III. Steineisendecken.

Dem Ministerialerlasse vom 6. 5. 04 III B 2790 entsprechend ist hier das Elastizitätsmaß des Eisens zu dem Fünfundzwanzigfachen von dem des Mauerwerks angenommen.

Der **Einheitstabelle III für $h_1 = 1{,}0$ cm** ist eine **Sondertabelle für die gebräuchlichsten Steinstärken** beigegeben, enthaltend die Produkte aus den Werten I bis III mit h_1 sowie IV und V mit h_1^2, d. h. die wirklichen Werte f_e, x, z, W_b und W_e. **Diese Sondertabelle** ist also **genau in derselben Weise zu benutzen** wie die **üblichen Tabellen der Querschnitte und Widerstandsmomente** von **Walzeisen- und Holzprofilen**.

Bei der Einheitstabelle konnte im Gegensatz zu Tabelle I von dem Verhältnis $\frac{f_e}{h_1}$ ausgegangen werden, weil nur Stärken bis zu etwa 15 cm in Frage kommen und daher eine so große Genauigkeit, wie sie bei Tabelle I wegen der ein Mehrfaches **höheren** Plattenbalken anzustreben war, nicht erforderlich ist. Letzteres auch, weil streng genommen die Berechnung von Steineisendecken insofern nur annäherungsweise erfolgt, als einerseits für Lochsteine meist Vollquerschnitt in Ansatz gebracht wird und andererseits selbst bei verhältnismäßig sehr breiten, hochkantig eingebetteten Bandeisenprofilen nur eine **mittlere Zugspannung** statt der **größeren** Randspannung berücksichtigt wird.

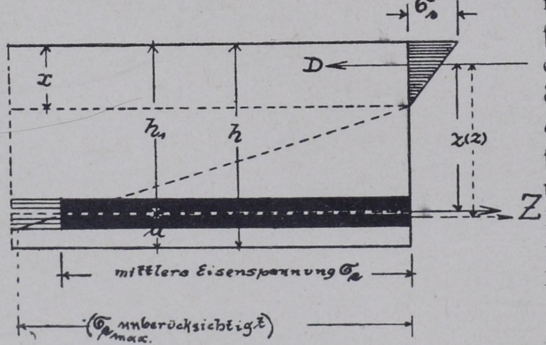

Fig. 16.

Die aus der Gleichsetzung der statischen Momente der Flächenelemente für die Nullinie sich ergebende Gl. $\frac{100\,x^2}{2} = 25\,f_e \cdot (h_1 - x)$ wurde umgeformt zu

$\frac{2}{f_e} \cdot x^2 + x = h_1$ und danach auf einem Rechenstab mit 50 cm langer Skala unter Zuhilfenahme zweier Vergrößerungsgläser x abgelesen. Zahlreiche Stichproben haben ergeben, daß sich auf diese Weise ein genügend genaues Ablesen hat ermöglichen lassen.

(Für Eisenbeton mit n = 15 wäre die Gl. $\frac{3^1/_3}{f_e} \cdot x^2 + x = h_1$ anzuwenden).

Zulässige Materialbeanspruchungen:

Obwohl für Eisenbetonkonstruktionen die zulässige mittlere Eisenspannung durch die Bestimmungen vom 24. 5. 07 auf 1000 kg/qcm herabgesetzt ist, wird bei Steineisendecken vorläufig noch eine solche von **1200 kg/qcm** zugelassen. Es haben aber in letzter Zeit unter Zuziehung von Vertretern der Steineisendeckenindustrie amtliche Beratungen stattgefunden, die wahrscheinlich dazu führen werden, daß die zulässige Zugspannung des Eisens auch bei Steineisendecken auf 1000 kg/qcm herabgesetzt wird. **Die zulässige Druckspannung** beträgt **15 %** der nachgewiesenen Druckfestigkeit der Steine, jedoch höchstens 35 kg/qcm.

Die Gl. (12) bis einschl. (31a) gelten auch für Steineisendecken, wobei zu den Gl. (29) bis (31a) zu bemerken ist, daß vorwiegend 13 bis 26 mm breite Bandeisen verwendet werden.

