

Stahlbeton I - Übung 5

Für die im Kolloquium 5 analysierte Fuss- und Radwegbrücke sind die Kraftleitung im Querschnitt und bei den Lagern sowie die Abtragung der Querkräfte und Torsionsmomente zu untersuchen.

- a) Ermittle die Schubflüsse aus Querkraft und Torsion und stelle diese für die sieben untersuchten Querschnitte zwischen A und B dar. Wo treten die maximalen mittleren Schubspannungen auf, und wie gross sind sie?
- b) Vergleiche die zur Aufnahme der Querbiegemomente im Feld AB und im Bereich der Zwischenstütze B erforderlichen Bewehrungen mit jenen, die für den Schubanschluss sowie die Ausbiegung der Fahrbahnplatte infolge ständigen Lasten und Nutzlasten notwendig sind.
- c) Entwerfe und bemesse eine zweckmässige Querscheibe bei B.
- d) Entwerfe und bemesse eine Endquerscheibe bei A als Übergangskonstruktion zu einer Flach- oder Tieffundation.
- e) Um die Begrenzbarkeit des Hohlkastens zu gewährleisten, ist in der unteren Kastenplatte eine Öffnung anzuordnen. Wähle den Ort und die Art der Öffnung, begründe die Wahl und diskutiere die Konsequenzen.

2) Schubflüsse in kN/m

	q_d	$q_d + q_d^{AC}$	$q_d + q_d^{AB}$	$q_d + q_d^{BC}$
A				
$\varphi = 15^\circ$				
$\varphi = 30^\circ$				
$\varphi = 45^\circ$				
$\varphi = 60^\circ$				
$\varphi = 75^\circ$				
B				

Grösste Schubspannungen: $\varphi = 75^\circ$, $g_d + q_d^{AB}$: $\tilde{\tau}_d = \frac{1374}{0.3} = 4.58 \text{ N/mm}^2$

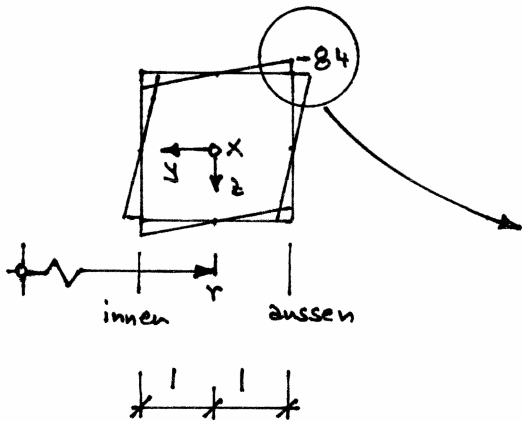
Vergleich mit $0.5 \cdot k_c \cdot f_{cd} = 0.5 \cdot 0.6 \cdot 24 = 7.2 \text{ N/mm}^2$: $4.58/7.2 = 64\%$, o.k.

Annahme Druckfeldneigung $\alpha = 45^\circ \rightarrow \sin\alpha \cos\alpha = 0.5$

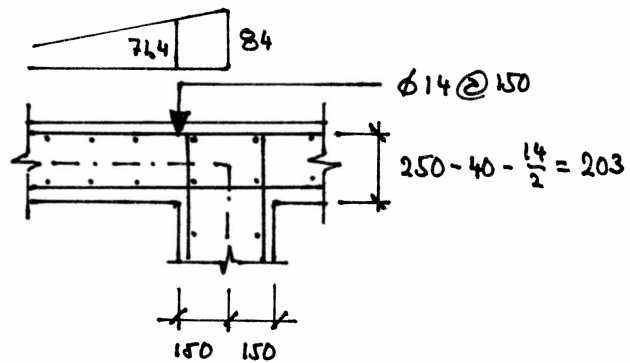
b) Querbiegung

• Feld AB, Lastfall $g_d + q_d^{AB}$... $M_{d,max} \approx 16.79 \text{ MNm}$

\rightarrow Eckmoment = $\frac{M_{d,max}}{8 \cdot r} = \frac{16.79}{8 \cdot 25} \approx \underline{\underline{84 \text{ kNm/m}}}$



