Tabellen zur Berechnung von einfach und doppelt armierten Balken und Platten aus Eisenbeton, mit Hilfstafel für Plattenbalken

Aufgestellt

von

Ingenieur **Ernst Geyer**

Mit 4 Textfiguren

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH
1921

Tabellen zur Berechnung von einfach und doppelt armierten Balken und Platten aus Eisenbeton, mit Hilfstafel für Plattenbalken

Aufgestellt

von

Ingenieur **Ernst Geyer**

Mit 4 Textfiguren

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1921

ISBN 978-3-662-23020-6 ISBN 978-3-662-24981-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-24981-9

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1921.

Vorwort.

Hiermit übergebe ich die von mir aufgestellten und bereits früher veröffentlichten Tabellen für doppelt armierte Eisenbetonbalken in wesentlich erweiterter und vervollkommneter Form der Öffentlichkeit. Willkommen wird vor allen Dingen sein die Verwendbarkeit der vorliegenden Tabellen bei allen Eisenspannungen sowie die Beifügung der Tabellen zur Ermittlung der wirtschaftlich günstigsten Armierung.

Infolge der unter heutigen Verhältnissen ganz erheblichen Herstellungskosten habe ich auf die vollständige Wiedergabe der Ableitungen der Formeln verzichtet und mich mit der Angabe der Resultate begnügt. Weiter sind die zu hohen Druckeisenbewehrungen als praktisch entbehrlich und nicht empfehlenswert weggelassen und die Tabellen nur bis $\alpha = 1{,}5$ gegeben. Auch die Rechnungsbeispiele sind auf das notwendigste Maß beschränkt.

Alle Tabellenwerte sind logarithmisch berechnet und graphisch nachgeprüft, sie können daher mit vollem Vertrauen benutzt werden.

Die Verbreitung, die die Tabellen in ihrer ersten Form gefunden haben, wünsche ich in gleichem Maße der vorliegenden Neubearbeitung. Die Verlagsbuchhandlung Julius Springer hat durch ihr Entgegenkommen die Drucklegung dieses Werkchens erst ermöglicht, ich sage ihr auch an dieser Stelle meinen besonderen Dank hierfür.

Leipzig, 1921.

Baumeister **Ernst Geyer**
Ingenieur.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
Formelableitungen, Erläuterungen und Rechnungsbeispiele . .	5
Tafel I.	
Tabellen für Platten und Balken bei einfacher und doppelter Bewehrung	15
Tafel II.	
Tabellen für Platten und Balken bei einfacher Bewehrung	18
Tafel III.	
Hilfstafel für Plattenbalken	19
Tafel IV.	
Tabellen zur Ermittelung der wirtschaftlich günstigsten Armierung	20

Vorliegende Tabellen sind eine Umarbeitung und Erweiterung der von mir im Februarheft 1913 des Armierten Beton veröffentlichten Tabellen unter Berücksichtigung der inzwischen in Wirksamkeit getretenen neuen Bestimmungen und der Anregung betr. die Frage der wirtschaftlich günstigsten Armierung.

Eine Hilfstafel für die Benutzung der Tafeln bei Plattenbalken vervollständigt die Tabellen.

1. Ableitung der Formeln.

Bezüglich der Ableitung der der Haupttabelle zugrunde liegenden Formeln kann ich mich auf die genannte erste Veröffentlichung beziehen, nur sollen hier noch die Resultate der Ableitungen mitgegeben werden, wenn die speziellen Annahmen, für die die Tabellen aufgestellt sind, noch nicht gemacht sind, wie z. B. $n = 15$, Druckeisenlage im Schwerpunkte der Betondruckfläche.

Der Abstand der Druckeiseneinlage von der Nullinie sei $\gamma \cdot x$.

$$x = \frac{n\,\sigma_b}{\sigma_e + n\,\sigma_b} \cdot (h - a) = \boldsymbol{s} \cdot (\boldsymbol{h} - \boldsymbol{a}),$$

$$f_e = \frac{s}{2\left(\frac{\sigma_e}{\sigma_b} - n \cdot \alpha\,\gamma\right)} \cdot (h - a) = \boldsymbol{t} \cdot (\boldsymbol{h} - \boldsymbol{a}), \qquad \text{(Gl. I)}$$

$$t = \frac{s}{2\left(\frac{\sigma_e}{\sigma_b} - n\,\alpha\,\gamma\right)},$$

$$f_e' = \alpha \cdot f_e$$

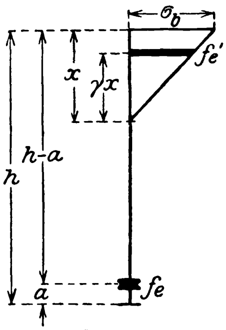

Fig. 1.

$$h - a = \frac{1}{s} \sqrt{\frac{2\left(\frac{\sigma_e}{\sigma_b} - n\,\alpha\,\gamma\right)}{\sigma_e\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{3}\right) + n\,\alpha\,\gamma\,\sigma_b\left(\gamma - \frac{2}{3}\right)}} \cdot \sqrt{\frac{M}{b}} = \boldsymbol{r} \cdot \sqrt{\frac{\boldsymbol{M}}{\boldsymbol{b}}} \qquad \text{(Gl. II)}$$

oder, Zähler und Nenner der ersten Wurzel dividiert mit $n\,\gamma\,\sigma_b(\gamma - \frac{2}{3})$

$$h - a = \frac{1}{s\sqrt{\sigma_b\left(\frac{\gamma}{2} - \frac{1}{3}\right)}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{\sigma_e}{n\,\gamma\,\sigma_b} - \alpha}{\frac{\sigma_e\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{3}\right)}{n\,\gamma\,\sigma_b(\gamma - \frac{2}{3})} + \alpha}} \cdot \sqrt{\frac{M}{b}} = \boldsymbol{r} \cdot \sqrt{\frac{\boldsymbol{M}}{\boldsymbol{b}}}, \qquad \text{(Gl. III)}$$

$$r = \frac{1}{s} \cdot \sqrt{\frac{2\left(\frac{\sigma_e}{\sigma_b} - n\,\alpha\,\gamma\right)}{\sigma_e\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{3}\right) + n\,\alpha\,\gamma\,\sigma_b\left(\gamma - \frac{2}{3}\right)}} = \frac{1}{s\sqrt{\sigma_b\left(\frac{\gamma}{2} - \frac{1}{3}\right)}} \sqrt{\frac{\frac{\sigma_e}{n\,\gamma\,\sigma_b} - \alpha}{\frac{\sigma_e\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{3}\right)}{n\,\gamma\,\sigma_b\left(\gamma - \frac{2}{3}\right)} + \alpha}}.$$

Die Formeln (I), (II) und (III) können für die Ermittlung von f_e und $h - a$ benutzt werden, sobald für σ_e, α und γ bestimmte Annahmen gemacht werden.

Vorliegende Tabellen sind aufgestellt für den Fall $\gamma = \frac{2}{3}$, d. h. also, daß das Druckeisen im Abstande von $\frac{1}{3}\,x$ vom oberen Platten- bzw. Balkenrande liegt. Bei einer Eisenspannung von $\sigma_e = 1200$ kg/qcm ergeben sich dann folgende t- und r-Werte:

$$t = \frac{s}{20\left(\frac{120}{\sigma_b} - \alpha\right)}, \qquad r = \frac{1}{2\,s} \sqrt{\frac{\frac{120}{\sigma_b} - \alpha}{15\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{3}\right)}}.$$

Ähnlich einfach stellen sich diese Werte bei einer anderen Eisenspannung.

Bei anderer Lage des Druckeisens, z. B. bei $\gamma = \frac{3}{4}$ und $\sigma_e = 1200$ kg/qcm würden sich folgende Werte ergeben:

$$t = \frac{2\,s}{45\left(\frac{320}{3\,\sigma_b} - \alpha\right)}, \qquad r = \frac{\sqrt{24}}{2\sqrt{\sigma_b}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{320}{3\,\sigma_b} - \alpha}{\frac{1280\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{3}\right)}{\sigma_b} + \alpha}}.$$

Von einer Veröffentlichung von Tabellen für andere Verhältnisse als $\gamma = \frac{2}{3}$ kann jedoch abgesehen werden, da eine genügend genaue Richtigstellung des Druckeisenquerschnittes bei anderer Lage in folgender Weise erfolgen kann:

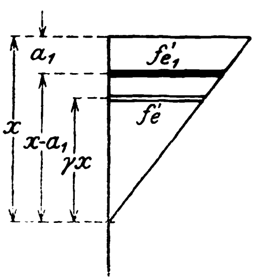

Fig 2.

