wird, wiederum ganz beträchtlich ab. Es wird deshalb vorgeschlagen, die vorgeschriebenen Knickzahlen wenigstens dahingehend abzuändern, daß sie von $\frac{l}{D} = 15$ mit $\omega = 1$ bis $\frac{l}{D} = 35$ mit $\omega = 2{,}5$ geradlinig zunehmen.

Mit einer derartigen Zunahme der Knickzahlen wird immer noch eine reichliche Sicherheit gegenüber der Gefahr des Ausknickens erzielt.

Dies läßt sich versuchsmäßig — allerdings nur an einem Beispiel — nachweisen, nachdem sich unter den von der französischen Kommission für Eisenbeton geprüften Säulen eine umschnürte Säule befand, die ausknickte [vgl. (7) S. 297 oder (13) S. 415]. Diese Säule hatte den S. 48 beschriebenen Querschnitt, 4 m Höhe, sowie eine Bewehrungsstärke von $\mu = 1{,}13\,\%$ und $\mu' = 1{,}35\,\%$. Mit $D = 18{,}4$ cm errechnet sich $\frac{l}{D} = 22$. Die Prismenfestigkeit des Betons betrug $\sigma_p = 243$ kg/cm². Die Knicklast ergab sich mit 101,5 t.

Rechnungsmäßig ermittelt sich für diese Säule mit $n = 12$, $m = 25$ und $\sigma_{b_{zul}} = 80$ kg/cm² sowie mit der vorgeschlagenen Knickzahl $\omega = 1{,}5$ (vgl. Abb. 8) eine zulässige Gebrauchslast von 21 t, also ein 4,8facher Sicherheitsgrad. Mit der tatsächlichen Knickzahl $\omega = 1{,}15$ ermittelt sich dagegen eine zulässige Gebrauchslast von 27 t, also ein 3,8facher Sicherheitsgrad[1]).

Wird mit der in den D. B. vorgeschriebenen Knickzahl $\omega = 2{,}1$ gerechnet, so ergibt sich eine zulässige Gebrauchslast von nur 15 t, also ein 6,8facher Sicherheitsgrad. Der beabsichtigte 3fache Sicherheitsgrad wird demnach ganz beträchtlich überschritten.

B. Der durch eine Druckkraft außermittig belastete Eisenbetonquerschnitt.

a) Säulen mit einfacher Bügelbewehrung.

1. Säulen ohne Knickgefahr.

α) Allgemeines.

Für die Ableitung des Sicherheitsgrades von hochbeanspruchten, durch eine Druckkraft außermittig belasteten Säulen mit einfacher Bügelbewehrung ist streng zwischen geringerer und größerer Außermittigkeit der Druckkraft zu unterscheiden. Im ersten Falle geht die Zerstörung des Verbundes von der Druckzone des Querschnittes aus, indem der Beton zerdrückt und die Quetschgrenze der in der Druckzone befindlichen Eiseneinlagen überschritten wird. Im letzten Falle dagegen geht bei geringerer Bewehrungsstärke die Zerstörung des Verbundes von der Zugzone des Querschnittes aus, indem die Streckgrenze der dort befindlichen Eiseneinlagen überschritten wird. Bei größerer Bewehrungsstärke kann der Beton in der Druckzone zerstört werden, bevor die Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone erreicht wird.

Für die Ableitung der Tragfähigkeit der Säulen bei geringerer, noch näher zu begrenzender Außermittigkeit der Druckkraft kommt bekanntlich

[1]) Bei dieser Säule wurde also der beabsichtigte 3fache Sicherheitsgrad nicht unerheblich überschritten. Dies ist zweifellos darauf zurückzuführen, daß sich wegen Fehlens von kugelförmig gelagerten Druckplatten in der Prüfungsmaschine die Enden der Säulen während des Versuches nicht drehen konnten, was eine Verringerung der freien Knicklänge und damit eine Erhöhung des unter Berücksichtigung der vollen Säulenhöhe abgeleiteten Sicherheitsgrades zur Folge hat.

die den vollen Eisenbetonquerschnitt berücksichtigende Berechnungsweise nach Zustand I in Betracht. Bezeichnet F_i diesen Querschnitt und W_i dessen Widerstandsmoment, so ermittelt sich, wenn die auf die Mittelachse des Querschnittes bezogene Außermittigkeit der Druckkraft e beträgt, die zu erwartende Tragfähigkeit der Säulen aus der Beziehung

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

zu

$$P_{r_{\max}} = \sigma \cdot \frac{F_i \cdot W_i}{W_i + e \cdot F_i}. \tag{22a}$$

Für σ ist die Würfelfestigkeit des Betons einzusetzen. Dieselbe ergibt sich aus folgender Überlegung.

