

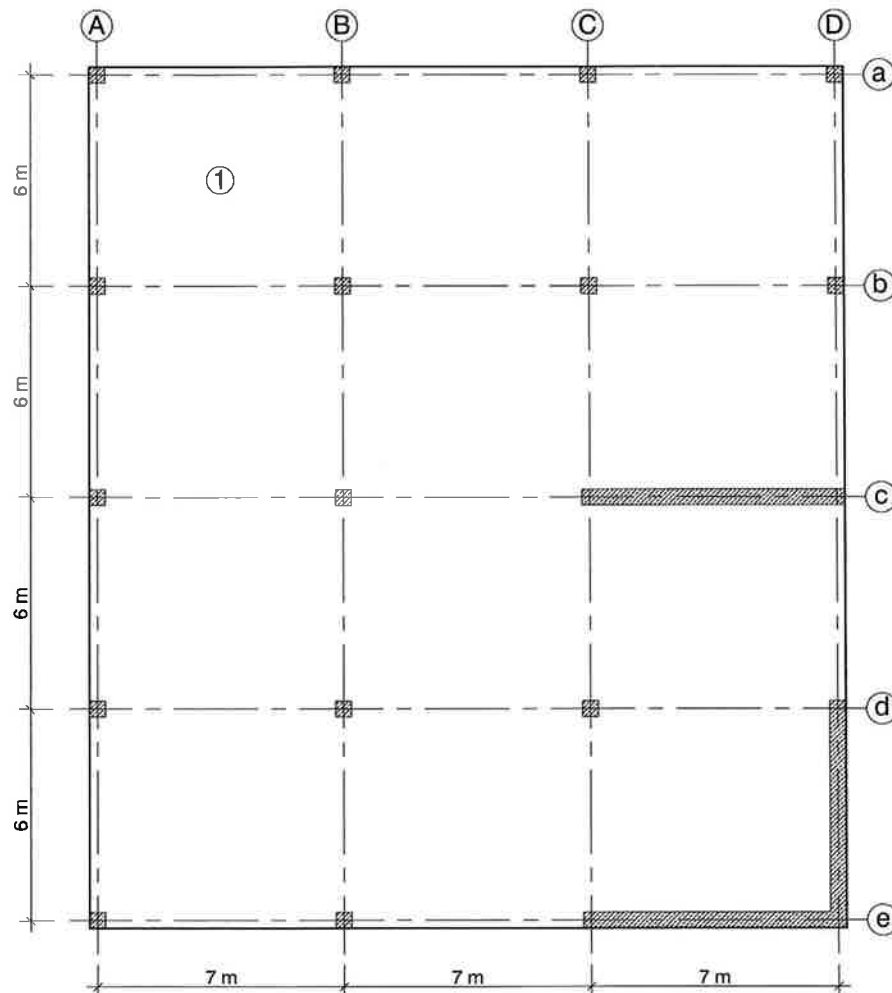
Praktischer Prüfungsteil:

(67 P)

Beispiel 1: Flachdecke

(37 P)

geg.:



Flachdecke mit Deckenstärke $h=28$ cm; Stützenabmessung: 45/45 cm

Belastung: Ständige Auflast (Fußbodenaufbau): $g_{k2}=1,8$ kN/m²

Nutzlast (Bürogebäude): $q_k=3$ kN/m²

Baustoffe: Beton: C30/37 XC1

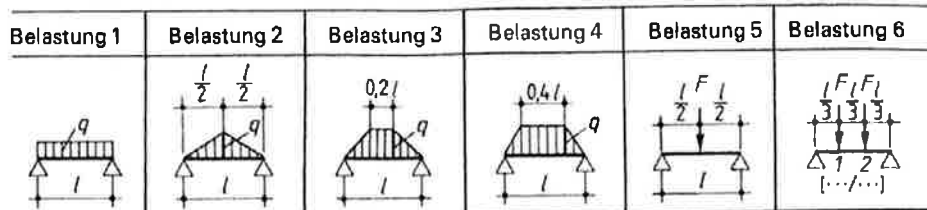
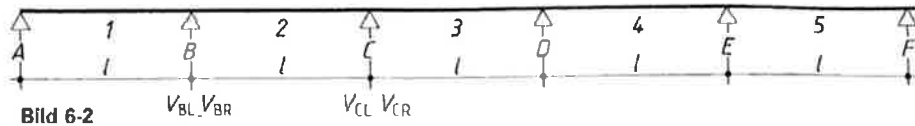
Betonstahl: B550B

- ges.:**
- 1.) Biegebemessung des Feldes 1 im GZT mit anschließenden Gurtstreifen
(für die Schnittgrößenberechnung siehe Anlage Seite 3 und 4)
 - 2.) Durchstanznachweis der Innenstütze
 - 3.) Bewehrungsskizze der oberen und unteren Bewehrungslage

Anlage:

Gelenk- und Durchlaufträger

6.3 Durchlaufträger mit gleichen Stützweiten und feldweiser Belastung

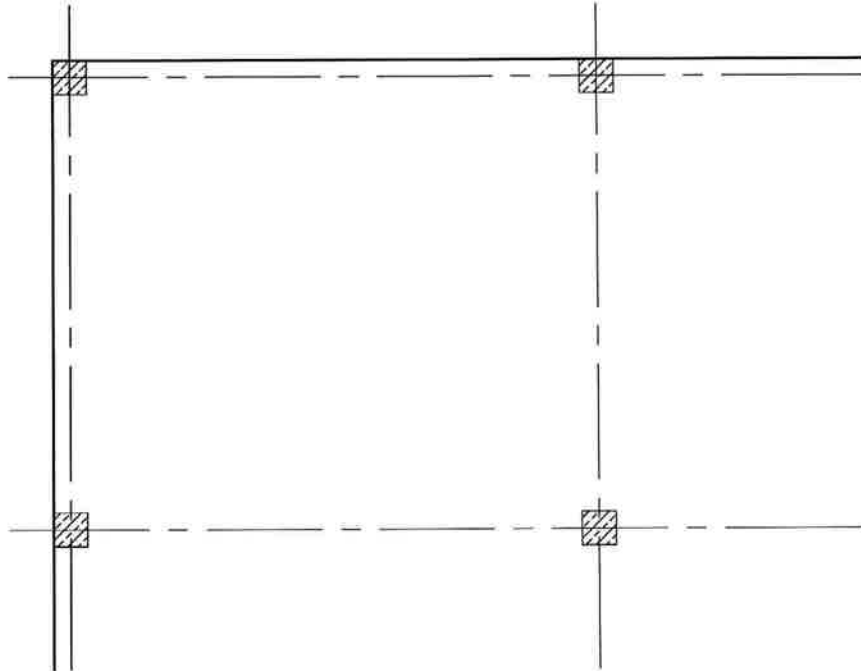
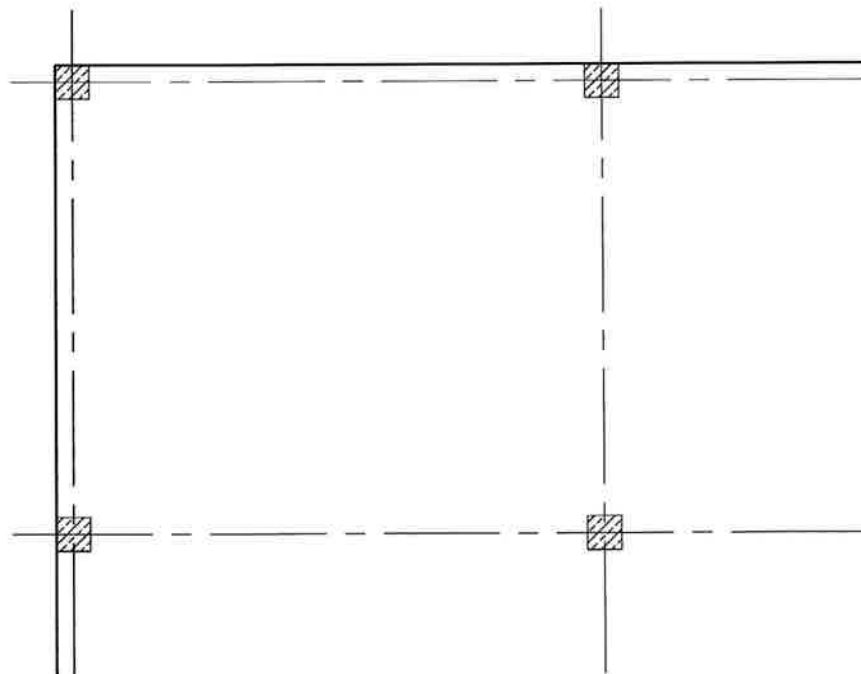