Nimmt man an, daß durch die geringe Verschiebung und Veränderung des Druckeisens die Lage der Nullinie die gleiche bleibt und setzt man die statischen Momente der verschiedenen Druckeiseneinlagen, bezogen auf die Nullinie, einander gleich, so ist

$$f'_{e_1} \cdot (x - a_1) = f'_e \cdot \gamma\, x,$$

$$f'_{e_1} = f'_e \cdot \frac{\gamma\, x}{x - a_1}. \qquad \text{(Gl. IV)}$$

Im vorliegenden Falle also

$$f'_{e_1} = f'_e \cdot \frac{\frac{2}{3}\,x}{x - a_1}.$$

Die geringe Veränderung des Trägheitsmomentes ist dabei vernachlässigt worden. Für den wohl immer vorhandenen Fall $x - a_1 > \frac{2}{3} x$ kommt diese Vernachlässigung immer der Sicherheit zugute.

2. Hilfstafel für Plattenbalken.

Vorliegende Tabellen gelten streng nur für solche Querschnitte, für welche die Nullinie auf die ganze Rechnungsbreite nicht von der Betondruckzone getrennt ist. Für Plattenbalken, bei welchen die Nullinie den Steg schneidet, ist daher unter Tafel III eine Hilfstafel angefügt, die es ermöglicht, auch Plattenbalken mit Druckeiseneinlagen zu dimensionieren. Diese Hilfstafel gibt aus ähnlichen Gründen wie die vorstehend erwähnte Druckeisenkorrektur ebenfalls nur angenäherte, aber doch sehr gute Resultate.

Ist nebenstehender Querschnitt gegeben, so wird das Trägheitsmoment des über der Nullinie liegenden Teiles des T-förmigen Querschnittes von der Breite b ersetzt durch das gleich große Trägheitsmoment eines Rechteckes von der Breite b_1. Also bei Berücksichtigung der Druckspannungen im Steg

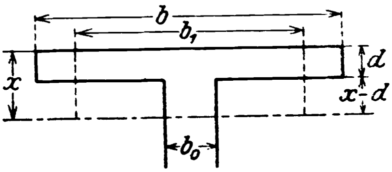

Fig. 3.

$$\tfrac{1}{3} b_1 x^3 = \tfrac{1}{3} b x^3 - \tfrac{1}{3}(b - b_0)(x - d)^3,$$

$$b_1 = i \cdot b,$$

$$i = 1 - \left(1 - \frac{b_0}{b}\right) \cdot \left(1 - \frac{d}{x}\right)^3. \qquad \text{(Gl. V)}$$

Für bestimmte Verhältnisse $\frac{b}{b_0}$ und $\frac{d}{x}$ ist in Tafel III eine genügende Anzahl i berechnet.

Da sich vorstehende Betrachtung nur auf die Beton-Druckzone bezieht, beziehen sich die Werte i auch nur auf die Betondruckspannungen. Es wird daher eine Hilfs-Betonspannung eingeführt, und zwar wird zu diesem Zwecke die gewünschte endgültige Betonbeanspruchung mit i multipliziert. Der übrige Rechnungsgang bleibt wie bei vollem Querschnitte.

3. Verwendung der Tafeln bei anderen Eisenspannungen.

Für andere Eisenspannungen ändern sich für die gleichen Betonspannungen s, r und t. Da nun der s-Wert in den Formeln für r und t wieder erscheint, so ist für die Benutzung der Tabellen für andere Eisenspannungen als $\sigma_e = 1200$ kg/qcm von einem gleichbleibenden s-Werte auszugehen. Dies bedingt aber auch eine Änderung der Betonspannung.

Nach allgemeiner Annahme ist, wenn σ_{b_2} und σ_{e_2} sowie σ_{b_1} und σ_{e_1} zugehörige Spannungen sind,

$$\frac{\sigma_{b_2}}{\sigma_{b_1}} = \frac{\sigma_{e_2}}{\sigma_{e_1}} = c\,.$$

In Worten: Es ergeben z. B. gleiche s-Werte die Spannungszustände 22,5/750; 27/900; 30/1000; 36/1200 usw.

Geht man über zur Betrachtung der t-Werte und beachtet, daß wenn

$\frac{\sigma_{e_2}}{\sigma_{e_1}} = \frac{\sigma_{b_2}}{\sigma_{b_1}}$ ist, auch gilt

$$\frac{\sigma_{e_2}}{\sigma_{b_2}} = \frac{\sigma_{e_1}}{\sigma_{b_1}} = c\,,$$

so ersieht man die wichtige Tatsache, daß für die gleichen s-Werte die t-Werte ebenfalls die gleichen bleiben. Die vorstehend beispielsweise genannten Spannungszustände besitzen also außer den gleichen s-Werten auch gleiche t-Werte.

Betrachtet man zum Schlusse die r-Werte und führt man sinngemäß zu σ_{b_1}; σ_{b_2} und σ_{e_1}; σ_{e_2} die Werte r_1 und r_2 ein, läßt dann beim Vergleiche $\frac{r_1}{r_2}$ alle Konstanten wegfallen, so bleibt

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{\sigma_{b_2}}}{\sqrt{\sigma_{b_1}}}\,,$$

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{\sigma_{b_1}}{\sigma_{b_2}}} = r_1 \sqrt{\frac{1}{c}}\,. \qquad \text{(Gl. VI)}$$

G e s a m t f o l g e r u n g: Ersetzt man in der Tabelle für $\sigma_e = 1200$ kg/qcm bei einer anderen Eisenbeanspruchung die σ_b-Werte durch jene σ_{b_2}-Werte, die die gleichen Werte s ergeben, so bleiben die t-Werte unverändert, während die r-Werte mit dem Koeffizienten $m = \sqrt{\frac{\sigma_{e_1}}{\sigma_{e_2}}} = \sqrt{\frac{1200}{\sigma_{e_2}}}$ zu multiplizieren sind. Dieser Koeffizient m beträgt z. B. für

$\sigma_e = 1000$ kg/qcm: 1,095, $\sigma_e = 900$ kg/qcm: 1,155, $\sigma_e = 750$ kg/qcm: 1,265.

Für diese drei Eisenbeanspruchungen sind am Fuße jeder Tabellenseite die Umrechnungsgrundlagen angegeben. Für andere Eisenspannungen ist es ein leichtes, im Bedarfsfalle die σ_{b_2}-Werte und die m-Koeffizienten zu ermitteln.

Der Umstand, daß bei diesen Umrechnungen die Betonspannungen meist keine vollen Zahlen ergeben, ist für die Praxis ohne Bedeutung und kann gegebenenfalls durch Interpolieren behoben werden.

4. Wirtschaftlich günstigste Armierung.

In Heft 12, Armierter Beton 1919, leitet Dr.-Ing. L ü h r s aus den diesen Tabellen zugrunde liegenden Gleichungen für $\gamma = \frac{3}{8}$ das Minimum für $(f_e + f_e')$ durch Differenzieren ab und findet dieses Minimum bei einer Eisenspannung von

$$\sigma_e = 15\,\sigma_b \frac{2 + \sqrt{2\,k}}{k - 2}\,,$$

worin $k = \sigma_b \cdot r^2$.

Für den Fall $\alpha = 0$ findet man aus der Gleichung

$$\alpha = \frac{2\frac{\sigma_e}{\sigma_b} - k\left(1 - \frac{s}{3}\right)s \cdot \frac{\sigma_e}{\sigma_b}}{20},$$

das Minimum $(f_e + f_e')$ bei

$$\sigma_e = \tfrac{5}{4}\,\sigma_b\left[3\,k - 12 + \sqrt{3\,k(3\,k - 8)}\right].$$

In Tafel IV ist für die hauptsächlich in Frage kommenden Betonspannungen die aus der günstigsten Eisenausnutzung sich ergebende Spannung σ_e angegeben mit den zugehörigen α-, s-, r- und t-Werten. In Tafel I ist durch eine durchgehende Linie angegeben, für welche Armierungsverhältnisse sich jenes Minimum der Bewehrung bei Nichtausnutzung der Eisenzugspannung von $\sigma_e = 1200$ kg/qcm ergibt, und zwar für alle Verhältnisse über dieser Linie. Für alle Werte über der punktierten Linie fällt dabei die Druckbewehrung fort.

5. Einteilung der Tafeln.

Tafel I ist aufgestellt für Betonspannungen von $\sigma_b = 31$ kg/qcm bis $\sigma_b = 60$ kg/qcm bei $\sigma_e = 1200$ kg/qcm. Die sonstige Einteilung ist ohne weitere Erläuterung verständlich, Zwischenwerte sind durch Interpolieren zu ermitteln. Zu beachten ist, daß die t-Werte als Faktoren zu $(h - a)$ auftreten. Hierdurch hat man auch einen sofortigen Überblick des Prozentgehaltes der Armierung zum Betonquerschnitt.

