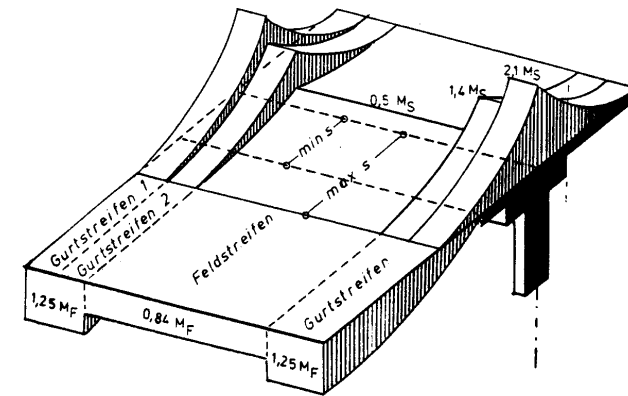
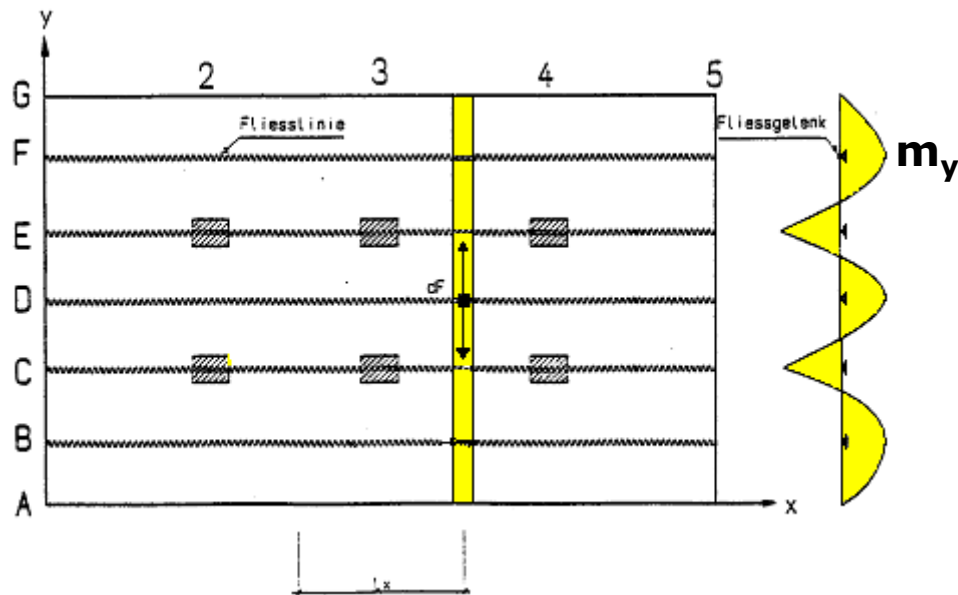

Programm Woche 38

Dr. Maurice Brunner	Bauteile ohne Querkraftbewehrung Beispiel Durchlaufträger Beispiel Tunneldecke Einfluss einer Vorspannung
Pause	18.30 – 18.50
Prof. Beat Noser	Flachdecken Biegebemessung Schubbemessung Eingespannte Stützen



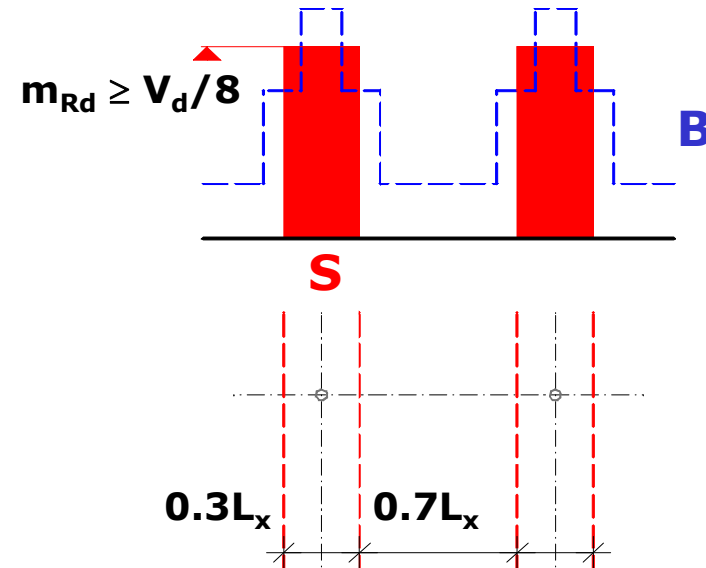
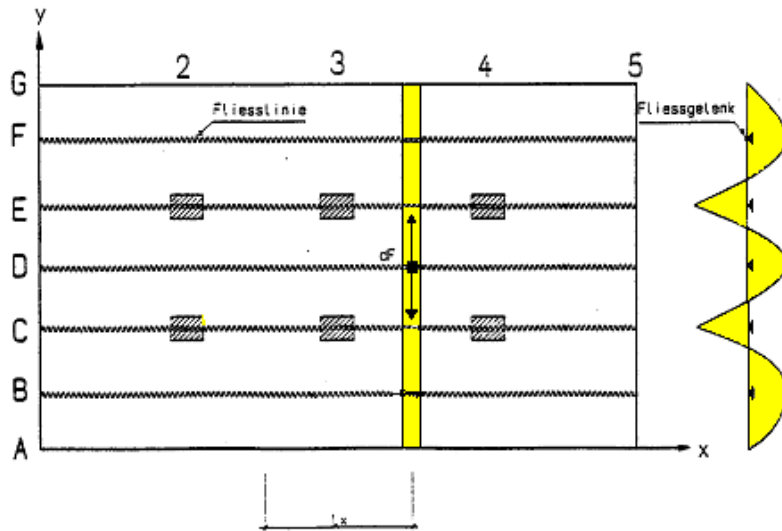
Biegebemessung Vorgestern



$$M = m_y \times L_x$$

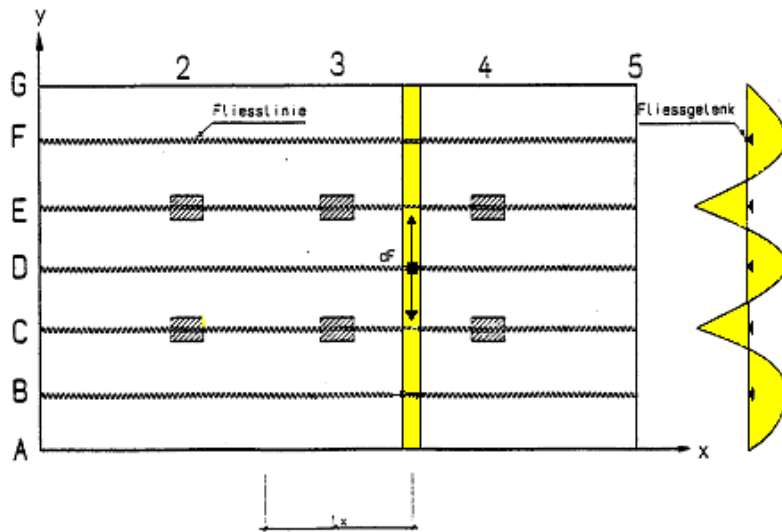
- Elastische Schnittkraftverteilung
- Gurt- und Feldstreifen genau definiert (0.4; 0.6L)
- Momentenquerverteilung genau definiert

Biegebemessung Gestern



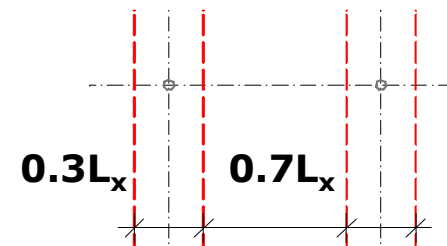
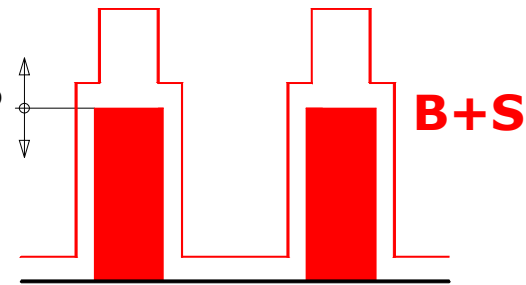
- Steifenmethode plastische oder elastische Schnittkraftermittlung (Lage der Schlusslinie nach Wahl Ingenieur)
- **Minimaler Bewehrung für Schub** im Stützenbereich vorgeschrieben $m_{d'} \geq V_d / 8$ (Innenstütze)
- Minimale Breite Gurtstreifen vorgeschrieben
- Schubwiderstand ist unabhängig von der Biegebewehrung im Stützstreifen

Biegebemessung Heute



$$m_{Rd} \geq V_d / 16$$

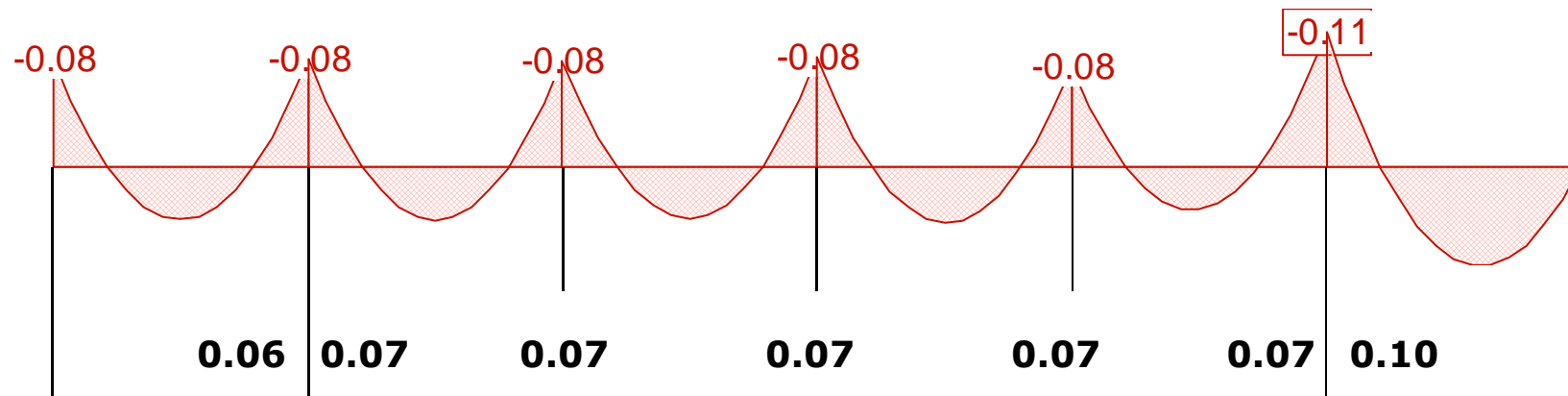
$$\leq V_d / 2$$



- Steifenmethode plastische oder elastische Schnittkraftermittlung (Schlusslinie im elastischen Bereich)
- Minimaler Bewehrung für Schub im Stützenbereich vorgeschrieben $m_d' \geq V_d / 16$ (Innenstütze)
- Minimale Breite Gurtstreifen vorgeschrieben
- **Schubwiderstand ist abhängig** von der Biegebewehrung im Stützstreifen

