

sächlich auftretenden Querschnittsbeanspruchungen des Betons berechtigt erscheint, für die Berechnung von Platten und Balken bei Verwendung von gewöhnlichem Beton  $n = 15$ , bei Verwendung von hochwertigem Beton jedoch einen geringen Wert  $n$ , etwa  $n = 10$ , zu berücksichtigen.

Wie weitere Ermittlungen zeigen, genügt es auch bei Verwendung von höchstwertigem Beton etwa  $n = 10$  zu berücksichtigen.

Abb. 14 enthält noch für die in Heft 45 bis 47 der Forschungsarbeiten angeführten Balken Nr. 98, 99 und 100 einen Vergleich zwischen den rechnermäßigen und tatsächlichen Querschnittsbeanspruchungen der Eiseneinlagen. Diese Balken hatten einen Querschnitt von 20 auf 15 cm, eine Spannweite von 2 m und waren mit 3 Flacheisen von 7 mm Stärke, die mit herausstehenden Zapfen versehen waren,

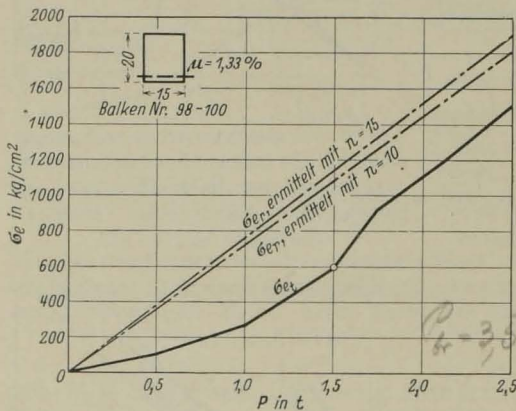


Abb. 14. Vergleich zwischen rechnermäßigen und tatsächlichen Eisenzugspannungen bei Rechteckbalken aus hochwertigem Beton (nach Versuchen von Bach).

die tatsächlichen Eisenzugspannungen ganz beträchtlich überschreiten. Erst unter größeren Belastungsstufen nimmt diese Überschreitung ab. Dabei sind die Unterschiede zwischen den mit  $n = 10$  ermittelten Eisenzugspannungen und den tatsächlichen Eisenzugspannungen etwas geringer als bei den mit  $n = 15$  ermittelten Eisenzugspannungen.

#### γ) Vorausbestimmung der zu erwartenden Bruchursache.

Wie bekannt und bereits erwähnt, wird der Bruch eines auf Biegung beanspruchten rechteckigen Tragwerkes, solange nicht die Schubwirkung die Biegewirkung übertrifft, entweder durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone oder aber durch Überwinden der Druckfestigkeit des Betons in der Druckzone herbeigeführt. In besonderen Fällen können beide Bruchursachen gleichzeitig auftreten.

Für die Vorausbestimmung der jeweils zu erwartenden Bruchursache wird zunächst untersucht, welche Druckfestigkeit  $\sigma_b$  der Beton bei gegebener Streckgrenze  $\sigma_s$  und Bewehrungsstärke  $\mu$  der Eiseneinlagen aufweisen muß, damit die Streckgrenze der Eiseneinlagen und die Druckfestigkeit des Betons gleichzeitig erreicht werden.

Beträgt das Bruchmoment  $M_{\max}$  und wird in Gl. 40a  $\sigma_b = \sigma_{b \max}$  und in Gl. 40b  $\sigma_e = \sigma_s$  gesetzt, so ermittelt sich mit

$$x = s \cdot h$$

bewehrt. Die Bewehrungsstärke betrug 1,33 %. Die Belastung der Balken erfolgte durch zwei Einzellasten  $P$ , die je 50 cm von Feldmitte entfernt waren. Der verwendete Beton wies eine Würfel-  
festigkeit von  $\sigma_{w30} = 228 \text{ kg/cm}^2$  auf.

Die Messung der Längenänderungen wurde bis zu  $P = 2,5 \text{ t}$  vorgenommen. Die Bruchlast betrug  $P_{t \max} = 3,5 \text{ t}$ .

Die rechnermäßigen Eisenzugspannungen wurden aus der Beziehung

$$(40b) \quad \sigma_e = \frac{M}{F_e \cdot \left( h - \frac{x}{3} \right)}$$

ermittelt.