$\frac{f_e'}{f_e}$ von 0,0 bis 1,5.

Tafel II ist ein Auszug aus Tafel I für den Fall $\alpha = 0$, d. h. also für den einfach armierten Querschnitt, und zwar für die Eisenspannungen $\sigma_e = 1200$ kg/qcm, $\sigma_e = 1000$ kg/qcm, $\sigma_e = 900$ kg/qcm und $\sigma_e = 750$ kg/qcm.

Tafel III ist die Hilfstafel zur Berechnung der Eiseneinlagen bei Plattenbalken. Die obere Querreihe gibt das Verhältnis $\frac{d}{x}$ an, die äußersten senkrechten Reihen das Verhältnis $\frac{b}{b_0}$. Die Werte der Tafel III sind Dezimalstellen hinter 0, und dienen zur Erlangung der Hilfs-Betonspannung.

Tafel IV endlich dient zur Ermittlung des wirtschaftlich am günstigsten armierten Querschnittes und ist entsprechend Tafel I aufgebaut.

6. Rechnungsbeispiele.

Beispiel 1. Gegeben sei $M = 250\,000$ cmkg.

$h = 42{,}5$ cm, $h - a = 38{,}5$ cm, $b = 25$ cm, $a_1 = 4$ cm.

Grenzspannungen 35/1200 kg/qcm.

Gesucht wird f_e und f_e'.

$$r = \frac{h - a}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = 0{,}385.$$

In Tafel I befindet sich dieser Wert über der durchgehenden Linie, es ergibt sich also der geringste Eisenaufwand bei gleicher Balkenhöhe bei einer geringeren Eisenspannung als 1200 kg/qcm. Daher ist Tafel IV zu benutzen. Dort findet man unter $\sigma_b = 35$ kg/qcm,

$$\sigma_e = 860 \text{ kg/qcm}, \qquad \alpha = 0{,}35\,,$$
$$x = s \cdot (h - a) = 0{,}379 \cdot 38{,}5 = 14{,}59 \text{ qcm},$$
$$f_e = t \cdot (h - a) \cdot b = 0{,}00898 \cdot 38{,}5 \cdot 25 = 8{,}64 \text{ qcm},$$
$$f_e' = \alpha \cdot f_e \cdot \frac{\frac{2}{3} x}{x - a_1} = 0{,}35 \cdot 8{,}64 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 14{,}59}{14{,}59 - 4} = 2{,}78 \text{ qcm},$$
$$f_e + f_e' = 11{,}42 \text{ qcm}.$$

Mit diesen Eiseneinlagen ergibt sich bei der Nachrechnung mit den allgemein üblichen Formeln

$$x = 14{,}58 \text{ qcm}, \qquad \sigma_b = 34{,}84 \text{ kg/qcm}, \qquad \sigma_e = 857{,}3 \text{ kg/qcm}.$$

Bei Ausnutzung der Eisenspannung von $\sigma_e = 1200$ kg/qcm würde nach Tafel I sich ergeben für $\sigma_b = 35$ kg/qcm

$$\alpha = 1{,}00\,, \qquad x = 0{,}304 \cdot 38{,}5 = 11{,}7 \text{ cm},$$
$$f_e = f_e' = 0{,}00627 \cdot 38{,}5 \cdot 25 = 6{,}03 \text{ qcm},$$
$$f_e + f_e' = 12{,}06 \text{ qcm}.$$

Wären im vorliegenden Falle als Grenzspannungen vorgeschrieben gewesen $\sigma = 35/1000$ kg/qcm, so würde wie folgt die Rechnung sich gestalten:

$$r_1 = r : 1{,}095 = \frac{0{,}385}{1{,}095} = 0{,}3515\,,$$
$$\frac{\sigma_b}{\sigma_e} = \frac{35}{1000} = \frac{42}{1200}\,.$$

Es ist also zur weiteren Ermittlung die Tabelle für $\sigma = 42/1200$ kg/qcm zu benutzen.

Aus Tafel I ersieht man wieder, daß eine geringere Eisenspannung als 1000 kg/qcm wirtschaftlich günstiger ist, mithin greife man wieder zur Tafel IV. Dort findet man durch Interpolieren für $r = 0{,}3515$

$$\alpha = 0{,}35\,, \qquad x = 0{,}379 \cdot 38{,}5 = 14{,}59 \text{ qcm},$$
$$f_e = 0{,}00\,898 \cdot 38{,}5 \cdot 25 = 8{,}64 \text{ qcm},$$
$$f_e' = 0{,}35 \cdot 8{,}64 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 14{,}59}{14{,}59 - 4} = 2{,}78 \text{ qcm},$$
$$\sigma_e = 1031 \cdot \frac{1000}{1200} = 859 \text{ kg/qcm} = \text{rd. } 860 \text{ kg/qcm}.$$

Man gelangt also auch hier zu den gleichen Resultaten.

Beispiel 2. Gegeben $M = 202\,500$ cmkg.

$h = 40$ cm, $h - a = 36$ cm, $b = 25$ cm, $f_e = 8{,}4$ qcm, $f_{e_1}' = 2{,}4$ qcm.

Gesucht σ_b und σ_e.

$$t = \frac{8{,}4}{36 \cdot 25} = 0{,}009\,33\,, \qquad \alpha = \frac{2{,}4}{8{,}4} = 0{,}286\,.$$

In der Horizontalreihe für $\alpha = 0{,}3$ findet man $t = \backsim 0{,}009\,33$ bei 51/1200 kg/qcm. (Tafel I).

$$x = 0{,}389 \cdot 36 = 14{,}0 \text{ cm},$$
$$f_e' = 2{,}4 \cdot \frac{14{,}0 - 4}{14 \cdot \frac{2}{3}} = 2{,}57 \text{ qcm}.$$

Verbessertes $\alpha = \frac{2,57}{8,4} = 0,306$. Genügend genau $\alpha = 0,3$.

$$r_1 = 0,318 \quad \text{(aus Tafel I)},$$

$$r_2 = \frac{36}{\sqrt{\frac{202\,550}{25}}} = 0,400\,,$$

$$r_2 = r_1 \cdot \sqrt{\frac{1200}{\sigma_{e_2}}}\,,$$

$$\sigma_{e_2} = 758,4 \text{ kg/qcm},$$

$$\sigma_{b_2} = \frac{\sigma_{e_2} \cdot \sigma_{b_1}}{1200} = \frac{758,4 \cdot 51}{1200} = 32,2 \text{ kg/qcm}.$$

Nach den ministeriellen Vorschriften ergeben sich:

$$x = 14,0 \text{ cm},$$

$$\sigma_b = 32,4 \text{ kg/qcm},$$

$$\sigma_e = 763,7 \text{ kg/qcm},$$

Beispiel 3. Gegeben sei $M = 5\,600\,000$ cmkg.

$h = 135$ cm, $h - a = 129$ cm, $a_1 = 6$ cm, $b = 40$ cm.

Grenzspannungen 45/1200 kg/qcm.
Gesucht f_e und f_e'.

$$r = \frac{129}{374,17} = 0,345\,.$$

Auch hier ist Tafel IV zu benutzen.

$$\sigma_e = 1060 \text{ kg/qcm}, \qquad x = 0,389 \cdot 129 = 50,18 \text{ cm},$$

$$\alpha = 0,21\,,$$

$$f_e = 0,00905 \cdot 129 \cdot 40 = 46,70 \text{ qcm},$$

$$f_e' = 0,21 \cdot 46,70 \cdot \frac{\frac{2}{8} \cdot 50,18}{50,18 - 6} = 7,42 \text{ qcm},$$

$$f_e + f_e' = 54,1 \text{ qcm}.$$

Nach den üblichen Formeln durchgerechnet, ergibt sich

$$x = 50,16 \text{ cm}, \qquad \sigma_b = 44,92 \text{ kg/qcm}, \qquad \sigma_e = 1059,1 \text{ kg/qcm}.$$

Bei Ausnutzung der Eisenbeanspruchung von $\sigma_e = 1200$ kg/qcm ergibt sich nach Tafel I:

$$f_e = 0,00794 \cdot 129 \cdot 40 = 40,97 \text{ qcm},$$

$$x = 0,36 \cdot 129 = 46,44 \text{ cm},$$

$$f_e' = 0,4 \cdot 40,97 \cdot \frac{\frac{2}{8} \cdot 46,44}{46,44 - 6} = 12,55 \text{ qcm},$$

$$f_e + f_e' = 53,52 \text{ qcm}.$$

In diesem Falle ergibt also die Ausnutzung von $\sigma_e = 1200$ kg/qcm eine um 0,6 qcm geringere Eiseneinlage gegenüber der Berechnung nach Tafel IV.