Näherung nach Hillerborg

- Elastische Schnittkraftverteilung

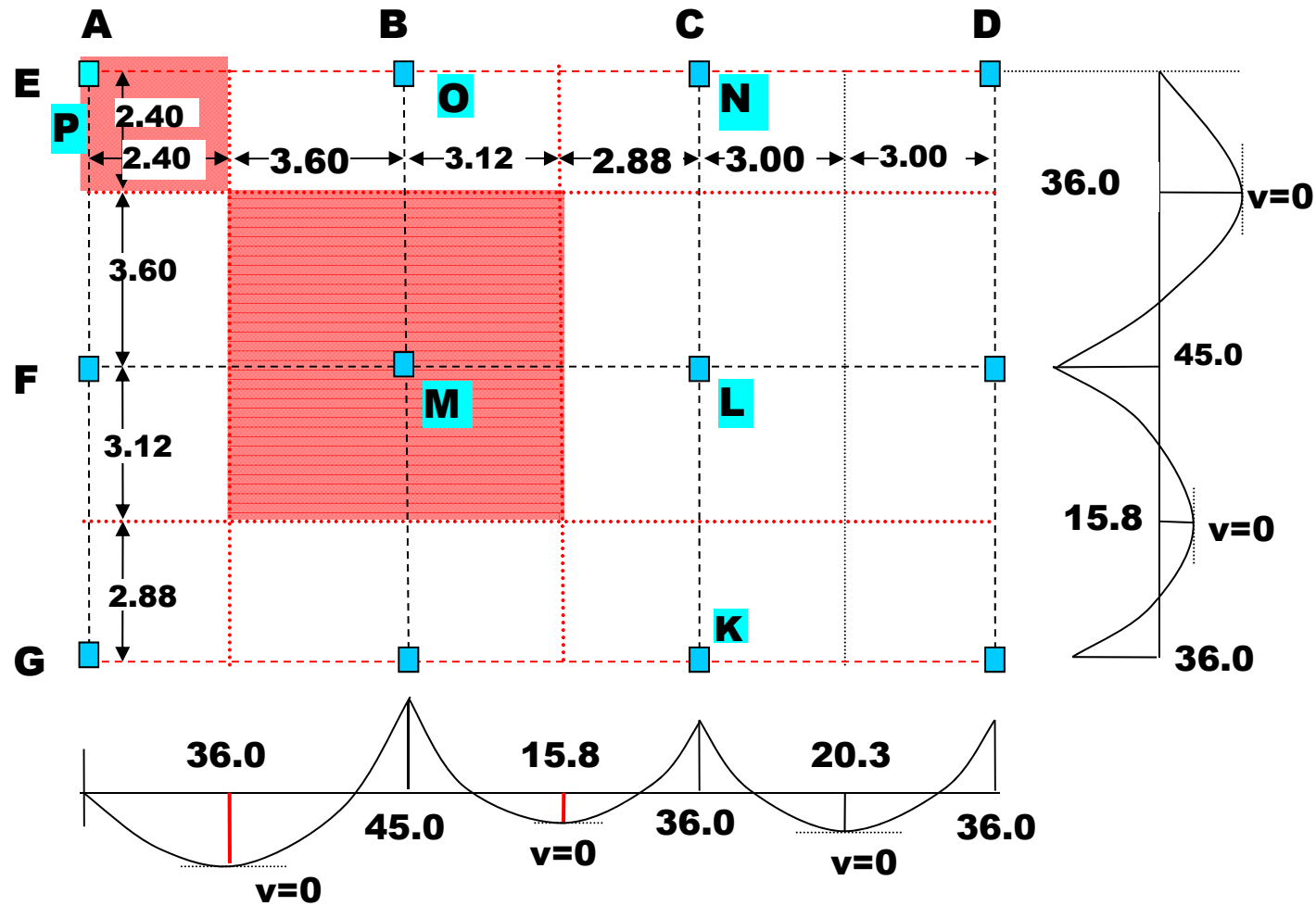


- Verteilung nach Hillerborg



Die Werte nach Hillerborg liegen nahe bei der elast. Schnittkraftverteilung

Schnittkräfte und Streifenbreite



Feldereinteilung wird aus Gleichgewicht bestimmt

Vergleich der Auflagerkräfte

Stütze	K	L	M	N	O	P
Hand	432	494	564	187	214	81.3
CEDRUS	428.8	494.6	566	187.3	211.8	86.7
	kN	kN	kN	kN	kN	kN

Handrechnung Stütze P

$$\begin{aligned}V_P &= q_d \cdot (0.5 \cdot c + a_{xAB}) \cdot (0.5 \cdot c + a_{yEF}) \\ &= 12.5 \cdot (0.5 \cdot 0.30 + 2.4) \cdot (0.5 \cdot 0.3 + 2.4) = 81.3\end{aligned}$$

Durchstanzen

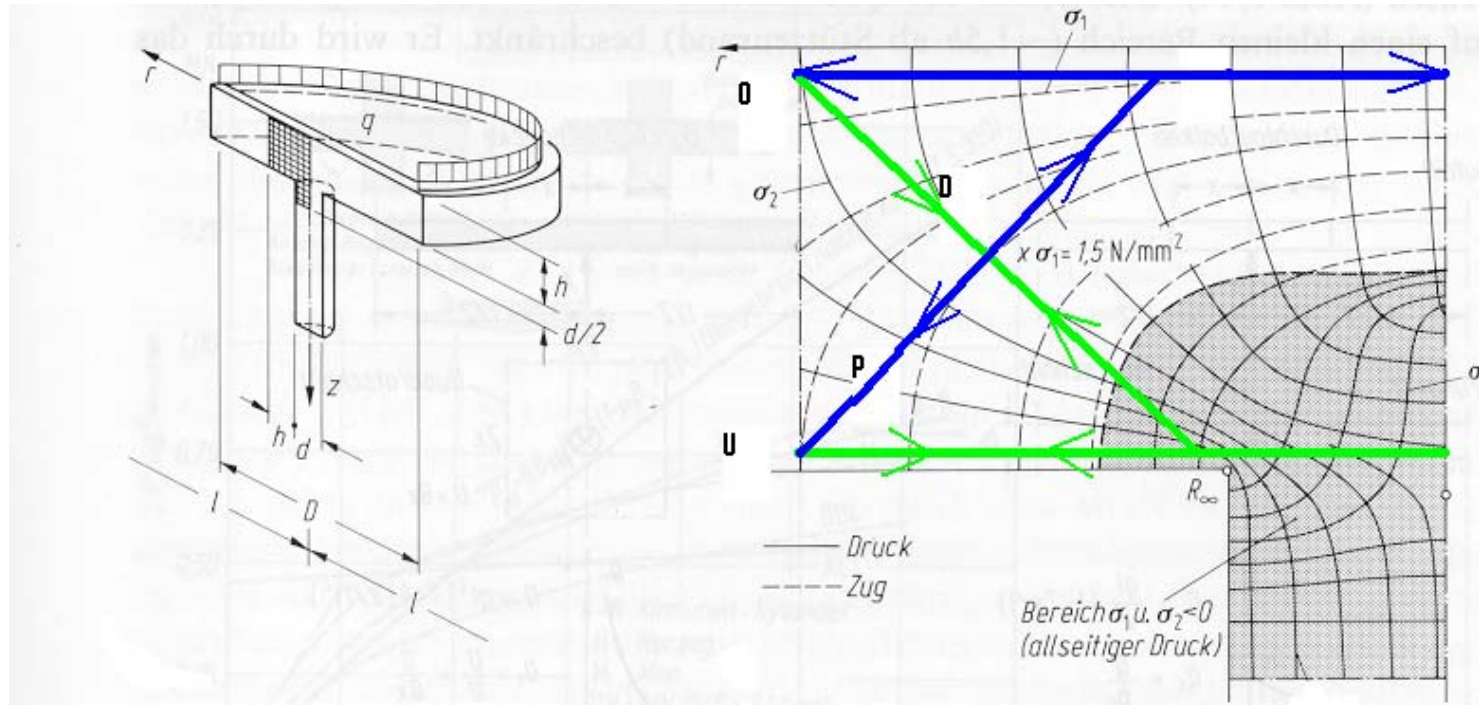


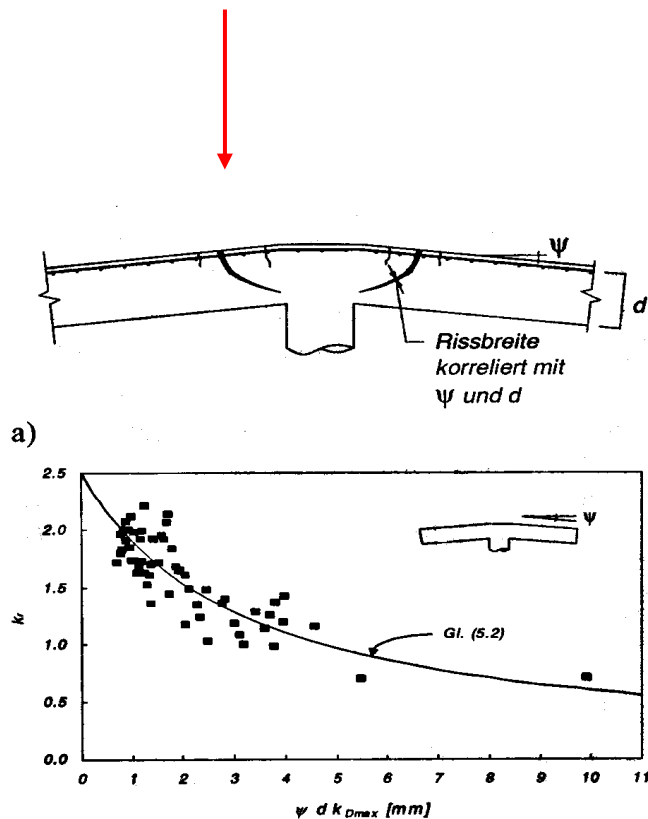
Abbildung durch Fachwerkanalogie bzw. Spannungsfelder