Wird nämlich Gl. 22a umgeformt in

$$P_{r_{\max}} = \sigma \cdot \frac{F_i}{1 + e \cdot \frac{F_i}{W_i}} \tag{22b}$$

oder mit der Kernweite k des Eisenbetonquerschnitts in

$$P_{r_{\max}} = \sigma \cdot \frac{F_i}{1 + \frac{e}{k}}, \tag{22c}$$

so entspricht sie in ihrem Aufbau vollständig der sich aus Gl. 11 mit F_i ergebenden Gleichung für die Knicklast einer Säule

$$P_k = \sigma_w \cdot \frac{F_i}{1 + \frac{0{,}1}{a} \cdot \lambda^2}. \tag{11d}$$

Zwischen den Gl. 22 und 11d besteht außerdem insofern noch ein Zusammenhang, als sich das Ausknicken gedrückter Säulen stets auf einen außermittigen Kraftangriff zurückführen läßt, der entweder schon vom Beginne der Belastung an vorhanden ist oder erst mit zunehmender Belastung entsteht. Dabei ist dieser Kraftangriff an einem Hebelarm

$$e = \frac{0{,}1}{a} \cdot \frac{l^2}{x_d}$$

wirkend zu denken, wenn x_d den Abstand der Schwerachse vom kraftseitigen Querschnittsrand bezeichnet[1]). Dieser Hebelarm ist also neben x_d auch von der Säulenhöhe und der Güte des verwendeten Betons abhängig.

Es erscheint somit berechtigt, in den Gl. 22 für σ die Würfelfestigkeit des Betons einzusetzen. Eine weitere Frage ist allerdings die, ob $P_{r_{\max}}$ zutreffender mit der an Würfeln von 20 oder 30 cm Kantenlänge ermittelten Betondruckfestigkeit erfaßt wird.

Bei der Gl. 11 war diese Frage verhältnismäßig einfach zu beantworten, nachdem die an Würfeln von 20 oder 30 cm Kantenlänge ermittelten Werte σ_w und die jeweils zugehörigen Beiwerte a, besonders bei nicht zu großer Würfelfestigkeit, in einer derartigen Wechselbeziehung zueinander stehen, daß ein gewisser Ausgleich des Ergebnisses herbeigeführt wird. Dagegen fehlt bei den Gl. 22 eine derartige Wechselbeziehung.

Es muß deshalb an Hand der vorliegenden Versuchsergebnisse entschieden werden, welche Art Würfelfestigkeit zu berücksichtigen ist. Wie die späteren Ausführungen zeigen werden, wird $P_{r_{\max}}$ mit $\sigma_{w_{30}}$ zutreffender erfaßt wie mit $\sigma_{w_{20}}$.

1) Vgl. Föppl (9), S. 377 u. 378.

Es beträgt also bei Verwendung von Würfeln mit 30 cm Kantenlänge

(23a) $$P_{r_{\max}} = \sigma_{w_{30}} \cdot \frac{F_i}{1 + e \cdot \frac{F_i}{W_i}}$$

und bei Verwendung von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge

(23b) $$P_{r_{\max}} = 0{,}9 \cdot \sigma_{w_{20}} \cdot \frac{F_i}{1 + e \cdot \frac{F_i}{W_i}}.$$

Dabei ist für die praktische Anwendung dieser Gleichungen, entsprechend den Ausführungen S. 5, die Würfelfestigkeit des Betons nach einer etwa 28tägigen Erhärtungszeit einzusetzen.

Für die Anwendbarkeit der Gl. 23 gilt hinsichtlich des bei Ableitung von F_i und W_i zu berücksichtigenden Verhältnisses n, des bei Verwendung von hochwertigem Baustahl einzuhaltenden Bügelabstandes sowie der Begrenzung der Bewehrungsstärke sinngemäß das bereits auf S. 20 ff. Gesagte.

Weiter ist für die Anwendbarkeit der Gl. 23 eine Begrenzung der Außermittigkeit e nötig. Die aus den D. B. (§ 27, 2) abzuleitende Begrenzung ergibt sich daraus, daß die aus den Beziehungen

(24a) $$\sigma_{b_d} = \frac{P}{F_i} + \frac{P \cdot e}{W_i}$$

und

(24b) $$\sigma_{b_z} = \frac{P}{F_i} - \frac{P \cdot e}{W_i}$$

errechneten Betondruck- und Betonzugspannungen das Verhältnis $\psi = \frac{\sigma_{b_d}}{\sigma_{b_z}} = -4$ nicht überschreiten dürfen. Da sich aus vorstehenden Beziehungen

(25) $$e = \frac{\psi + 1}{\psi - 1} \cdot k$$

ableiten läßt, kann die für die Anwendbarkeit der Gl. 23 zugelassene Außermittigkeit e bei bekannter Kernweite des Eisenbetonquerschnitts ermittelt werden.

