

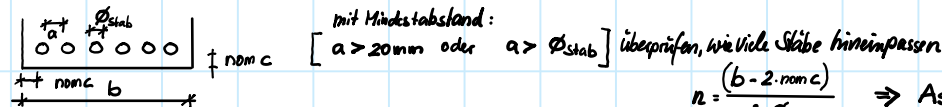
Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte (BEISPIEL LETZTE WOCHEN)

- ① Einwirkendes Moment : M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
Eigengewicht Verkehr und Schnee
 Zusätzlich berücksichtigen } Sicherheitsbasierte Lastsätt:
 $\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,5$
- ② Querschnitt als $\square$ vorgeben:
 $b = 60 \text{ cm} \quad h = 100 \text{ cm} \quad g_{\text{Träger}} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$
- Zusätzliches Gewicht:
 $0,6 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 15 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$
 $\Rightarrow \Delta M_d = \frac{15 \text{ KN/m} \cdot 1,35 \cdot (8,1 \text{ m})^2}{8} = 166 \text{ KNm}$
 $M_{sd} = 650 + 166 = 816 \text{ KNm}$

- ③ Innerer Hebelarm: $z = \alpha_s \cdot d = \alpha_s \cdot (h - \text{Betondeckung})$
 (Betondeckung wird vorgegeben) $z = 0,8 \cdot (h - \text{Betondeckung}) = 0,8 \cdot (100 - 25) = 75 \text{ mm}$
 Annahme sichere Seite

- ④ Bewehrung auf Zugseite vorgeben

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
0,50 cm ²	0,79 cm ²	1,13 cm ²	1,54 cm ²	2,01 cm ²	3,14 cm ²	4,91 cm ²	6,16 cm ²



$$n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom } c)}{2 \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$$

gewählt $\phi 28$

- ⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ KN/cm}^2}{1,15} = 49 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ KN/cm}^2}{1,15} = 2130 \text{ KN}$
 $n = \frac{60 \text{ cm} - 2 \cdot 6 \text{ cm}}{2 \cdot 2,8 \text{ cm}} = 8,5 \Rightarrow A_s = 8 \cdot 6,16 \text{ cm}^2 = 49 \text{ cm}^2$

- ⑥ $M_{rd} = F_{sd} \cdot z = 2130 \text{ KN} \cdot 0,75 \text{ m} = 1597 \text{ KNm}$
 $100\% \geq \frac{M_{sd}}{M_{rd}} \geq 80\% \quad \checkmark \rightarrow ⑦$

$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} < 80\%$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern

$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} > 100\%$ unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern

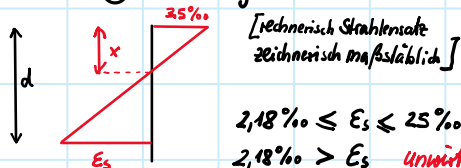
$$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} = \frac{816}{1597} = 0,51 \approx 51\% \Rightarrow \text{neue Abmessungen wählen!}$$

- ⑦ Vorgabe Betonfestigkeit f_{ck}

- ⑧ Behandlungszone berechnen

$$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} \quad F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b \quad \text{mit } F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad \text{Höhe der Behandlungszone: } x = \frac{h_b}{0,8}$$

- ⑨ Stahldehnung bestimmen



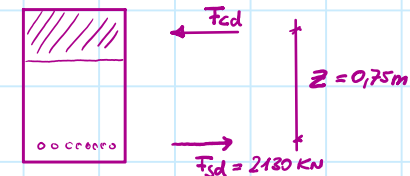
$$2,18\text{‰} \leq \epsilon_s \leq 25\text{‰} \quad \checkmark \rightarrow ⑩$$

$2,18\text{‰} > \epsilon_s$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern oder $\rightarrow$ ④ Stahl reduzieren

$\epsilon_s > 25\text{‰}$ unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern oder $\rightarrow$ ④ Stahl erhöhen

- ⑩ Innerer Hebelarm:

$$z = d - \frac{1}{2} h_b \quad \begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{\text{aus } ③} \quad \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{\text{aus } ③} \rightarrow ② \text{ Querschnitt vergrößern} \end{cases}$$



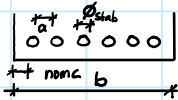
Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte (BEISPIEL LETZTE WOCHEN)

- ① **Einwirkendes Moment:** M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
Eigenmoment Verkehr Wind Schnee
 Zusätzlich berücksichtigen: $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$
 $\Delta M_{sd} = \frac{9 \cdot 135 \cdot 8 \cdot 1^2}{8} \approx 100 \text{ kNm}$
 $M_{sd} = 650 + 100 = 750 \text{ kNm}$
- ② **Querschnitt als $\square$ vorgeben:**
 $b = 60$ $h = 60$
 $g_{tr\ddot{a}ger} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 25 = 9 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}$

- ③ **Innere Hebelarm:** $z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot (h - \text{Betondeckung}) = 0,8(0,6\text{m} - 0,06\text{m}) = 0,43\text{m}$
 (Betondeckung wird vorgegeben)

- ④ **Bewehrung auf Zugseite vorgeben**

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
0,50 cm ²	0,79 cm ²	1,13 cm ²	1,54 cm ²	2,01 cm ²	3,14 cm ²	4,91 cm ²	6,16 cm ²



mit Mindestabstand:
 $a > 20\text{mm}$ oder $a > \phi_{stab}$ überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen

$$n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom } c)}{2 \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$$

$\phi 28$

$n = 8$
 $A_s = 49 \text{ cm}^2$

- ⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 2130 \text{ kN}$

- ⑥ $M_{ed} = F_{sd} \cdot z = 2130 \text{ kN} \cdot 0,43\text{m} = 916 \text{ kNm}$

$100\% \geq \frac{M_{sd}}{M_{ed}} \geq 80\% \checkmark \rightarrow ⑦ \quad \frac{M_{sd}}{M_{ed}} = \frac{750}{916} \hat{=} 82\% \checkmark$

$\frac{M_{sd}}{M_{ed}} < 80\%$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern

$\frac{M_{sd}}{M_{ed}} > 100\%$ unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern

- ⑦ **Vorgabe Betonfestigkeit f_{ck}** gewählt C30/37: $f_{ck} = 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 30 \frac{\text{kJ}}{\text{cm}^2}$

- ⑧ **Betondruckzone berechnen**

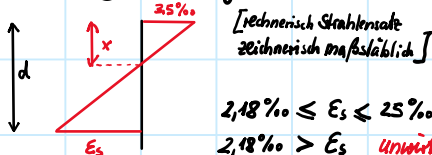
$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 0,85 \cdot \frac{30}{1,5} = 17 \text{ kN/cm}^2$
 $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$

mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Betondruckzone: $x = \frac{h_b}{0,8} =$