- O: Zuggurt
- U: Druckgurt
- D: Druckdiagonale
- P: Zugdiagonale

Durchstanzen

$$V_{Rd} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d \quad (\text{kN/m})$$

$$V_{Rd} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d \cdot u \quad (\text{kN})$$



Beiwert k_r

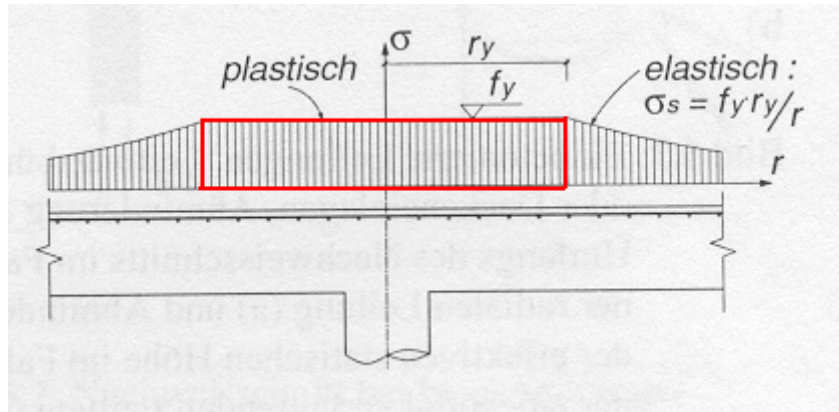
- Erfasst die Abhängigkeit des Durchstanzwiderstandes von den Verformungen im kritischen Bereich

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.135 \cdot \Psi \cdot d \cdot k_{Dmax}}$$

Beiwert k_r zur Bestimmung des Durchstanzwiderstandes von Platten

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.9 \cdot r_y} \geq \frac{1}{1 + 2.2d} \quad (d \text{ in m})$$

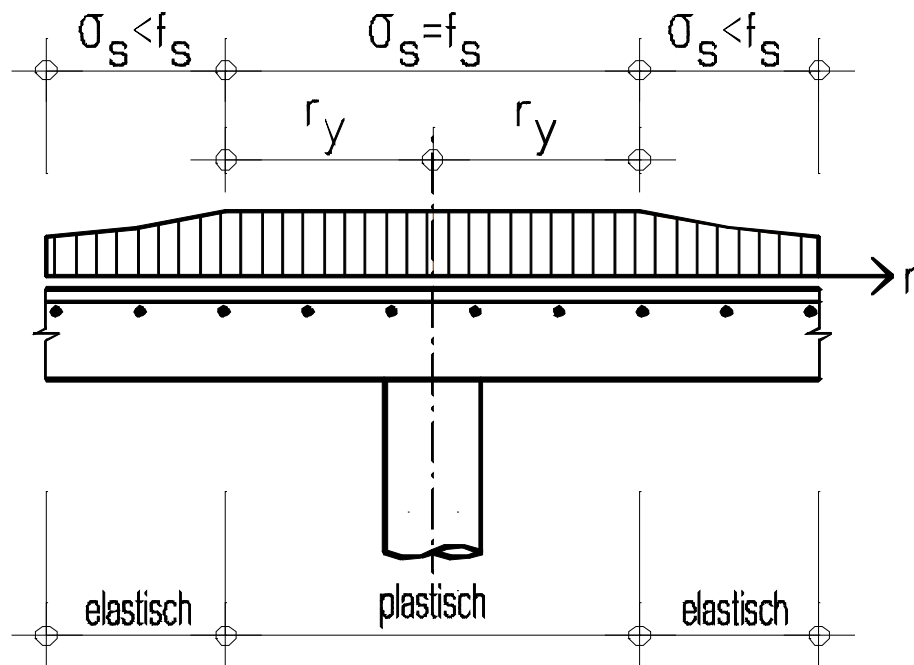
$$r_y = 0.15 \cdot L \left(\frac{m_{0d}}{m_{Rd}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (L \text{ in m})$$



$$m_{0d} = \frac{V_d}{8}$$

$$0.5 \cdot m_{0d} \leq m_{Rd} \leq 4 \cdot m_{0d} \quad (4.3.6.4.1)$$

Zusammenhang $m_{Rd} \Leftrightarrow k_r$



Biegewiderstand $m_{Rd} =$	Spannweite der Decke	
	7.0 m	10.0 m
$V_d / 16$ (0.5 m_{od})	$r_y = 2.96$ $k_r = 0.32$	$r_y = 4.24$ $k_r = 0.23$
$V_d / 8$ (1.0 m_{od})	$r_y = 1.05$ $k_r = 0.72$	$r_y = 1.50$ $k_r = 0.56$
$V_d / 2$ (4.0 m_{od})	$r_y = 0.13$ $k_r = 1.76$	$r_y = 0.18$ $k_r = 1.63$
r_y und k_r – Werte in Funktion von L und m_{od}		

Durchstanzen Innenstütze

$$V_d(\text{Stütze M}) = 564 \text{ kN}$$

$$m_{0d} = \frac{V_d}{8} = \frac{564}{8} = 70.5 \text{ kNm/m}$$

$$u = 4 \cdot 300 + \pi \cdot 180 = 1765 \text{ mm}$$

Stützenmoment nach Streifenmethode $m_{sd} = 45 \text{ kNm/m}$

Gewählt: $m_{ssd} \approx 2 m_{sd} = 90 \text{ kNm/m}$

Die Biegebewehrung kann, falls erforderlich, noch erheblich gesteigert werden.

$$a_s(\phi 20, 200) = 1570 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$F_{sd} = 683 \text{ kN/m}$$

$$0.85 \cdot x = 51 \text{ mm}$$

$$m_{xRd} = (0.17 - 0.026) \cdot 683 = 98 \text{ kNm/m}$$

$$m_{xRd} \ll m_{0d} \rightarrow x = 60 \text{ mm} < d/2$$

Durchstanzen Innenstütze

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.9 \cdot r_y} > \frac{1}{1 + 2.2 \cdot d}$$

$$r_y = 0.15 \cdot l \cdot \left(\frac{m_{0d}}{m_{Rd}} \right)^{\frac{3}{2}} = 0.15 \cdot 6 \cdot \left(\frac{70.5}{98} \right)^{1.5} = 0.549$$

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.9 \cdot 0.549} = 1.06 > \frac{1}{1 + 2.2 \cdot 0.18} = 0.72$$

$$V_{Rd} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d \cdot u = 1.06 \cdot 0.9 \cdot 180 \cdot 1765 \cdot 10^{-3} = 303 \text{ kN} \leq 564 \text{ kN}$$

nicht i.O.

Durchstanzen Innenstütze

Massnahmen:

- Biegebewehrung verstärken
- Schubbewehrung anordnen
- Stütze verstärken

Verstärkung der Biegebewehrung bis max. $x = d/2$

$$d_m = 180 \text{ mm} \Rightarrow F_{cd} = 0.85 \times 90'000 \times 13.5 \times 10^{-3} = 1033 \text{ kN}$$

$$m_{Rd} = 1033(180 - 0.425 \times 90)10^{-3} = 146.4 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow r_y = 0.15 \cdot 6 * \left(\frac{70.5}{146.5} \right)^{1.5} = 0.301 \quad k_r = \frac{1}{0.45 + 0.9 \cdot 0.301} = 1.39$$

$$V_{Rd} = 397 \text{ kN}$$

nicht i.O.

Durchstanzen Innenstütze

Durchstanzbewehrung

Gewählt: Bewehrung $\varnothing 20$ t = 20 cm
Schubbewehrung

(4.3.6.5.3)

$$V_{Rd} = 2 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d \cdot u = 2 \cdot 1.06 \cdot 0.9 \cdot 180 \cdot 1765 \cdot 10^{-3} = 606 \text{ kN} \geq 564 \text{ kN}$$

Vergleich Alt / Neu:

$$V_d = 564 \text{ kN}; \quad m_{0d} = V_d/8 = 70.5 \text{ kNm/m} \rightarrow A_s \approx 1000 \text{ mm}^2/\text{m}$$
$$\varnothing 16 \text{ t} = 20 \text{ cm} \qquad m_{Rd} = 71.6 \text{ kNm}$$