Es gilt für	Momente	Kräfte	Durchsenkung
Belastung 1...4	$k \cdot ql^2$	$k \cdot ql$	$10^{-2} \cdot k \cdot ql^4/EI$
Belastung 5...6	$k \cdot Fl$	$k \cdot F$	$10^{-2} \cdot k \cdot Fl^3/EI$

Belastungsschema	statische Größe	Belastung					
		1	2	3	4	5	6
2 gleiche Felder $0,200l / 0,200l$ 	M_1	0,070	0,048	0,056	0,063	0,156	(0,222/0,111)
	$\min M_B$	-0,125	-0,078	-0,093	-0,106	-0,187	-0,333
	A	0,375	0,172	0,207	0,244	0,313	0,687
	$\max B$	1,250	0,656	0,786	0,912	1,375	2,667
	$\min V_{B1}$	-0,625	-0,328	-0,393	-0,456	-0,687	-1,333
	f_1	0,542	0,357	0,423	0,476	0,932	1,521
	$\max M_1$	0,096	0,065	0,076	0,085	0,203	(0,278/0,222)
	M_B	-0,062	-0,039	-0,046	-0,053	-0,094	-0,167
	$\max A$	0,438	0,211	0,254	0,297	0,406	0,833
	$\min C$	-0,062	-0,039	-0,046	-0,053	-0,094	-0,167
f_1	0,915	0,591	0,702	0,793	1,501	2,517	
3 gleiche Felder $0,2105l / 0,2000l$ 	M_1	0,080	0,054	0,064	0,071	0,175	(0,244/0,156)
	M_2	0,025	0,021	0,024	0,025	0,100	0,067
	M_B	-0,100	-0,062	-0,074	-0,085	-0,150	-0,267
	A	0,400	0,188	0,226	0,265	0,350	0,733
	B	1,100	0,563	0,674	0,785	1,150	2,267
	V_{B1}	-0,600	-0,313	-0,374	-0,435	-0,650	-1,267
	V_{B2}	0,500	0,250	0,300	0,350	0,500	1,000
	f_1	0,688	0,449	0,533	0,601	1,157	1,913
	f_2	0,052	0,052	0,060	0,063	0,208	0,216
	$\max M_1$	0,101	0,068	0,080	0,090	0,213	(0,289/0,244)
M_B	-0,050	-0,031	-0,037	-0,042	-0,075	-0,133	
$\max A$	0,450	0,219	0,263	0,308	0,425	0,867	
f_1	0,992	0,639	0,759	0,858	1,617	2,722	
	$\max M_2$	0,075	0,052	0,061	0,068	0,175	0,200
	M_B	-0,050	-0,031	-0,037	-0,042	-0,075	-0,133
	$\min A$	-0,050	-0,031	-0,037	-0,042	-0,075	-0,133
	f_2	0,677	0,443	0,525	0,592	1,146	1,883
	$\min M_B$	-0,117	-0,073	-0,087	-0,099	-0,175	-0,311
	M_C	-0,033	-0,021	-0,025	-0,028	-0,050	-0,089
	$\max B$	1,200	0,625	0,749	0,869	1,300	2,533
	$\min V_{B1}$	-0,617	-0,302	-0,387	-0,449	-0,675	-1,311
	$\max V_{B2}$	0,583	0,302	0,362	0,421	0,625	1,222
	$\max M_B$	0,017	0,010	0,012	0,014	0,025	0,044
M_C	-0,067	-0,042	-0,050	-0,056	-0,100	-0,178	
$\max V_{B1}$	0,017	0,010	0,012	0,014	0,025	0,044	
$\min V_{B2}$	-0,083	-0,052	-0,062	-0,071	-0,125	-0,222	