$h_b = \frac{2130 \text{ kN}}{0,95 \cdot 17 \frac{\text{kJ}}{\text{cm}^2} \cdot 60 \text{ cm}} = 22 \text{ cm}$

$x = \frac{22 \text{ cm}}{0,8} = 27,5 \text{ cm}$

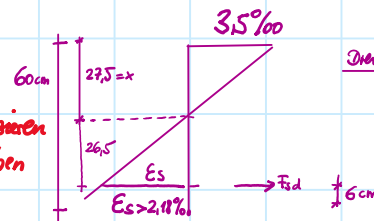
- ⑨ **Stahledehnung bestimmen**



$2,18\text{‰} \leq \epsilon_s \leq 25\text{‰} \checkmark \rightarrow ⑩$

$2,18\text{‰} > \epsilon_s$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern oder $\rightarrow$ ④ Stahl reduzieren

$\epsilon_s > 25\text{‰}$ unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern oder $\rightarrow$ ④ Stahl erhöhen



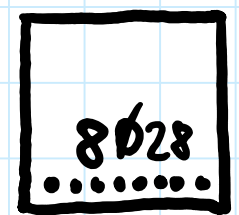
Druckseite: $\epsilon_s = 3,5\text{‰} \cdot \frac{54}{27,5} = 6,9\text{‰} \checkmark$

- ⑩ **Innere Hebelarm:**

$z = d - \frac{1}{2} h_b$
 $\begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{\text{aus } ③} \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{\text{aus } ③} \rightarrow ② \text{ Querschnitt vergrößern} \end{cases}$

$z = (60 - 6 \text{ cm}) - \frac{1}{2} 22 \text{ cm} = 43 \text{ cm} \geq 0,95 \cdot 43 \text{ cm} \checkmark$

60



C30/37

Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte VORLAGE

① Einwirkendes Moment : M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
Eigengewicht Verkehr / Wind / Schnee
 Zusätzlich berücksichtigen } Sicherheitsbeiwerte Lastseite: $\gamma_g = 1,35$ $\gamma_q = 1,5$

② Querschnitt als $\square$ vorgeben:
 $b = \dots$ $h = \dots$
 $g_{\text{träger}} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

③ Innerer Hebelarm: $z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot (h - \text{Betondeckung})$
 (Betondeckung wird vorgegeben)

$d = h - \text{nom } c$

④ Bewehrung auf Zugseite vorgeben

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
0,50 cm ²	0,79 cm ²	1,13 cm ²	1,54 cm ²	2,01 cm ²	3,14 cm ²	4,91 cm ²	6,16 cm ²

mit Mindestabstand: $a > 20 \text{ mm}$ oder $a > \phi_{\text{stab}}$ überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen
 $n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom } c)}{2 \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$ Tabelle

⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15}$

⑥ $M_{Rd} = F_{sd} \cdot z$

$100 \% \geq \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \geq 80 \% \checkmark \rightarrow ⑦$

$\frac{M_{sd}}{M_{Rd}} < 80 \%$ unwirtschaftlich $\rightarrow ②$ Querschnitt verkleinern / Stahlmenge verringern

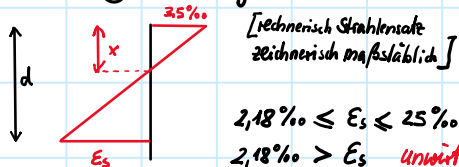
$\frac{M_{sd}}{M_{Rd}} > 100 \%$ unsicher $\rightarrow ②$ Querschnitt vergrößern / Stahlmenge vergrößern

⑦ Vorgabe Betonfestigkeit f_{ck}

⑧ Betondruckzone berechnen

$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,15}$ $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$ mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Betondruckzone: $x = \frac{h_b}{0,8}$

⑨ Stahldehnung bestimmen



$2,18 \% \leq \epsilon_s \leq 25 \% \checkmark \rightarrow ⑩$

$2,18 \% > \epsilon_s$ unwirtschaftlich $\rightarrow ②$ Querschnitt verkleinern oder $\rightarrow ④$ Stahl reduzieren

$\epsilon_s > 25 \%$ unsicher $\rightarrow ②$ Querschnitt vergrößern oder $\rightarrow ④$ Stahl erhöhen

⑩ Innerer Hebelarm:

$z = d - \frac{1}{2} h_b$ $\begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{\text{aus } ③} \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{\text{aus } ③} \rightarrow ② \text{ Querschnitt vergrößern} \end{cases}$

Begriffe:

M_{sd} : Summe aller einwirkenden Momente

[d = "design": inklusive Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_g = 1,35$; $\gamma_q = 1,5$]

M_{Rd} : Aufnehmbares Moment

nom c: Betondeckung

h, b : Breite; Höhe Betonguerschnitt

d : statisch wirksame Höhe

z : innerer Hebelarm

x : Betondruckzonenhöhe

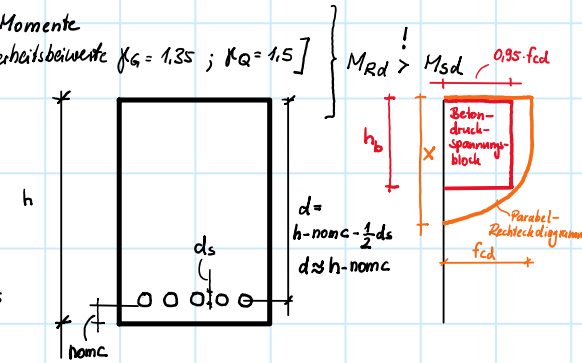
h_b : Höhe des Rechteck-Spannungsblocks

f_{ck} : Charakteristische Betondruckfestigkeit

f_{cd} : Bemessungs-Betondruckfestigkeit

F_{cd} : Betondruckkraft

F_{sd} : Stahlzugkraft



	Kenngröße	Festigkeitsklassen													
		C16/20	C25/30	C35/45	C45/55	C12/15	C20/25	C30/37	C40/50	C50/60					
1	f_{ck}	12 ^a	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
2	$f_{ck, \text{cube}}$	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105

Stahlbeton-Decken (einachsig spannende Decke)