SIA 162

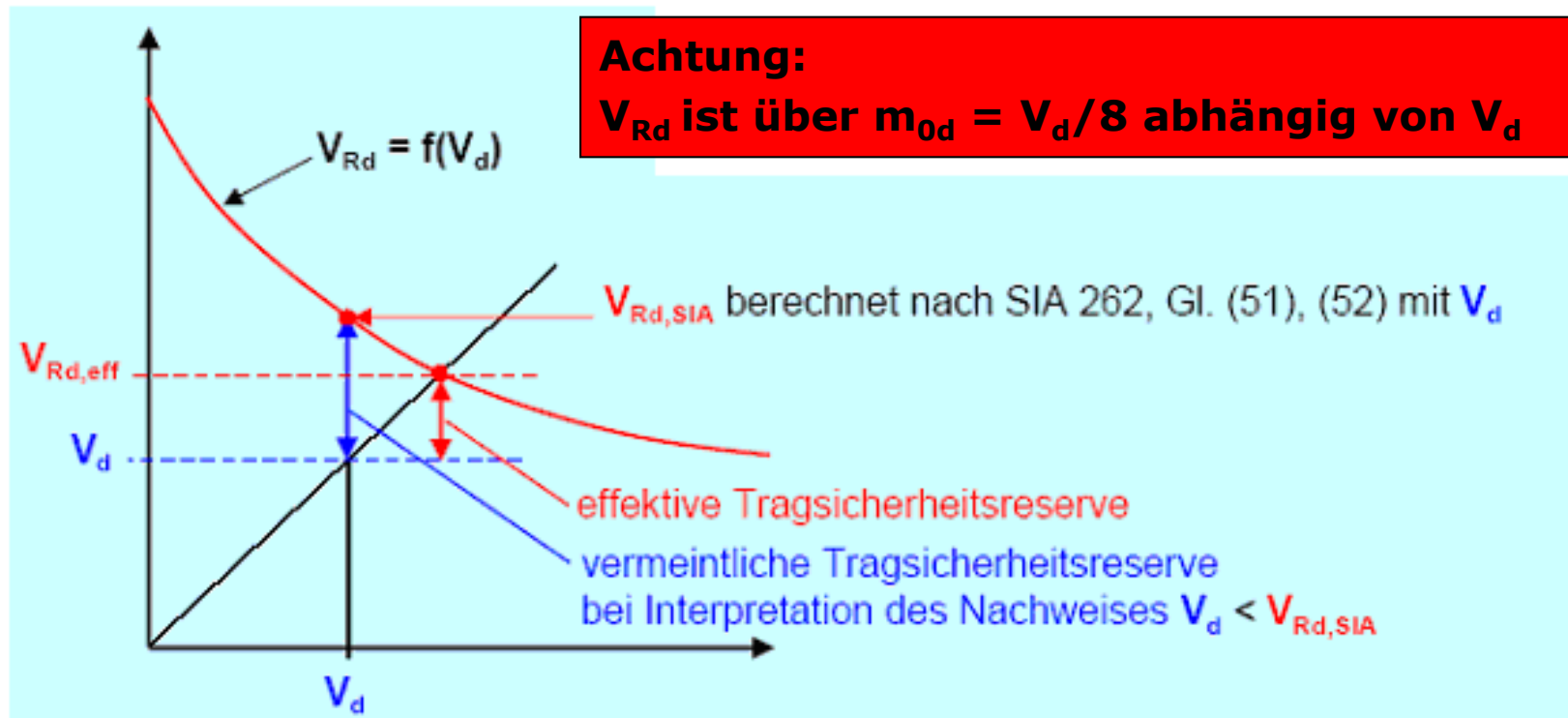
$$V_{Rd} = 429 \text{ kN}$$

SIA 262

$$V_d = 564 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd} = 242 \text{ kN}$$

$$V_d = 345 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd} = 345 \text{ kN (80 \%)}$$

Durchstanzen



Zusammenhang $V_d \Leftrightarrow V_{Rd}$

$$L_x = L_y = 7.0 \text{ m}$$

$$V_d = 600 \text{ kN}$$

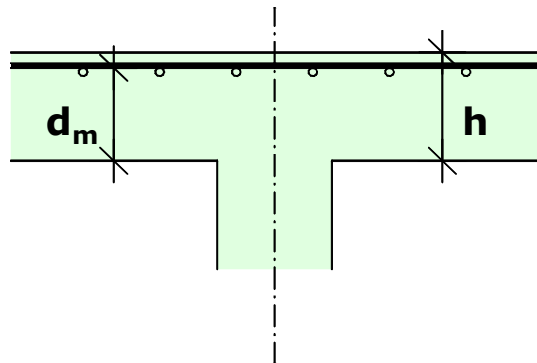
$$d_m = 260 \text{ mm}$$

$$u = 2017 \text{ mm}$$

Beton C 25/30

$$f_{cd} = 16.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{cd} = 1.0 \text{ N/mm}^2$$



- $m_{0d} = 75 \text{ kNm/m} \rightarrow m_{Rd} \leq 4 \times 75 = 300 \text{ kNm/m}$
Gewählt: $\emptyset 18 \text{ t} = 10 \text{ cm}$; $\rightarrow m_{Rd} = 250 \text{ kNm/m}$

$$\Rightarrow r_y = 0.172; \quad k_r = 1.65$$

$$V_{Rd} = 865 \text{ kN}$$

Tragreserve $\neq 265 \text{ kN} !!$

- Annahme: $V_{Rd} \approx 0.5(865+600) = 732 \text{ kN}$
 $m_{0d} = 91.5 \text{ kNm/m}$
 $\Rightarrow r_y = 0.232; \quad k_r = 1.52 \quad V_{Rd} = 799 \text{ kN}$

- Nach weiteren Iterationsschritten erhalten wir:
 $V_d = V_{Rd} = 770 \text{ kN}$

Zusammenhang $V_d \Leftrightarrow V_{Rd}$

- **Durchstanzwiderstand ohne Schubbewehrung: $v_{Rd} = k_r \tau_{cd} d$ (51)**
- **Durchstanzwiderstand ohne Schubbewehrung: $v_{Rd} = 2 k_r \tau_{cd} d$ (55)**



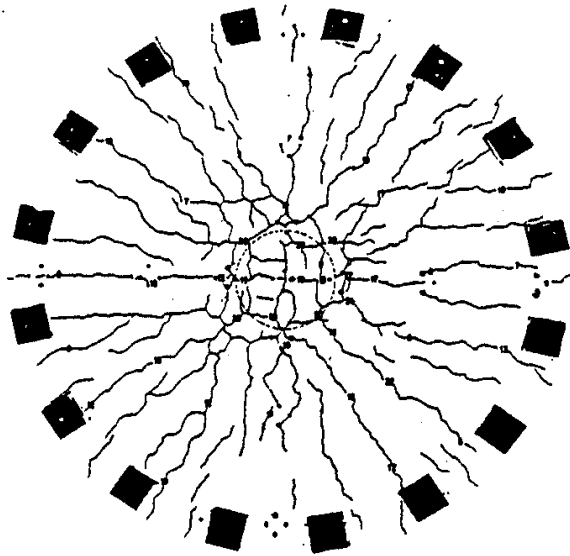
Die Gleichungen (51) und (55) können nicht direkt verglichen werden! Bei gleichem Biege­widerstand ist bei der Platte mit Durchstanzbewehrung k_r kleiner, weil m_{0d} und somit auch r_y grösser sind.

D 0192 Seite 102

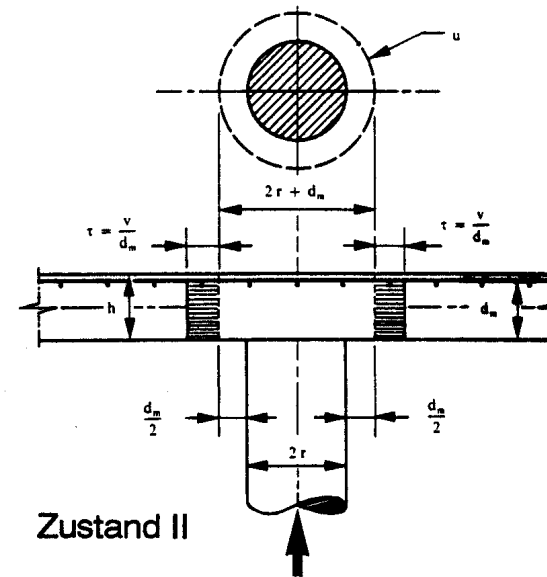
$$\begin{aligned} v_{Rd} &= 221 \text{ kN/m} \neq 171.7 \text{ kN/m} \\ V_{Rd} &= 303 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{Rd} &= 332 \text{ kN/m} \neq 343 \text{ kN/m} \\ V_{Rd} &= 587 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lastexzentrizitäten



Durchstanzversuch an einer zentrisch Kreisplatte



Bemessungsmodell mit der Vergleichsspannung τ

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

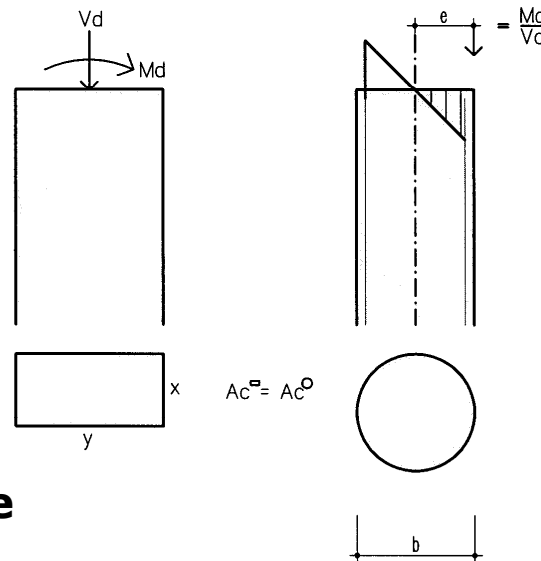
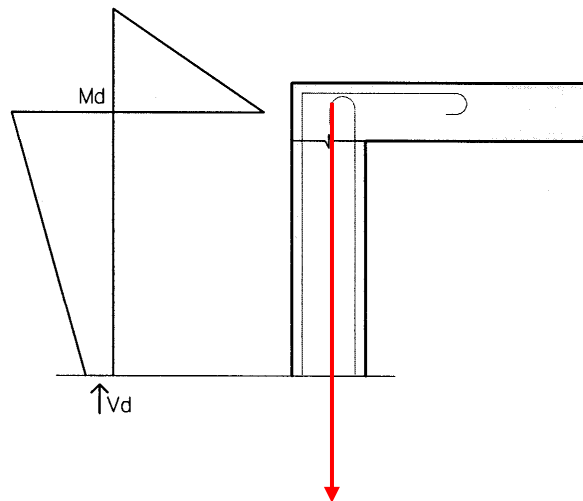
A: Stützenfläche