Für quadratische und rechteckige Eisenbetonquerschnitte mit beiderseits gleichgeteilter Bewehrung $F_e = F_e'$ [1]) und einem Randabstand der Eiseneinlagen von $a = 0{,}08\,d$ beträgt die Kernweite mit $\mu = \mu' = \frac{F_e}{b \cdot d}$

(26) $$k = \frac{1 + 2{,}13 \cdot n \cdot \mu}{1 + n \cdot \mu} \cdot \frac{d}{6}.$$

Es ermittelt sich z. B. bei einer

Gesamtbewehrung von	1 %	3 %
mit $n = 15$	$k = 0{,}192\,d$	$0{,}225\,d$
mit $n = 10$	$k = 0{,}183\,d$	$0{,}209\,d$

und die für die Anwendbarkeit der Gl. 23 nach den D. B. sich ergebende Begrenzung der Außermittigkeit e beträgt bei einer

Gesamtbewehrung von	1 %	3 %
mit $n = 15$	$e = 0{,}320\,d$	$0{,}375\,d$
mit $n = 10$	$e = 0{,}305\,d$	$0{,}348\,d$.

[1]) Die nachstehenden Ausführungen werden auf Eisenbetonsäulen mit beiderseits gleichgeteilter Bewehrung beschränkt, nachdem diese Art der Bewehrung wohl am häufigsten zur Anwendung kommt.

Dieselbe schwankt also je nach Bewehrungsstärke zwischen etwa 0,3 bis 0,4 d.

Für die Ableitung der Tragfähigkeit der Säulen bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft kommt bekanntlich die die Betonzugzone des Eisenbetonquerschnitts nicht berücksichtigende Berechnungsweise nach Zustand II in Betracht. Bezeichnet x den Abstand der Nullinie des Querschnitts vom gedrückten Rand sowie $F_e = F_e'$ den Querschnitt der beiderseits gleichgeteilten Bewehrung und wird bei geringerer Bewehrungsstärke unter der Bruchlast die Streckgrenze σ_s der Eiseneinlagen in der Zugzone erreicht, bevor der Widerstand des Betons in der Druckzone erschöpft ist, so ermittelt sich mit der statischen Querschnittshöhe h die zu erwartende Tragfähigkeit der Säulen aus den Beziehungen [vgl. z. B. Mörsch (25), S. 391]

(27a) $$P = \sigma_b \cdot \left[\frac{b \cdot x}{2} + n \cdot F_e \cdot \left(2 - \frac{d}{x}\right)\right]$$ und

(27b) $$\sigma_b = \frac{\sigma_e}{n} \cdot \frac{x}{h - x}$$ zu

(28a) $$P_{r_{\max}} = \frac{\sigma_s}{n} \cdot \frac{x}{h - x} \cdot \left[\frac{b \cdot x}{2} + n \cdot F_e \cdot \left(2 - \frac{d}{x}\right)\right].$$

Wird dagegen bei größerer Bewehrungsstärke unter der Bruchlast der Beton in der Druckzone zerstört, bevor die Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone erreicht ist, so ermittelt sich die zu erwartende Tragfähigkeit der Säulen, wenn unter Hinweis auf die Ausführungen S. 14 bei Verwendung von hoch- oder höchstwertigem Beton als unterer Grenzfall die Biegedruckfestigkeit des Betons seiner an Würfeln von 20 cm Kantenlänge ermittelten Druckfestigkeit gleichgesetzt wird, nach Gl. 27a zu

(28b) $$P_{r_{\max}} = \sigma_{w_{20}} \cdot \left[\frac{b \cdot x}{2} + n \cdot F_e \cdot \left(2 - \frac{d}{x}\right)\right].$$

Für die Anwendbarkeit der Gl. 28 ist zu beachten, daß der für die Ableitung von x aus der bekannten kubischen Gleichung zu berücksichtigende Wert n nach anderen Gesichtspunkten zu ermitteln ist als bei den mittig oder mit geringerer Außermittigkeit auf Druck beanspruchten Säulen. Zweckmäßig wird bei Verwendung von gewöhnlichem oder höherwertigem Beton $n = 15$, bei Verwendung von hoch- oder höchstwertigem Beton $n = 10$ gesetzt. Dies wird bei Behandlung der auf Biegung beanspruchten Eisenbetonkonstruktionen noch näher begründet.

Zwischen der meistens gegebenen Gebrauchslast P und der unter dieser Last vorhandenen Querschnittsbeanspruchung $\sigma_{b_{d_{\text{zul}}}}$ besteht für die Berechnungsweise nach Zustand I die Beziehung

(29) $$P = \sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} \cdot \frac{F_i}{1 + e \cdot \frac{F_i}{W_i}}.$$

Für die Berechnungsweise nach Zustand II ermittelt sich dagegen $\sigma_{b_{\text{zul}}}$ aus Gl. 27a.

Die kraftseitige Querschnittsbeanspruchung $\sigma_{e_d'}$ der Eiseneinlagen unter der Gebrauchslast beträgt für die Berechnungsweise nach Zustand I

(30) $$\sigma_{e_d}' = n \cdot \sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} \cdot \frac{x_d - a}{x_d},$$

während sich für die Berechnungsweise nach Zustand II

(31a) $$\sigma_e' = n \cdot \sigma_{b_{\text{zul}}} \cdot \frac{x - a}{x}$$

und die Eisenzugspannung aus Gl. 27b zu

$$(31\text{b})\qquad \sigma_e = \frac{n \cdot \sigma_{b_{\text{zul}}}}{x} \cdot (h - x)$$

ergibt.