Moment am Stegrand = $0.85 \cdot 84 = \underline{\underline{71.4 \text{ kNm/m}}}$



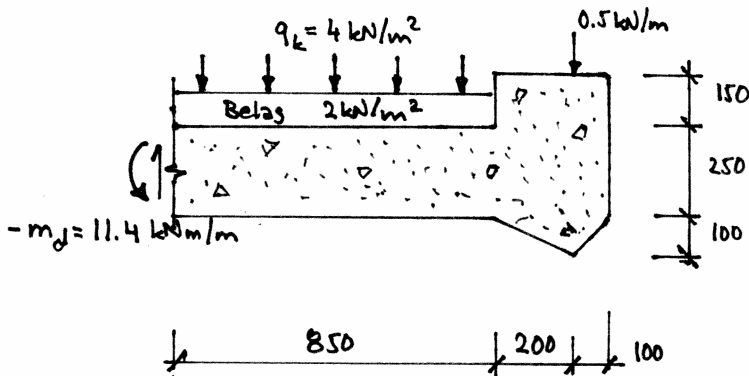
Annahme Expositionsklasse XD1, $c_{nom} = 40 \text{ mm}$ (SIA 262, Tab. 1 und 17)

Annahme $\phi 14 @ 150$... $1026 \text{ mm}^2/\text{m}$

$1026 \cdot 435 = 446.4 \text{ kN/m}$

$446.4 / 24 = 18.6 \text{ mm}$, $446.4 (203 - \frac{18.6}{2}) = \underline{\underline{86.5 \text{ kNm/m}}}$, ausreichend

• Vergleich mit Querbiegemoment Konsolplatte:

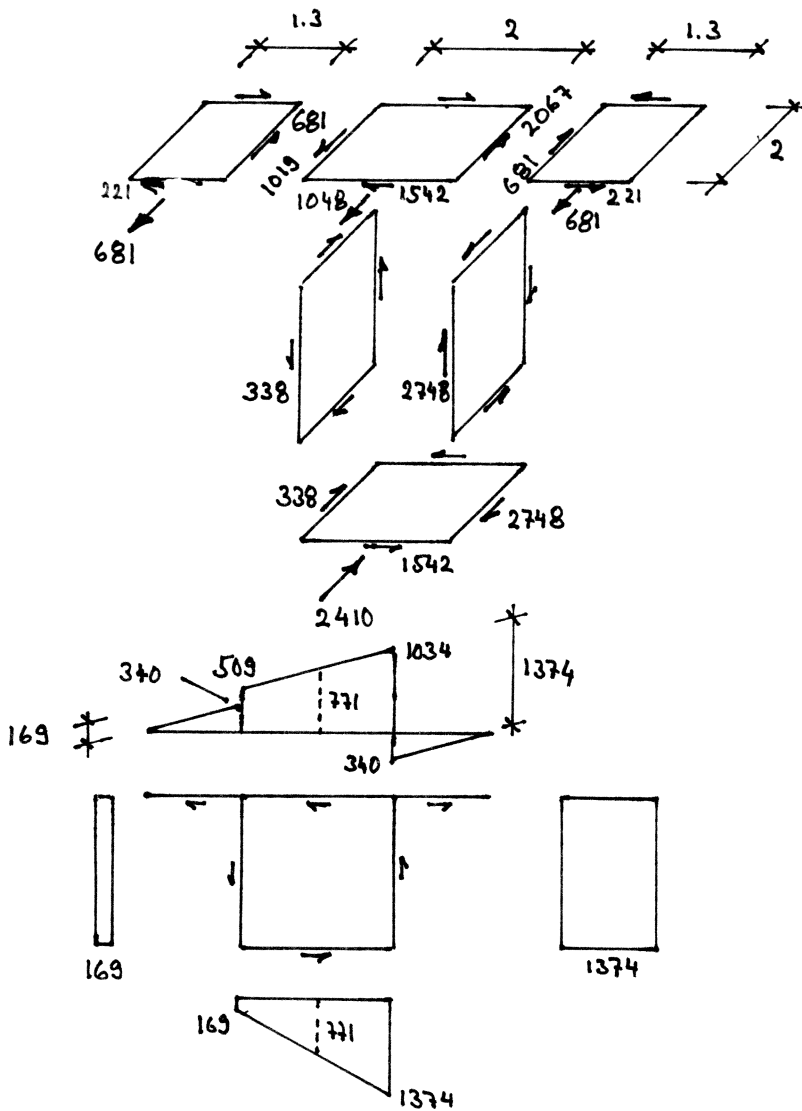


$1.15 \cdot 0.25 \cdot \frac{1.15}{2}$
 $0.3 \cdot 0.15 \cdot 1$
 $0.3 \cdot 0.05 \cdot 1.017$ } 0.226 m^3