$$u_{red} = k_e \cdot u$$

$$k_e = \frac{1}{1 + \frac{e}{b}}$$

$$b = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$e = \frac{M_d}{V_d}$$

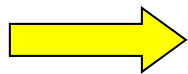
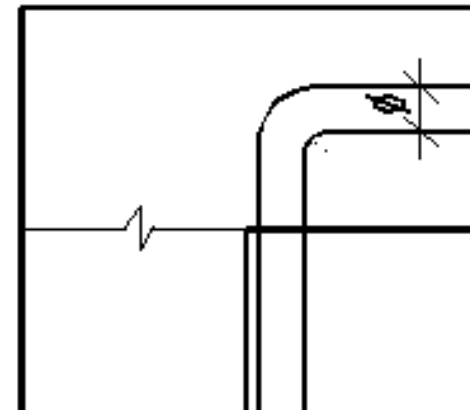
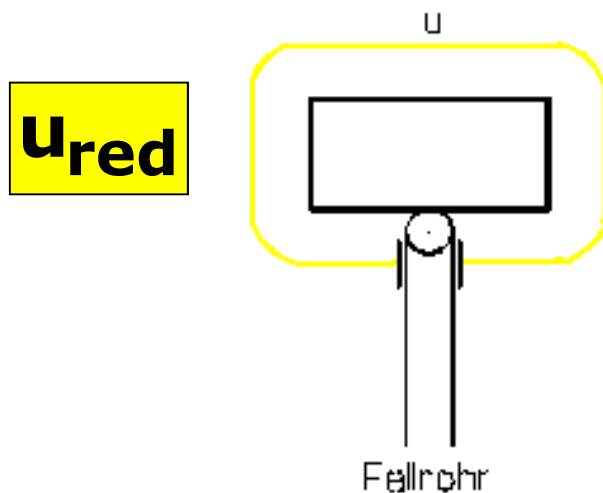


$$u_{red} = u \frac{1}{1 + \frac{e}{b}}$$

Biegesteif angeschlossene Stütze

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

Einbetoniert Leitungen



Keine Kraftübertragung im Leitungsbereich bei $\varnothing > d/3$!!

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

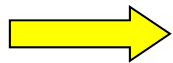
Beispiel Innenstütze D 0192

Annahme biegesteife Verbindung Decke – Stütze (4.3.6.2.6)

Innenstütze M $\Rightarrow V_d = 564$ kN mit $k_e = 0.9$ (4.3.6.2.6)

$$u_{red} = 0.9 \cdot 1.77 = 1.59 \text{ m}$$

$$v_d = 355 \text{ kN/m} > 332 \text{ kN}$$



Biegebewehrung muss verstärkt werden

$$m_{Rd}(\phi 22, 200) = 115 \text{ kNm/m}$$

$$r_y = 0.432$$

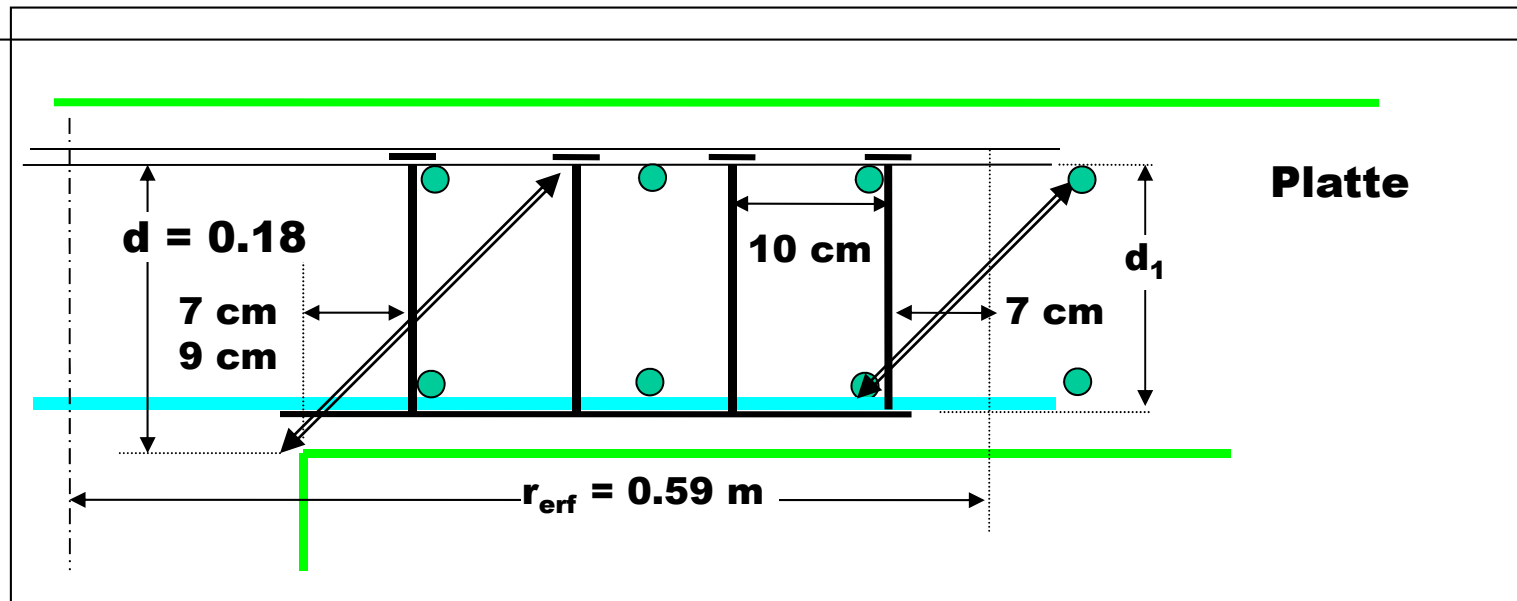
$$k_r = 1.19$$

$$v_{Rd} = 2 \cdot 1.19 \cdot 900 \cdot 0.18 = 386 \text{ kN/m} > 355 \text{ kN/m}$$



Durchstanzbewehrung erforderlich

Durchstanzbewehrung Innenstütze



- Durchstanzwiderstand $d = d_m = 180 \text{ mm}$
- Bereich mit Durchstanzbewehrung $d = d_1 = 140 \text{ mm}$ (4.3.6.5.4)

Reichweite der Durchstanzbewehrung

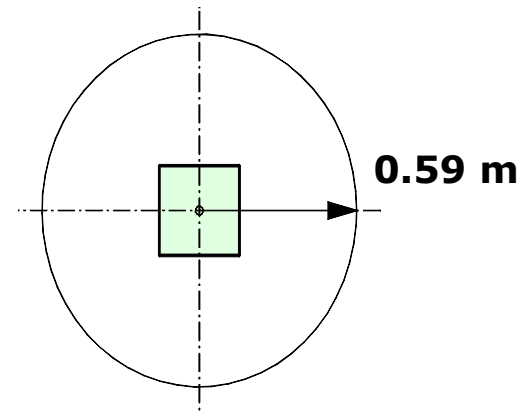
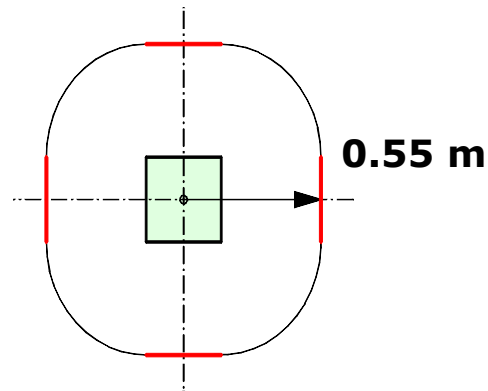
- Die Biegebewehrung ist im Bereich der Durchstanzbewehrung voll wirksam. Damit gilt $k_r = 1.19$

- Widerstand ohne Schubbewehrung: $v_{Rd,1} = 1.19 \cdot 900 \cdot 0.14 = 150 \text{ kN/m}$