β) Der rechnungsmäßige Sicherheitsgrad.

Der aus dem Verhältnis der Bruch- zur Gebrauchslast abzuleitende Sicherheitsgrad vereinfacht sich bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft aus den Gl. 23 u. 29 zu

$$(32\text{a})\qquad \nu_r = \frac{\sigma_{w_{30}}}{\sigma_{b_{d_{\text{zul}}}}}$$

oder zu

$$(32\text{b})\qquad \nu_r = 0{,}9 \cdot \frac{\sigma_{w_{20}}}{\sigma_{b_{d_{\text{zul}}}}}.$$

Bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft ergibt sich aus den Gl. 28b u. 27a, wenn $\sigma_b = \sigma_{b_{\text{zul}}}$ gesetzt wird,

$$(33\text{a})\qquad \nu_r = \frac{\sigma_{w_{20}}}{\sigma_{b_{\text{zul}}}}$$

bzw. aus den Gl. 28a u. 27b, wenn $\sigma_e = \sigma_{e_{\text{zul}}}$ gesetzt wird,

$$(33\text{b})\qquad \nu_r = \frac{\sigma_s}{\sigma_{e_{\text{zul}}}}.$$

γ) Der tatsächliche Sicherheitsgrad.

Die vorliegenden Versuche an außermittig belasteten Säulen mit einfacher Bügelbewehrung sind nicht zahlreich und beschränken sich fast durchweg auf eine geringe Außermittigkeit der Druckkraft. Teilweise sind sie auch nicht einwandfrei durchgeführt.

Versuche mit geringerer und größerer Außermittigkeit der Druckkraft wurden bisher lediglich von Bach und Graf (23), Heft 166 bis 169, an Säulen durchgeführt, die bei quadratischem Querschnitt von 40 cm Seitenlänge und 2,5 m Höhe u. a. beiderseits mit 4 Rundeisen von 16 mm oder mit 4 Rundeisen von 22 mm Durchm. bewehrt waren. Die Bewehrungsstärke betrug also $\mu = \mu' = 0{,}5$ bzw. 1 %. Angaben über die Quetschgrenze der Längseisen sowie über die Querbewehrung der Säulen wurden bereits S. 21 gemacht. Die Streckgrenze der Längseisen betrug 3773 bzw. 3672 kg/cm². Der bei den Versuchen verwendete Beton wies, wie ebenfalls bereits erwähnt wurde, eine an Würfeln von 30 cm Kantenlänge ermittelte Druckfestigkeit von 225 kg/cm² (also von $\sigma_{w_{20}} = \sim 250$ kg/cm²) auf, war also hochwertig. Die gewählten Außermittigkeiten der Druckkraft betrugen 10, 20 und 50 cm und waren auf die Mittelachse des Querschnitts bezogen. Die Versuchskörper wurden in einem Alter von 45 Tagen geprüft.

Die besondere Eignung dieser Versuche für die Ableitung des Sicherheitsgrades außermittig belasteter Säulen ist darauf zurückzuführen, daß bei denselben alle für eine einwandfreie Auswertung notwendigen Ermittlungen vorgenommen wurden. Auch wurden alle störenden Nebenerscheinungen wie Formänderungen durch die Querkraft oder Gleiten der Eiseneinlagen infolge Überwindung der Haftfestigkeit des Betons mittels zweckmäßiger Anordnungen ausgeschaltet.

Zunächst soll untersucht werden, inwieweit mit der die Berechnungsweise nach Zustand I berücksichtigenden Gl. 23a die tatsächlichen Bruchlasten erfaßt werden.

Tafel 10. Vergleich zwischen rechnungsmäßiger und tatsächlicher Bruchlast von quadratischen Säulen mit einfacher Bügelbewehrung bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft.

Veröffentlichung	Versuchs-bezeich-nung	Abmessungen und Eiseneinlagen der Säulen: Quer-schnitt-seite cm	Höhe cm	$F_e = F_e'$ cm²	σ_w kg/cm²	σ_q kg/cm²	e cm	$P_{r_{max}}$ t	$P_{t_{max}}$ t	Δ %	Bemerkungen
a) Bei Ermittlung der Druckfestigkeit des Betons mittels 30-cm-Würfel ($P_{r_{max}}$ aus Gl. 23a).											
Forschungsarbeiten Heft 166 bis 169 (Versuche von Bach u. Graf)	107, 108	40	250	8,04	225	3680	10	194	202,5	+ 4	Mittelwert aus 2 Versuchen
	99, 102, 118	40	250	8,04	225	3680	20	125	124	— 1	Mittelwert aus 3 Versuchen
	140, 141	40	250	15,21	225	3754	10	237	225	— 5	Mittelwert aus je 2 Versuchen
	122, 137	40	250	15,21	225	3754	20	155	157,5	+ 1,5	
	123, 138	40	250	15,21	225	3754	30	112	105	— 6,5	
Versuche der franz. Komm. f. Eisenbeton	2	40	500	4,02	(334)	~3000	10	236	241,6	+ 2,5	Einzelversuch
b) Bei Ermittlung der Druckfestigkeit des Betons mittels 20-cm-Würfel ($P_{r_{max}}$ aus Gl. 23b).											
Versuche des österr. Eisenbetonausschusses Heft 3 (Versuche von Spitzer)	55	25	450	9,82	300	~2400	5	114	107,6	— 6	Einzelversuch
	163, 164	25	300	4,02	254	~2400	5	84	87	+ 3,5	Mittelwert aus je 2 Versuchen
	173, 174	25	300	8,90	342	~2400	5	119	120,5	+ 1	