Entstanden ist dieser scheinbare Widerspruch der Tabelle aber erst durch die Reduzierung des Druckeisens nach der Gleichung IV $f_{e_1}' = f_e' \cdot \frac{\frac{2}{8} x}{x - a_1}$. Ohne diese Reduzierung würde sich ergeben:

nach Tafel I: $f_e + f_e' = 40,97 \cdot (1 + 0,4) = 57,36$ qcm,
nach Tafel IV: $f_e + f_e' = 46,70\,(1 + 0,21) = 56,5$ qcm.

Dieses Beispiel zeigt, daß bei sehr hohen Balken durch die Berichtigung der Lage des Druckeisens nach Gleichung IV noch insofern eine Änderung eintreten kann, als sich nach Tafel I ein geringerer Eisenaufwand ergeben kann. Die Differenz gegen das Ergebnis bei Benutzung der Tafel IV ist aber meist gering und wird schon durch den Zwang, sich bei der Armierung mit den handelsüblichen Eisenquerschnitten zu behelfen, ausgeglichen. Bei annähernd gleichem Gesamt-Eisenaufwand ist darum stets der geringeren Eisenspannung der Vorzug zu geben.

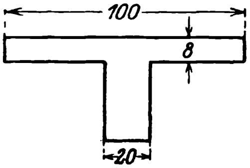

Fig. 4.

<u>Beispiel 4.</u> Gegeben sei ein Plattenbalken mit $M = 1\,000\,000$ cmkg.

$$b = 100 \text{ cm}, \qquad b_0 = 20 \text{ cm},$$
$$d = 8 \text{ cm}, \qquad f_e' = 0.$$

Grenzspannungen 35/1200 kg/qcm.
Gesucht $h - a$ und f_e.

$$b : b_0 = 5{,}0 \,.$$

Das Verhältnis $d : x$ ist vorläufig unbekannt, daher zu schätzen. Am einfachsten ist, zunächst $d = x$ zu setzen. Nach Tafel I oder II ist dann vorläufig

$$(h - a)_1 = 0{,}457 \cdot \sqrt{\frac{M}{b}} = 45{,}7 \text{ cm},$$
$$x_1 = 45{,}7 \cdot 0{,}304 = 13{,}9 \text{ cm},$$
$$d : x = \frac{8}{13{,}9} = 0{,}575 \,.$$

Nach Tafel III findet man für $\dfrac{b}{b_0} = 5{,}0$ und $\dfrac{d}{x} = 0{,}575$

$$i = \frac{0{,}9271 + 0{,}9488}{2} = 0{,}9380 \,.$$

Die Rechnung ist also weiterzuführen mit der Hilfsbetonspannung

$$\sigma_b' = 0{,}9380 \cdot 35 = 32{,}8 \text{ kg/qcm}.$$

Nach Tafel I oder II ist dann weiter

$$h - a = 0{,}4816 \cdot 100 = 48{,}16 \text{ cm},$$
$$x = 0{,}2908 \cdot 48{,}16 = 14{,}0 \text{ cm},$$
$$d : x = \frac{14}{8} = 0{,}571 \,.$$

Würde man als erste Annahme geschätzt haben $d : x = 0{,}6$, so wäre

$$i = 0{,}9488 \,,$$
$$\sigma_b' = 0{,}9488 \cdot 35 = 33{,}2 \text{ kg/qcm},$$
$$h - a = 0{,}4768 \cdot 100 = 47{,}68 \text{ cm},$$
$$x = 0{,}2932 \cdot 47{,}68 = 13{,}98 \text{ cm},$$
$$d : x = \frac{8}{13{,}98} = 0{,}573 \,.$$

Es ergibt also selbst die erste rohe Annahme $d : x = 1$ schon bei der ersten Wiederholung ein genügend genaues Resultat.

Beachtet man ferner, daß die Lage der Nullinie bei der Ableitung der Werte i gleichbleibend angenommen ist, die Hilfs-Betonspannung aber immer kleiner ist als die endgültige Betonspannung, so ergibt sich, daß der endgültigen Betonspannung in Wirklichkeit ein etwas größeres x entsprechen muß als der Hilfs-

Betonspannung. Demzufolge wird sich σ_b etwas größer stellen als man wünscht. Diesem Umstande kann man Rechnung tragen, indem man bei einfach bewehrten Plattenbalken die gefundene Hilfs-Betonspannung etwas vermindert, und zwar um rund $\left(\frac{h-a}{50}\right)$ kg/qcm. Dagegen ist eine solche Verminderung nicht angängig, sobald eine wesentliche Druckeisenarmierung angeordnet ist, weil durch das größere x das Trägheitsmoment der Druckeiseneinlage ebenfalls größer wird und einen Ausgleich schafft. Auch wird man von dieser Verminderung absehen, wenn der Unterschied zwischen x und d nur gering ist, also $d : x$ sich dem Werte 1 nähert (etwa bis 0,8).

Im vorliegenden Falle würde also einzuführen sein die Hilfs-Betonspannung

$$\sigma_b'' = 32{,}8 - \frac{48}{50} = \text{rd. } 32{,}0 \text{ kg/qcm.}$$

Nach Tafel II ist dann

$$h - a = 0{,}492 \cdot 100 = 49{,}2 \text{ cm},$$

$$f_e = 0{,}00381 \cdot 49{,}2 \cdot 100 = 18{,}7 \text{ qcm.}$$

Ermittelt man unter Beachtung der Druckspannungen im Steg nach dem üblichen Rechnungsgang die Werte x, σ_b und σ_e, so findet man

$$x = 15{,}2 \text{ cm}, \qquad \sigma_b = 35{,}2 \text{ kg/qcm}, \qquad \sigma_e = 1182 \text{ kg/qcm.}$$

Beispiel 5. Gegeben ein Plattenbalken mit $M = 4\,200\,000$ cmkg.

$$b = 210 \text{ cm}, \qquad b_0 = 35 \text{ cm}, \qquad d = 10 \text{ cm}.$$

Grenzspannungen 36/1000 kg/qcm.

$$h = 56 \text{ cm}, \qquad h - a = 52 \text{ cm}, \qquad a_1 = 4 \text{ cm}.$$

Gesucht f_e und f_e'.

$$r = \frac{52}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = 0{,}368\,,$$

$$b : b_0 = \frac{210}{35} = 6{,}0 \qquad d : x \text{ angenommen } 0{,}5\,.$$

In Tafel III findet man dann

$$i = 0{,}8958.$$

Hilfs-Betonspannung $\sigma_b' = 0{,}8958 \cdot 36 = 32{,}2$ kg/qcm.

Um für das Spannungsverhältnis 32,2/1000 kg/qcm die Tafeln für $\sigma_e = 1200$ kg/qcm zu verwenden, ist die entsprechende Betonspannung zu finden aus

$$\frac{32{,}2}{1000} = \frac{\sigma_{b\,1200}}{1200}$$

$$\sigma_{b\,1200} = 38{,}7 = \text{rd. } 39 \text{ kg/qcm},$$

$$r_1 = 0{,}368 : \sqrt{\frac{1200}{1000}} = 0{,}368 : 1{,}095 = 0{,}336 \qquad \text{(nach Gl. VI).}$$

In Tafel I findet man bei $\sigma_b = 39$ kg/qcm

$$x = 0{,}328 \cdot 52 = 17{,}1 \text{ cm},$$

$$d : x = 10 : 17{,}1 = 0{,}585\,.$$

Hierfür in Tafel III gefunden $i = \backsim 0{,}9400$.

Die Hilfs-Betonspannung ist also zu berichtigen auf

$$\sigma_b'' = 0{,}94 \cdot 36 = 33{,}8 \text{ kg/qcm.}$$

Die entsprechende Betonspannung für die Benutzung der Tabelle I findet sich zu

$$\sigma_{b_{1200}} = 33{,}8 \cdot \frac{1200}{1000} = 40{,}5 = \text{rd. } 40 \text{ kg/qcm.}$$

In Tafel I findet sich bei $\sigma_b = 40$ kg/qcm der vorhin ermittelte Wert $r_1 = 0{,}336$ direkt unter der durchgehenden Linie. Da der voraufgehende r-Wert noch auf Tafel IV verweist, die Zwischenwerte sich also nach Tafel IV günstiger gestalten als nach Tafel I, so ist also wieder Tafel IV zu benutzen. Dort findet man bei $\sigma_b = 40$ kg/qcm als günstigste Einspannung

$$\sigma_e = \text{rd. } 1190 : \frac{1200}{1000} = \text{rd. } 990 \text{ kg/qcm,}$$

$$x = 0{,}331 \cdot 52 = 17{,}2 \text{ cm;}$$

$$f_e = 0{,}00830 \cdot 52 \cdot 210 = 90{,}6 \text{ qcm,}$$

$$\alpha = 0{,}97,$$

$$f'_e = 0{,}97 \cdot 90{,}6 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot 17{,}2}{17{,}2 - 4} = 76{,}3 \text{ qcm,}$$

Mit diesen Werten ermitteln sich die Spannungen wie folgt:

$$x = 18{,}36 \text{ cm,} \qquad J = 2\,173\,000 \text{ cm}^4,$$

$$\sigma_b = 35{,}5 \text{ kg/qcm,} \qquad \sigma_e = 975{,}3 \text{ kg/qcm.}$$

Bemerkung zu Tafel IV.