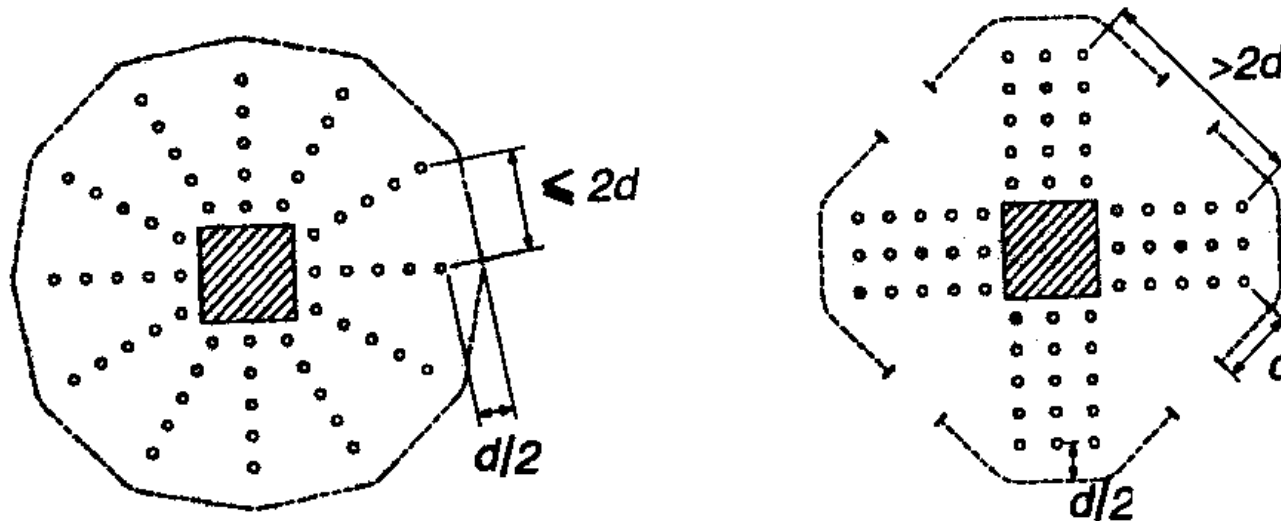


$$u_{\text{erf}} = \frac{564 - 10}{150} = 3.69 \text{ m}$$

Lastanteil innerhalb von u_{erf}



Anordnung der Durchstanzbewehrung und Umfang des Nachweisschnittes

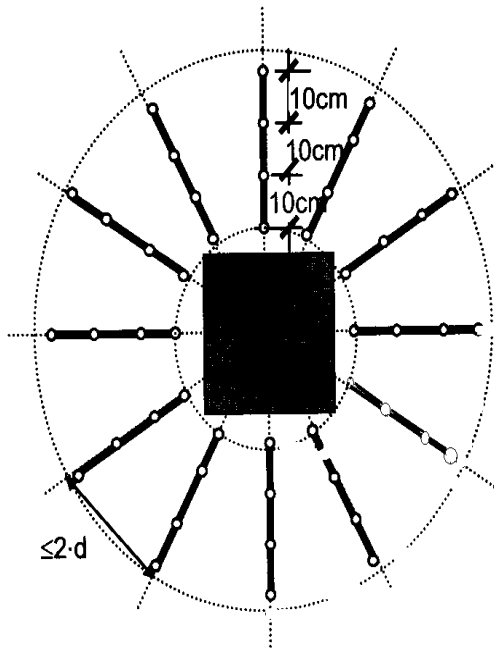


Quelle: D 0182

Bemessung der Durchstanzbewehrung

Gemäss SIA 262 4.3.3.3

Ausnahme: Für die Druckfeldneigung muss $\alpha = 45^\circ$



$$V_d = 564 \text{ kN}; \quad V_{Rd} = 587 \text{ kN}$$

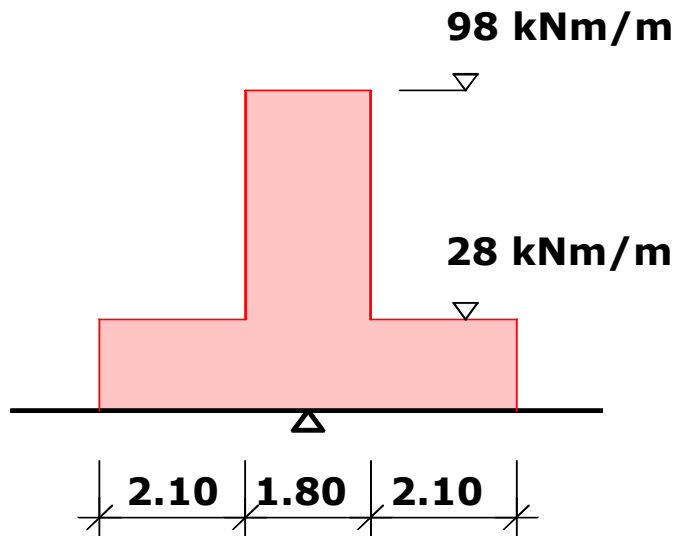
$$A_{sw} = \frac{V_{Rd,s} \cdot s}{z \cdot f_{sd}} \quad (4.3.3.4.3)$$

$$A_{sw} = \frac{587'000 \cdot 100}{12 \cdot 0.9 \cdot 180 \cdot 435} = 69 \text{ mm}^2$$

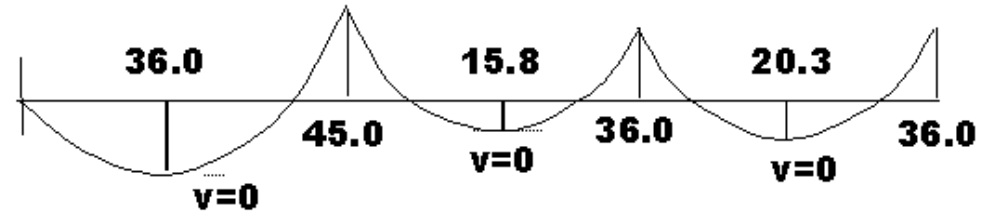
↪ **Anzahl Dübelleisten bzw.
Bügelreihen**

Biegebemessung, Kontrolle Gleichgewicht

Biegemomente m_x



Stützstreifen



- **Statische Berechnung:**

$$m_B' = - 45 \text{ kNm/m}$$

$$\Sigma M = - 270 \text{ kNm/m}$$

- **Widerstand:**

$$\Sigma M = 1.8 \times 98 + 4.2 \times 28 = 294 \text{ kNm}$$

- **Feldstreifen**

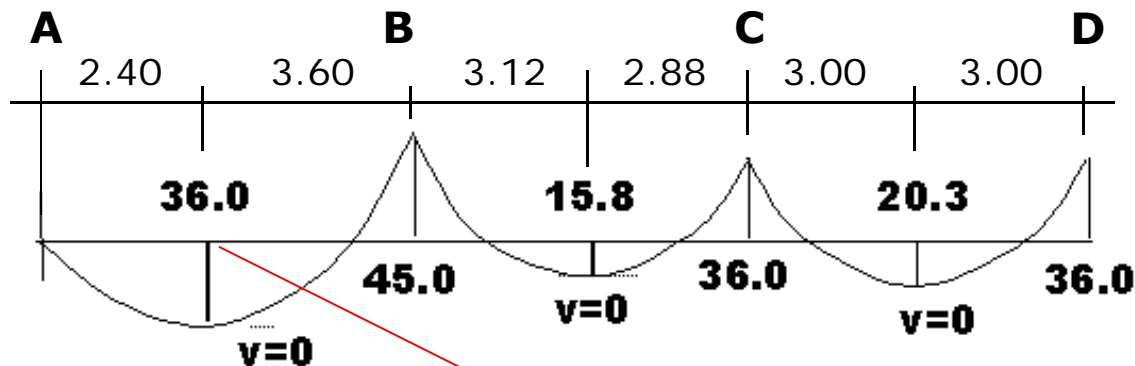
Querverteilung in den Grenzen:

$$0.25 \leq \zeta \leq 0.70$$

$$m_{xf2} + m_{xs2} = \zeta \cdot q \cdot \frac{a_x^2}{2}$$

Biegebemessung, Kontrolle Feldstreifen

Biegemomente in X-Richtung



Zone	$\zeta = 0.25$	$\zeta = 0.75$	m_{s2}	$m_{f2} \leq$	$m_{f2} \leq$	m_{fm}	Wahl m_{f2}	
AB	9.0	27.0	0	9	27	36	27	kNm/m
BA	20.3	60.8	28	0	32.8	36	27	kNm/m
BC	15.2	45.6	28	0	17.6	15.84	10.9	kNm/m
CB	13.0	38.9	28	0	10.9	15.84	10.9	kNm/m
CD	14.1	42.2	28	0	14.2	20.25	14.2	kNm/m
DC	14.1	42.2	28	0	14.2	20.25	14.2	kNm/m

Tabelle 5.3-2: Grenzen und Wahl der Feldstreifenmomente

- Bedingung für Feldstreifen

$$m_{xf2} + m_{xs2} = \zeta \cdot q \cdot \frac{a_x^2}{2}$$

mit den Grenzen:

$$0.25 \leq \zeta \leq 0.70$$

Abschnitt AB $\zeta = 0.25$

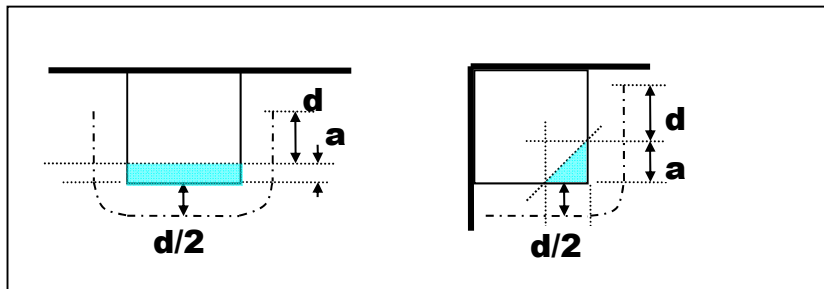
$$0.25 \cdot 12.5 \cdot \frac{2.4^2}{2} = 9.0$$

Abschnitt BA $\zeta = 0.75$

$$0.75 \cdot 12.5 \cdot \frac{3.6^2}{2} = 60.8$$

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

Durchstanzen Rand- (und Eckstütze)



$$A_{nom} = \frac{V_d}{f_{cd}} = \frac{0.214}{13.5} = 0.016 \text{ m}^2$$

$$a = 0.053 \text{ m}$$

$$v_d = \frac{214}{0.3 + 2 \cdot (0.053 + 0.18) + 0.5 \cdot \pi \cdot 0.18} = 204 \text{ kN/m}$$

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

Durchstanzen Randstütze

$$v_d = 204 \text{ kN/m}$$

$$m_{0d} = \frac{214}{4} = 53.5 \text{ kNm/m}$$

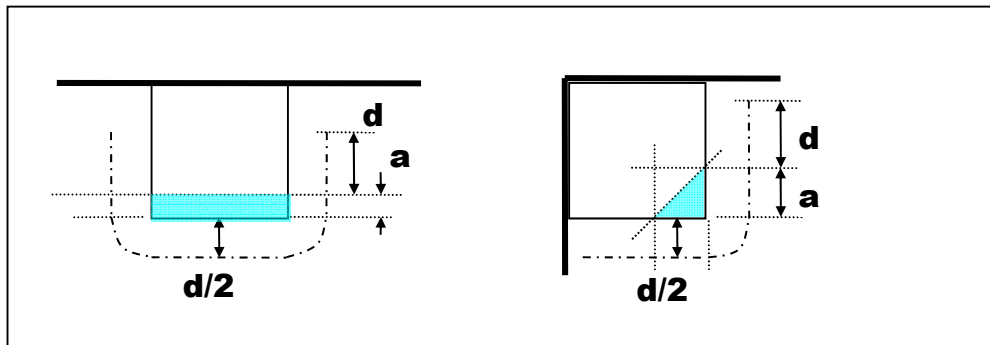
$$\text{Bewehrung } \varnothing 20 \text{ t} = 20\text{cm} \rightarrow m_{Rd} = 98 \text{ kNm/m}$$

$$r_y = 0.15 \cdot 6 \cdot \left(\frac{53.5}{98} \right)^{1.5} = 0.363 \quad k_r = 1.29$$

$$v_{Rd} = 1.29 \cdot 900 \cdot 0.18 = 209 \text{ kN/m} > v_d = 204 \text{ kN/m}$$

