/30	6,56
		250 × 7,0	- 25/25	2,30
4	R188A	150 × 6,0	- 125/125	1,10
		250 × 6,0	- 25/25	2,30

DICAD

Beispiel 1 Vollplatte einachsrig gespannt Darstellung der Bewehrung

Baustoffe:
 Beton: C20/25 XC1,W0
 Betonstahl: B500A
 Betondeckung:
 Verlegetmaß: $c_v = 25 \text{ mm}$
 Vorhaltmaß: $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