Fortsetzung s. nächste Seiten

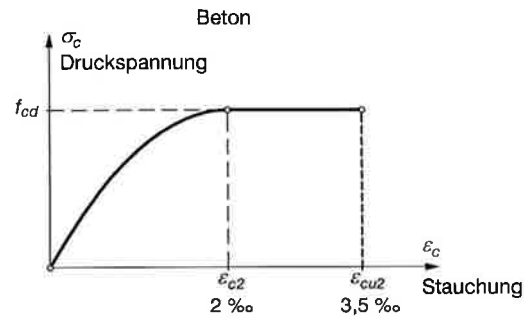
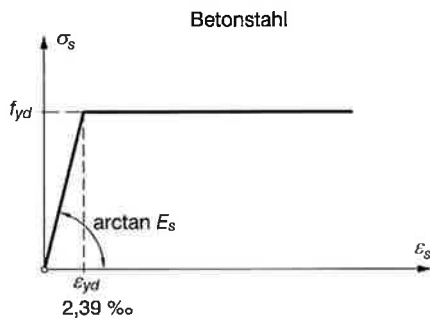
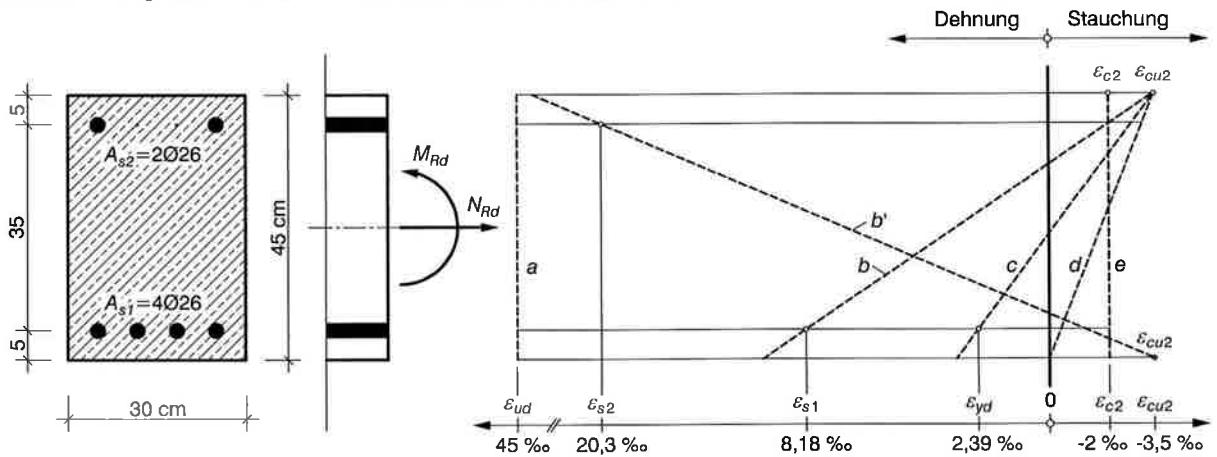
Belastungsschema	statische Größe	Belastung						
		1	2	3	4	5	6	
	4 gleiche Felder	M_1	0,077	0,052	0,062	-0,069	0,170	(0,238/0,143)
	M_2	0,036	0,028	0,032	0,035	0,116	(0,079/0,111)	
	M_B	-0,107	-0,067	-0,080	-0,091	-0,161	-0,286	
	M_C	-0,071	-0,045	-0,053	-0,060	-0,107	-0,190	
	A	0,393	0,183	0,220	0,259	0,339	0,714	
	B	1,143	0,589	0,706	0,821	1,214	2,381	
	C	0,929	0,455	0,547	0,639	0,893	1,810	
	V_{Bl}	-0,607	-0,317	-0,380	-0,441	-0,661	-1,286	
	V_{Br}	0,536	0,272	0,327	0,380	0,554	1,095	
	V_{Cl}	-0,464	-0,228	-0,273	-0,320	-0,446	-0,905	
	f_1	0,646	0,422	0,501	0,565	1,092	1,800	
	f_2	0,189	0,137	0,162	0,178	0,411	0,581	
		$\max M_1$	0,100	0,067	0,079	0,088	0,210	(0,286/0,238)
		M_B	-0,054	-0,033	-0,040	-0,045	-0,080	-0,143
M_C		-0,036	-0,022	-0,027	-0,030	-0,054	-0,095	
$\max A$		0,446	0,217	0,260	0,305	0,420	0,857	
f_1		0,970	0,626	0,743	0,840	1,584	2,663	
	$\max M_2$	0,081	0,055	0,065	0,072	0,183	(0,206/0,222)	
	M_B	-0,054	-0,033	-0,040	-0,045	-0,080	-0,143	
	M_C	-0,036	-0,022	-0,027	-0,030	-0,054	-0,095	
	$\min A$	-0,054	-0,033	-0,040	-0,045	-0,080	-0,143	
	f_2	0,744	0,485	0,575	0,649	1,247	2,062	
	$\min M_B$	-0,121	-0,075	-0,090	-0,102	-0,181	-0,321	
	M_C	-0,018	-0,011	-0,013	-0,015	-0,027	-0,048	
	M_D	-0,058	-0,036	-0,043	-0,049	-0,087	-0,155	
	$\max B$	1,223	0,640	0,766	0,889	1,335	2,595	
	$\min V_{Bl}$	-0,621	-0,325	-0,390	-0,452	-0,681	-1,321	
	$\max V_{Br}$	0,603	0,314	0,376	0,437	0,654	1,274	
	$\max M_B$	0,013	0,008	0,010	0,011	0,020	0,036	
	M_C	-0,054	-0,033	-0,040	-0,045	-0,080	-0,143	
	M_D	-0,049	-0,031	-0,037	-0,042	-0,074	-0,131	
	$\min B$	-0,080	-0,050	-0,060	-0,068	-0,121	-0,214	
	$\max V_{Bl}$	0,013	0,008	0,010	0,011	0,020	0,036	
	$\min V_{Br}$	-0,067	-0,042	-0,050	-0,057	-0,100	-0,179	
	M_B	-0,036	-0,022	-0,027	-0,030	-0,054	-0,095	
	$\min M_C$	-0,107	-0,067	-0,080	-0,091	-0,161	-0,286	
	$\max C$	1,143	0,589	0,706	0,821	1,214	2,381	
	$\min V_{Cl}$	-0,571	-0,295	-0,353	-0,410	-0,607	-1,190	
	M_B	-0,071	-0,045	-0,053	-0,060	-0,107	-0,190	
	$\max M_C$	0,036	0,022	0,027	0,030	0,054	0,095	
	$\min C$	-0,214	-0,134	-0,159	-0,181	-0,321	-0,571	
	$\max V_{Cl}$	0,107	0,067	0,080	0,091	0,161	0,286	

Bewehrungsskizze untere Lage**Bewehrungsskizze obere Lage**

Beispiel 2: Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramm

(30 P)

geg.: Gegeben ist ein unsymmetrisch bewehrter Querschnitt laut Abbildung.



Völligkeitsbeiwert: $\alpha_R = \frac{17}{21} = 0,8095$

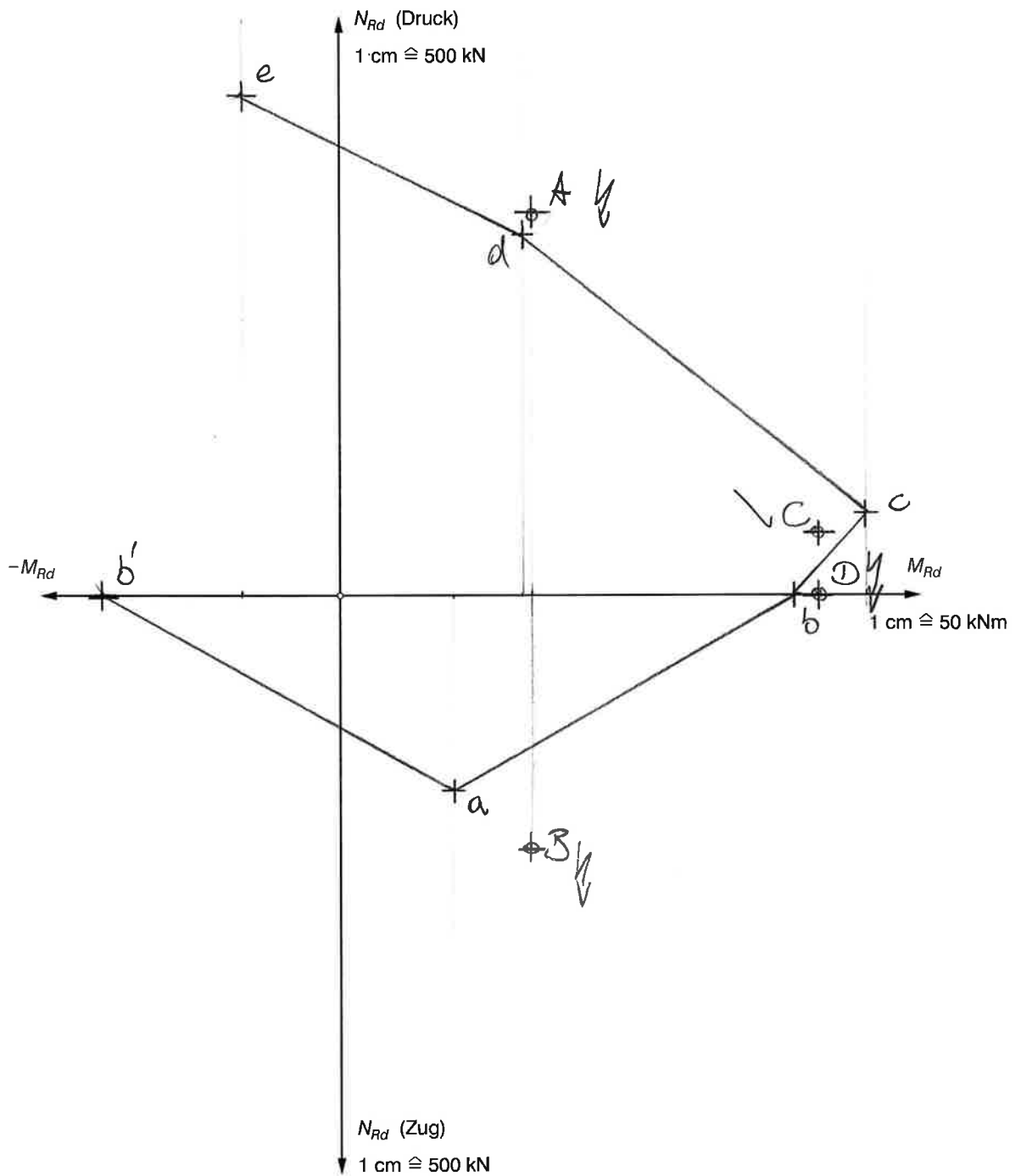
Höhenbeiwert: $k_a = \frac{99}{238} = 0,416$