Die Teilungsweite der Eiseneinlagen richtet sich hier naturgemäß nach der von der Breite des Steinformates abhängigen Fugenteilung e. Wird der Einzelquerschnitt mit q bezeichnet, so ist:

(51) 1) $f_e = q \cdot \frac{b}{e} = \frac{100\,q}{e}$ bei Einlagen in jeder Fuge,

2) $f_e = \frac{100\,q}{2e}$ bei Einlagen in jeder zweiten Fuge,

3) $f_e = \frac{100\,q}{3e}$ bei Einlagen in jeder dritten Fuge.

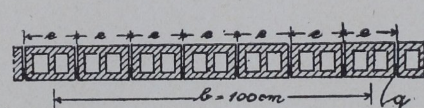

Fig. 17.

Umgekehrt beträgt der Einzelquerschnitt:

(52) $q = \frac{f_e \cdot e}{100}$ im Falle 1.

$q = \frac{2 f_e \cdot e}{100}$ im Falle 2.

$q = \frac{3 f_e \cdot e}{100}$ im Falle 3.

Beispiele zur Sondertabelle.

Aufgabe 10.

Gegeben: Die Abmessungen einer Decke und das Angriffsmoment.

Gesucht: x, z, σ_e, σ_s, τ_o und τ_1.

Eine Decke aus 10 cm hohen Steinen mit Eiseneinlagen 20/2,75 mm in jeder Fuge und 15 cm Fugenteilung hat bei 2,00 m Trägerteilung insgesamt 640 kg/qm aufzunehmen. $h - a = h_1 = 8$ cm. Halbe Einspannung kann vorausgesetzt werden. (Siehe Seite 14). Es sind die Zug-, Druck-, Schub- und Haftspannungen zu ermitteln, sowie x und z. Nach Gl. (51) ist:

$$f_e = \frac{100 \cdot q}{e} = \frac{100 \cdot 2{,}0 \cdot 0{,}275}{15} = 3{,}67 \text{ cm}^2.$$ Bei

$h_1 = 8$ cm entspricht dem am nächsten in der Sondertabelle: $f_e = 3{,}68$ cm² mit $W_s = 1058$ und $W_e = 25{,}73$, wobei $v = 41{,}11$, $x = 3{,}03$ cm und $z = 6{,}99$ cm ist.

Nach der Einleitung zu Gl. (12) ist:

$$M = k \cdot W = \sigma_s \cdot W_s = \sigma_e \cdot W_e$$

und nach Gl. (13):

$$\sigma_s = \frac{M}{W} = \frac{2{,}0^2 \cdot 100 \cdot 640}{10 \cdot 1058} = \frac{25\,600}{1058} = 24{,}2 \text{ kg/qcm},$$

nach Gl. (15):

$$\sigma_e = \frac{M}{W_e} = \frac{25\,600}{25{,}73} = 995 \text{ kg/qcm}$$

oder:

$\sigma_e = \sigma_s \cdot v = 24{,}2 \cdot 41{,}11 = 995$ kg/qcm **wie vor.**

$\sigma_s \leqq 15$ % der Druckfestigkeit, daher erforderliche Druckfestigkeit

$$\geqq \frac{\sigma_s \cdot 100}{15} \geqq \frac{24{,}2 \cdot 100}{15} \geqq 164 \text{ kg/qcm}.$$

Ist für das Steinmaterial dieser Decke z. B. eine mittlere Druckfestigkeit von 205 kg/qcm ausgewiesen, so darf die Kantenpressung $\sigma_s \leqq \frac{205 \cdot 15}{100} \leqq 30{,}7$ kg/qcm betragen. Aus $\sigma_{e\,max.} \leqq 1200$ kg/qcm folgt im vorliegenden Falle $\sigma_{s\,max.} = \frac{1200}{v} = \frac{1200}{41{,}11} = \sim 29{,}2 < 30{,}7$ kg/qcm. Bei der vollen Beanspruchung des Eisens würde hier also auch die zulässige Beanspruchung des Steinmaterials annähernd voll ausgenutzt werden. Nach der Einleitung zu Gl. (19) ist: $l = \sqrt{\frac{0{,}1}{p} \cdot k \cdot W}$. Man erhält daher bei $\sigma_e = 1200$ und $\sigma_s = 29{,}2$ kg/qcm:

$$l = \sqrt{\frac{0{,}1 \cdot \sigma_e \cdot W_e}{p}} = \sqrt{\frac{0{,}1 \cdot 1200 \cdot 25{,}73}{p}}$$

$$= 55{,}6 \cdot \frac{1}{\sqrt{p}}$$

Für p kg/qm gleichmäßige Gesamtbelastung ergeben sich daher folgende zulässige Trägerteilungsweiten l:

