δ) Folgerungen.

Als wichtigstes Ergebnis der Ermittlungen ist anzuführen, daß die bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft aus den Gl. 23 mittels der Berechnungsweise nach Zustand I sowie die bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft aus den Gl. 28 mittels der Berechnungsweise nach Zustand II abgeleiteten Bruchlasten mit den tatsächlichen Bruchlasten recht gut übereinstimmen.

Damit wird bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft der beabsichtigte 3fache Sicherheitsgrad unter der Voraussetzung sorgfältiger Bauausführung auf jeden Fall erzielt, wenn z. B. an Würfeln von 20 cm Kantenlänge eine Betondruckfestigkeit nachgewiesen wird, die nach einer etwa 28tägigen Erhärtungszeit des Betons für $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 60$ kg/cm² $\sigma_{w_{20}} = \backsim 200$ kg/cm², für $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 80$ kg/cm² $\sigma_{w_{20}} = \backsim 265$ kg/cm² und für $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 100$ kg/cm² $\sigma_{w_{20}} = \backsim 330$ kg/cm² beträgt.

Bei hochbeanspruchten Säulen mit geringerer Außermittigkeit der Druckkraft und bei Verwendung von Beton gleicher Festigkeit wie bei mittig belasteten Säulen (vgl. S. 26) ergibt sich jedoch eine beträchtliche, mindestens 35 % betragende Überschreitung der vorstehend angeführten Würfelfestigkeiten und statt eines 3fachen ein mindestens 4facher Sicherheitsgrad.

Bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft tritt die Zerstörung des Verbundes im allgemeinen durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen ein. In diesem Falle sind für die Sicherheit in erster Linie die Eiseneinlagen maßgebend, und der beabsichtigte Sicherheitsgrad ist gewährleistet, wenn die zulässige Eisenzugspannung den durch diesen Sicherheitsgrad bestimmten Teil der Streckgrenze nicht überschreitet.

Die rechnungsmäßigen Betondruckspannungen ergaben sich bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft für Beton mit $\sigma_{w_{20}} = \backsim 250$ kg/cm² bis zu 10 % kleiner als die tatsächlichen Betondruckspannungen. Die unter verschiedenen Belastungsstufen vorhandenen Abweichungen zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Betondruckspannungen sind also bei Verwendung von hochwertigem Beton gering. Bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft ergaben sich diese Abweichungen ebenfalls gering, wobei sich für hochwertigen Beton mit $n = 10$ zutreffendere Werte ermitteln als mit $n = 15$.

2. Säulen mit Knickgefahr.

Liegen hochbeanspruchte, durch eine Druckkraft außermittig belastete Säulen mit einfacher Bügelbewehrung vor, die besonders schlanke Abmessungen aufweisen, so läßt sich die Knickberechnung solcher Säulen sehr einfach mittels der bereits abgeleiteten Knickzahl ω vornehmen. Wird nämlich davon ausgegangen, daß die Knicksicherheit wie für eine mittig belastete Säule nachzuweisen ist (D. B. § 27, 2), so ermittelt sich aus der Beziehung

$$\sigma = \frac{\omega \cdot P}{F_i} + \frac{P \cdot e}{W_i}$$

ohne weiteres mit $\sigma = \sigma_{b_{d_{zul}}}$

$$P = \sigma_{b_{d_{zul}}} \cdot \frac{F_i}{\omega + \frac{e}{k}}$$

und mit

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

sowie
$$P' = \sigma_{b_{d_{zul}}} \cdot F_i$$

ergibt sich, ähnlich wie S. 39 abgeleitet wurde,

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

und die zulässige Knickspannung aus der zulässigen Betondruckspannung durch die Beziehung

(36b)
$$\sigma_{k_{zul}} = \frac{\sigma_{b_{d_{zul}}}}{\omega'}.$$

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

Dabei ist die Knickzahl ω' beträchtlich größer als die Knickzahl ω.

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 $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 100$ kg/cm² 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[1]) 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 Abstande a vom Mittelpunkt des Querschnittes befindlichen Längseisen bezeichnet, mit

$$F_i = 3{,}31 \cdot r^2 + n \cdot F_e$$
$$W_i = 0{,}88 \cdot r^3 + \frac{n \cdot F_e}{2\,r} \cdot a^2$$

[1]) Vgl. B. u. E. 1926, S. 88 ff.