- Baustoffe:**
- Beton C30/37
 - Betonstahl B 550 B

- ges.:**
- 1.) Für die dargestellten Dehnungsebenen *a, b, c, d, e* und *b'* sind jeweils die aufnehmbare Normalkraft N_{Rd} und das aufnehmbare Moment M_{Rd} zu berechnen.
 - 2.) Tragen Sie die sechs Punkte $[M_{Rd}; N_{Rd}]$ im M-N-Interaktionsdiagramm ein (siehe nächste Seite). Die sich daraus ergebende Interaktionskurve darf näherungsweise polygonal gezeichnet werden.
 - 3.) Welche dieser Einwirkungskombinationen kann der Querschnitt aufnehmen?:

	M_{Ed} [kNm]	N_{Ed} [kN]
A	150	-3000
B	150	2000
C	375	-500
D	375	0

M-N-Interaktionsdiagramm:



BEISPIEL 1: FLACHDECKE

1. BIEGEBEMESSUNG DER FLACHDECKE

- BELASTUNG M GT

• Ständige Einwirkungen:

Eigengewicht der Decke: $g_{k1} = 0,28 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 7 \text{ kN/m}^2$

Ständige Auflast: $g_{k2} = 1,8 \text{ kN/m}^2$

$$g_k = 8,8 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = g_k \cdot \gamma_G = 8,8 \cdot 1,35 = \underline{\underline{11,88 \text{ kN/m}^2}}$$

• Veränderliche Einwirkung:

Nutlast

$$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = q_k \cdot \gamma_Q = 3 \cdot 1,5 = \underline{\underline{4,5 \text{ kN/m}^2}}$$

- SCHNITTGRÖßENERMITTLUNG

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt nach Anhang J-EN 1992-1-1. Anstelle von Rahmen werden vereinfachend Durchlaufträger angenommen. Nach 3.1.2.1)-EN 1992-1-1 dürfen die Schnittgrößen unter Vollast in allen Feldern berechnet werden. Von dieser Vereinfachung wird abgegangen und die Vollast feldweise in ungünstige Stellung gebracht.

Breite des Querschnitts: $b_{as} = \frac{l_{\min}}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m}$

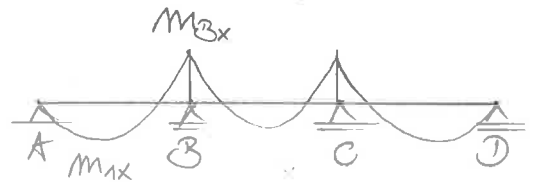
Breite des Feldstreifen in x-Richtung: $b_{fs-x} = 6 - 3 = 3 \text{ m}$

Breite des Feldstreifen in y-Richtung: $b_{fs-y} = 7 - 3 = 4 \text{ m}$

Für die Aufteilung der Momente in Quert- und Feldstreifen werden folgende Faktoren gewählt:

	STÜTZMOMENTE	FELDMOMENTE
QUERTSTREIFEN	70%	60%
FELDSTREIFEN	30%	40%

SCHNITTGRÖSSEN IN X-RICHTUNG:



Für den 1-m Streifen ergibt sich:

$$m_{max} = 0,08 \cdot 11,88 \cdot 7^2 + 0,101 \cdot 4,5 \cdot 7^2 = \underline{68,8 \text{ kNm/m}}$$

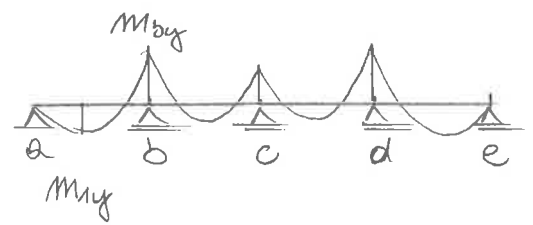
$$m_{Bx} = -0,1 \cdot 11,88 \cdot 7^2 - 0,117 \cdot 4,5 \cdot 7^2 = \underline{-84,0 \text{ kNm/m}}$$

MOMENTENAUFTEILUNG



ORT		M_{mittel}	UF	$m_x = M_{mittel} \cdot l_y \cdot UF \cdot \frac{1}{l_y/2} = M_{mittel} \cdot 2 \cdot UF$
M_F	QUERTSTREIFEN	$68,8 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	60%	$68,8 \cdot 1,2 = 82,6 \text{ kNm/m}$
	FELDSTREIFEN		40%	$68,8 \cdot 0,8 = 55,0 \text{ kNm/m}$
M_S	QUERTSTREIFEN	$-84,0 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	70%	$-84,0 \cdot 1,4 = -117,6 \text{ kNm/m}$
	FELDSTREIFEN		30%	$-84,0 \cdot 0,6 = -50,4 \text{ kNm/m}$

SCHNITTGRÖßEN IN Y-RICHTUNG

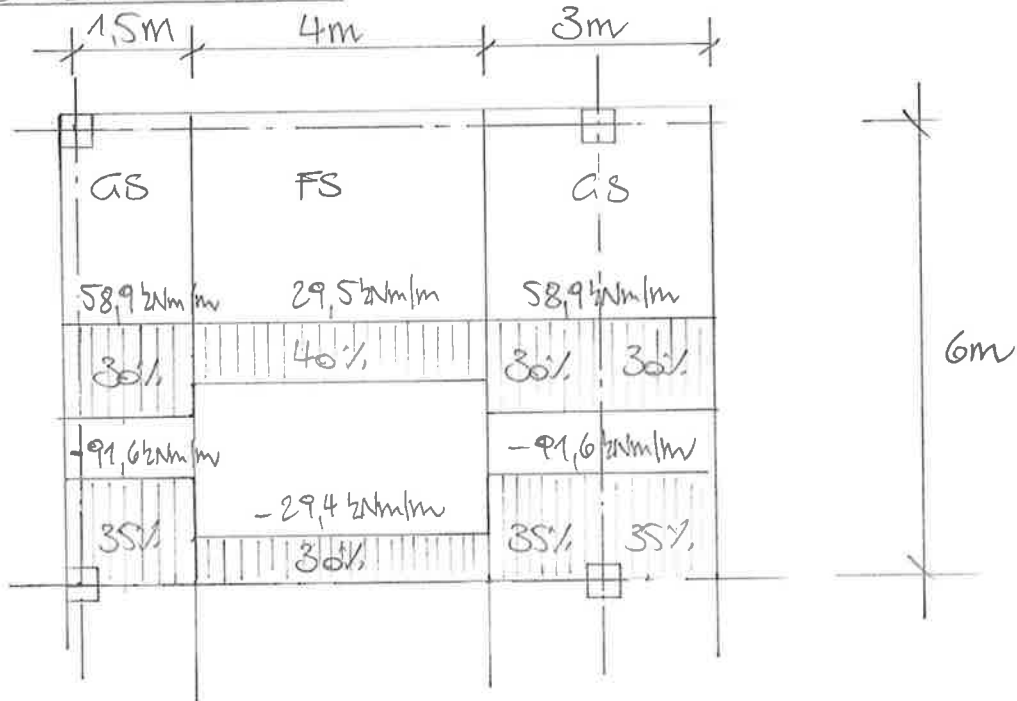


Für den 1-m Streifen ergibt sich:

$$m_{by} = 0,077 \cdot 11,88 \cdot 6^2 + 0,1 \cdot 4,5 \cdot 6^2 = \underline{\underline{49,1 \text{ kNm/m}}}$$

$$m_{by} = -0,107 \cdot 11,88 \cdot 6^2 - 0,121 \cdot 4,5 \cdot 6^2 = \underline{\underline{-65,4 \text{ kNm/m}}}$$