	$\frac{55{,}6}{\sqrt{500}}$	$\frac{55{,}6}{\sqrt{600}}$	$\frac{55{,}6}{\sqrt{700}}$	$\frac{55{,}6}{\sqrt{800}}$	$\frac{55{,}6}{\sqrt{900}}$	$\frac{55{,}6}{\sqrt{1000}}$	usw.
$l \leqq$	2,48	2,27	2,10	1,96	1,85	1,76 m	
wobei $V = \frac{l}{2} \cdot p =$	620	681	735	784	832	880 kg	

Wagerechte Schubspannung nach Gl. (24a):

$$\tau_0 = \frac{0{,}894 \cdot V_{max.}}{z \cdot b} \leqq 4{,}5 \text{ kg/qcm.}$$

Wird wegen des Lochquerschnittes die erforderliche Gesamtstegbreite pro m mit b_1 bezeichnet, so erhält man aus obiger Gleichung:

$$b_1 \geqq \frac{0{,}894 \cdot V_{max}}{z \cdot 4{,}5} \geqq \frac{0{,}894 \cdot 880}{6{,}99 \cdot 4{,}5} \geqq \frac{124}{4{,}5}$$

$$\geqq 27{,}6 \text{ cm.}$$

Mindestens ebenso groß muß innerhalb 1 m Deckenbreite die Mantelfläche u der Eiseneinlagen pro Längeneinheit sein. Wird in Gl. (51) u statt f_e gesetzt, so erhält man: $u = \frac{2 \cdot (s + h) \cdot b}{e} =$

$$\frac{2 \cdot (0{,}275 + 2{,}0) \cdot 100}{15} = 30{,}3 \text{ cm} > 27{,}6 \text{ cm},$$ also genügend, und zwar folgt aus Gl. (25a):

$$\tau_1 = \frac{0{,}894 \cdot V_{max}}{z \cdot u} = \frac{124}{30{,}3} = 4{,}1 < 4{,}5 \text{ kg/qcm.}$$

Bei $b_1 \geqq 27{,}6$ cm darf innerhalb der Breite b die Lochbreite insgesamt höchstens $b - b_1 \leqq 100 - 27{,}6 \leqq 72{,}4$ cm betragen. Für sogenannte Zweilochsteine mit der Fugenteilung e ermittelt sich die Anzahl der Löcher zu $\frac{b}{e} \cdot 2$ und daraus deren zulässige größte Breite zu $\frac{b - b_1}{2 \cdot b} \cdot e = \frac{72{,}4}{2 \cdot 100} \cdot 15 = 5{,}4$ cm.

Gewöhnlich beträgt die Lochbreite bei der hier angenommenen Steinbreite nur 4 bis 5 cm.

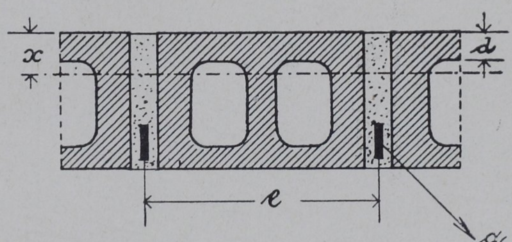

Fig. 18.

Bezüglich der Höhe und Höhenlage der Lochung ist zu bemerken, daß **die obere Wandung** nach der bei der Berliner Baupolizei üblichen Praxis in der Regel nicht schwächer sein soll als $x-1$ cm, wenn für die Druckzone **voller** Querschnitt in Ansatz gebracht wird, d. h. wenn von der Berechnung als Plattenbalken abgesehen werden soll. Im vorliegenden Falle, wo $x = 3{,}03$ cm, darf also die obere Wandung nicht unter 2 cm stark sein.

Aufgabe 11.

Gegeben: Format und Druckfestigkeit des Steines, ferner die Spannweite und Belastung.

Gesucht: f_e, q, σ_e *und* τ_1.