Tafel IV ist aufgestellt für die Annahme, daß das Druckeisen in $\frac{x}{3}$ vom oberen Rande liegt. Die Tafel ist natürlich auch anwendbar, wenn die Lage des Druckeisens nicht wesentlich von dieser Annahme abweicht. Bei großen Balkenhöhen empfiehlt sich daher, beide Rechnungsarten durchzuführen, um die günstigste Armierung zu ermitteln. Der Unterschied beider Rechnungsarten wird um so größer sein, je niedriger die zulässige Eisenspannung ist.

Tafel I.

$n = 15$

$\sigma_e = 120$ kg/qcm

$x = s\,(h - a)$ $\qquad h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}}$ $\qquad f_e = t\,(h - a)\,b$ $\qquad f_e' = \alpha\, f_e$

σ_b	31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		σ_b
s	0,279		0,286		0,292		0,298		0,304		0,310		0,316		0,322		0,328		0,333		s
α	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	α
0,0	0,505	0,00361	0,492	0,00381	0,479	0,00402	0,468	0,00423	0,457	0,00444	0,447	0,00466	0,437	0,00488	0,428	0,00510	0,419	0,00533	0,411	0,00556	0,0
0,1	0,498	0,00370	0,485	0,00391	0,473	0,00413	0,461	0,00435	0,450	0,00457	0,440	0,00480	0,430	0,00503	0,421	0,00527	0,412	0,00550	0,404	0,00575	0,1
0,2	0,492	0,00380	0,478	0,00402	0,466	0,00425	0,455	0,00448	0,444	0,00471	0,433	0,00495	0,423	0,00520	0,414	0,00544	0,405	0,00570	0,397	0,00595	0,2
0,3	0,485	0,00391	0,472	0,00414	0,459	0,00438	0,448	0,00462	0,437	0,00486	0,426	0,00512	0,416	0,00537	0,407	0,00563	0,398	0,00590	0,390	0,00617	0,3
0,4	0,478	0,00402	0,465	0,00426	0,452	0,00451	0,441	0,00477	0,430	0,00502	0,419	0,00529	0,409	0,00556	0,400	0,00584	0,391	0,00612	0,382	0,00641	0,4
0,5	0,471	0,00414	0,458	0,00440	0,445	0,00466	0,434	0,00492	0,422	0,00520	0,412	0,00548	0,402	0,00576	0,393	0,00606	0,384	0,00636	0,375	0,00667	0,5
0,6	0,464	0,00427	0,451	0,00454	0,438	0,00481	0,426	0,00509	0,415	0,00538	0,405	0,00568	0,395	0,00598	0,385	0,00629	0,376	0,00662	0,367	0,00694	0,6
0,7	0,457	0,00440	0,443	0,00468	0,431	0,00497	0,419	0,00527	0,408	0,00558	0,397	0,00589	0,387	0,00622	0,378	0,00655	0,368	0,00689	0,360	0,00725	0,7
0,8	0,450	0,00455	0,436	0,00484	0,423	0,00515	0,412	0,00546	0,400	0,00579	0,390	0,00613	0,379	0,00647	0,370	0,00683	0,361	0,00720	0,352	0,00758	0,8
0,9	0,442	0,00470	0,429	0,00501	0,416	0,00534	0,404	0,00567	0,393	0,00602	0,382	0,00638	0,372	0,00675	0,362	0,00713	0,353	0,00753	0,344	0,00794	0,9
1,0	0,435	0,00486	0,421	0,00519	0,408	0,00554	0,396	0,00590	0,385	0,00627	0,374	0,00665	0,364	0,00705	0,354	0,00746	0,344	0,00789	0,335	0,00833	1,0
1,1	0,427	0,00504	0,413	0,00539	0,400	0,00576	0,388	0,00614	0,377	0,00654	0,366	0,00695	0,355	0,00738	0,345	0,00782	0,336	0,00829	0,327	0,00877	1,1
1,2	0,419	0,00523	0,405	0,00560	0,392	0,00599	0,380	0,00640	0,369	0,00683	0,357	0,00727	0,347	0,00774	0,337	0,00822	0,327	0,00873	0,318	0,00926	1,2
1,3	0,411	0,00543	0,397	0,00583	0,384	0,00625	0,372	0,00669	0,360	0,00715	0,349	0,00763	0,338	0,00814	0,328	0,00867	0,319	0,00922	0,309	0,00980	1,3
1,4	0,403	0,00565	0,389	0,00608	0,376	0,00653	0,364	0,00700	0,352	0,00750	0,340	0,00803	0,330	0,00858	0,319	0,00916	0,309	0,00977	0,300	0,01042	1,4
1,5	0,395	0,00589	0,381	0,00635	0,368	0,00683	0,355	0,00735	0,343	0,00789	0,331	0,00846	0,320	0,00907	0,310	0,00971	0,300	0,01039	0,290	0,01111	1,5

σ_e																					σ_e
1000	$\sigma_b = 25{,}85$		26,65		27,5		28,35		29,15		30		30,85		31,65		32,5		33,35		1000
	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	
900	$\sigma_b = 23{,}25$		24		24,75		25,5		26,25		27		27,75		28,5		29,25		30		900
	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	
750	$\sigma_b = 19{,}4$		20		20,65		21,25		21,9		22,5		23,15		23,75		24,4		25		750
	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	

Tafel I.

$n = 15$
$\sigma_e = 1200$ kg/cqm

$x = s\,(h - a)$ $h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}}$ $f_e = t\,(h - a)\,b$ $f_e' = \alpha\, f_e$

σ_b	41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		σ_b
s	0,339		0,344		0,350		0,355		0,360		0,365		0,370		0,375		0,380		0,385		s
α	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	α
0,0	0,403	0,00579	0,395	0,00602	0,388	0,00626	0,381	0,00651	0,375	0,00675	0,368	0,00700	0,362	0,00725	0,356	0,00750	0,351	0,00776	0,345	0,00801	0,0
0,1	0,396	0,00599	0,388	0,00624	0,381	0,00650	0,374	0,00675	0,367	0,00701	0,361	0,00728	0,355	0,00754	0,349	0,00781	0,344	0,00809	0,338	0,00836	0,1
0,2	0,389	0,00621	0,381	0,00648	0,374	0,00675	0,367	0,00702	0,360	0,00730	0,354	0,00758	0,348	0,00786	0,342	0,00815	0,336	0,00844	0,331	0,00874	0,2
0,3	0,382	0,00645	0,374	0,00673	0,367	0,00702	0,360	0,00731	0,353	0,00761	0,346	0,00791	0,340	0,00821	0,334	0,00852	0,329	0,00884	0,323	0,00916	0,3
0,4	0,374	0,00670	0,367	0,00701	0,359	0,00731	0,352	0,00762	0,345	0,00794	0,339	0,00826	0,333	0,00859	0,327	0,00893	0,321	0,00927	0,315	0,00962	0,4
0,5	0,367	0,00698	0,359	0,00730	0,352	0,00763	0,344	0,00797	0,338	0,00831	0,331	0,00866	0,325	0,00901	0,319	0,00938	0,313	0,00974	0,307	0,01012	0,5
0,6	0,359	0,00728	0,351	0,00763	0,344	0,00798	0,337	0,00834	0,330	0,00871	0,323	0,00909	0,317	0,00947	0,311	0,00987	0,305	0,01027	0,299	0,01068	0,6
0,7	0,351	0,00761	0,343	0,00798	0,336	0,00836	0,329	0,00875	0,322	0,00915	0,315	0,00956	0,309	0,00998	0,302	0,01042	0,296	0,01086	0,291	0,01131	0,7
0,8	0,343	0,00797	0,335	0,00837	0,328	0,00878	0,320	0,00921	0,313	0,00964	0,307	0,01009	0,300	0,01055	0,294	0,01103	0,288	0,01152	0,282	0,01202	0,8
0,9	0,335	0,00836	0,327	0,00880	0,319	0,00925	0,312	0,00971	0,305	0,01019	0,298	0,01068	0,291	0,01119	0,285	0,01172	0,279	0,01226	0,273	0,01282	0,9
1,0	0,327	0,00879	0,319	0,00927	0,311	0,00976	0,303	0,01027	0,296	0,01080	0,289	0,01135	0,282	0,01191	0,276	0,01250	0,270	0,01311	0,264	0,01374	1,0
1,1	0,318	0,00927	0,310	0,00980	0,302	0,01034	0,294	0,01090	0,287	0,01149	0,280	0,01210	0,273	0,01273	0,267	0,01339	0,260	0,01408	0,254	0,01479	1,1
1,2	0,309	0,00981	0,301	0,01039	0,293	0,01099	0,285	0,01162	0,278	0,01227	0,271	0,01296	0,264	0,01367	0,257	0,01442	0,250	0,01521	0,244	0,01603	1,2
1,3	0,300	0,01041	0,292	0,01105	0,284	0,01173	0,276	0,01243	0,268	0,01317	0,261	0,01395	0,254	0,01477	0,247	0,01563	0,240	0,01653	0,234	0,01748	1,3
1,4	0,291	0,01110	0,282	0,01181	0,274	0,01257	0,266	0,01337	0,258	0,01421	0,251	0,01510	0,243	0,01605	0,236	0,01705	0,230	0,01811	0,223	0,01923	1,4
1,5	0,281	0,01187	0,272	0,01268	0,264	0,01354	0,256	0,01446	0,248	0,01543	0,240	0,01646	0,233	0,01757	0,225	0,01875	0,218	0,02001	0,212	0,02137	1,5

