

und mit

$$(35) \quad \omega' = \omega + \frac{e}{k}$$

sowie

$$P' = \sigma_{b,d,zul} \cdot F_i$$

ergibt sich, ähnlich wie S. 39 abgeleitet wurde,

$$(36a) \quad P' = \omega' \cdot P$$

und die zulässige Knickspannung aus der zulässigen Betondruckspannung durch die Beziehung

$$(36b) \quad \sigma_{k,zul} = \frac{\sigma_{b,d,zul}}{\omega'}$$

Die Knickberechnung der durch eine Druckkraft außermittig belasteten Säulen läßt sich demnach wie bei mittig belasteten Säulen durchführen, wenn an Stelle von  $\omega$  die Knickzahl  $\omega'$  der Gl. 35 gesetzt wird.

Dabei ist die Knickzahl  $\omega'$  beträchtlich größer als die Knickzahl  $\omega$ .

Für eine Säule mit dem Schlankheitsverhältnis  $\frac{l}{d} = 30$  und einer Außermittigkeit der Druckkraft von  $e = 0,3 d$  ermittelt sich z. B. für  $\sigma_{b,d,zul} = 100 \text{ kg/cm}^2$  nach Abb. 5  $\omega = 1,4$  und mit  $k = \text{rd. } 0,2 d$  (vgl. S. 55)  $\omega' = 2,9$ . Für  $e = 0,6 d$  ermittelt sich sogar  $\omega' = 4,4$ .

## b) Umschnürte Säulen.

### 1. Säulen ohne Knickgefahr.

Werden umschnürte Säulen durch eine Druckkraft außermittig belastet, so können sich recht verwickelte statische Verhältnisse ergeben. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die bei mittiger Druckbelastung hervorgerufene gleichmäßige Ausdehnung des Säulenumfanges und die damit bewirkte gleichmäßige Anspannung der Umschnürungseisen schon bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft nicht mehr vorhanden ist, nachdem der der Druckkraft näher liegende Teil des Säulenumfanges eine stärkere Querdehnung und damit eine stärkere Anspannung der Umschnürungseisen erfährt als der ferner liegende Teil.

Diese sich ergebenden verwickelten statischen Verhältnisse dürften auch die Ursache sein, daß bei den bis jetzt vorliegenden Berechnungsweisen von umschnürten Säulen mit außermittiger Druckkraft die Wirkung der Umschnürungseisen vernachlässigt wurde.

Im übrigen leiten sich trotz einer solchen Vernachlässigung z. B. wegen des meist gebräuchlichen achteckigen Querschnittsumrisses immer noch recht verwickelte Beziehungen zwischen der außermittigen Druckkraft und den Querschnittsbeanspruchungen ab, besonders wenn bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft die Berechnungsweise nach Zustand II zu berücksichtigen ist.

Dies geht z. B. aus den von Mörsch<sup>1)</sup> aufgestellten Beziehungen hervor. Nach denselben ermittelt sich die Tragfähigkeit der Säulen bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft, wenn  $r$  den Halbmesser des dem Achteck einbeschriebenen Kreises und  $F_e$  die Gesamtfläche der im Abstände  $a$  vom Mittelpunkt des Querschnittes befindlichen Längseisen bezeichnet, mit

$$F_i = 3,31 \cdot r^2 + n \cdot F_e$$

$$W_i = 0,88 \cdot r^3 + \frac{n \cdot F_e}{2r} \cdot a^2$$

<sup>1)</sup> Vgl. B. u. E. 1926, S. 88 ff.

sowie mit  $a = 0,87 \cdot r$  und  $F_e = \mu \cdot F_b$  zu

$$(37a) P_{r_{\max}} = \sigma_{w_{20}} \cdot \frac{r^2}{\frac{1}{3,31 \cdot (1 + n \cdot \mu)} + \frac{1}{0,88 + 1,24 \cdot n \cdot \mu} \cdot \frac{e}{r}} = \sigma_{w_{20}} \cdot f_1(r, n, e \dots)$$

oder zu

$$(37b) P_{r_{\max}} = 0,9 \cdot \sigma_{w_{20}} \cdot f_1(r, n, e \dots)$$

Bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft ermitteln sich dagegen Ausdrücke von der Form

$$(38a) P_{r_{\max}} = \sigma_s \cdot f_2(x, n, e \dots)$$

oder

$$(38b) P_{r_{\max}} = \sigma_{w_{20}} \cdot f_3(x, n, e \dots)$$

Bei den zulässigen Querschnittsbeanspruchungen  $\sigma_{b_{d_{zul}}}$ ,  $\sigma_{b_{zul}}$  und  $\sigma_{e_{zul}}$  ermittelt sich damit der jeweilige rechnermäßige Sicherheitsgrad aus Beziehungen, die den Gl. 32 u. 33 entsprechen.

Für die Ableitung des tatsächlichen Sicherheitsgrades kommen die Versuche in Betracht, die in Heft 3 des österr. Eisenbetonausschusses (24) enthalten sind. Diese Versuche wurden bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft allerdings nur an Säulen mit einem sechseckigen Querschnittsumriß durchgeführt. Da jedoch bei gleichbleibendem Halbmesser des einbeschriebenen Kreises sowohl die Querschnittsflächen wie die Widerstandsmomente eines gleichseitigen Sechsecks und Achtecks nur unerheblich voneinander abweichen, so können diese Versuche hier ohne weiteres ausgewertet werden. In Tafel 14 sind dieselben mit allen notwendigen Einzelheiten angeführt.