$0.226 \cdot 25 \cdot 1.35$
 $0.5 \cdot 1.05 \cdot 1.35$
 $\frac{1}{2} (0.85)^2 \cdot 2 \cdot 1.35$
 $\frac{1}{2} (0.85)^2 \cdot 4 \cdot 1.5$ } $\underline{\underline{11.4 \text{ kNm/m}}}$

Das Querbiegemoment der Konsolplatte ist viel kleiner als das Eckmoment infolge Querbiegung aus Stabkrümmung.

- Vergleich mit Schubanschluss - Beispiel $\varphi = 75^\circ$, Lastfall $g_d + q_d^{AB}$



Kräfte [kN] auf 2m Stablänge bezogen, vgl. Seite U5.2

Schubflüsse [kN/m]

in Steg über Höhe konstant
in Flansch über Breite linear ver-
ändertlich
(Mittelwert 771 kN/m, vgl. Seite U5.2)

Fahrbahnplatte (hier Biegezuggut):

$$\begin{aligned} \text{max. Schubfluss am Stegtrand} &= 1034 - \frac{1034 - 509}{2} \cdot 0.15 = 995 \text{ kN/m} \\ \text{mit } \alpha_f = 45^\circ \text{ folgt für die Querbewehrung } a_{s, \text{erf}} &= \frac{995 \text{ kN/m} \cdot \tan \alpha_f}{f_{sd}} \\ &= 2287 \text{ mm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

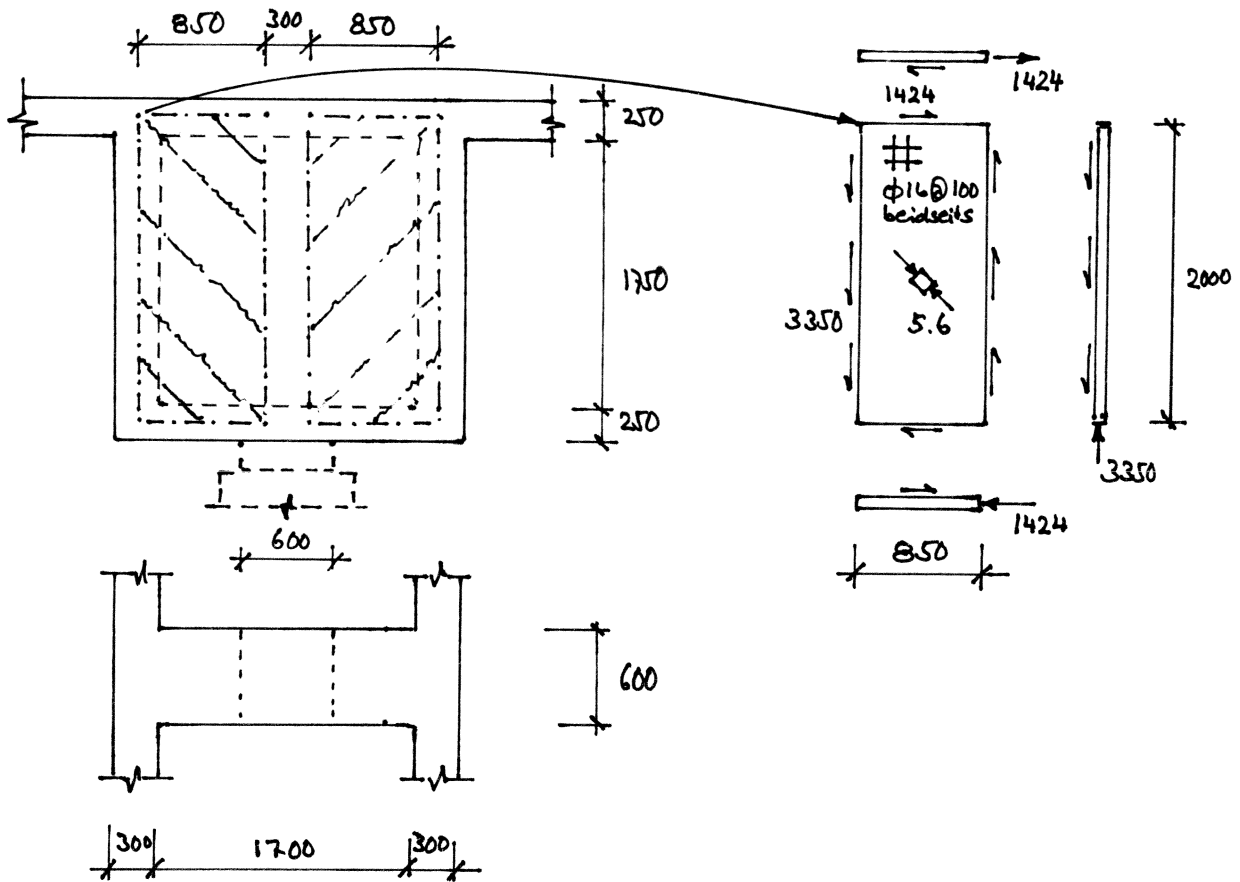
Oben und unten in der Platte müsste also $2287/2 = 1144 \text{ mm}^2/\text{m}$ angeordnet werden, d.h. etwas mehr als $\phi 14 @ 150$ ($1026 \text{ mm}^2/\text{m}$).