σ_e																					σ_e
1000	$\sigma_b = 34,15$		35		35,85		36,65		37,5		38,35		39,15		40		40,85		41,65		1000
	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	
900	$\sigma_b = 30,75$		31,5		32,25		33		33,75		34,5		35,25		36		36,75		37,5		900
	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	
750	$\sigma_b = 25,65$		26,25		26,9		27,5		28,15		28.75		29,4		30		30,65		31,25		750
	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	

Tafel I.

$n = 15$
$\sigma_e = 1200$ kg/qcm

$x = s\,(h - a)$ $\qquad$ $h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}}$ $\qquad$ $f_e = t\,(h - a)\,b$ $\qquad$ $f'_e = \alpha\,f_e$

σ_b	51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		σ_b
s	0,389		0,394		0,399		0,403		0,407		0,412		0,416		0,420		0,424		0,429		s
α	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	α
0 0	0,340	0,00827	0,335	0,00854	0,330	0,00880	0,326	0,00907	0,321	0,00934	0,317	0,00961	0,313	0,00988	0,309	0,01016	0,305	0,01043	0,301	0,01071	0,0
0,1	0,333	0,00864	0,328	0,00892	0,323	0,00921	0,318	0,00949	0,314	0,00978	0,310	0,01008	0,305	0,01037	0,301	0,01068	0,297	0,01097	0,294	0,01128	0,1
0,2	0,325	0,00904	0,320	0,00935	0,316	0,00965	0,311	0,00996	0,306	0,01028	0,302	0,01060	0,298	0,01092	0,294	0,01124	0,290	0,01157	0,286	0,01190	0,2
0,3	0,318	0,00948	0,313	0,00981	0,308	0,01014	0,303	0,01048	0,298	0,01082	0,294	0,01117	0,290	0,01152	0,286	0,01188	0,282	0,01224	0,278	0,01260	0,3
0,4	0,310	0,00997	0,305	0,01033	0,300	0,01069	0,295	0,01106	0,290	0,01143	0,286	0,01181	0,282	0,01220	0,277	0,01259	0,273	0,01299	0,269	0,01339	0,4
0,5	0,302	0,01051	0,297	0,01090	0,292	0,01129	0,287	0,01170	0,282	0,01211	0,278	0,01253	0,273	0,01296	0,269	0,01339	0,265	0,01384	0,261	0,01429	0,5
0,6	0,294	0,01110	0,288	0,01153	0,283	0,01197	0,278	0,01243	0,274	0,01288	0,269	0 01334	0,265	0,01382	0,260	0,01431	0,256	0,01480	0,252	0,01531	0,6
0,7	0,285	0,01178	0,280	0,01225	0,275	0,01274	0,270	0,01324	0,265	0,01375	0,260	0,01427	0,256	0,01480	0,251	0,01535	0,247	0,01591	0,243	0,01648	0,7
0,8	0,276	0,01253	0,271	0,01306	0,266	0,01361	0,261	0,01417	0,256	0,01474	0,251	0,01533	0,246	0,01594	0,242	0,01656	0,238	0,01720	0,233	0,01786	0,8
0,9	0,267	0,01340	0,262	0,01399	0,257	0,01461	0,251	0,01524	0,246	0,01589	0,241	0,01657	0,237	0,01726	0,232	0,01798	0,228	0,01872	0,223	0,01948	0,9
1,0	0,258	0,01439	0,252	0,01506	0,247	0,01576	0,242	0,01649	0,237	0,01724	0,232	0,01802	0,227	0,01882	0,222	0,01966	0,217	0,02053	0,213	0,02143	1,0
1,1	0,248	0,01554	0,243	0,01631	0,237	0,01712	0,232	0,01796	0,226	0,01883	0,221	0,01974	0,216	0,02069	0,211	0,02169	0,206	0,02273	0,202	0,02381	1,1
1,2	0,238	0,01688	0,232	0,01778	0,227	0,01872	0,221	0,01971	0,216	0,02075	0,210	0,02184	0,205	0,02298	0,200	0,02418	0,195	0,02545	0,191	0,02679	1,2
1,3	0,228	0,01849	0,222	0,01955	0,216	0,02067	0,210	0,02185	0,204	0,02310	0,199	0,02443	0,194	0,02583	0,188	0,02733	0,183	0,02892	0,178	0,03061	1,3
1,4	0,217	0,02043	0,210	0,02170	0,204	0,02306	0,198	0,02451	0,192	0,02606	0,187	0,02772	0,181	0,02950	0,176	0,03141	0,170	0,03348	0,165	0,03571	1,4
1,5	0,205	0,02282	0,198	0,02439	0,192	0,02607	0,186	0,02790	0,180	0,02988	0,174	0,03203	0,168	0,03437	0,162	0,03693	0,156	0,03975	0,151	0,04286	1,5

σ_e																					σ_e
1000	$\sigma_b = 42{,}5$		43,35		44,15		45		45,85		46,65		47,5		48,35		49,15		50		1000
	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	1,095	1	
900	$\sigma_b = 38{,}25$		39		39,75		40,5		41,25		42		42,75		43,5		44,25		45		900
	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	1,155	1	
750	$\sigma_b = 31{,}9$		32,5		33,15		33,75		34,4		35		35,65		36,25		36,9		37,5		750
	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	1,265	1	

Tafel II.

$x = s(h-a)$ $\qquad h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}}$ $\qquad f_e = t(h-a)\,b$

$\sigma_e = 1200$

σ_b	s	r	t
11	0,121	1,252	0,00055
12	0,130	1,156	0,00065
13	0,140	1,074	0,00076
14	0,149	1,005	0,00087
15	0,158	0,944	0,00099
16	0,167	0,891	0,00111
17	0,175	0,844	0,00124
18	0,184	0,803	0,00138
19	0,192	0,765	0,00152
20	0,200	0,732	0,00167
21	0,208	0,702	0,00182
22	0,216	0,674	0,00198
23	0,223	0,649	0,00214
24	0,231	0,625	0,00231
25	0,238	0,604	0,00248
26	0,245	0,584	0,00266
27	0,252	0,566	0,00284
28	0,259	0,549	0,00302
29	0,266	0,533	0,00321
30	0,273	0,519	0,00341
31	0,279	0,505	0,00361
32	0,286	0,492	0,00381
33	0,292	0,479	0,00402
34	0,298	0,468	0,00423
35	0,304	0,457	0,00444
36	0,310	0,447	0,00466
37	0,316	0,437	0,00488
38	0,322	0,428	0,00510
39	0,328	0,419	0,00533
40	0,333	0,411	0,00556
41	0,339	0,403	0,00579
42	0,344	0,395	0,00602
43	0,350	0,388	0,00626
44	0,355	0,381	0,00651
45	0,360	0,375	0,00675
46	0,365	0,368	0,00700
47	0,370	0,362	0,00725
48	0,375	0,356	0,00750
49	0,380	0,351	0,00776
50	0,385	0,345	0,00801
51	0,389	0,340	0,00827
52	0,394	0,335	0,00854
53	0,399	0,330	0,00880
54	0,403	0,326	0,00907
55	0,407	0,321	0,00934
56	0,412	0,317	0,00961
57	0,416	0,313	0,00988
58	0,420	0,309	0,01016
59	0,424	0,305	0,01043
60	0,429	0,301	0,01071