Wie Vergleichsrechnungen zeigen, kommen für diese Untersuchung bei den mit 8 Rundeisen von 16 mm Durchm. bewehrten Säulen die Versuche mit Außermittigkeiten der Druckkraft bis zu 20 cm ($e = 0{,}5\,d$), bei den mit 8 Rundeisen von 22 mm Durchm. bewehrten Säulen sogar die Versuche mit Außermittigkeiten der Druckkraft bis zu 30 cm ($e = 0{,}75\,d$) in Betracht.

Diese Außermittigkeiten überschreiten demnach erheblich die sich nach den D. B. für die Berechnungsweise nach Zustand I ergebende Begrenzung der Außermittigkeiten mit rd. 0,3 bzw. 0,4 d (vgl. S. 55).

Tafel 10a enthält die näheren Einzelheiten der Versuche sowie alle zur Ermittlung der rechnungsmäßigen Bruchlasten nach Gl. 23a notwendigen Angaben. Außerdem enthält die Tafel die in Hundertteilen ausgedrückten Abweichungen Δ zwischen $P_{r_{max}}$ und $P_{t_{max}}$.

Weiter ist in Tafel 10a der von der französischen Kommission für Eisenbeton (7) an einer mit 4 Rundeisen von 16 mm Durchm. bewehrten quadratischen Säule von 40 cm Seitenlänge und 5 m Höhe vorgenommene Versuch mit einer Außermittigkeit der Druckkraft von 5 cm angeführt[1]). Die in der Tafel in Klammern genannte Würfelfestigkeit des bei diesem Versuch verwendeten Betons wurde dabei aus der ermittelten Prismenfestigkeit von 250 kg/cm² umgerechnet.

Aus Tafel 10a geht hervor, daß eine als recht befriedigend anzusprechende Übereinstimmung zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Bruchlasten besteht. Die Abweichungen Δ schwanken lediglich zwischen 1 und 6,5%.

[1]) Ein weiterer gleichlaufender Versuch, bei dem die Säule mit 4 Rundeisen von 45 mm Durchm. bewehrt war, ist in Tafel 10a deshalb nicht angeführt, weil infolge der sehr starken Bewehrung die Eiseneinlagen nur teilweise ausgenutzt wurden.

Damit ist die Richtigkeit der Berücksichtigung von $\sigma_{w_{30}}$ in Gl. 23a sowie die Brauchbarkeit des in dieser Gleichung festgelegten Verhältnisses $n = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_{w_{30}}}$ erwiesen. Wäre nämlich in dieser Gleichung $\sigma_{w_{20}}$ eingesetzt worden, so hätten sich die Abweichungen Δ bis zu 17% nach der für die Sicherheit ungünstigen Seite hin ergeben.

Versuche an Säulen mit einfacher Bügelbewehrung und einer geringen Außermittigkeit der Druckkraft, bei denen die Druckfestigkeit des verwendeten Betons gleichzeitig an Würfeln von 20 cm Kantenlänge nachgewiesen wurde, sind in Heft 3 des österr. Eisenbetonausschusses (24) enthalten. In Tafel 10b sind dieselben mit allen notwendigen Einzelheiten angeführt. Für die rechnungsmäßige Ermittlung der Bruchlasten kommt Gl. 23b in Betracht.

Das Alter der baumäßig hergestellten Versuchskörper betrug am Tage der Prüfung bei der Säule Nr. 55 57 Tage, bei den Säulen Nr. 163 und 164 98 Tage und bei den Säulen Nr. 173 und 174 148 Tage. Bei den letzten beiden Säulen bestand die Längsbewehrung aus Winkeleisen.

Wie aus Tafel 10b hervorgeht, besteht auch bei diesen Versuchen eine als recht befriedigend anzusprechende Übereinstimmung zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Bruchlasten. Die Abweichungen schwanken lediglich zwischen 1 und 6%.

Damit ist die Richtigkeit des Beiwertes 0,9 der Gl. 23b und die Brauchbarkeit des in dieser Gleichung festgelegten Verhältnisses $n = \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_{w_{20}}}$ erwiesen. Wäre nämlich der genannte Beiwert nicht berücksichtigt worden, so hätten sich die Abweichungen Δ bis zu 18% nach der für die Sicherheit ungünstigen Seite hin ergeben.