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

Durchstanzen (Rand- und) Eckstütze



$$A_{nom} = \frac{V_d}{f_{cd}} = \frac{0.081}{13.5} = 0.006 \text{ m}^2$$

$$a = 0.11 \text{ m}$$

$$v_d = \frac{81.3}{2 \cdot (0.11 + 0.18) + 0.25 \cdot \pi \cdot 0.18} = 113 \text{ kN/m}$$

Lastexzentrizitäten nach SIA 262

Durchstanzen Eckstütze

Bewehrung über Stütze

$$a_s(\phi 14,200) = 770 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$F_{sd} = 335 \text{ kN/m}$$

$$0.85 \cdot x = 25 \text{ mm}$$

$$m_{xRd} = (0.17 - 0.013) \cdot 335 = 52.6 \text{ kNm/m}$$

$$m_{0d} = \frac{81.3}{2} = 40.7 \text{ kNm/m}$$

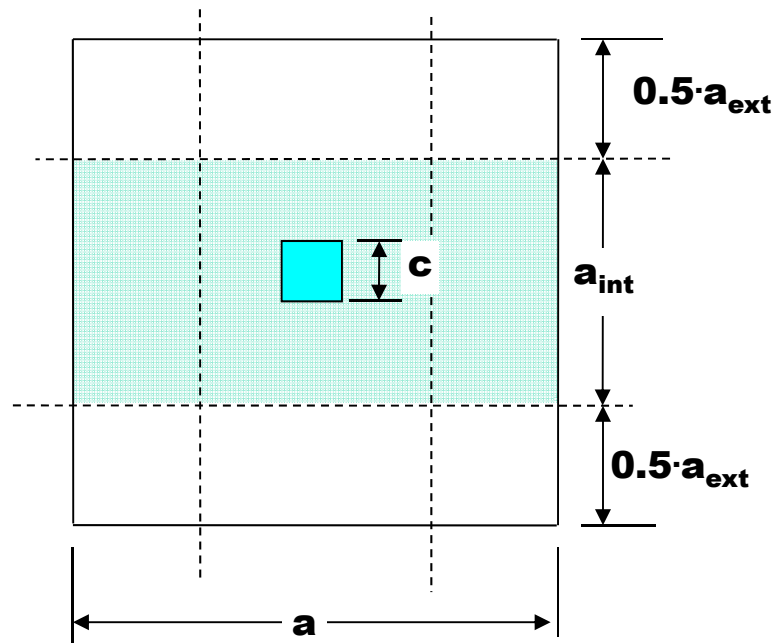
$$r_y = 0.15 \cdot 6 \cdot \left(\frac{40.7}{52.6}\right)^{1.5} = 0.613$$

$$k_r = 1.0$$

$$v_{Rd} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d = 1.0 \cdot 900 \cdot 0.18 = 162 \text{ kN/m} > v_d = 113 \text{ kN/m}$$

Durchstanzen

Einzelfundament



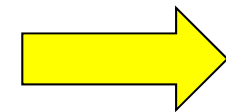
$$V_d = 2500 \text{ kN} \quad a = 3.2 \text{ m} \quad h = 0.7 \text{ m}$$

$$c = 0.4 \text{ m} \quad d_x = 0.62 \text{ m} \quad d_y = 0.6 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 13.5 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{cd} = 0.9 \text{ N/mm}^2$$

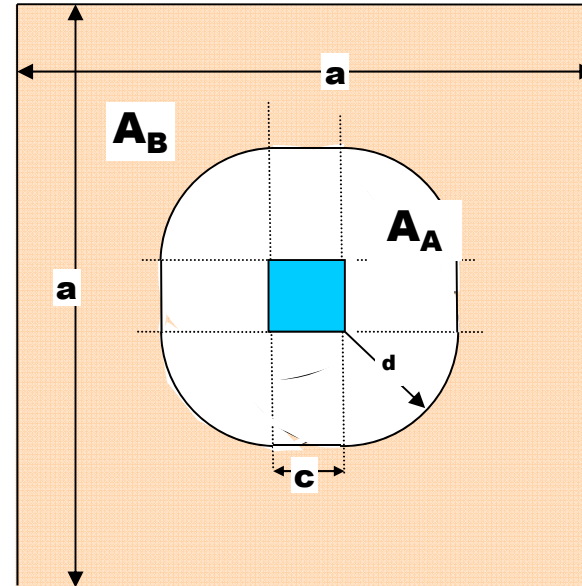
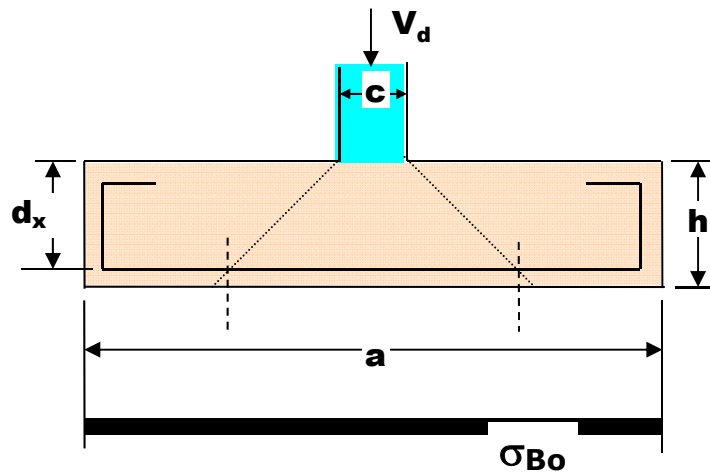
$$\sigma_{Bo} = \frac{2.5}{3.2^2} = 0.244 \text{ MN/m}^2 = 244 \text{ kN/m}^2$$

Ein Teil der Einwirkungen wird direkt auf die Stützen abgestützt



Durchstanzen

Einzelfundament



$$A_A = 2 \cdot c \cdot (c + 2 \cdot d) + \pi \cdot d^2 - c^2$$

$$A_A = 2 \cdot 0.4 \cdot (0.4 + 2 \cdot 0.61) + \pi \cdot 0.61^2 - 0.4^2 = 2.305 \text{ m}^2$$

$$A_B = A - A_A = 3.2 \cdot 3.2 - 2.305 = 7.935 \text{ m}^2$$

$$V_{d,eff} = 244 \cdot 7.935 = 1936 \text{ kN}$$

Durchstanzen Einzelfundament

Biegenachweis

$$M = \frac{V_d \cdot a}{8} \left(1 - \frac{c}{a}\right) = \frac{2500 \cdot 3.2}{8} \left(1 - \frac{0.4}{3.2}\right)^2 = 765 \text{ kNm}$$

$$m_d = 239 \text{ kNm/m} \qquad a_{\text{int}} = a_{\text{ext}} = 1.6 \text{ m}$$

$$A_s(16\phi 18/20) = 4544 \text{ mm}^2 \qquad F_{Rd} = 1976.6 \text{ kN} \qquad 0.85 \cdot x = 46 \text{ mm}$$

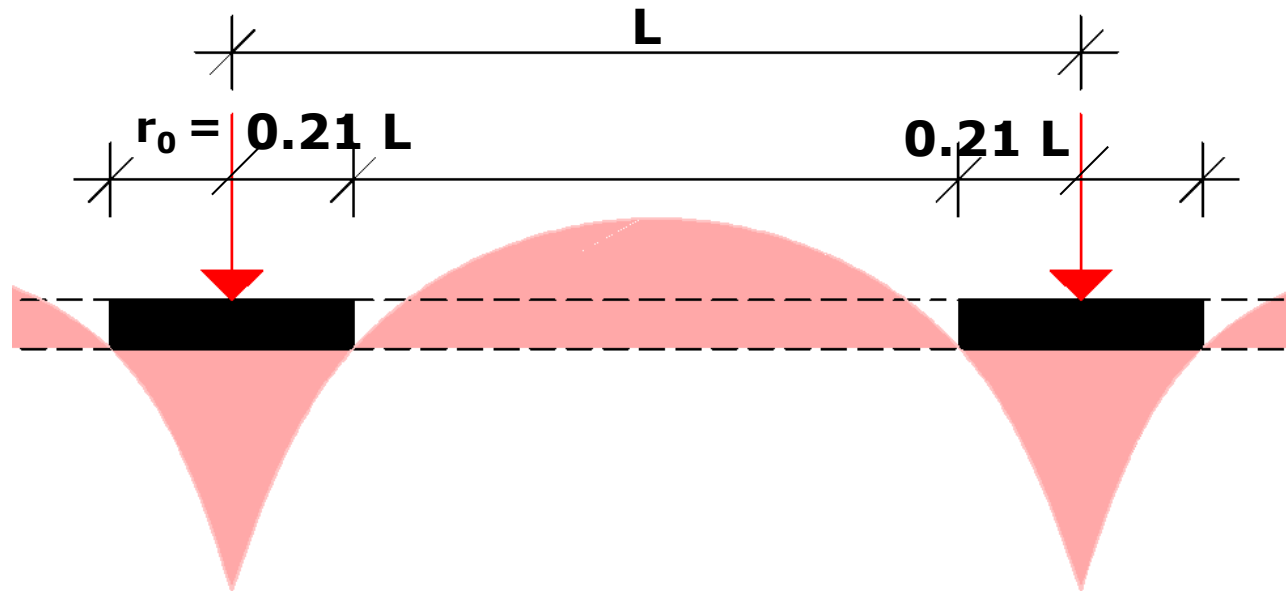
$$M_{xRd} = 1976.6 \cdot (0.62 - 0.023) = 1180 \text{ kNm}$$

$$m_{xRd} = 369 \text{ kNm/m} > m_d = 239 \text{ kNm/m}$$

$$M_{yRd} = 1976.6 \cdot (0.60 - 0.023) = 1141 \text{ kNm}$$

$$m_{yRd} = 356 \text{ kNm/m} > m_d = 239 \text{ kNm/m}$$

Durchstanzen Einzelfundament



$$r_y = 0.15 \cdot l \cdot \left(\frac{m_{0d}}{m_{Rd}} \right)^{1.5} \quad \Rightarrow \quad r_y = 0.15 \cdot \frac{r_0}{0.21} \cdot \left(\frac{m_{0d}}{m_{Rd}} \right)^{1.5} = 0.7 \cdot r_0 \cdot \left(\frac{m_{0d}}{m_{Rd}} \right)^{1.5}$$