Die Druckfestigkeit des zu diesen Versuchen verwendeten Betons wurde an Würfeln von 20 cm Kantenlänge nachgewiesen. Deshalb ist für die rechnermäßige Ermittlung der Bruchlasten Gl. 37b anzuwenden.

Das Alter der baumäßig hergestellten Versuchskörper betrug am Tage der Prüfung bei den Säulen Nr. 153 und 154 60 Tage, bei den Säulen Nr. 156 und 158 56 Tage und bei den Säulen Nr. 165 und 166 98 Tage.

Wie aus Tafel 14 hervorgeht, besteht bei den Säulen Nr. 153 und 154 sowie Nr. 165 und 166 eine vorzügliche Übereinstimmung zwischen rechnermäßigen und tatsächlichen Bruchlasten.

Die nicht unerhebliche Abweichung zwischen rechnermäßiger und tatsächlicher Bruchlast bei den Säulen Nr. 156 und 158 dürfte auf eine andere Beschaffenheit des Betons in diesen Säulen wie in den zugehörigen Würfeln zurückzuführen sein.

Tafel 14. Vergleich zwischen rechnermäßiger und tatsächlicher Bruchlast von umschnürten Säulen bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft.

Veröffentlichung	Versuchsbezeichnung	Abmessungen und Eisen- einlagen der Säulen				$\sigma_{w_{20}}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_q$ kg/cm <sup>2</sup>	$e$ cm	$P_{r_{\max}}$ aus Gl. 37 b t	$P_{t_{\max}}$ t	$d$ %	Bemerkungen
		Halbmesser $r$ cm	Höhe cm	$\mu$ %	$\mu_s$ %							
Versuche des österr. Eisen- betonausschusses Heft 3 (Versuche von Spitzer)	153, 154	12,5	300	3,15	0,722	310	~2400	5	87	86,4	0	Mittelwert aus je 2 Versuchen
	156, 158	12,5	450	3,15	0,722	306	~2400	5	86	72	-16	
	165, 166	12,5	450	3,15	0,250	287	~2400	5	81	77	-5	

Versuche mit größerer Außermittigkeit der Druckkraft liegen nicht vor, so daß die Gl. 38 nicht nachprüfbar sind. Da umschnürte Säulen in Verbindung mit Pilzdecken immer häufiger ausgeführt werden und solche Säulen wegen der von den Pilzdecken übertragenen Biegemomente mit größerer Außermittigkeit der Druckkraft beansprucht werden können, erscheint es dringend nötig, Versuche durchzuführen, welche die Tragfähigkeit und damit die Sicherheit derart beanspruchter Säulen klarstellen.

## 2. Säulen mit Knickgefahr.

Die Knickberechnung hochbeanspruchter, durch eine Druckkraft außermittig belasteter umschnürter Säulen läßt sich wiederum ebenso wie bei den mittig belasteten Säulen vornehmen, wenn die Knickzahl  $\omega$  der Abb. 8 auf

$$\omega' = \omega + \frac{e}{k}$$

vergrößert wird.

Da die Kernweite umschnürter Säulen geringer ist als bei quadratischen und rechteckigen Säulen, so wird  $\omega'$  mit zunehmender Außermittigkeit der Druckkraft rasch größer.

Für eine umschnürte Säule mit dem Schlankheitsverhältnis  $\frac{l}{D} = 30$  und einer Außermittigkeit der Druckkraft von  $e = 0,3 D$  ermittelt sich z. B. für  $\sigma_{b_{zul}} = 100 \text{ kg/cm}^2$  nach Abb. 8  $\omega = 1,6$  und mit  $k = 0,13 D$   $\omega' = 3,9$ . Für  $e = 0,6 D$  ermittelt sich sogar  $\omega' = 6,2$ .

## C. Der auf Biegung beanspruchte Eisenbetonquerschnitt.

### Vorbemerkung.

Das häufigste Anwendungsgebiet des Eisenbetonbaues betrifft Tragwerke, die in der Hauptsache auf Biegung beansprucht werden. Die Tragfähigkeit derselben ist gewöhnlich durch den Widerstand der Zug- und Druckzone gegen Bruch begrenzt. Dabei ist der zuerst erschöpfte Widerstand für die Tragfähigkeit maßgebend.

Soweit der Widerstand der Zugzone für die Tragfähigkeit in Betracht kommt, ist für denselben in erster Linie die Bewehrungsstärke der Zugeisen und die Größe ihrer Streckgrenze maßgebend, ~~nachdem~~ die Zugfestigkeit des Betons schon unter verhältnismäßig geringen Belastungen überwunden wird. da

Soweit der Widerstand der Druckzone für die Tragfähigkeit in Betracht kommt, ist für denselben in der Hauptsache die Biegedruckfestigkeit des verwendeten Betons maßgebend.

Bei besonders ungünstigen Querschnittsabmessungen kann die Tragfähigkeit durch den Widerstand der Schubsicherung in der Nähe der Auflager begrenzt sein. Für denselben ist bei ausreichender Verbundfestigkeit zwischen Beton und Eisen im wesentlichen der Querschnitt und die Verteilung der abgelenkten Eisen sowie deren Streckgrenze maßgebend.

Die nachfolgende Untersuchung des Sicherheitsgrades von biegebeanspruchten Tragwerken wird auf Platten, Balken und Plattenbalken beschränkt. Die ermittelten Ergebnisse lassen sich ohne weiteres auf andere, gleichartig beanspruchte Tragwerke, z. B. auf Kragträger aus Eisenbeton, anwenden.