11.3 Dach- und Deckenplatten (Stahlbeton-Vollplatten oder Elementdecken)

Systemskizze

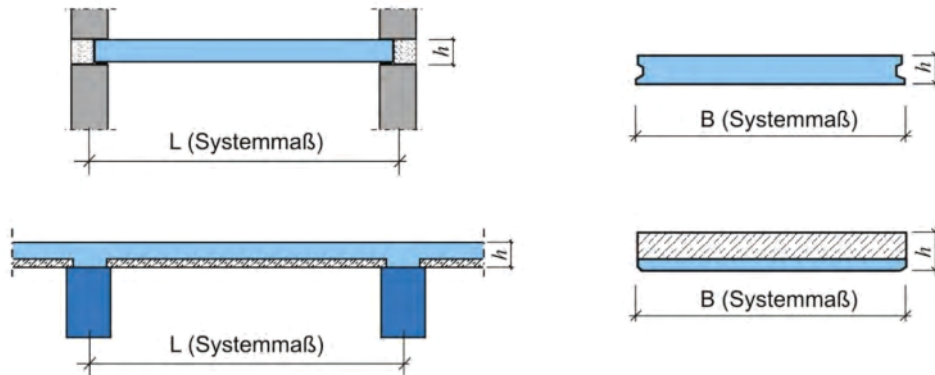


Tabelle 16: Deckendicke h [mm] in Abhängigkeit von den Einwirkungen $g_{k,i} + q_{k,i}$ für Durchlaufsysteme¹⁾

Systemmaß L	Deckendicke h [mm] bei Einwirkungen $g_{k,i} + q_{k,i}$ [kN/m²] für Durchlaufsysteme ¹⁾														
[m]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0	
3,0	120						120				140		160		
4,0	140						140				160		180		
5,0 ²⁾	180										200		220		
6,0 ²⁾	220										240				
7,5 ²⁾	240						260				280		300		

- 1) Bei einfeldrigen Platten ist die Deckendicke h um ca. 15% zu erhöhen.
- 2) Bei aufstehenden Trennwänden können zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein (z. B. rissichere Trennwände, größere Deckendicke)

Beispiel

Belag und Ausbaulasten $g_{k,2} = 1,50 \text{ kN/m}^2$

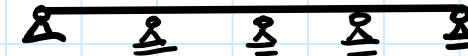
Nutzlasten $q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Lasten $g_{k,i} + q_k = 3,50 \text{ kN/m}^2$

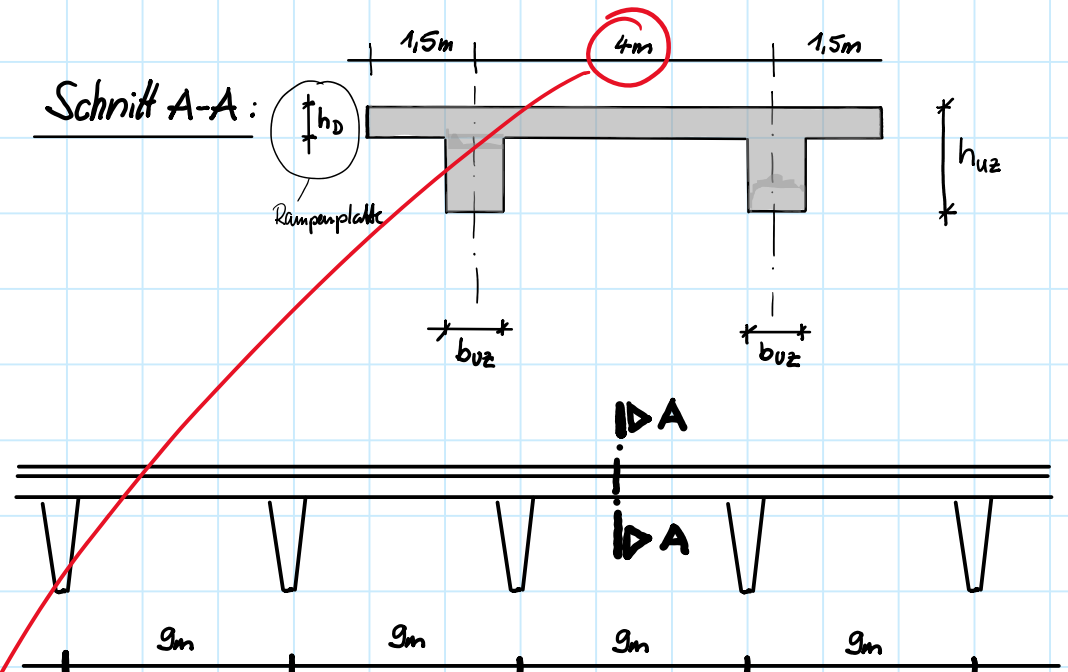
Systemmaß $L = 5,00 \text{ m}$

abgelesen $h = 180 \text{ mm}$

Bei einfeldrigen Platten $h = 200 \text{ mm}$



Beispiel Fußgängerrampe



①

Bemessung der Rampenplatte als Einfeldträger zwischen den beiden Unterzügen

Ausbauast $g_{k,1}$: 5cm Gussasphalt (Dichte 2200 kg/m³)

Verkehrslast $q_{k,1} = 5 \text{ kN/m}^2$

$$g_{k,1} = 0,05 \text{ m} \cdot 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{k,1} = 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ 5,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{array} \right\} 6,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\Rightarrow h = 1,15 \cdot 14 \text{ cm} \approx 16 \text{ cm}$$

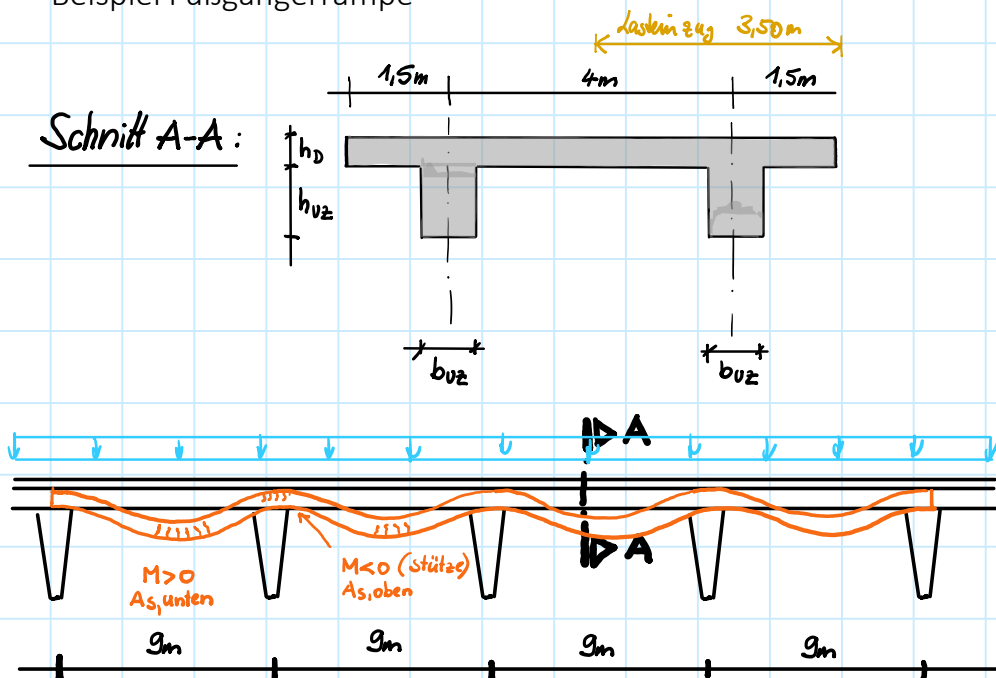
Tabelle 16: Deckendicke h [mm] in Abhängigkeit von den Einwirkungen $g_{k,i} + q_{k,i}$ für Durchlaufsysteme¹⁾