Wird noch untersucht, inwieweit mit der die Berechnungsweise nach Zustand II berücksichtigenden Gl. 28a die tatsächliche Bruchlast erfaßt wird, so kommen für diese Untersuchung wiederum die weiter oben behandelten Versuche von Bach und Graf in Betracht, nachdem die Zerstörung der mit 8 Rundeisen von 16 mm und 22 mm Durchm. bewehrten Säulen bei einer Außermittigkeit der Druckkraft von 30 und 50 cm in der Hauptsache durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone eingeleitet wurde.

Tafel 11 enthält die näheren Einzelheiten der Versuche sowie die zur Ermittlung der rechnungsmäßigen Bruchlasten nach Gl. 28a notwendigen Angaben, wobei im Hinblick auf die Ausführungen S. 56 für die Ableitung von x $n = 10$ berücksichtigt wurde. Außerdem enthält die Tafel die in Hundertteilen ausgedrückten Abweichungen Δ zwischen $P_{r_{\max}}$ und $P_{t_{\max}}$.

Tafel 11. Vergleich zwischen rechnungsmäßiger und tatsächlicher Bruchlast von quadratischen Säulen mit einfacher Bügelbewehrung bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft

Veröffentlichung	Versuchsbezeichnung	Abmessungen und Eiseneinlagen der Säulen: Querschnittseite cm	Höhe cm	$F_e = F_e'$ cm²	$\sigma_{w_{30}}$ kg/cm²	σ_s kg/cm²	e cm	$P_{r_{\max}}$ aus Gl. 28a t	$P_{t_{\max}}$ t	Δ %	Bemerkungen
Forschungsarbeiten	100, 103	40	250	8,04	225	3773	30	62,5	69,6	+ 11	Mittelwert aus je 2 Versuchen
Heft 166 bis 169	101, 104	40	250	8,04	225	3773	50	30	32,4	+ 8	
(Versuche	123, 138	40	250	15,21	225	3672	30	99	105	+ 6	
von Bach u. Graf)	124, 139	40	250	15,21	225	3672	50	49	53,5	+ 9	

Wie aus Tafel 11 hervorgeht, stimmen die rechnungsmäßigen und tatsächlichen Bruchlasten recht gut überein. Die Abweichungen Δ schwanken lediglich zwischen 6 und 11%.

Aus dieser guten Übereinstimmung läßt sich folgern, wie zutreffend $n = 10$ berücksichtigt wurde. Wäre nämlich nach den D.B. mit $n = 15$ gerechnet worden, so hätten sich die Abweichungen Δ bis zu 15% nach der für die Sicherheit ungünstigen Seite hin ergeben.

Da die Zerstörung der mit 8 Rundeisen von 22 mm Durchm. bewehrten Säulen bei einer Außermittigkeit der Druckkraft von 30 cm derart erfolgte, daß gleichzeitig mit dem Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone die Zerstörung des Betons in der Druckzone erfolgte, so kann für diesen Fall die rechnungsmäßige Bruchlast auch nach Gl. 28b abgeleitet werden. Wird in derselben $\sigma_{w_{20}} = \sim 250$ kg/cm² eingesetzt, so errechnet sich mit $n = 10$ $P_{r_{\max}} = 92$ t. Dieser Wert weicht also von $P_{t_{\max}} = 105$ t nur um 12,5% ab.

Es sei noch bemerkt, daß sich bei Anwendung der die Berechnungsweise nach Zustand II berücksichtigenden Gl. 28b bei geringeren Außermittigkeiten der Druckkraft als etwa $e = 0{,}75$ bzw. $0{,}5\,d$ (vgl. S. 58) beträchtliche Unterschiede zwischen rechnungsmäßiger und tatsächlicher Bruchlast ergeben.

Zusammengefaßt zeigen die angeführten Versuche, daß bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft die Gl. 23, bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft die Gl. 28 zweifellos eine zuverlässige Grundlage für die Sicherheitsberechnung von außermittig beanspruchten Säulen mit einfacher Bügelbewehrung bieten.

Es kann also unter Umgehung der Gl. 2 die Ableitung des tatsächlichen Sicherheitsgrades bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft genügend genau mittels der Gl. 32 vorgenommen werden. Es ergibt sich dann folgendes Bild:

Soweit bei hochbeanspruchten Säulen mit einfacher Bügelbewehrung und geringerer Außermittigkeit der Druckkraft die Zerstörung des Verbundes infolge Überwindung der Druckfestigkeit des Betons eingeleitet wird, ist bei voller Ausnutzung der zulässigen Betondruckspannung für die Einhaltung des nach den Ausführungen S. 6 vorgesehenen 3fachen Sicherheitsgrades bei Verwendung von Würfeln mit 30 cm Kantenlänge unter der Voraussetzung sorgfältiger Bauausführung eine Betondruckfestigkeit von etwa

$$\sigma_{w_{30}} = 3{,}0 \cdot \sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} \tag{34a}$$

bei Verwendung von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge unter der gleichen Voraussetzung eine Betondruckfestigkeit von etwa

$$\sigma_{w_{20}} = 3{,}3 \cdot \sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} \tag{34b}$$

nachzuweisen[1]).