MOMENTENAUFTEILUNG:



ORT		M_{mittel}	$M_{by} = M_{\text{mittel}} \cdot l_x \cdot \frac{UF}{b}$
M_F	GS	$49,1 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	$49,1 \cdot 7 \cdot 0,6 / 3\text{m} = 68,7 \text{ kNm/m}$
	FS		$49,1 \cdot 7 \cdot 0,4 / 4\text{m} = 34,4 \text{ kNm/m}$
M_S	GS	$-65,4 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	$-65,4 \cdot 7 \cdot 0,7 / 3\text{m} = -106,8 \text{ kNm/m}$
	FS		$-65,4 \cdot 7 \cdot 0,3 / 4\text{m} = -34,3 \text{ kNm/m}$

BIEGEBEMESSUNG

BETON: C30/37 $f_{cd} = 20 \text{ N/mm}^2$ $f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$

BETONSTAHL: B550B $f_{yd} = 478 \text{ N/mm}^2$ $\epsilon_{yk} = 2,39 \%$

NUTZHÖHEN: in x-Richtung: $d_x = 28 - 2 - \frac{1,4}{2} = 25,3 \text{ cm}$
 in y-Richtung: $d_y = 25,3 - 1,4 = 23,9 \text{ cm}$

BIEGEMINDESTBEWEHRUNG:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{550} \cdot 100 \cdot 25,3 = 3,47 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$M_{eds} = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$	$\xi = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - 2,055 \cdot M_{eds}} \right)$	$A_{s,erf} = \frac{M_{ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}}$
---	---	---

Sofern $M_{eds} \leq M_{eds,lim} = 0,362$ ist kommt die Biegetragbewehrung ins Fließen.

BEWEHRUNG IN x-RICHTUNG: $d_x = 25,3 \text{ cm}$

ORT	MED [kNm/m]	MED [-]	ξ [-]	$A_{s,erf}$ [cm ² /m]	gewählt	$A_{s,vork}$ [cm ² /m]	
M _F	GS	82,6	0,065	0,966	7,07	φ12/20 + φ8/20	8,17
	FS	55,0	0,043	0,977	4,65	φ12/20	5,65
M _S	GS	-117,6	0,092	0,950	10,23	φ14/25 + φ12/25	10,68
	FS	-50,4	0,039	0,979	4,25	φ12/25	4,52

BEWEHRUNG IN y-RICHTUNG: $d_y = 23,9 \text{ cm}$

ORT	MED [kNm/m]	MED [-]	ξ [-]	$A_{s,erf}$ [cm ² /m]	gewählt	$A_{s,vork}$ [cm ² /m]	
M _F	GS	68,7	0,060	0,968	6,21	φ10/20 + φ8/20	6,44
	FS	34,4	0,030	0,984	(3,06)	φ10/20	3,93
M _S	GS	-106,8	0,093	0,949	9,84	φ14/25 + φ12/25	10,68
	FS	-34,3	0,030	0,984	(3,05)	φ12/25	4,52

2) DURCHSTANBNACHWEIS DER INNENSTÜTZE

DURCHSTANBKRAFT

Diese wird durch näherungsweise Annahmen der Einflußlängen bestimmt:

$$V_{Ed} = (11,88 + 4,5) \cdot (0,6 \cdot 7m + 0,5 \cdot 7m) (0,6 \cdot 6m + 0,5 \cdot 6m) =$$
$$= \underline{832 \text{ kN}} \quad \beta = 1,15 \Rightarrow \beta \cdot V_{Ed} = \underline{956,8 \text{ kN}}$$

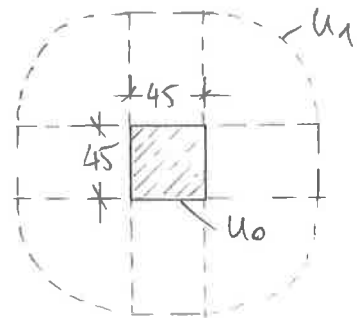
NUTZHÖHE UND KRITISCHER RUNDSCHNITT:

$$\left. \begin{array}{l} d_x = 25,3 \text{ cm} \\ d_y = 23,9 \text{ cm} \end{array} \right\} d = 0,5(d_x + d_y) = \underline{24,6 \text{ cm}}$$

$$c_1 = c_2 = 45 \text{ cm}$$

$$u_0 = 4 \cdot 45 = \underline{180 \text{ cm}}$$

$$u_1 = u_0 + 4d \cdot \pi = \underline{489,1 \text{ cm}}$$



DURCHSTANBNACHWEIS AM STÜTZENRAND

$$v_{Ed, \max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd} \quad v = 0,6 \left(1 - \sqrt{\frac{f_{ct2}}{250}}\right) = 0,528$$
$$= 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20 = \underline{4,22 \text{ N/mm}^2}$$

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} = \frac{956,8}{180 \cdot 24,6} \cdot 10 = \underline{2,16 \text{ N/mm}^2} \leq 4,22 \text{ N/mm}^2$$

NACHWEIS OHNE DURCHSTANDBEWehrUNG

- MINDESTBEWEHRUNG FÜR DURCHSTÄNDE:

$$a_{s,min} = \frac{V_{ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} \cdot 0,125 = 9,8 \text{ cm}^2/\text{m} \leq a_{s,req} = 10,68 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- BIEGEBEWehrUNGSGRAD IN X-RICHTUNG

$$\rho_{lx} = \frac{10,68 \text{ cm}^2/\text{m}}{25,3 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}} = 0,00422$$

- BIEGEBEWehrUNGSGRAD IN Y-RICHTUNG

$$\rho_{ly} = \frac{10,68}{23,9 \cdot 100} = 0,00447$$

- BIEGEBEWehrUNGSGRAD

$$\rho_c = \min \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = 0,00434 \\ 0,4 \cdot f_{cd} / f_{yd} = 0,0161 \\ 0,02 \end{array} \right\} = \underline{\underline{0,00434}}$$

- MASSSTABFAKTOR:

$$k = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + \sqrt{20/24,6} = 1,902 \\ 2,0 \end{array} \right.$$

- BEMESSUNGSWERT DES DURCHSTANDBWIDERSTANDES:

$$V_{rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha_{s,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_c \cdot f_{ct})^{1/3} = \underline{\underline{0,537 \text{ N/mm}^2}} \\ 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ct}^{1/2} = 0,503 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right.$$

$$V_{ed} = \frac{\beta \cdot V_{ed}}{u \cdot d} = 0,795 \text{ N/mm}^2 \not\leq V_{rd,c} = 0,537 \text{ N/mm}^2 \quad \text{⚡}$$

→ NACHWEIS NICHT ERFÜLLT

MAXIMALER DURCHSTANDWIDERSTAND (ÖNORM B 1992-1-1: 2007)

$$\frac{v_{ed}}{v_{rd,c}} = \frac{0,795}{0,537} = 1,48 \leq 1,65$$

⇒ DURCHSTANDBEWEHRUNG kann herangezogen werden.