Systemmaß L [m]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	7,5	10,0	15,0	20,0	25,0
3,0	120				120				140		160			
4,0	140				140				140		180			
5,0 ²⁾	180				180				200		220			
6,0 ²⁾	220				220				240		240			
7,5 ²⁾	240				260				280		300			

1) Bei einfeldrigen Platten ist die Deckendicke h um ca. 15% zu erhöhen.

2) Bei aufstehenden Trennwänden können zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein (z. B. rissichere Trennwände, größere Deckendicke)

Beispiel Fußgängerampe



2(a)

$g_{\text{decke}} = 0.1 \text{ m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
 $g_{\text{Stütz}} = 0.5 \cdot 0.25 \cdot 25 = 3.125 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
 $g_{\text{Gesamt}} = 2.5 + 3.125 = 5.625 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
 $g_d = 1.35 \cdot g_k = 1.35 \cdot 26.6 = 36 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

(b) $q = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \Rightarrow q_k = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 3.5 \text{ m} = 17.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

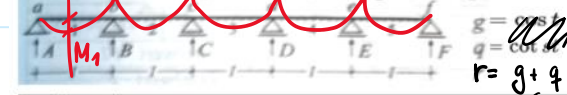
$q_d = q_k \cdot \gamma_q = 17.5 \cdot 1.5 = 26 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$M_1 = 0.077 \cdot (36 + 26) \cdot 9^2 = 387 \text{ kNm}$
 $M_b = -0.107 \cdot (\quad) \cdot 9^2 = -538 \text{ kNm}$

1.4 Durchlaufträger

1.4.1 Durchlaufträger mit gleichen Stützweiten und Gleichstreckenlast ($EI = \text{const}$)²

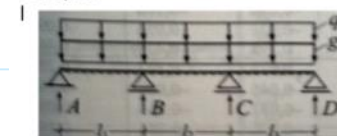
Größtwerte der Biegemomente, Auflager- und



$\text{Momente} = \text{Tafelwert} \cdot r l^2$
 $\text{Kräfte} = \text{Tafelwert} \cdot r l$

Felder		q/r (Verkehrslastverhältnis)											
		0,0 nur g	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
2	M ₁	0,070	0,073	0,075	0,078	0,080	0,083	0,085	0,088	0,090	0,093	0,096	
	M _b	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	-0,125	
	A	0,375	0,382	0,388	0,394	0,400	0,407	0,413	0,418	0,426	0,431	0,437	
	B	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	
	Q _{bl}	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	
3	M ₁	0,080	0,082	0,084	0,086	0,088	0,090	0,092	0,095	0,097	0,099	0,101	
	M ₂	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	
	M _b	-0,100	-0,102	-0,103	-0,105	-0,107	-0,108	-0,110	-0,112	-0,113	-0,115	-0,117	
	A	0,400	0,405	0,410	0,415	0,420	0,426	0,429	0,435	0,441	0,444	0,450	
	B	1,099	1,110	1,117	1,132	1,141	1,151	1,159	1,172	1,181	1,188	1,202	
	Q _{bl}	0,599	-0,602	-0,602	-0,606	-0,606	-0,610	-0,610	-0,613	-0,613	-0,613	-0,617	
	Q _{br}	0,500	0,508	0,515	0,526	0,535	0,541	0,549	0,559	0,568	0,575	0,585	
	4	M ₁	0,077	0,079	0,081	0,084	0,086	0,088	0,090	0,093	0,095	0,097	0,100
		M ₂	0,036	0,041	0,045	0,050	0,054	0,058	0,063	0,067	0,072	0,076	0,081
M _b		-0,107	0,108	0,110	0,111	-0,113	-0,114	0,115	0,117	0,118	0,119	0,121	
M _c		-0,071	0,075	0,079	-0,082	-0,056	-0,089	0,093	0,096	0,100	0,104	0,107	
A		0,392	0,398	0,403	0,408	0,415	0,420	0,426	0,431	0,435	0,441	0,446	
B		1,141	1,153	1,159	1,166	1,175	1,181	1,188	1,198	1,205	1,216	1,223	
C		0,930	0,948	0,970	0,996	1,016	1,036	1,058	1,082	1,098	1,124	1,142	
Q _{bl}		-0,606	-0,610	0,610	-0,613	-0,613	-0,613	-0,613	-0,617	-0,617	0,621	-0,621	
Q _{br}		0,535	0,544	0,549	0,556	0,562	0,568	0,575	0,581	0,588	0,595	0,602	
5	M ₁	0,078	0,080	0,082	0,084	0,086	0,089	0,091	0,093	0,095	0,098	0,100	
	M ₂	0,033	0,038	0,042	0,047	0,052	0,056	0,061	0,065	0,070	0,075	0,079	
	M _b	0,046	0,050	0,054	0,058	0,062	0,066	0,070	0,074	0,078	0,082	0,086	
	M _c	-0,105	-0,107	-0,108	-0,110	-0,111	-0,112	-0,114	-0,115	-0,117	-0,118	-0,120	
	A	-0,079	-0,082	-0,085	-0,089	-0,092	-0,095	-0,098	-0,102	-0,105	-0,108	-0,111	
	B	0,395	0,400	0,405	0,410	0,415	0,422	0,426	0,431	0,437	0,442	0,447	
	C	1,132	1,141	1,151	1,156	1,166	1,175	1,181	1,191	1,202	1,209	1,220	
	Q _{bl}	0,974	0,993	1,013	1,031	1,053	1,072	1,091	1,111	1,127	1,146	1,170	
	Q _{br}	-0,606	-0,606	-0,610	-0,610	-0,610	-0,613	-0,613	-0,613	-0,617	-0,617	-0,621	
6	Q _{br}	0,526	0,535	0,541	0,546	0,556	0,562	0,568	0,578	0,585	0,592	0,599	
	Q _{cl}	-0,474	-0,483	0,495	-0,505	-0,515	-0,526	-0,535	-0,546	-0,556	-0,565	-0,578	
	Q _{cr}	0,500	0,510	0,518	0,526	0,538	0,546	0,556	0,565	0,571	0,581	0,592	