Durchstanzen Einzelfundament

Durchstanznachweis

$$u = 4 \cdot c + \pi \cdot d = 4 \cdot 0.4 + \pi \cdot 0.61 = 3.516 \text{ m}$$

$$v_d = \frac{1936}{3.516} = 551 \text{ kN/m}$$

$$r_y = 0.7 \cdot r_0 \cdot \left(\frac{m_{0d}}{m_{Rd}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad r_0 \approx 1.6 \text{ m}$$

$$m_{0d} = m_d = 239 \text{ kNm/m}$$

$$r_y = 0.7 \cdot 1.6 \cdot \left(\frac{239}{356} \right)^{1.5} = 0.616$$

m_{0d} Mittelwert des tangentialen Momentes vom Stützenrand bis Fundamentrand

$$k_r = \frac{1}{0.45 + 0.9 \cdot 0.616} = 1.0 \geq \frac{1}{1 + 2.2 \cdot 0.61} = 0.427$$

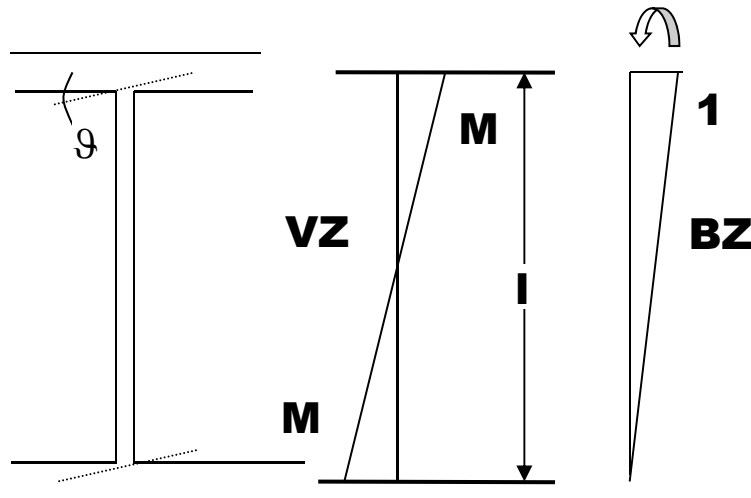
$$v_{Rd} = 1.0 \cdot 0.9 \cdot 0.61 = 549 \text{ kN/m} \approx 551 \text{ kN/m}$$

Durchstanzen

Lastexzentrizität

Verdrehung der Stütze

$$\longrightarrow e = \left| \frac{M_d}{V_d} \right| ?$$



$$\vartheta = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot l}{EJ} = \frac{1}{6} \cdot \chi \cdot l$$

$$M_{r,eff} = \frac{h}{6} \cdot N = \frac{0.3}{6} \cdot 564 = 28.2 \text{ kNm}$$

$$EJ_c = 22.95 \text{ MNm}^2$$

$$\vartheta_r(3) = \frac{28.2 \cdot 3}{6 \cdot 22.95} \cdot 10^{-3} = 0.61 \cdot 10^{-3}$$

$$V_d = N_d = 564 \text{ kN}$$

$$b = 0.34 \text{ m}$$

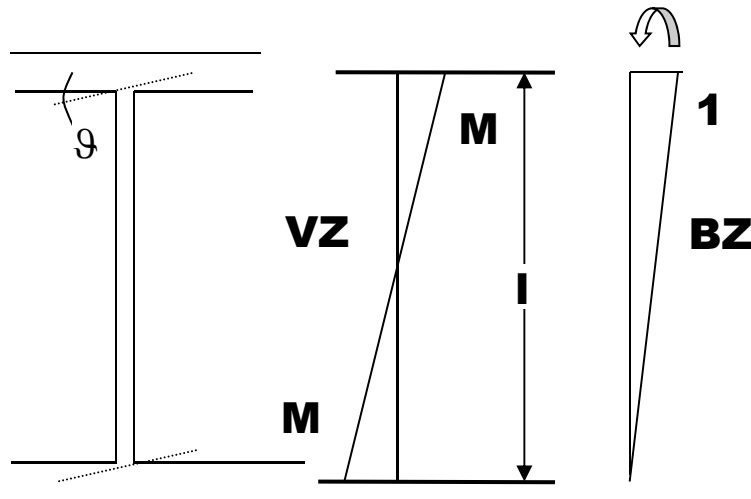
$$l = 3 \text{ m}$$

Durchstanzen

Lastexzentrizität

Verdrehung der Stütze $V_d = 564 \text{ kN}$

$$\vartheta = \frac{1}{6} \cdot \frac{M \cdot l}{EJ} = \frac{1}{6} \cdot \chi \cdot l$$



QS-Diagramm: Anhang zu 4

$$n_{Rd} = 0.46$$

$$m_{Rd} = 0.19$$

$$\chi_d \cdot h = 0.0055$$

$$\chi_d = 18.3 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{Rd} = 69.3 \text{ kNm}$$

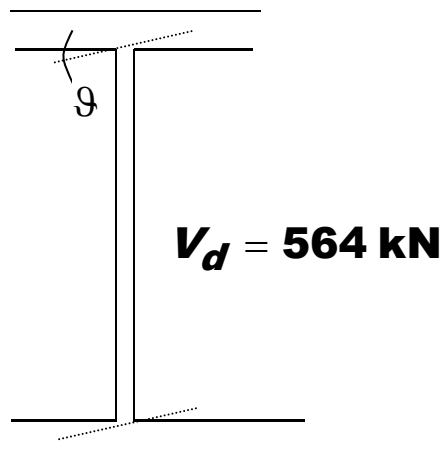
$$\vartheta_{d(3)} = \frac{\chi_d \cdot l}{6} = \frac{18.3 \cdot 3}{6} = 9.15 \cdot 10^{-3}$$

**Stütze 4 $\varnothing 14$
 $d'/h = 0.13$
 $\omega = 0.22$**

Durchstanzen

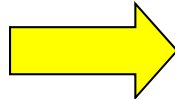
Lastexzentrizität

Deckendaten



**Bewehrung über Stütze
berücksichtigt $\varnothing 20 \text{ t} = 20$**

$$\rho = 8.7 \cdot 10^{-3}$$



aus CEDRUS

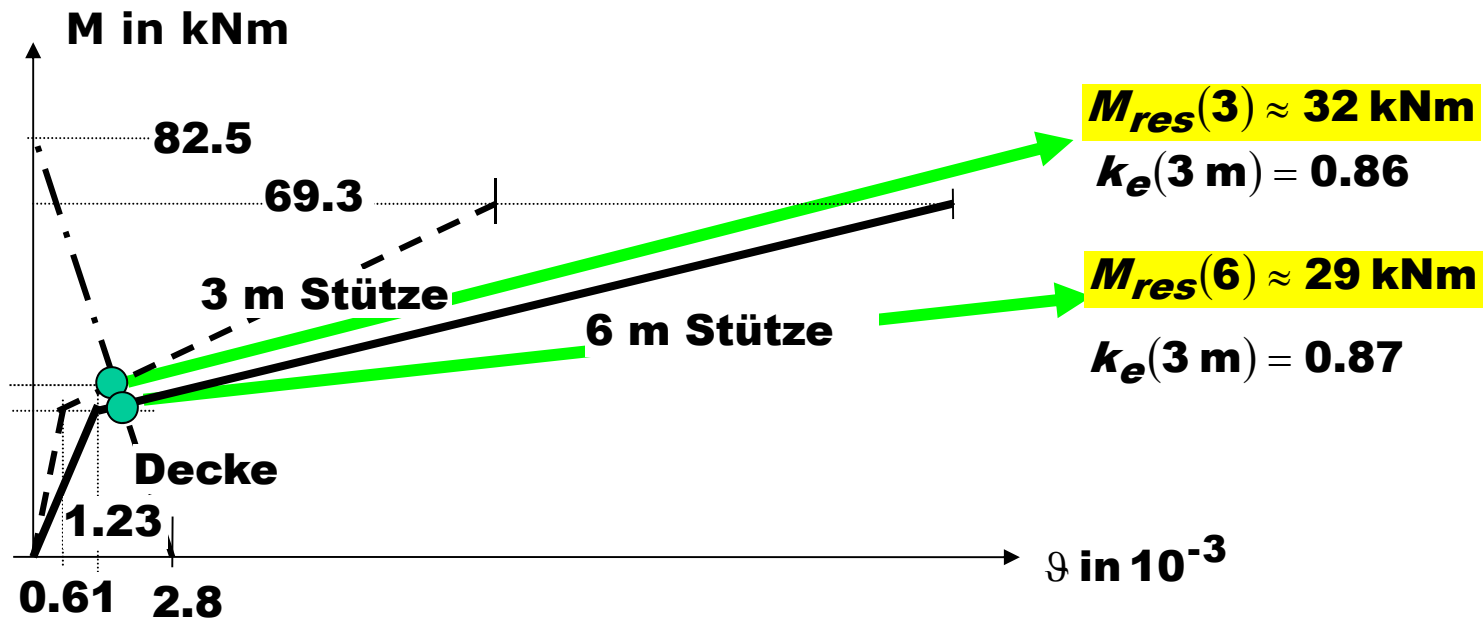
$$\vartheta_c = 0.63 \cdot 10^{-3}$$

$$v = v_c \cdot \frac{1}{10 \cdot \rho^{0.7}} \cdot 0.75 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^3 = 2.8 \cdot 10^{-3}$$

$$M_d(\vartheta_{De} = 0) = 82.5 \text{ kNm}$$

Durchstanzen Lastexzentrizität

Effektives Moment m_{res}
Kurven der Stütze und der Decke schneiden sich



Kurven der Decke und der Stützen (3 m und 6 m)