NACHWEIS MIT DURCHSTANDBEWEHRUNG

◦ BERECHNUNG DER ERFORDERLICHEN REIHEN

Wahl der Lage der ersten Bewehrungsreihe:

$$r_{f,1st} = \underline{\underline{10 \text{ cm}}} \quad (= 0,41d \text{ und liegt damit zwischen } 0,3 \cdot d \text{ und } 0,5 \cdot d)$$

erforderliche Länge des äußeren Rundstrittes:

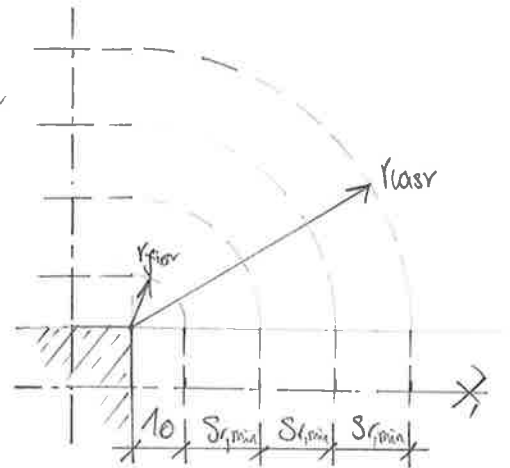
$$u_{out} = \frac{f_s v_{ed}}{v_{rd,c} \cdot d} = \underline{\underline{724,3 \text{ cm}}} = u_0 + 2 \cdot r_{out} \cdot \pi$$

$$\Rightarrow r_{out} = (u_{out} - u_0) / (2 \cdot \pi) = 86,6 \text{ cm}$$

Lage der letzten Bewehrungsreihe:

$$r_{a,1st} = r_{out} - 1,5 \cdot d = 49,7 \text{ cm}$$

$$s_{r,max} = 0,75 \cdot d = 18,5 \text{ cm}$$



erforderliche Anzahl der Bewehrungsreihen:

$$m_r = \frac{r_{a,1st} - r_{f,1st}}{s_{r,max}} + 1 = 3,15 \Rightarrow \underline{\underline{4 \text{ Reihen}}}$$

$$s_{r,min} = (r_{a,1st} - r_{f,1st}) / 3 = 13,2 \text{ cm}$$

gewählt: s_r = 15 cm

ERFORDERLICHE DURCHSTANZBEWEHRUNG

$$A_{sw,ef} = \frac{\beta \cdot V_{ed} - 0,75 \cdot V_{ed,c} \cdot u_r \cdot d}{1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \sin \alpha}$$

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0,25 \cdot d = 250 + 0,25 \cdot 246 = 311,5 \text{ N/mm}^2 \leq 478 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 90^\circ$$

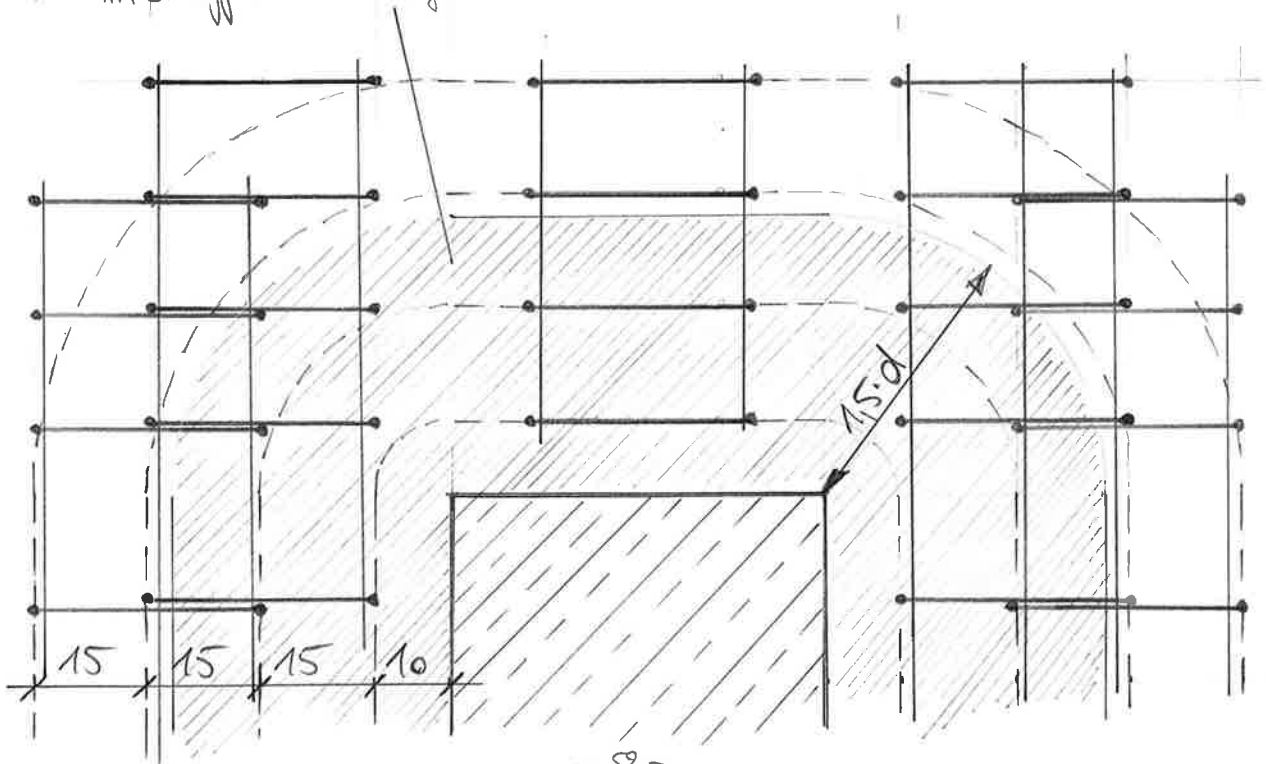
$$\Rightarrow A_{sw,ef} = \frac{956,8 - 0,75 \cdot 0,0537 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 489,1 \cdot 24,6}{1,5 \cdot \frac{24,6}{15} \cdot 311,5 \text{ N/cm}^2 \cdot 1} = \underline{6,16 \text{ cm}^2/\text{Reihe}} \quad (\cong 8 \phi 10 \text{ mm} = 6,28 \text{ cm}^2)$$

Bei orthogonaler Anordnung der Durchstanzbewehrung ist es schwierig in den Anordnungen der einzelnen idealisierten Bewehrungsreihen eindeutig die Bajellschmelz zuzuordnen. Deshalb empfiehlt sich die erforderliche Querschnittsfläche in einem $1,5 \cdot d$ -breiten Streifen um der Stütze zu ermitteln.