$\sigma_e = 1000$

σ_b	s	r	t
11	0,142	1,161	0,00078
12	0,153	1,073	0,00092
13	0,163	0,999	0,00106
14	0,174	0,935	0,00121
15	0,184	0,879	0,00138
16	0,194	0,831	0,00155
17	0,203	0,788	0,00173
18	0,213	0,750	0,00191
19	0,222	0,716	0,00211
20	0,231	0,685	0,00231
21	0,240	0,657	0,00252
22	0,248	0,632	0,00273
23	0,257	0,609	0,00295
24	0,265	0,588	0,00318
25	0,273	0,568	0,00341
26	0,281	0,550	0,00365
27	0,288	0,533	0,00389
28	0,296	0,518	0,00414
29	0,303	0,503	0,00440
30	0,310	0,490	0,00466
31	0,317	0,477	0,00492
32	0,324	0,465	0,00519
33	0,331	0,454	0,00546
34	0,338	0,443	0,00574
35	0,344	0,433	0,00602
36	0,351	0,424	0,00631
37	0,357	0,415	0,00660
38	0,363	0,406	0,00690
39	0,369	0,398	0,00720
40	0,375	0,390	0,00750
41	0,381	0,383	0,00781
42	0,387	0,376	0,00812
43	0,392	0,369	0,00843
44	0,398	0,363	0,00875
45	0,403	0,357	0,00907
46	0,408	0,351	0,00939
47	0,414	0,345	0,00972
48	0,419	0,340	0,01005
49	0,424	0,335	0,01038
50	0,429	0,330	0,01071
51	0,433	0,325	0,01105
52	0,438	0,321	0,01139
53	0,443	0,316	0,01174
54	0,447	0,312	0,01208
55	0,452	0,308	0,01243
56	0,457	0,304	0,01278
57	0,461	0,300	0,01314
58	0,465	0,296	0,01349
59	0,469	0,293	0,01385
60	0,474	0,289	0,01421

Tafel II.

$x = s(h - a)$ $h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}}$ $f_e = t(h - a)\,b$

$\sigma_e = 900$				$\sigma_e = 750$			
σ_b	s	r	t	σ_b	s	r	t
11	0,155	1,112	0,00095	11	0,180	1,036	0,00132
12	0,167	1,029	0,00111	12	0,194	0,959	0,00155
13	0,178	0,958	0,00129	13	0,206	0,895	0,00179
14	0,189	0,898	0,00147	14	0,219	0,839	0,00204
15	0,200	0,845	0,00167	15	0,231	0,791	0,00231
16	0,211	0,799	0,00187	16	0,242	0,749	0,00259
17	0,221	0,758	0,00209	17	0,254	0,712	0,00288
18	0,231	0,722	0,00231	18	0,265	0,679	0,00318
19	0,241	0,690	0,00254	19	0,275	0,649	0,00349
20	0,250	0,661	0,00278	20	0,286	0,622	0,00381
21	0,259	0,634	0,00302	21	0,296	0,598	0,00414
22	0,268	0,610	0,00328	22	0,306	0,576	0,00448
23	0,277	0,588	0,00354	23	0,315	0,555	0,00483
24	0,286	0,568	0,00381	24	0,324	0,537	0,00519
25	0,294	0,549	0,00409	25	0,333	0,520	0,00556
26	0,302	0,532	0,00437	26	0,342	0,504	0,00593
27	0,310	0,516	0,00466	27	0,351	0,489	0,00631
28	0,318	0,501	0,00495	28	0,359	0,475	0,00670
29	0,326	0,487	0,00525	29	0,367	0,463	0,00710
30	0,333	0,474	0,00556	30	0,375	0,451	0,00750
31	0,341	0,462	0,00587	31	0,383	0,440	0,00791
32	0,348	0,451	0,00618	32	0,390	0,429	0,00833
33	0,355	0,440	0,00651	33	0,398	0,419	0,00875
34	0,362	0,430	0,00683	34	0,405	0,410	0,00917
35	0,368	0,420	0,00716	35	0,412	0,401	0,00961
36	0,375	0,411	0,00750	36	0,419	0,393	0,01005
37	0,381	0,403	0,00784	37	0,425	0,385	0,01049
38	0,388	0,395	0,00819	38	0,432	0,377	0,01094
39	0,394	0,387	0,00854	39	0,438	0,370	0,01139
40	0,400	0,380	0,00889	40	0,444	0,363	0,01185

Tafel III.

Hilfstafel für Plattenbalken.

Reduktionswerte i für die Hilfs-Betonspannung.

	$d:x=$	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	$=d:x$	
$b:b_0$	1,5	9999	9997	9989	9973	9948	9910	9857	9787	9696	1,5	$b:b_0$
	2,0	9999	9995	9983	9960	9922	9865	9786	9680	9544	2,0	
	2,5	9999	9994	9980	9952	9906	9838	9743	9616	9453	2,5	
	3,0	9999	9993	9978	9947	9896	9820	9717	9573	9393	3,0	
	3,5	9999	9993	9976	9943	9888	9807	9694	9543	9349	3,5	
	4,0	9999	9993	9975	9940	9883	9798	9678	9520	9317	4,0	
	4,5	9999	9992	9974	9938	9878	9790	9667	9502	9291	4,5	
	5,0	9999	9992	9973	9936	9875	9784	9657	9488	9271	5,0	
	5,5	9999	9992	9972	9935	9872	9779	9649	9476	9254	5,5	
	6,0	9999	9992	9972	9933	9870	9775	9643	9467	9241	6,0	
	6,5	9999	9992	9971	9932	9868	9772	9637	9458	9229	6,5	
	7,0	9999	9991	9971	9931	9866	9769	9633	9451	9219	7,0	
	7,5	9999	9991	9971	9931	9865	9766	9628	9445	9210	7,5	
	8,0	9999	9991	9970	9930	9863	9764	9625	9440	9203	8,0	

	$d:x=$	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	$=d:x$	
$b:b_0$	1,5	9583	9445	9280	9085	8857	8594	1,5	$b:b_0$
	2,0	9375	9168	8920	8627	8285	7891	2,0	
	2,5	9250	9002	8704	8352	7942	7469	2,5	
	3,0	9167	8891	8560	8169	7713	7188	3,0	
	3,5	9107	8812	8457	8038	7550	6987	3,5	
	4,0	9063	8752	8380	7940	7428	6836	4,0	
	4,5	9028	8706	8320	7864	7332	6719	4,5	
	5,0	9000	8669	8272	7803	7256	6625	5,0	
	5,5	8977	8639	8233	7753	7194	6548	5,5	
	6,0	8958	8614	8200	7711	7142	6484	6,0	
	6,5	8942	8592	8172	7676	7098	6430	6,5	
	7,0	8929	8574	8149	7646	7060	6384	7,0	
	7,5	8917	8558	8128	7620	7027	6344	7,5	
	8,0	8906	8544	8110	7597	6999	6309	8,0	

Alle Werte sind Dezimalstellen hinter 0,

Tafel IV.

Wirtschaftlich günstigste Armierung.

$\sigma_b = 30$

r	σ_e	t	s	α
0,519	1200	0,00341	0,273	0,00
0,512	1155	0,00364	0,280	0,00
0,505	1105	0,00393	0,289	0,00
0,499	1065	0,00418	0,297	0,00
0,492	1015	0,00454	0,307	0,00
0,485	970	0,00490	0,317	0,00
0,478	925	0,00531	0,327	0,00
0,471	880	0,00577	0,338	0,00
0,464	835	0,00629	0,350	0,00
0,456	785	0,00696	0,364	0,00
0,449	740	0,00767	0,378	0,00
0,442	695	0,00848	0,393	0,00
0,434	660	0,00931	0,405	0,02
0,426	690	0,00919	0,395	0,15
0,418	725	0,00905	0,383	0,30
0,410	765	0,00888	0,370	0,46

$\sigma_b = 35$

r	σ_e	t	s	α
0,457	1200	0,00444	0,304	0,00
0,450	1140	0,00484	0,315	0,00
0,444	1090	0,00522	0,325	0,00
0,437	1030	0,00573	0,338	0,00
0,430	975	0,00628	0,350	0,00
0,422	915	0,00697	0,365	0,00
0,415	860	0,00771	0,379	0,00
0,408	805	0,00858	0,395	0,00
0,400	780	0,00925	0,402	0,05
0,393	815	0,00914	0,392	0,18
0,385	860	0,00898	0,379	0,35
0,377	910	0,00880	0,366	0,52
0,369	965	0,00862	0,352	0,71
0,360	1040	0,00837	0,335	0,97
0,352	1110	0,00814	0,321	1,20
0,343	1200	0,00789	0,304	1,50