Beispiele



$h = h = h = l = 5.0 \text{ m}$
 $g = 6.0 \text{ kN/m}; q = 1.5 \text{ kN/m}$

$\max M_1 = \max M_3 = 0.084 \cdot 7.5 \cdot 5.0^2 = 15.8 \text{ kNm}$
 $\max M_2 = 0.035 \cdot 7.5 \cdot 5.0^2 = -19.3 \text{ kNm}$
 $\min M_0 = \min M_4 = -0.103 \cdot 7.5 \cdot 5.0^2 = -19.3 \text{ kNm}$
 $\max A = \max D = 0.410 \cdot 7.5 \cdot 5.0 = 15.4 \text{ kN}$
 $\max B = \max C = 1.117 \cdot 7.5 \cdot 5.0 = 41.9 \text{ kN}$
 $\min Q_{bl} = -\max Q_{cr} = -0.602 \cdot 7.5 \cdot 5.0 = -22.6 \text{ kN}$
 $\max Q_{cr} = -\min Q_{bl} = 0.515 \cdot 7.5 \cdot 5.0 = 19.3 \text{ kN}$

Beispiel Fußgängerrampe

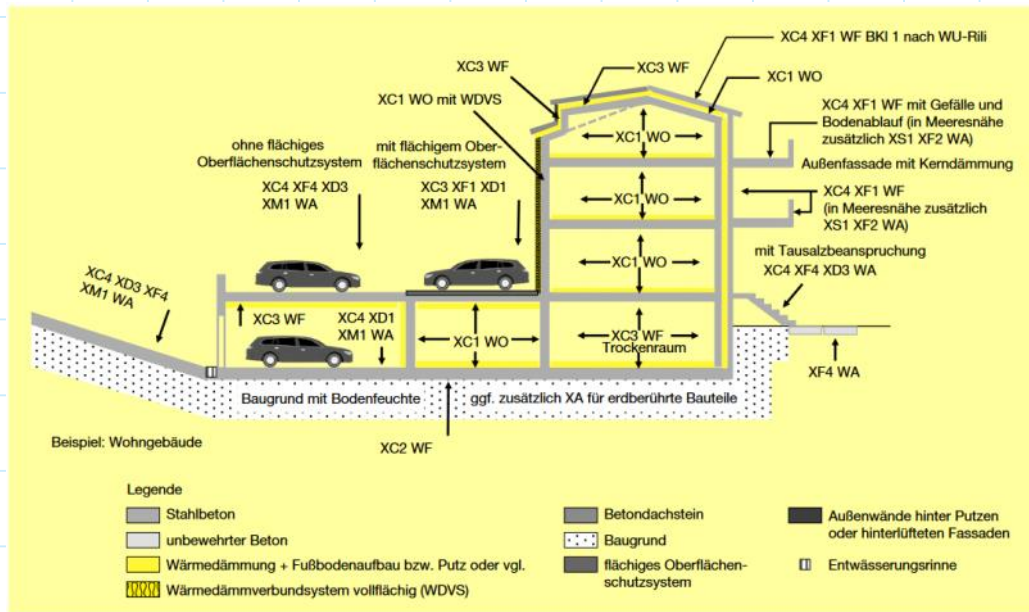


Bild 1: Beispiel für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositions- und Feuchtigkeitsklassen an einem Wohnhaus

Tafel 16: Betondeckung der Bewehrung für die indikative Mindestfestigkeitsklasse¹⁾ des Betons

Expositionsklasse	Festigkeitsklasse f_{ck}	Stabdurchmesser ²⁾ Φ bzw. Φ_n [mm]	Mindestmaß c_{min} [mm]	Vorhaltemaß Δc_{dev} [mm]	Nennmaß c_{nom} [mm]
XC1	$\geq C16/20$	bis 10	$c_{min,dur} = 10$	10	20
		12 - 14	$c_{min,b} = 12 - 14$	10	25
		16 - 20	$c_{min,b} = 16 - 20$	10	30
		25	$c_{min,b} = 25$	10	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10	45
XC2 XC3	$\geq C16/20$ $\geq C20/25$	bis 20	$c_{min,dur} = 20$	15	35
		25	$c_{min,b} = 25$	10 ³⁾	35
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
XC4	$\geq C25/30$	bis 25	$c_{min,dur} = 25$	15	40
		28	$c_{min,b} = 28$	10 ³⁾	40
		32	$c_{min,b} = 32$	10 ³⁾	45
XD1, XS1	$\geq C30/37$ ⁴⁾	bis 32	$c_{min,dur} + \Delta c_{dur,i}$ $= 40$	15	55
XD2, XS2	$\geq C35/45$ ⁴⁾				
XD3 ⁴⁾ , XS3	$\geq C35/45$ ⁴⁾				

¹⁾ Bei mehreren zutreffenden Expositionsklassen für ein Bauteil ist jeweils die Expositionsklasse mit der höchsten Anforderung maßgebend (indikative Mindestfestigkeitsklasse). Alle Angaben für Normalbeton bis max. Größtkorn 32 mm und ohne Berücksichtigung von Vorspannbewehrung. Ggf. zusätzliche Vergrößerung bzw. Verminderung der Betondeckung (siehe unten). Der Tafel liegt die Anforderungskategorie S3 für Deutschland zugrunde.

²⁾ Bei Stabdurchmessern ist anstelle Φ der Vergleichsdurchmesser Φ_n maßgebend.

³⁾ Da Verbundbewehrung maßgebend, hier nur mit $\Delta c_{dev} \geq 10$ mm nach DIN EN 1992-1-1, 4.4.1.2 (3)

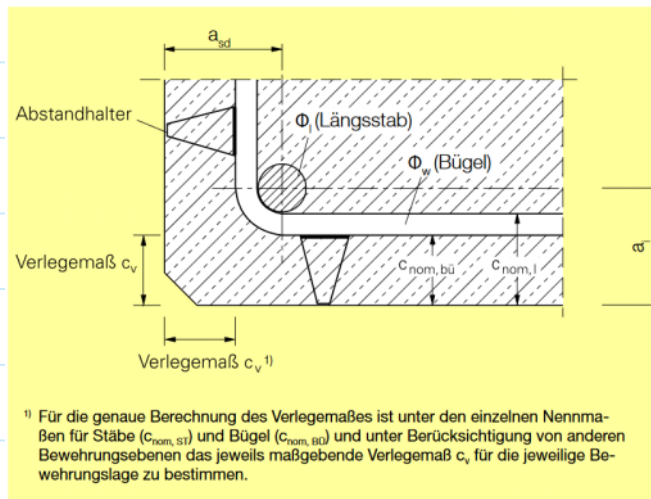
⁴⁾ Für XD3 sind ggf. zusätzlich besondere Maßnahmen zum Korrosionsschutz der Bewehrung notwendig.