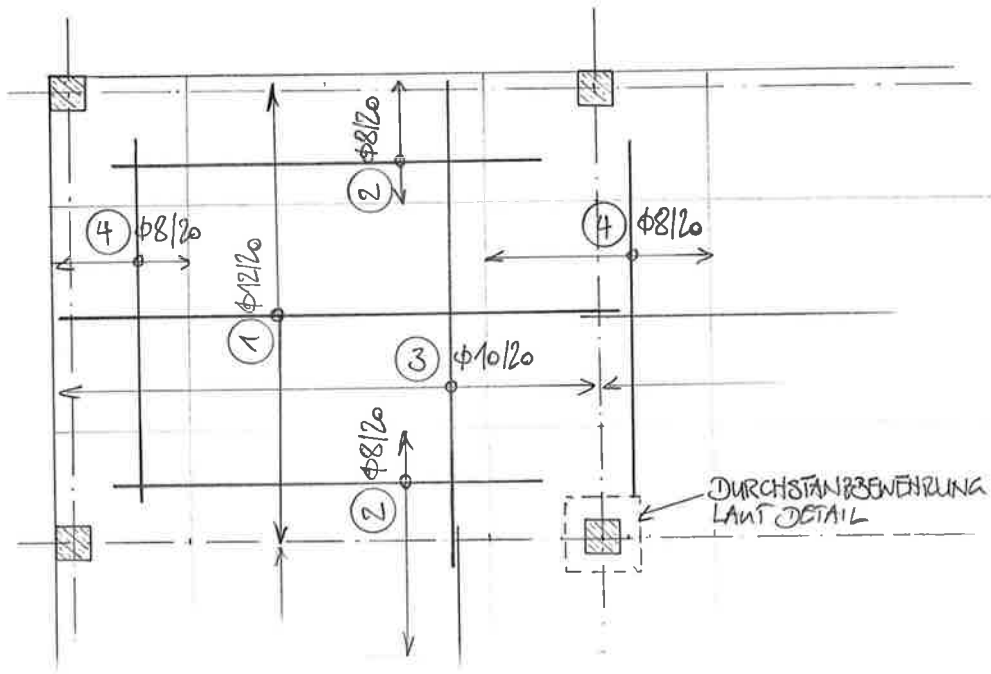
$$\Rightarrow A_{sw,1,5 \cdot d,ef} = \frac{A_{sw,ef}}{s_r} \cdot 1,5 \cdot d = \frac{6,16}{15} \cdot 1,5 \cdot 24,6 = \underline{15,16 \text{ cm}^2}$$

im schraffierten Bereich liegen $32 \phi 10 > 20 \phi 10$ ✓

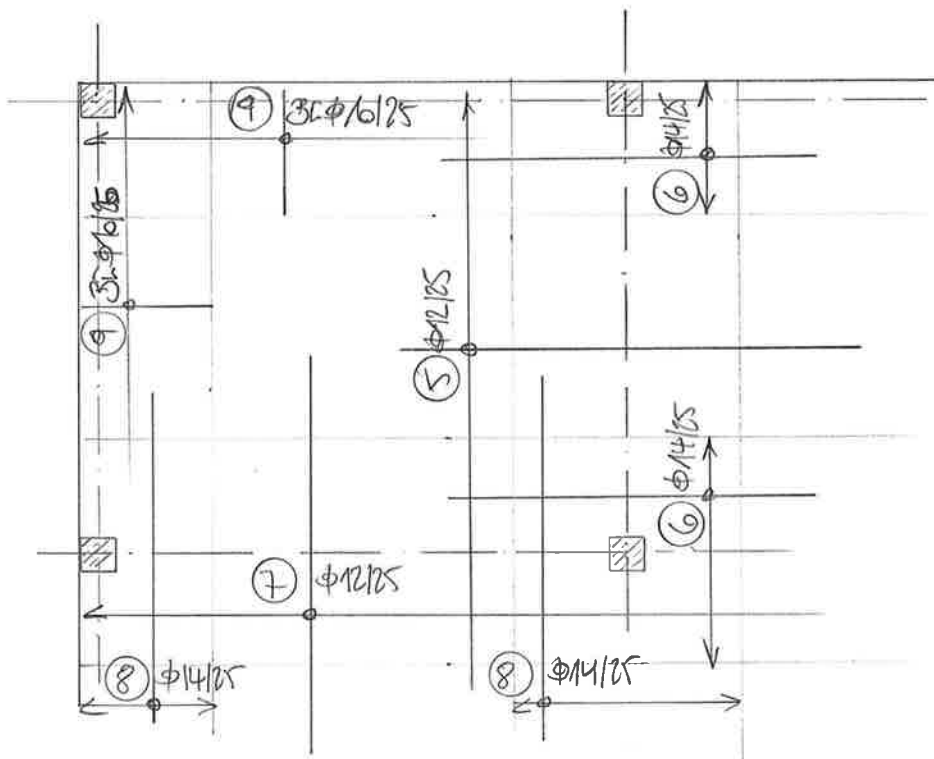
$$(\cong 20 \phi 10 \text{ mm} = 15,71 \text{ cm}^2)$$



BEWEHRUNGSKARTE : UNTERE LAGE



BEWEHRUNGSKARTE : OBERE LAGE



BEISPIEL 2

EBENE a.) $\varepsilon = 45\text{‰} \geq \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_s = f_{yd}$

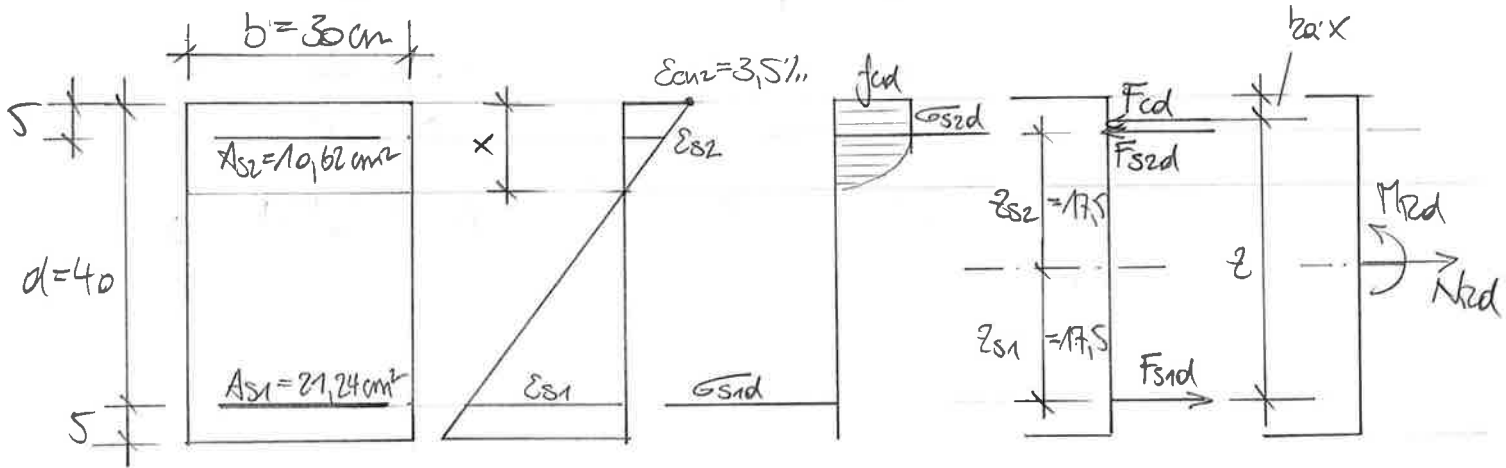
$$A_{s1} = 21,24 \text{ cm}^2 \quad F_{s1d} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1015,1 \text{ kN}$$

$$A_{s2} = 10,62 \text{ cm}^2 \quad F_{s2d} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 507,6 \text{ kN}$$

$$N_{red} = F_{s1d} + F_{s2d} = \underline{1523 \text{ kN}}$$

$$M_{red} = F_{s1d} \cdot z_{s1} - F_{s2d} \cdot z_{s2} = 1015,1 \cdot 17,5 - 507,6 \cdot 17,5 = \underline{89 \text{ kNm}}$$