Aus Abb. 14 geht hervor, daß sowohl die mit  $n = 15$  wie die mit  $n = 10$  berechneten Eisenzugspannungen

diese Druckfestigkeit allgemein aus dem Verhältnis

$$\frac{\sigma_{b \max}}{\sigma_s} = \frac{2 \cdot F_e}{b \cdot x} = \frac{2 \cdot \mu}{s}$$

zu

$$(41) \quad \sigma_{b \max} = \frac{2 \cdot \mu}{s} \cdot \sigma_s.$$

Dabei ist

$$(39a) \quad s = n \cdot \mu \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n \cdot \mu}} \right)$$

zu setzen.

In Abb. 15 sind für  $n = 15$  in Form von ausgezogenen Schaulinien die Beziehungen zwischen den Streckgrenzen  $\sigma_s = 2400, 3000, 3500$  und  $4000 \text{ kg/cm}^2$ , den Bewehrungsstärken von  $\mu = 0,4$  bis  $2\%$  und den Druckfestigkeiten  $\sigma_{b \max}$  so dargestellt, daß bei gegebener Bewehrungsstärke als Abszisse die zugehörige Ordinate bis zum Schnittpunkt mit jener Schaulinie, die der jeweiligen Streckgrenze entspricht<sup>1)</sup>, den gesuchten Wert für  $\sigma_{b \max}$ , der an der Ordinatenachse abgelesen werden kann, ergibt.

Aus Abb. 15 geht hervor, daß bei Bewehrungsstärken von  $0,4$  bis  $2\%$  die Höchstspannungen  $\sigma_{b \max}$  durch die Verwendung von Eiseneinlagen mit  $\sigma_s = 2400 \text{ kg/cm}^2$  Werte von  $\sigma_{b \max} = 67$  bis  $188 \text{ kg/cm}^2$  erreichen, die sich durch die Verwendung von Eiseneinlagen mit  $\sigma_s = 3000 \text{ kg/cm}^2$  auf  $\sigma_{b \max} = 82$  bis  $226 \text{ kg/cm}^2$ , mit  $\sigma_s = 3500 \text{ kg/cm}^2$  auf  $\sigma_{b \max} = 96$  bis  $264 \text{ kg/cm}^2$  und mit  $\sigma_s = 4000 \text{ kg/cm}^2$  auf  $\sigma_{b \max} = 110$  bis  $301 \text{ kg/cm}^2$  erhöhen.

Da die Werte  $\sigma_{b \max}$  Biegedruckfestigkeiten darstellen, so ergeben sich die entsprechenden, jeweils erforderlichen Würfelfestigkeiten des Betons so gering, daß sie praktisch meistens überschritten werden. Selbst für eine Bewehrungsstärke von  $2\%$  genügt bei Verwendung von gewöhnlichem Beton und normalen Eiseneinlagen mit einer Streckgrenze von z. B.  $\sigma_s = 2400 \text{ kg/cm}^2$  der Nachweis einer Würfelfestigkeit von etwa  $\sigma_{w20} = 125 \text{ kg/cm}^2$ , bei Verwendung von hochwertigem Beton und Stahleinlagen mit einer Streckgrenze von z. B.  $\sigma_s = 4000 \text{ kg/cm}^2$  der Nachweis einer Würfelfestigkeit von etwa  $\sigma_{w20} = 225 \text{ kg/cm}^2$ , wenn die Übertragungsziffer  $\beta = \frac{3}{2}$  bzw.  $\frac{4}{3}$  berücksichtigt wird (vgl. S. 12 ff.).

Welche zulässigen Spannungsverhältnisse  $\sigma_b/\sigma_e$  für Bewehrungsstärken bis zu  $2\%$  in Betracht kommen, geht aus folgender Abb. 16 hervor. In derselben sind für  $n = 15$  in Form von ausgezogenen Schaulinien die Beziehungen zwischen den zulässigen Betondruckspannungen von  $20$  bis  $100 \text{ kg/cm}^2$ , den zulässigen Eisenzugspannungen von  $800$  bis  $2000 \text{ kg/cm}^2$  und den zu bestimmten Spannungsverhältnissen  $\sigma_b/\sigma_e$  gehörigen Bewehrungsstärken  $\mu$  dargestellt.

Abb. 16 zeigt, daß bei einer Begrenzung der Bewehrungsstärke mit  $2\%$  wohl alle für die praktische Bauanwendung in Frage kommenden zulässigen Spannungsverhältnisse  $\sigma_b/\sigma_e$  erfaßt werden.

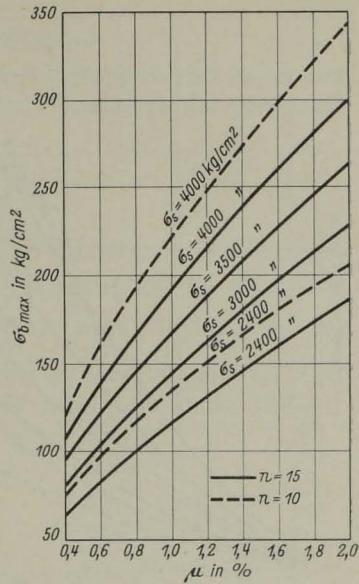


Abb. 15.