⁵⁾ Bei Luftporenbeton, z.B. wegen gleichzeitiger Expositionsklasse XF, eine Festigkeitsklasse niedriger.

3

Festlegung der Expositionsklasse und Bestimmung c_{nom}

XC4 ! $\Rightarrow c_{nom} = 40 \text{ mm}$



¹⁾ Für die genaue Berechnung des Verlegemaßes ist unter den einzelnen Nennmaßen für Stäbe ($c_{nom,st}$) und Bügel ($c_{nom,bü}$) und unter Berücksichtigung von anderen Bewehrungsebenen das jeweils maßgebende Verlegemaß c_v für die jeweilige Bewehrungslage zu bestimmen.

Bild 2: Grafische Darstellung von Nennmaß und Verlegemaß der Betondeckung

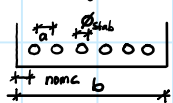
Stahlbeton-Vorbemessung für Rechteckquerschnitte

① Einwirkendes Moment: M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$
 Eigenlast M_g M_q Verkehrslast
 $\gamma_G = 1,35$ $\gamma_Q = 1,5$ 2-kübelig, beidseitig

② Querschnitt als $\square$ vorgeben:
 $b = 50$ $h = 70$
 $g_{Träger} = b \cdot h \cdot 25 \frac{kg}{m^3}$

③ Innerer Hebelarm: $z = 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot (h - \text{Betondeckung})$
 (Betondeckung wird vorgegeben)

④ Bauform auf Zugkraft vorgeben



mit Mindestabstand $a > 20 \text{ mm}$ oder $a > \phi_{\text{Stab}}$ überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
10,79 cm²	1,13 cm²	1,54 cm²	2,01 cm²	3,14 cm²	4,91 cm²	6,16 cm²	

37 $\Rightarrow$ 1609 kN $\Rightarrow$ $n = \frac{b \cdot z \cdot \text{nom c}}{z \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$

⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{500 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 1875 \text{ kN}$

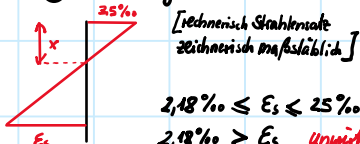
⑥ $M_{ed} = F_{sd} \cdot z = 1875 \cdot 0,528 \text{ m} = 990 \text{ kNm}$ $\Rightarrow$ $M_{rd} = 1875 \cdot 0,268 = 689,92 \text{ kNm}$
 $100\% \geq \frac{M_{ed}}{M_{rd}} \geq 80\% \checkmark \rightarrow$ ⑦ $M_{rd} = 1600 \cdot 0,268 = 592 \text{ kNm}$
 $\frac{M_{ed}}{M_{rd}} < 80\%$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern / Stahlmenge verringern $\Rightarrow$ Ausnutzung: $592/990 = 59\%$
 $\frac{M_{ed}}{M_{rd}} > 100\%$ unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern / Stahlmenge vergrößern

⑦ Vorgebe Betonfestigkeit f_{ck} $C30/37$ $f_{ck} = 3 \frac{N}{mm^2}$

⑧ Betondruckzone berechnen

$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 1,7$ $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$ mit $F_{cd} = F_{sd}$ $\Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Betondruckzone: $x = \frac{h_b}{0,8}$
 $h_b = \frac{1609}{0,95 \cdot 1,7 \cdot 50} = 19,9 \text{ cm}$ $x = \frac{19,9}{0,8} = 24,9 \text{ cm}$

⑨ Stahldehnung bestimmen



$2,18\text{‰} \leq \epsilon_s \leq 25\text{‰} \checkmark \rightarrow$ ⑩
 $2,18\text{‰} > \epsilon_s$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern oder $\rightarrow$ ④ Stahl reduzieren
 $\epsilon_s > 25\text{‰}$ unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern oder $\rightarrow$ ④ Stahl erhöhen

⑩ Innerer Hebelarm:

$z = d - \frac{1}{2} h_b$ $\begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{aus} \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{aus} \rightarrow ② \text{ Querschnitt vergrößern} \end{cases}$
 $z = 46 - \frac{1}{2} \cdot 19,9 = 36,1 \text{ cm}$
 $> 0,95 \cdot 36,8 = 35 \text{ cm} \checkmark$

Begriffe:

M_{sd} : Summe aller einwirkenden Momente

[d="design": inklusive Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,5$]

M_{rd} : Aufnehmbares Moment

nom c: Betondeckung

h; b: Breite; Höhe Betongquerschnitt

d: statisch wirksame Höhe

z: innerer Hebelarm

x: Betondruckzonenhöhe

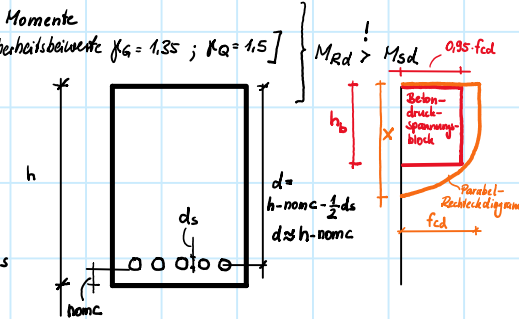
h_b: Höhe des Rechteck-Spannungsblocks

f_{ck}: Charakteristische Betondruckfestigkeit

f_{cd}: Bemessungs-Betondruckfestigkeit

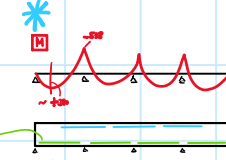
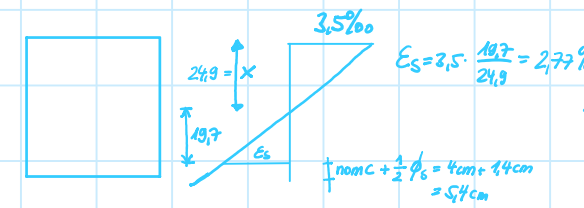
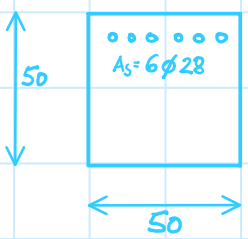
F_{cd}: Betondruckkraft

F_{sd}: Stahlzugkraft



Kenngroße	Festigkeitsklassen									
	C16/20	C25/30	C35/45	C45/55	C50/60	C60/80	C70/90	C80/100	C90/110	C100/120
1 f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55
2 f_{ck, cube}	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67

Ergebnis Stützmoment:



Die Bemessung wurde für das Stützmoment $\sim 525 \text{ kNm}$ durchgeführt $\Rightarrow$ Oberrandige Zerschörung!
 für das Teilmoment wäre eine eigene Bemessung erforderlich!