EBENE b.) $\varepsilon_c = \varepsilon_{cur} = -3,5\text{‰}$ $\varepsilon_{s1} = 8,18\text{‰}$



$$x = \frac{|\varepsilon_{cur}|}{|\varepsilon_{cur}| + \varepsilon_{s1}} \cdot d = \frac{3,5}{3,5 + 8,18} \cdot 40 = 11,99 \text{ cm}$$

$$z = d - \eta \cdot x = 40 - \frac{99}{238} \cdot 11,99 = 35,01 \text{ cm}$$

$$F_{cd} = \alpha_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = \frac{17}{21} \cdot 30 \cdot 11,99 \cdot 2 = 582,4 \text{ kN}$$

$$F_{s1d} = 1015,1 \text{ kN} \quad (f_{yd})$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{|\varepsilon_{cur}|}{x} (x - d_2) = \frac{3,5}{11,99} \cdot (11,99 - 5) = 2,04\text{‰} \leq 2,39\text{‰}$$

$$\sigma_{s2d} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 2,04 \cdot 200 = 408 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Druck})$$

$$F_{s2d} = \sigma_{s2d} \cdot A_{s2} = 408 \cdot 10,62 = 433 \text{ kN} \quad (\text{Druck})$$

$$N_{red} = F_{s1d} - F_{s2d} - F_{cd} = 1015,1 - 433 - 582,4 = \underline{0 \text{ kN}}$$

$$M_{red} = 1015 \cdot 0,175 + 433 \cdot 0,175 + 582,4 (0,3501 - 0,175) = \underline{356 \text{ kNm}}$$

EBENE c.) $\overset{\text{(oben)}}{\varepsilon_c} = \varepsilon_{cz} = -3,5\%$ $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{yd} = 2,39\%$

$$x = \frac{3,5}{3,5 + 2,39} \cdot 40 = 23,77 \text{ cm} \quad z = d - \alpha \cdot x = 30,11 \text{ cm}$$

$$F_{cd} = \alpha \cdot \eta \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = \frac{17}{21} \cdot 30 \cdot 23,77 \cdot 2 = 1154,5 \text{ kN (Druck)}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{3,5}{23,77} (23,77 - 5) = 2,76\% \geq \varepsilon_{yd} = 2,39\% \Rightarrow \sigma_{s2d} = f_{yd}$$

$$F_{s1d} = 1015,1 \text{ kN (Zug)}$$

$$F_{s2d} = 507,6 \text{ kN (Druck)}$$

$$N_{rd} = 1015,1 - 507,6 - 1154,5 = \underline{\underline{-647 \text{ kN (Druck)}}}$$

$$M_{rd} = 1015,1 \cdot 0,175 + 507,6 \cdot 0,175 + 1154,5 \cdot (0,3011 - 0,175) = \underline{\underline{412 \text{ kNm}}}$$

EBENE d.) $\overset{\text{(oben)}}{\varepsilon_c} = \varepsilon_{cz} = -3,5\%$ $\overset{\text{(unten)}}{\varepsilon_{ci}} = 0$

$$x = h = 45 \text{ cm} \quad z = d - \alpha \cdot x = 40 - \frac{99}{238} \cdot 45 = 21,28 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{3,5}{45} \cdot 5 = -0,389\% \text{ (Stauchung)}$$

$$\sigma_{s1d} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s = -0,389 \cdot 200 = -77,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (Druck)}$$

$$F_{s1d} = \sigma_{s1d} \cdot A_{s1} = -165,2 \text{ kN (Druck)}$$

$$F_{s2d} = 507,6 \text{ kN (Druck)}$$

$$F_{cd} = \alpha \cdot \eta \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = 2185,7 \text{ kN (Druck)}$$

$$N_{rd} = -165,2 - 507,6 - 2185,7 = \underline{\underline{-2859 \text{ kN (Druck)}}}$$

$$M_{rd} = -165,2 \cdot 0,175 + 507,6 \cdot 0,175 + 2185,7 \cdot (0,2128 - 0,175) = \underline{\underline{143 \text{ kNm}}}$$

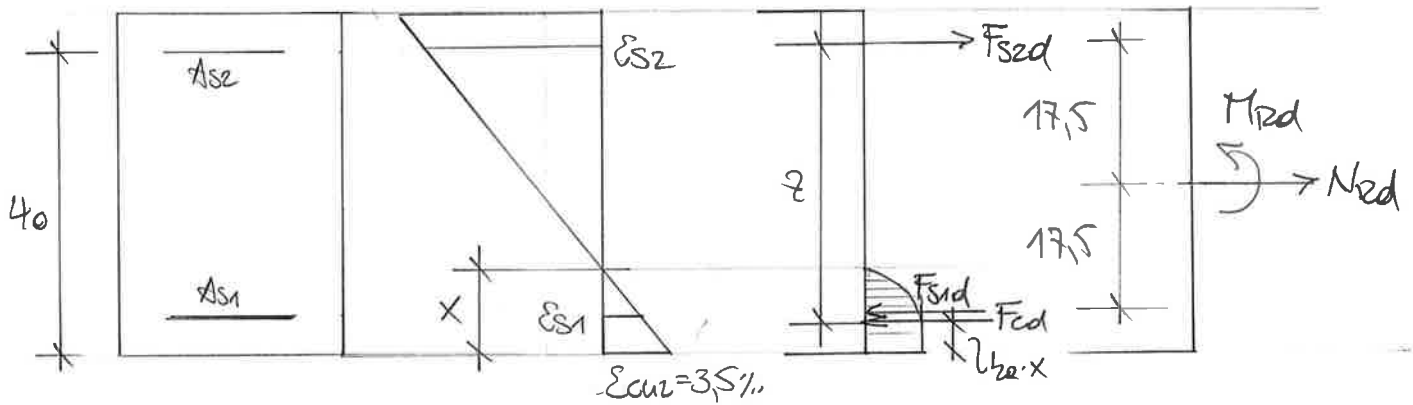
EBENE e.) $\varepsilon = \varepsilon_{cz} = -2\%$

$$F_{cd} = 45 \cdot 30 \cdot 2 = 2700 \text{ kN (Druck)} \quad F_{s1d} = -0,002 \cdot 20000 \cdot 21,24 = -849,6 \text{ kN (Zug)}$$

$$F_{s2d} = F_{s1d} / 2 = 424,7 \text{ kN (Zug)} \quad N_{rd} = -2700 - 849,6 - 424,7 = \underline{\underline{-3974 \text{ kN (Zug)}}}$$

$$M_{rd} = -849,6 \cdot 0,175 + 424,7 \cdot 0,175 = \underline{\underline{-74 \text{ kNm}}}$$

EBENE 6': $\epsilon_c = -3,5\%$ (unten) $\epsilon_{su} = 20,3\%$



$$x = \frac{3,5}{3,5 + 20,3} \cdot 40 = 5,88 \text{ cm} \quad z = 40 - \frac{99}{238} \cdot 5,88 = 37,55 \text{ cm}$$

$$F_{s2d} = 507,6 \text{ kN (Zug)}$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{3,5}{5,88} (5,88 - 5) = -0,523\% \text{ (Druck)}$$

$$F_{s1d} = -0,523 \cdot 10^{-3} \cdot 20000 \cdot 21,24 = -222,5 \text{ kN (Druck)}$$

$$F_{cd} = \alpha_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = \frac{17}{21} \cdot 30 \cdot 5,88 \cdot 2 = -285,6 \text{ kN (Druck)}$$

$$N_{cd} = -285,6 - 222,5 + 507,6 = 0 \text{ kN}$$

$$M_{cd} = -507,6 \cdot 0,175 - 222,5 \cdot 0,175 - 285,6 \cdot (0,3755 - 0,175) = -185 \text{ kNm}$$