$\sigma_b = 36$

r	σ_e	t	s	α
0,447	1200	0,00466	0,310	0,00
0,440	1140	0,00507	0,321	0,00
0,433	1080	0,00556	0,334	0,00
0,426	1020	0,00610	0,346	0,00
0,419	960	0,00673	0,360	0,00
0,412	905	0,00744	0,374	0,00
0,405	845	0,00827	0,389	0,00
0,397	785	0,00937	0,408	0,00
0,390	825	0,00918	0,396	0,14
0,382	870	0,00903	0,383	0,30
0,374	920	0,00885	0,369	0,47
0,366	980	0,00866	0,356	0,67
0,357	1045	0,00844	0,340	0,89
0,349	1120	0,00820	0,325	1,14
0,340	1200	0,00803	0,310	1,40

$\sigma_b = 37$

r	σ_e	t	s	α
0,437	1200	0,00488	0,316	0,00
0,430	1135	0,00533	0,328	0,00
0,423	1075	0,00586	0,341	0,00
0,416	1015	0,00646	0,354	0,00
0,409	955	0,00713	0,368	0,00
0,402	895	0,00795	0,383	0,00
0,395	830	0,00891	0,400	0,00
0,387	835	0,00922	0,399	0,09
0,379	880	0,00907	0,387	0,25
0,372	925	0,00892	0,374	0,41
0,364	985	0,00874	0,361	0,59
0,355	1050	0,00852	0,345	0,82
0,347	1125	0,00828	0,330	1,05
0,338	1200	0,00814	0,316	1,30

$$x = s(h - a)$$

$$h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}} \qquad f_e = t(h-a)\,b$$

$$f'_e = \alpha\, f_e$$

Tafel IV.

Wirtschaftlich günstigste Armierung.

$\sigma_b = 38$

r	σ_e	t	s	α
0,428	1200	0,00510	0,322	0,00
0,421	1135	0,00558	0,334	0,00
0,414	1070	0,00615	0,347	0,00
0,407	1010	0,00679	0,361	0,00
0,400	945	0,00758	0,377	0,00
0,393	880	0,00845	0,392	0,00
0,385	840	0,00927	0,404	0,03
0,378	880	0,00915	0,393	0,17
0,370	930	0,00899	0,380	0,34
0,362	990	0,00881	0,366	0,52
0,354	1050	0,00861	0,352	0,72
0,345	1130	0,00836	0,335	0,97
0,337	1200	0,00822	0,322	1,20

$\sigma_b = 39$

r	σ_e	t	s	α
0,419	1200	0,00533	0,328	0,00
0,412	1130	0,00587	0,341	0,00
0,405	1065	0,00649	0,354	0,00
0,398	1000	0,00719	0,369	0,00
0,391	935	0,00804	0,385	0,00
0,384	870	0,00902	0,402	0,00
0,376	885	0,00921	0,398	0,11
0,368	935	0,00905	0,385	0,27
0,361	985	0,00889	0,372	0,44
0,353	1050	0,00870	0,358	0,63
0,344	1125	0,00847	0,342	0,87
0,336	1200	0,00829	0,328	1,10

$\sigma_b = 40$

r	σ_e	t	s	α
0,411	1200	0,00556	0,333	0,00
0,404	1130	0,00614	0,347	0,00
0,397	1065	0,00677	0,360	0,00
0,390	995	0,00756	0,376	0,00
0,382	920	0,00858	0,395	0,00
0,375	885	0,00929	0,404	0,04
0,367	935	0,00912	0,391	0,20
0,360	985	0,00896	0,380	0,34
0,352	1045	0,00879	0,365	0,54
0,344	1115	0,00858	0,350	0,75
0,335	1200	0,00833	0,333	1,00

$\sigma_b = 41$

r	σ_e	t	s	α
0,403	1200	0,00579	0,339	0,00
0,396	1130	0,00639	0,352	0,00
0,389	1060	0,00710	0,367	0,00
0,382	990	0,00793	0,383	0,00
0,374	910	0,00908	0,403	0,00
0,367	930	0,00920	0,398	0,11
0,359	985	0,00903	0,384	0,28
0,351	1045	0,00886	0,371	0,46
0,343	1110	0,00869	0,357	0,66
0,335	1190	0,00844	0,341	0,88

$\sigma_b = 42$

r	σ_e	t	s	α
0,395	1200	0,00602	0,344	0,00
0,388	1125	0,00670	0,359	0,00
0,381	1050	0,00750	0,375	0,00
0,374	980	0,00838	0,391	0,00
0,367	925	0,00927	0,405	0,02
0,359	975	0,00915	0,393	0,18
0,351	1035	0,00897	0,378	0,36
0,343	1100	0,00879	0,364	0,55
0,335	1175	0,00858	0,349	0,76

$\sigma_b = 43$

r	σ_e	t	s	α
0,388	1200	0,00626	0,350	0,00
0,381	1125	0,00696	0,364	0,00
0,374	1050	0,00779	0,381	0,00
0,367	975	0,00878	0,398	0,00
0,359	970	0,00923	0,399	0,09
0,352	1020	0,00908	0,387	0,24
0,344	1085	0,00889	0,373	0,43
0,336	1155	0,00870	0,358	0,63
0,332	1200	0,00856	0,350	0,75

$$x = s\,(h - a)$$

$$h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}} \qquad f_e = t\,(h - a)\,b$$

$$f_e' = \alpha\, f_e$$

Tafel IV.

Wirtschaftlich günstigste Armierung.

$\sigma_b = 44$

r	σ_e	t	s	α
0,381	1200	0,00651	0,355	0,00
0,374	1120	0,00728	0,371	0,00
0,367	1045	0,00815	0,387	0,00
0,360	965	0,00926	0,406	0,00
0,352	1015	0,00916	0,394	0,15
0,344	1075	0,00900	0,380	0,33
0,337	1135	0,00884	0,368	0,50
0,330	1200	0,00867	0,355	0,68

$\sigma_b = 45$

r	σ_e	t	s	α
0,375	1200	0,00675	0,360	0,00
0,367	1115	0,00761	0,377	0,00
0,360	1035	0,00858	0,395	0,00
0,353	1000	0,00927	0,403	0,05
0,345	1060	0,00905	0,389	0,21
0,338	1120	0,00894	0,376	0,38
0,330	1195	0,00874	0,361	0,59

$\sigma_b = 46$

r	σ_e	t	s	α
0,368	1200	0,00700	0,365	0,00
0,361	1115	0,00788	0,382	0,00
0,354	1035	0,00889	0,400	0,00
0,346	1045	0,00922	0,398	0,11
0,339	1105	0,00903	0,384	0,27
0,331	1175	0,00886	0,370	0,47

$\sigma_b = 47$

r	σ_e	t	s	α
0,362	1200	0,00725	0,370	0,00
0,355	1115	0,00816	0,387	0,00
0,348	1030	0,00927	0,406	0,00
0,340	1090	0,00913	0,393	0,17
0,333	1150	0,00899	0,380	0,33
0,327	1200	0,00888	0,370	0,47

$\sigma_b = 48$

r	σ_e	t	s	α
0,356	1200	0,00750	0,375	0,00
0,349	1110	0,00851	0,393	0,00
0,342	1070	0,00922	0,402	0,05
0,334	1130	0,00911	0,389	0,22
0,327	1200	0,00893	0,375	0,40

$\sigma_b = 49$

r	σ_e	t	s	α
0,351	1200	0,00776	0,380	0,00
0,344	1115	0,00873	0,397	0,00
0,336	1110	0,00920	0,398	0,09
0,329	1170	0,00906	0,386	0,26
0,325	1200	0,00901	0,380	0,34

$\sigma_b = 50$

r	σ_e	t	s	α
0,345	1200	0,00801	0,385	0,00
0,338	1105	0,00915	0,404	0,00
0,331	1150	0,00917	0,396	0,14
0,325	1200	0,00907	0,385	0,28

$\sigma_b = 51$

r	σ_e	t	s	α
0,340	1200	0,00827	0,389	0,00
0,333	1125	0,00926	0,405	0,02
0,325	1190	0,00914	0,391	0,19

$\sigma_b = 52$

r	σ_e	t	s	α
0,335	1200	0,00854	0,394	0,00
0,328	1160	0,00925	0,402	0,06
0,324	1200	0,00913	0,394	0,15

$$x = s(h - a) \qquad h - a = r\sqrt{\frac{M}{b}}$$

$$f_e' = \alpha f_e \qquad f_e = t(h - a)\, b$$

Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.