→ Die Interaktion von Längsschub und Querbewehrung ist später noch zu vertiefen (Stahlbeton II)!

Untere Kastenplatte (hier Biegedruckgut), $\alpha_f = \arctan(1/2)$:

$$a_{s, \text{erf}} = \frac{1}{2} \cdot \left(1374 - \frac{1374 - 169}{2} \cdot 0.15 \right) / 435 = 1475 \text{ mm}^2/\text{m}, \text{ z. B. } \phi 12 @ 150 \text{ oben und unten ausreichend, d.h. etwas weniger als für Querbewehrung aus Krümmung.}$$

c) Querscheibe B



- Massgebender Lastfall $g_d + q_d^{AC} \rightarrow$ Stützenreaktion = $2 \cdot 3.35 = 6.7$ MN
- Annahme Kräfteleitung über $600 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm}$: $6.7 / (0.6)^2 = 18.6 \text{ N/mm}^2 < f_{cd}$, o.k.
Annahme Scheibendicke 600 mm

- Annahme Druckfelder unter 45° geneigt, $1000 - \frac{600}{4} = 850$ mm breit, 2m hoch

Nominelle Schubspannung = $\frac{3350000}{2000 \cdot 600} = 2.8 \text{ N/mm}^2$

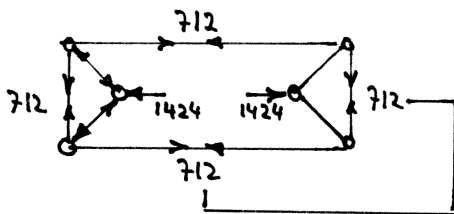
Druckspannung = $2 \cdot 2.8 = 5.6 \text{ N/mm}^2$

$a_{s, \text{erf}} = \frac{3350000}{2 \cdot 435} = 3857 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow$ Wähle $\phi 16 @ 100$ kreuzweise, beidseitig
 $2 \cdot 8^2 \cdot \pi / 0.1 = 4021 \text{ mm}^2/\text{m}$, o.k.