Zu 1,76 m Trägerteilungsweite ist eine ebene Steindecke für 850 kg/qm Gesamtbelastung zu konstruieren. Die verfügbaren 10 cm hohen Deckensteine ergeben 16 cm Fugenteilung und dürfen laut Druckattest $\frac{176 \cdot 15}{100} \leqq 26{,}4$ kg/qcm Kantenpressung erhalten. $\mathbf{h_1 = 8}$ **cm**.

Es ist der erforderliche Eisenquerschnitt f_e zu bestimmen, ferner σ_e und die Haftspannung. Die Art der Auflagerung soll den Anforderungen für sogenannte halbe Einspannung entsprechen. Siehe Gl. (14).

$$\text{Erford. } W_s \geqq \frac{M}{\sigma_s} \geqq \frac{1{,}76^2 \cdot 100 \cdot 850}{10 \cdot 26{,}4} \geqq \frac{26\,330}{26{,}4}$$

$$\geqq 997 \text{ cm}^3.$$

Als nächst höheres W_s findet man 1001 cm³, wobei $f_e = 3{,}12$ cm², $v = 45{,}47$ und $W_e = 22{,}01$, ferner $x = 2{,}84$ und $z = 7{,}05$ cm ist; folglich nach

$$\text{Gl. (15)} \quad \sigma_e = \frac{M}{W_e} = \frac{26\,330}{22{,}01} = 1196 \text{ kg/qcm.}$$

Wenn **jede Fuge** eine Eiseneinlage erhält, beträgt nach Gl. (52) der Einzelquerschnitt

$$q = \frac{f_e \cdot e}{100} = \frac{3{,}12 \cdot 16}{100} = 0{,}499 \sim 0{,}5 \text{ cm}^2.$$

Dem entspricht ein Bandeisen von $20 \cdot 2{,}5$ mm mit $q = 2{,}0 \cdot 0{,}25 = 0{,}5$ cm². Dabei ist

$$u = \frac{(2{,}0 + 0{,}25) \cdot 2 \cdot 100}{16} = 28{,}1 \text{ cm}^2.$$

Nach Gl. (25a) genügt die Haftfestigkeit, wenn

$$\frac{\mathfrak{V}}{z \cdot u} \leqq 5 \text{ kg/qcm ist.}$$

$$\text{Es ist: } \frac{1{,}76 \cdot 850}{2} \cdot \frac{1}{7{,}05 \cdot 28{,}1} = 3{,}78 < 5 \text{ kg/qcm.}$$

Bei $\sigma_{e\,max} = 1200$ kg/qcm und $\sigma_{s\,max} = \frac{\sigma_e}{v} =$

$$\frac{1200}{45,47} = 26,39 \sim 26,4 \text{ kg/qcm}$$

wird nach der Einleitung zu Gl. (19):

$$p = \frac{0,1 \cdot k \cdot W}{l^2} = \frac{0,1 \cdot 1200 \cdot 22,01}{l^2} = \frac{2641}{l^2};$$

bei $l =$	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	m
folgt aus 2641 mal	$\frac{1}{2,1^2}$	$\frac{1}{2,0^2}$	$\frac{1}{1,9^2}$	$\frac{1}{1,8^2}$	$\frac{1}{1,7^2}$	$\frac{1}{1,6^2}$	$\frac{1}{1,5^2}$	
eine zulässige Einheitsbelastung $p \sim$	600	660	730	815	910	1030	1170	kg/qm

Bei $l = 1,5$ mit $p = 1170$ kg/qm ist

$$V_{max} = \frac{1,5 \cdot 1170}{2} \simeq 880 \text{ kg}$$ und daher die

Haftspannung nach Gl. (25a)

$$\tau_1 = \frac{0,894 \cdot V_{max}}{z \cdot u} = \frac{0,894 \cdot 880}{7,05 \cdot 28,1} = 3,97 < 4,5 \text{ kg/qcm.}$$

Beispiele zu Tabelle III.

Aufgabe 12.

Zur Lösung der Aufgaben 10 und 11 soll die allgemeine Tabelle III benutzt werden als Beispiel für beliebige Höhen h_1, die in der Sondertabelle nicht enthalten sind, sowie auch als Ergänzung der für Eisenbetonplatten gestellten Aufgaben 1 bis 5. Letztere können zugleich als weitere Beispiele für Steineisendecken gelten, wenn Tabelle III statt Tabelle I benutzt wird.