Es ist also nach einer etwa 28tägigen Erhärtungszeit des Betons (vgl. S. 5)

für $\sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} = 60$ kg/cm² eine Würfelfestigkeit von etwa 200 kg/cm²
„ $\sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} = 80$ „ „ „ „ „ 265 „ und
„ $\sigma_{b_{d_{\text{zul}}}} = 100$ „ „ „ „ „ 300 „

nachzuweisen.

---

[1]) Nach den D. B. (§ 29, Tafel IV) genügt der Nachweis einer Würfelfestigkeit von $\sigma_{w_{20}} = 3 \cdot \sigma_{b_{d_{\text{zul}}}}$, womit sich als unterer Grenzfall ein 2,7facher Sicherheitsgrad ergibt.

Für hochbeanspruchte Säulen mit geringerer Außermittigkeit der Druckkraft wird jedoch Beton gleicher Festigkeit verwendet wie für mittig belastete Säulen. Es kann also für bestimmte zulässige Betondruckspannungen mit mindestens denselben Würfelfestigkeiten gerechnet werden, wie sie S. 26 angeführt wurden. Damit ergibt sich eine beträchtliche, mindestens 35% betragende Überschreitung der vorstehend angeführten Würfelfestigkeiten und statt eines 3fachen ein mindestens 4facher Sicherheitsgrad.

Bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft kann unter Umgehung der Gl. 2 der tatsächliche Sicherheitsgrad genügend genau mittels der Gl. 33 abgeleitet werden.

Soweit dabei die Zerstörung des Verbundes infolge Überwindung der Druckfestigkeit des Betons eingeleitet wird und deshalb für die Ableitung des Sicherheitsgrades Gl. 33a in Betracht kommt, wird ein 3facher Sicherheitsgrad auf jeden Fall erzielt, wenn bei Verwendung von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge unter der Voraussetzung sorgfältiger Bauausführung eine Betondruckfestigkeit von etwa

$$(34c) \qquad \sigma_{w_{20}} = 3{,}0 \cdot \sigma_{b_{\mathrm{zul}}}$$

nachgewiesen wird.

Gewöhnlich dürfte jedoch aus dem weiter oben angeführten Grunde eine weit höhere Würfelfestigkeit nachgewiesen werden, so daß sich ein größerer als 3facher Sicherheitsgrad ergibt.

Soweit die Zerstörung des Verbundes durch Überschreiten der Streckgrenze der Eiseneinlagen in der Zugzone eingeleitet wird und deshalb für die Ableitung des Sicherheitsgrades Gl. 33b in Betracht kommt, wird bei Verwendung von hochwertigem Beton der aus dieser Gleichung ermittelte Sicherheitsgrad gewöhnlich überschritten. Nach Tafel 11 war z. B. der tatsächliche Sicherheitsgrad um 6 bis 11% größer als der sich aus dieser Gleichung ergebende Sicherheitsgrad.

Wird für die Ableitung des Sicherheitsgrades bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft von der unter der Bruchlast tatsächlich vorhandenen Beanspruchung des Betons ausgegangen, so läßt sich dieselbe bei bekannter Kräfteverteilung zwischen Beton und Eisen ermitteln. Dabei ergibt sich die Abweichung Δ zwischen dieser Beanspruchung und der in Größe der Würfelfestigkeit angenommenen Beanspruchung des Betons unter der Bruchlast naturgemäß ebenso groß wie zwischen $P_{r_{\max}}$ und $P_{t_{\max}}$. Der tatsächlich vorhandene Sicherheitsgrad läßt sich dann nach Gl. 2 ableiten, wenn der rechnungsmäßige Sicherheitsgrad aus Gl. 32 bekannt ist.

Die Abweichungen zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Betondruckspannungen gehen für eine geringere Außermittigkeit der Druckkraft aus folgender Tafel 12 hervor. In derselben sind für die in Heft 166 bis 169 der Forschungsarbeiten enthaltenen und mit 8 Rundeisen von 16 mm Durchm. bewehrten Säulen Nr. 107 und 108 die unter verschiedenen Belastungsstufen bei $e = 10$ cm tatsächlich vorhandenen Betondruckspannungen σ_{b_t} eingetragen, die aus den an diesen Säulen vorgenommenen Stauchungsmessungen ermittelt wurden. Das Nähere über die Versuchskörper, über die Versuchsdurchführung und über die Auswertung der Stauchungsmessungen wurde bereits ausgeführt. Außerdem sind in Tafel 12 die jeweils zugehörigen, mittels der Fläche F_i und dem Widerstandsmoment W_i aus der Beziehung

$$(29\text{a}) \qquad P = \sigma_{b_d} \cdot \frac{F_i}{1 + e \cdot \frac{F_i}{W_i}}$$

rechnungsmäßig ermittelten Betondruckspannungen $\sigma_{b_{d_r}}$ eingetragen. Dabei wurde $n = 22$ berücksichtigt (vgl. S. 27).