- Obergurtkraft = $3350 \cdot 0.85 / 2 = 1424$ kN $\rightarrow A_{s, \text{erf}} = 1424 / 435 = 3273 \text{ mm}^2$

Fachwerkmodell in Fahrbahnplatte

\rightarrow verstärkte Fahrbahnplattenbewehrung

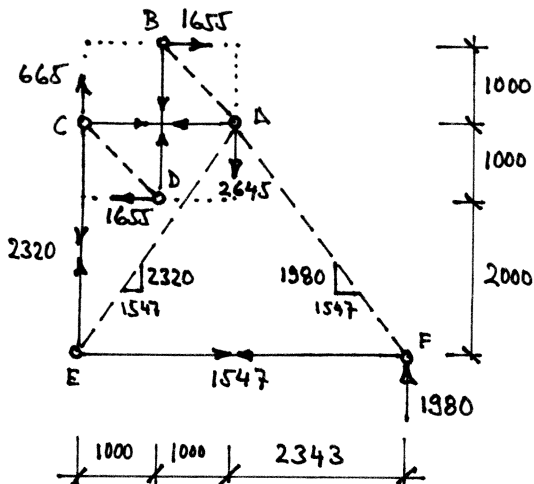


2.8 je $2 \cdot 4 \phi 16$ $\hat{=} 700$ kN \approx o.k.

d) Querscheibe A

Die Ausbildung der Widerlager ist weitgehend von den örtlichen Verhältnissen abhängig. Hier Annahme einer Flachfundation (0.5m dick, 2m breit) 2m unterhalb unserer Hohlkastenplatte, Widerlagerwanddicke 0.4m.

- Massgebender Lastfall $g_d + q_d^{AB}$ - Fachwerkmodellentwicklung [kN, mm]:



Das diagonale Druckfeld im Bereich ABCD wandelt das horizontale Kräftepaar $1655 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m}$ in ein vertikales Kräftepaar um.

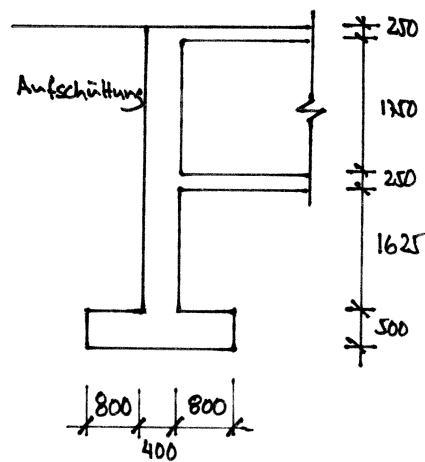
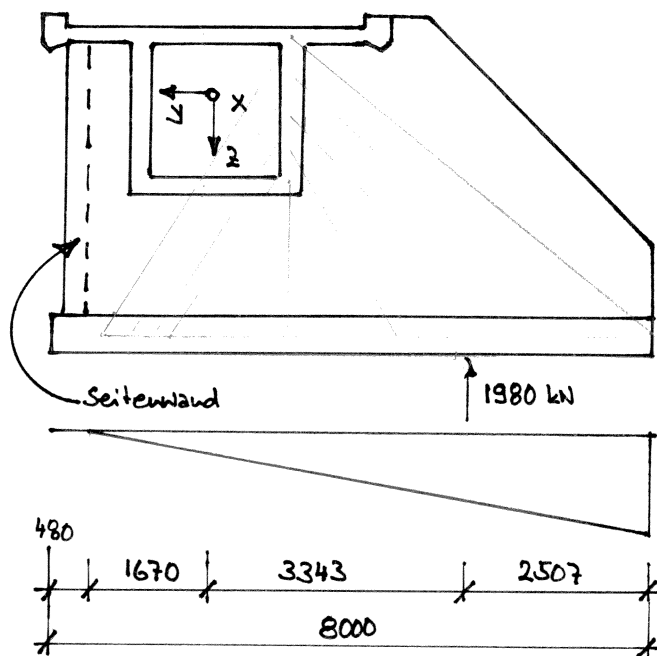
Im Bereich ABCD ist eine horizontale und vertikale Bewehrung für je 1655 kN erforderlich.

z.B. $\phi 14 @ 150$ beidseitig: $2 \cdot \frac{2}{0.15} \cdot 7 \cdot \pi \cdot 435 = 1786 \text{ kN}$.

Die Zugkraft von 2320 kN im Zugglied CE wird über die Höhe von 2 m des Innenstegs bei C linear aufgebaut und muss bei E verankert sein.

z.B. $2 \cdot 7 \phi 22$: $2 \cdot 7 \cdot 11^2 \cdot \pi \cdot 435 = 2315 \text{ kN}$.