Beispiel Fußgängerrampe ALTERNATIVE (Zusatz zur Vorlesung)

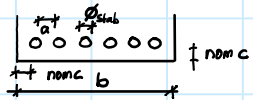
- ① **Einwirkendes Moment:**
- $$M_{sd} \text{ bestimmen} = M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$$
- Eigengewicht Verkehr
Wind
Schnee
- Sicherheitsbeiwerte Lastseite:
 $\gamma_g = 1,35$ $\gamma_q = 1,5$
- Zusätzlich
Berücksichtigung

- ② Querschnitt als $\square$ vorgeben:
 $b = 50$ $h = 70$ $g_{\text{Träger}} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- ③ Innerer Hebelarm: $z = \alpha \cdot d = \alpha \cdot (h - \text{Betondeckung})$
(Betondeckung wird vorgegeben)

- ④ Bewehrung auf Zugseite vorgeben

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
0,50 cm ²	0,79 cm ²	1,13 cm ²	1,54 cm ²	2,01 cm ²	3,14 cm ²	4,91 cm ²	6,16 cm ²



mit Mindestabstand:

$a > 20 \text{ mm}$ oder $a > \varnothing_{\text{Stab}}$] überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen

$$n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom } c)}{2 \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$$

- ⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15} = 1875 \text{ kN}$

- ⑥ $M_{ed} = F_{sd} \cdot z = 1875 \cdot 0,528 = 990 \quad 1229 \cdot 0,528$ $M_{ed} = \frac{M_{ed}}{0,85}$! Ausnutzung 85% $M_{ed} = 632 \text{ kNm}$

$$100\% \geq \frac{M_{\text{ad}}}{M_{\text{ad}}} \geq 80\% \quad \checkmark \quad \rightarrow \textcircled{7} = 648$$

$\frac{S_{38}}{g_{30}} = 5\% \cdot \frac{M_{Sd}}{M_{Ed}} < 80\%$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern / Stahlmenge verringern

$$\frac{538}{648} = 83\% \frac{M_{s,d}}{M_{R,d}} > 100\% \text{ unsicher} \rightarrow \textcircled{2} \text{ Querschnitt vergrößern / Stahlmenge vergrößern}$$

- ⑦ Vorgabe Betondeckung f_{ck} C40/50 $f_{ck} = 4,0 \frac{KN}{cm^2}$

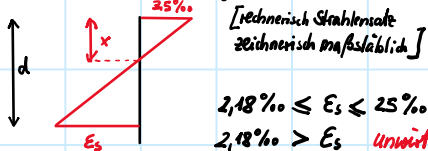
- ⑧ Behindruckzone berechnen

$f_{cd} = 0,95 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 2,27$
 $F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$
 mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$
 Höhe der Betondruckzone: $x = \frac{h_b}{0,8}$

$$h_b = \frac{1229}{0,95 \cdot 22750} = 11,4 \text{ cm}$$

$$x = \frac{11,4}{0,8} = 14,2 \text{ cm}$$

- ⑨ Stahldehnung bestimmen



$$2,18\% \leq \varepsilon_s \leq 25\% \quad \checkmark \rightarrow \textcircled{10}$$

$2,18\% > \epsilon_s$ unwirtschaftlich $\rightarrow$ ② Querschnitt verkleinern oder $\rightarrow$ ④ Stahl reduzieren

$\epsilon_s > 25\%$ Unsicher $\rightarrow$ ② Querschnitt vergrößern der $\rightarrow$ ④ Stahl erhöhen

- ⑩ Inners Hebelarm:

$$z = d - \frac{1}{2}h_b \quad \begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{\text{ans}} \textcircled{3} \quad \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{\text{ans}} \textcircled{3} \quad \rightarrow \end{cases}$$

$$z = 70 - 4 - \frac{1}{2} 11,4 = 60,3 \text{ cm}$$

$$> 0,95 \cdot 52,8 \text{ cm} \quad \checkmark$$

Begriffe:

M_{sd} : Summe aller einwirkenden Momente

[d = „design“: inklusive Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,5$]

M_{Rd} : Aufnehmbares Moment

nom c : Betondeckung

h, b : Breite ; Höhe Betonquerschnitt

d : statisch wirksame Höhe

z: innerer Hebelarm

x : Betondruckzonenhöhe

h_b : Höhe des Rechteck-Spannungsblockes

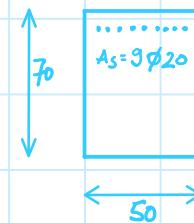
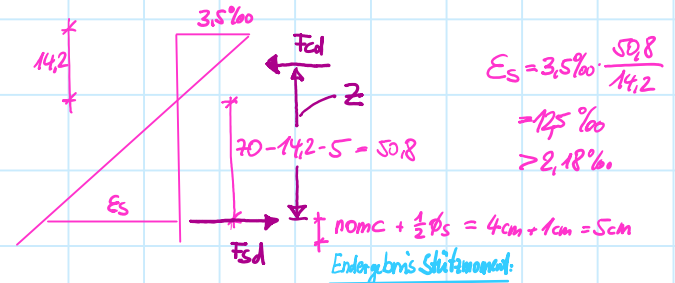
f_{ck} : Charakteristische Betondruckfestigkeit

f_{cd} : Bemessungs-Betondruckfestigkeit

F_{rd} : Betondruckkraft

F_{sd} : Stahlzugkraft

	Kenngröße	Festigkeitsklassen														
		C16/20	C25/30	C35/45	C45/55	C50/60	C60/80	C70/90	C80/100	C90/110	C100/120	C115/135	C130/150	C150/175	C175/200	
1	f_{ck}	12 ^a	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
2	$f_{ck, cube}$	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	115



Beispiel Fußgängerampe ALTERNATIVE (Zusatz zur Vorlesung)