Vorbemerkung:

Wie bei Tabelle I, so ist auch bei Tabelle III nach:

Gl. (5) $\frac{f_e}{h_1}$ = Wert I und daher f_e = Wert I $\cdot h_1$

Gl. (2) $\frac{x}{h_1}$ = Wert II und daher x = Wert II $\cdot h_1$

Gl. (7) $\frac{z}{h_1}$ = Wert III und daher z = Wert III $\cdot h_1$

Gl. (9) $\frac{W_s}{h_1^2}$ = Wert IV und daher W_s = Wert IV $\cdot h_1^2$

Gl. (11) $\frac{W_e}{h_1^2}$ = Wert V und daher W_e = Wert V $\cdot h_1^2$

Bei beliebiger Höhe h_1 sind also die Werte I, II und III **mit h_1**, sowie die Werte IV und V mit **h_1^2** zu multiplizieren.

Zu Aufgabe 10:

Gegeben: $h_1 = 8{,}0\ cm$, $f_e = 3{,}67\ cm^2$ *und*
$M = 25\,600\ cmkg$

Gesucht: σ_s *und* σ_e, *sowie* x *und* z.

Aus $f_e = 3{,}67\ cm^2$ bei $h_1 = 8\ cm$ folgt für $h_1 = 1\ cm$ nach Gl. (5):

$$\text{Wert I} = \frac{3{,}67}{8} = 0{,}459 \sim 0{,}46$$

Zu Wert 0,46 in Spalte I der Tabelle III findet man auf der gleichen Zeile $v = 41{,}11$; $IV = 16{,}525$ und $V = 0{,}4020$.

Nach Gl. (9) und Gl. (11) ist

$$\overbrace{W_s = \text{Wert IV} \cdot h_1^2}^{\text{Gl. (9)}} \text{ und } \overbrace{W_e = \text{Wert V} \cdot h_1^2}^{\text{Gl. (11)}}$$

Statt $M = \sigma_s \cdot W_s = \sigma_e \cdot W_e$ ist daher zu schreiben:

$$M = \sigma_s \cdot \text{Wert IV} \cdot h_1^2 = \sigma_e \cdot \text{Wert V} \cdot h_1^2$$

Hieraus folgt Gl. (13) mit:

$$\sigma_s = \frac{M}{h_1^2 \cdot \text{Wert IV}} = \frac{25\,600}{8^2 \cdot 16{,}525} = \frac{400}{16{,}525} = 24{,}2\ \text{kg/qcm},$$

sowie Gl. (15) mit:

$$\sigma_e = \frac{M}{h_1^2 \cdot \text{Wert V}} = \frac{400}{0{,}402} = 995\ \text{kg/qcm}$$

oder:

$$\sigma_e = \sigma_s \cdot v = 24{,}2 \cdot 41{,}11 = 995\ \text{kg/qcm} \textbf{ wie vor.}$$

Der Unterschied in der Benutzung der beiden Tabellen besteht also lediglich darin, daß man bei der Sondertabelle von f_e ausgehend W_s oder W_e einsetzt, während bei der allgemeinen Tabelle von $\frac{f_e}{h_1}$ ausgegangen wird und außer den Werten IV oder V noch h_1^2 einzusetzen ist.

Zu Aufgabe 11:

Gegeben: $h_1 = 8\ cm$, $\sigma_s \leqq 26{,}4\ kg/qcm$ *und*
$M = 26\,330\ cmkg$.

Gesucht: σ_e, f_e, x *und* z.

Nach Gl. (14) und Gl. (9) ist:

$$W_s = \frac{M}{\sigma_s} = \text{Wert IV } h_1^2$$

Hieraus folgt Gl. (17) mit:

$$\text{Wert IV} \geqq \frac{M}{h_1^2 \cdot \sigma_s} \geqq \frac{26\,330}{8^2 \cdot 26{,}4} \geqq \frac{411{,}41}{26{,}4}$$

$$\geqq 15{,}584$$

In Spalte IV der Tabelle III findet man als nächst höheren Wert 15,639, wobei I = 0,39; v = 45,47; II = 0,3547; III = 0,8818 und V = 0,3439.