In Querrichtung werden die $7 \phi 22$ auf jeder Wandseite über eine Breite von 0.9 m gespreizt (Stababstand = 150 mm).



Sohlpressungen ohne Eigenlast Widerlager sowie Erddruck

Bemerkungen:

- Durch Berücksichtigung der Eigenlast der Widerlagerwand und des Fundaments verschwindet die klaffende Sohlfuge.
- Fachwerkstreben EA und FA entsprechen (wegen Sohldruckverteilung) Fächern.
- Widerlagerwand durch Erddruck zusätzlich auf Biegung beansprucht, ebenso Fundament durch (exzentrische) Sohldruckkraft.
- Schleppplatte bei Übergang Brücke - Aufschüttung nicht dargestellt.

e) Öffnung in unterer Kastenplatte

Der Einstieg erfordert eine Öffnung von mindestens etwa 700 mm · 700 mm. Er sollte möglichst in einer Zone geringer Beanspruchung der unteren Kastenplatte sein. Vor allem muss jedoch die Zugänglichkeit gewährleistet sein (möglichst geringe Höhe über Boden, kein Verkehrsträger oder Fluss etc. unterhalb).

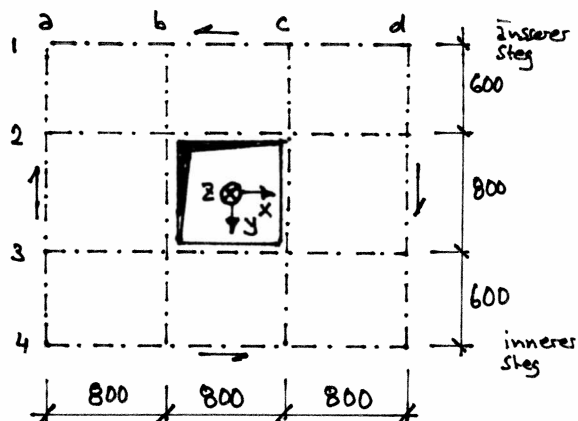
Die untere Kastenplatte wird wie folgt beansprucht:

- als Zug- oder Druckplatte infolge Biegemoment M_d , siehe K.5.4
- durch Schubfluss infolge $V_d + T_d$, siehe a)
- auf Querbiegung, proportional zu M_d , siehe b)

Gemäss K.5.4 sind die Beträge von T_d klein, wo jene von M_d gross sind und umgekehrt. Es gibt deshalb aus statischer Sicht keinen wirklich günstigen Ort zur Anordnung der Öffnung.

Völlig ungeeignet wäre die Öffnung nahe B, weil dort die untere Kastenplatte auf Druck aus Biegung sehr hoch beansprucht ist.