Der Zusammenhang zwischen  $\sigma_s, \mu$  und  $\sigma_{b \max}$  bei biegebeanspruchten Rechteckquerschnitten.

<sup>1)</sup> Zwischenwerte sind geradlinig einzumitteln.



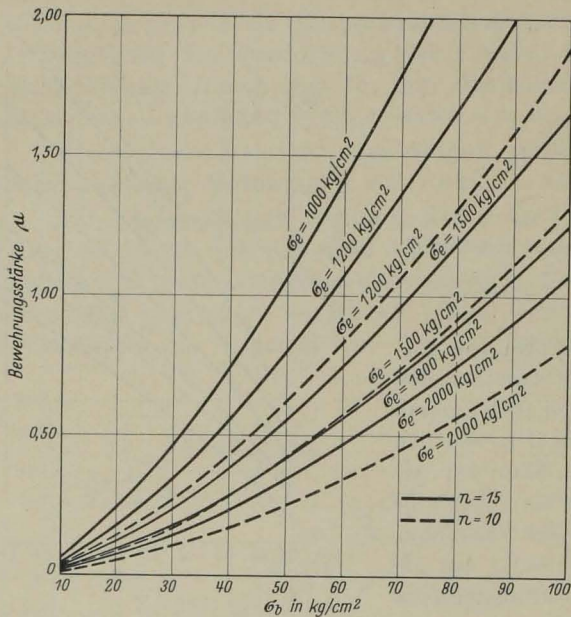


Abb. 16. Beziehungen zwischen  $\sigma_b$ ,  $\sigma_e$  und  $\mu$  bei biegebeanspruchten Rechteckquerschnitten.

schnittsbemessung mit  $n=10$  statt  $n=15$  vorgenommen, so wird damit eine größere Querschnittshöhe erzielt, doch nimmt die Bewehrungsstärke ab (vgl. die gestrichelten Schaulinien der Abb. 16).

#### d) Die zusammengesetzte Sicherheit.

Den vorstehenden Ausführungen ist zu entnehmen, daß in der Zugzone von biegebeanspruchten Platten und Balken gewöhnlich ein geringerer Sicherheitsgrad vorhanden ist als in der Druckzone. Die Folge davon ist, daß mit dem Erreichen der Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone der Bruchzustand noch nicht erreicht ist. Um diesen zu erreichen, ist es vielmehr nötig, so lange weiter zu belasten, bis durch das Strecken der Eiseneinlagen und durch das Klaffen des Bruchrisses die Druckzone derart eingeengt wird, daß die größte Kantenpressung der Betonfestigkeit entspricht. Mit dieser Einengung ist gleichzeitig eine Vergrößerung des Hebelarmes der Innenkräfte verbunden.

Die Tragfähigkeit von biegebeanspruchten Platten und Balken kann also über die durch die Streckspannung gegebene Grenze hinaus gesteigert werden, und zwar um so mehr, je druckfester der verwendete Beton ist.

Unter „zusammengesetzte Sicherheit“<sup>1)</sup> ist in den weiteren Ausführungen die Gesamtsicherheit der aus Zug- und Druckzone bestehenden biegebeanspruchten Tragwerke zu verstehen, während der in der Zugzone durch das Verhältnis  $\frac{\sigma_s}{\sigma_{e,zul}}$  bestimmte Sicherheitsgrad als solcher jeweils besonders gekennzeichnet werden soll.

<sup>1)</sup> Diese Bezeichnung stammt von M. Möller (38), S. 68.

Die bei biegebeanspruchten Platten und Balken zu erwartende Bruchursache ist also gewöhnlich im Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen zu sehen.

Wird statt mit  $n=15$  mit  $n=10$  gerechnet, so ändert sich an diesem Ergebnis nichts. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich bei gleichbleibenden

Querschnittsabmessungen und gleichbleibender Bewehrungsstärke  $\sigma_{b,max}$  mit  $n=10$  zwar größer ergibt als mit  $n=15$  (vgl. die gestrichelten Schaulinien der Abb. 15), gleichzeitig aber eine entsprechende Vergrößerung der Übertragungsziffer  $\beta$  zu berücksichtigen ist. Wird dagegen bei gleichbleibender Gebrauchslast und bei gleichbleibenden zulässigen Beanspruchungen die Quer-