Daher nach Gl. (15)

$$\sigma_e = \frac{M}{h_1^2 \cdot \text{Wert V}} = \frac{411,41}{0,3439} = 1196 \text{ kg/qcm}$$

und nach Gl. (5), (2) und (7)

$$f_e = \text{Wert I} \cdot h_1 = 0,39 \cdot 8 = 3,12 \text{ cm}^2$$
$$x = \text{Wert II} \cdot h_1 = 0,3547 \cdot 8 = 2,84 \text{ cm}$$
$$z = \text{Wert III} \cdot h_1 = 0,8818 \cdot 8 = 7,05 \text{ cm.}$$

Berechnung von Steineisendecken als Plattenbalken.

Sollen Steineisendecken mit verhältnismäßig schwacher oberer Wandung d (Figur 18) nach Art der Plattenbalken berechnet werden (Seite 46 oben), indem die obere Wandung die Stelle der Platte vertritt, so treffen die Einflußzahlen der Tabelle II hier ebenfalls genau zu und zwar für diejenigen Verhältniszahlen v_I, bei denen die Werte $\frac{x}{h_1}$ und folglich auch $\frac{z}{h_1}$, $\frac{W_s}{h_1^2}$ und $\frac{h_1 - x}{x}$ ebenso groß sind wie bei v_I = 21, 30 und 39 bei Eisenbetondecken.

Aus $v_e = 15 \cdot \frac{h_1 - x}{x}$ bei Eisenbeton und $v_s = 25 \cdot \frac{h_1 - x}{x}$ bei Steineisendecken folgt $v_s = \frac{25}{15} \cdot v_b = \frac{5}{3} \cdot v_b$. Bei letzteren gilt daher in Tabelle II Zeile 1 für $v_I = \frac{5}{3} \cdot 21 = \mathbf{35}$, Zeile 2 für $v_I = \frac{5}{3} \cdot 30 = \mathbf{50}$ und Zeile 3 für $v_I = \frac{5}{3} \cdot 39 = \mathbf{65}$.

Zahlenbeispiel zu Aufgabe 10.

Daselbst ist x_1 = 3,02 cm und v_1 = 41,11. Hat die obere Wandung der Steine durchschnittlich 2,0 cm Stärke, so ist $\frac{d}{x_1} = \frac{2,0}{3,03} = 0,66$ und demnach in Tabelle II von den Werten in Spalte $\frac{d}{x_I}$ = 0,67 und 0,65 das Mittel zu nehmen, sowie bei v_I = 41,11 ferner das (nach Zeile 1 aufgerundete) Mittel der Werte in Zeile 1 mit v_I = 35 und Zeile 2 mit v_I = 50; also rund 1/4 von der Summe dieser zu mittelnden vier Werte.

Mithin $n_4 = \infty \frac{4,091}{4} = 1,023$ und $n_6 = \infty \frac{3,72}{4} = 0,93$, folglich $\sigma_e = \frac{\sigma_{eI}}{n_4} = \frac{995}{1,023} = 973$ kg/qcm und $\sigma_s = \frac{\sigma_{sI}}{n_6} = \frac{24,2}{0,93} = 26$ kg/qcm.

Zu Seite 44 unten und Seite 45 oben.

Bei $\sigma_s \leqq 30,7$ kg/qcm und $W_s = 1058$ cm³ wird

$$l = \sqrt{\frac{0,1\ \sigma_s \cdot W_s\ n_6}{p}} = \sqrt{\frac{0,1 \cdot 30,7 \cdot 1058 \cdot 0,93}{p}} = \infty \frac{55}{\sqrt{p}}, \text{ wobei}$$

$$\sigma_e = 30,7 \cdot v_I \cdot n_3 = 30,7 \cdot 41,11 \cdot \underbrace{0,909}_{\frac{3,636}{4}} = 1147 \text{ kg/qcm.}$$

Bei σ_s = 29,2 kg/qcm war $l = \frac{55,6}{\sqrt{p}}$ und man erhält für diese Beanspruchung des Plattenbalkens $l = \frac{55,6\sqrt{n_6}}{\sqrt{p}} = \frac{55,6\sqrt{0,93}}{\sqrt{p}} = \frac{53,6}{\sqrt{p}}$