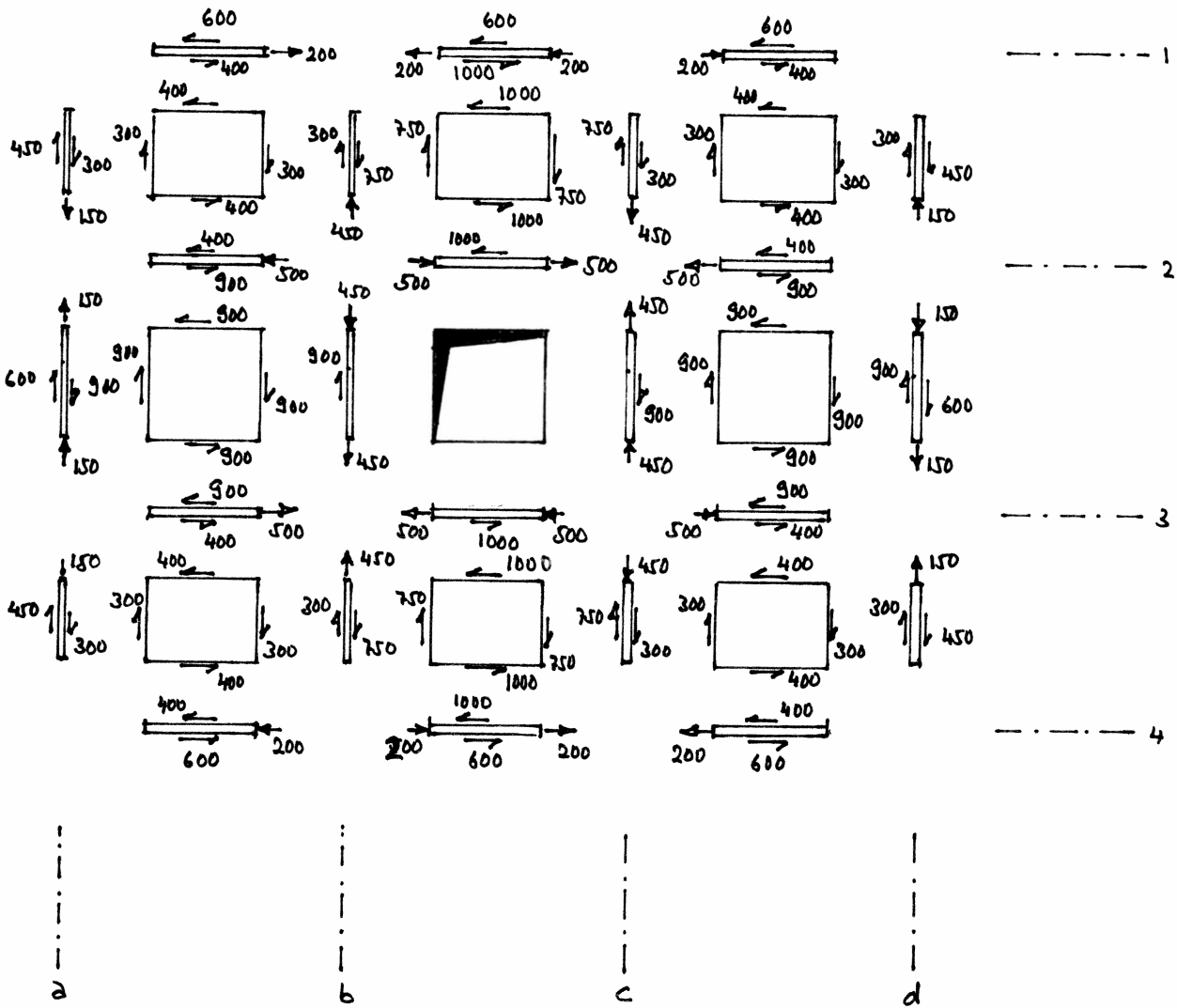
Von der Zugänglichkeit her ist eine Öffnung in der Nähe von A wohl am zweckmässigsten, z. B. etwa 3 m von der Widerlagerwand entfernt. Dort sind die Biegemomente M_d und damit die Querbiegemomente noch relativ klein. Allerdings ist der Schubfluss relativ gross, siehe a) und b). Das diagonale Druckfeld muss "um die Öffnung geleitet" werden, was eine entsprechende Verstärkung der Bewehrung erfordert:



Vereinfachend wird ein mittlerer Schubfluss von 750 kN/m angenommen und die untere Kastenplatte mit Stringern a-d und 1-4 in einzelne Scheiben unterteilt.

Analyse des Kraftflusses siehe nächste Seite.

Stringern b, c, 2, 3 50 mm neben Lochrand



Stringer 1 ... max. 200 kN Zug bei b
 " 2 ... " 500 " " " c
 " 3 ... " " " " b
 " 4 ... " 200 " " " c

Stringer a ... max. 150 kN Zug bei 2
 " b ... " 450 " " " 3
 " c ... " " " " 2
 " d ... " 150 " " " 3

Scheiben bc12, bc34

... Schubfluss = 1250 kN/m

Scheiben ab23, cd23

... " = 1125 kN/m

Scheiben ab12, ab34, cd12, cd34 ...

" = 500 kN/m

N.B. Stringerkraft 500 kN erfordert z.B. $2 \cdot 2 \phi 20 \dots 4 \cdot 10^2 \cdot \pi \cdot 435 = 547 \text{ kN}$

Schubfluss 1250 kN/m erfordert z.B. $\phi 14 @ 100 \text{ kreuzweise, beidseitig} : 20 \cdot 7^2 \cdot \pi \cdot 435 = 1339 \text{ kN/m}$