① Einwirkendes Moment: M_{sd} bestimmen = $M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5 =$ S38 kNm Zusätzlich berücksichtigen

Sicherheitsbemierte Lastsätt: $\gamma_G = 1,35 \quad \gamma_Q = 1,5$

② Querschnitt als $\square$ vorgeben: $b = 50 \text{ cm} \quad h = 70 \text{ cm} \quad g_{\text{träger}} = b \cdot h \cdot 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$b = 0,4 \text{ m} \quad h = 0,5 \text{ m}$
 $b = 0,4 \text{ m} \quad h = 0,6 \text{ m}$

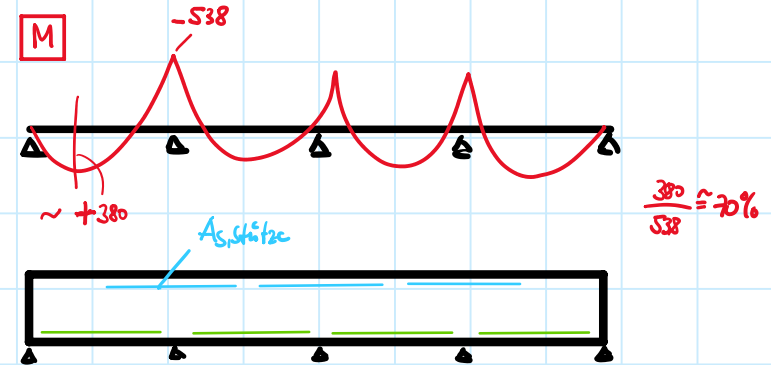
③ Innerer Hebelarm: $z = \alpha_s \cdot d = \alpha_s \cdot (h - \text{Betondeckung}) = 0,8(0,7 - 0,04) = 0,528 \text{ m} = 0,8(0,5 - 0,04) = 0,368 \text{ m} = 0,45 \text{ m}$
 (Betondeckung wird vorgegeben)

④ Bestimmung auf Zugseite vorgeben

8 mm	10 mm	12 mm	14 mm	16 mm	20 mm	25 mm	28 mm
0,50 cm²	0,79 cm²	1,13 cm²	1,54 cm²	2,01 cm²	3,14 cm²	4,91 cm²	6,16 cm²

mit Mindestabstand: $a > 20 \text{ mm}$ oder $a > \phi_{\text{Stab}}$ überprüfen, wie viele Stäbe hineinpassen

$n = \frac{(b - 2 \cdot \text{nom}c)}{2 \cdot \phi} \Rightarrow A_s = n \cdot A_{\phi}$ Tabelle



⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 43,1 \cdot \frac{50}{1,15} = 1875 \text{ kN}$ Ø28 $n = \frac{50 - 2 \cdot 4}{2 \cdot 2,8} = 7,5 \Rightarrow A_s = 7 \cdot 6,16 = 43,1 \text{ cm}^2$

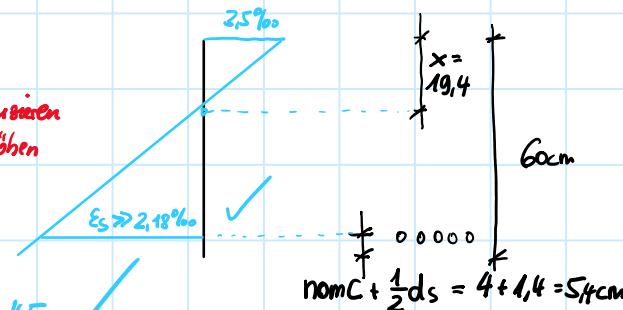
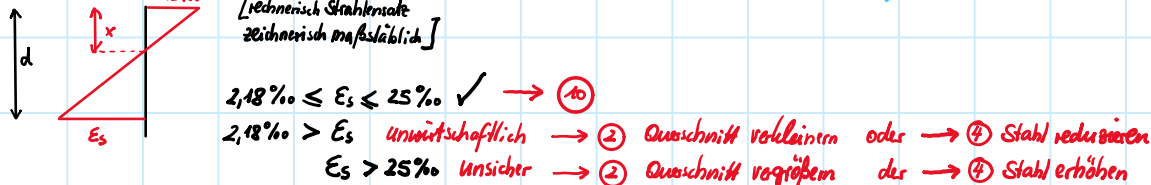
⑥ $M_{ed} = F_{sd} \cdot z = 1875 \cdot 0,528 = 990 \text{ kNm} = 30,8 \cdot \frac{50}{1,15} = 1339 \text{ kNm}$ Ø28 $n = \frac{40 - 2 \cdot 4}{2 \cdot 2,8} = 5,7 \Rightarrow A_s = 5 \cdot 6,16 = 30,8 \text{ cm}^2$
 $M_{rd} = 1339 \cdot 0,368 = 492 \text{ kNm}$

100% $\geq \frac{M_{ed}}{M_{rd}} \geq 80\%$ ✓ ⑦ $M_{rd} = 1339 \cdot 0,45 = 599 \text{ kNm}$ S38 $\frac{538}{599} = 90\%$ ✓
 $\frac{M_{ed}}{M_{rd}} < 80\%$ unwirtschaftlich → ② Querschnitt verkleinern
 $\frac{M_{ed}}{M_{rd}} > 100\%$ unsicher → ② Querschnitt vergrößern

⑦ Vorgabe Betonfestigkeit $f_{ck} \quad C40/50 = f_{ck} = 4 \text{ N/cm}^2$

⑧ Betondruckzone berechnen $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,15} = 2,27 \quad F_{cd} = 0,95 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot h_b$ mit $F_{cd} \stackrel{!}{=} F_{sd} \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b}$ Höhe der Betondruckzone: $x = \frac{h_b}{\alpha_s}$
 $h_b = \frac{1875}{0,95 \cdot 2,27 \cdot 40} = 15,5 \text{ cm} \quad x = \frac{15,5}{0,8} = 19,4 \text{ cm}$

⑨ Stahldehnung bestimmen 25% [technisch Stahlensatz zeichnerisch maßstäblich]



⑩ Innerer Hebelarm: $z = d - \frac{1}{2}h_b$ $\begin{cases} z \geq 0,95 \cdot z_{\text{aus ③}} \checkmark \\ z < 0,95 \cdot z_{\text{aus ③}} \rightarrow \text{② Querschnitt vergrößern} \end{cases}$
 $z = 60 - \text{nom}c - \frac{1}{2}\phi_s - \frac{1}{2}15,5 \text{ cm} = 60 - 4 - 1,4 - 0,5 \cdot 15,5 = 44,8 \text{ cm} > 0,95 \cdot 45 \checkmark$