Der Tafel 12 ist zu entnehmen, daß $\sigma_{b_{d_r}}$ bis zu 10% kleiner ist als σ_{b_t}. Diese Abweichungen sind also geringer als die S. 27 für die gleichen Säulen bei mittiger Druckkraft angeführten Abweichungen.

Tafel 12. Vergleich zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Querschnittsbeanspruchungen von quadratischen Säulen mit einfacher Bügelbewehrung bei geringerer Außermittigkeit der Druckkraft.

Ermittelt aus den in Heft 166 bis 169 der Forschungsarbeiten für die Säulen Nr. 107 und 108 bei $e = 10$ cm angeführten Stauchungsmessungen.

P	Bewehrungsstärke $\mu = \mu' = 0{,}5\%$			
	Betondruckspannungen in kg/cm²		Eisendruckspannungen in kg/cm²	
t	σ_{b_t}	$\sigma_{b_{d_r}}$ Gl. 29a mit $n = 22$	σ'_{e_t}	$\sigma'_{e_{d_r}}$ Gl. 30a mit $n = 22$
26	34,2	30,2	251	548
56	73,0	65,1	583	1180
86	109,9	100,0	978	1810
116	144,9	135,0	1489	2630

Die Abweichungen zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Betondruckspannungen gehen für eine größere Außermittigkeit der Druckkraft aus folgender Tafel 13 hervor. In derselben sind für die in Heft 166 bis 169 der Forschungsarbeiten enthaltenen und wiederum mit 8 Rundeisen von 16 mm Durchm. bewehrten Säulen Nr. 101 u. 104 die unter verschiedenen Belastungsstufen bei $e = 50$ cm tatsächlich vorhandenen Betondruckspannungen eingetragen, die aus den an diesen Säulen vorgenommenen Stauchungsmessungen ermittelt wurden. Das Nähere über diese Versuche wurde bereits ausgeführt. Außerdem sind in Tafel 13 die aus Gl. 27a sowohl mit $n = 10$ wie mit $n = 15$ ermittelten Betondruckspannungen σ_{b_r} enthalten.

Der Tafel 13 ist zu entnehmen, daß die aus Gl. 27a mit $n = 10$ ermittelten Betondruckspannungen um 4 bis 10% größer, die mit $n = 15$ ermittelten Betondruckspannungen dagegen um 11 bis 14% kleiner sind als die tatsächlichen Betondruckspannungen.

Bei Verwendung von hochwertigem Beton werden demnach die tatsächlichen Betondruckspannungen aus Gl. 27a mit $n = 10$ zutreffender erfaßt als mit $n = 15$.

Tafel 13. Vergleich zwischen rechnungsmäßigen und tatsächlichen Querschnittsbeanspruchungen von quadratischen Säulen mit einfacher Bügelbewehrung bei größerer Außermittigkeit der Druckkraft.

Ermittelt aus den in Heft 166 bis 169 der Forschungsarbeiten für die Säulen Nr. 101 und 104 bei $e = 50$ cm angeführten Stauchungsmessungen.

P	Bewehrungsstärke $\mu = \mu' = 0{,}5\%$								
	Betondruckspannungen in kg/cm²			Eisendruckspannungen in kg/cm²			Eisenzugspannungen in kg/cm²		
t	σ_{b_t}	σ_{b_r} Gl. 27a mit $n = 10$	σ_{b_r} Gl. 27a mit $n = 15$	σ'_{e_t}	σ'_{e_r} Gl 31c mit $n = 10$	σ'_{e_r} Gl. 31c mit $n = 15$	σ_{e_t}	σ_{e_r} Gl. 31d mit $n = 10$	σ_{e_r} Gl. 31d mit $n = 15$
12	76,8	79,3	66,4	525	585	765	1130	1540	1620
18	113,7	118,9	99,6	851	878	1150	2145	2310	2430
24	144,3	158,5	132,8	1231	1170	1530	3180	3080	3240

Wird die Bewehrungsstärke der vorbehandelten Säulen vergrößert, so ändern sich die angeführten Ergebnisse nur geringfügig. Dies läßt die Auswertung der übrigen in Heft 166 bis 169 der Forschungsarbeiten enthaltenen und mit 8 Rundeisen von 22 mm Durchm. bewehrten Säulen erkennen.

In den Tafeln 12 und 13 sind noch die unter verschiedenen Belastungsstufen als tatsächlich vorhanden anzusprechenden Eisendruckspannungen σ_{e_t}' angeführt, sowie die jeweils zugehörigen, in Tafel 12 mit $n = 22$ aus der Beziehung

$$\sigma_{e_{d_r}}' = n \cdot \sigma_{b_{d_r}} \cdot \frac{x_d - a}{x_d} \tag{30a}$$

und in Tafel 13 sowohl mit $n = 10$ wie mit $n = 15$ aus der Beziehung

$$\sigma_{e_r}' = n \cdot \sigma_{b_r} \cdot \frac{x - a}{x} \tag{31c}$$

rechnungsmäßig ermittelten Eisendruckspannungen.

In Tafel 13 sind außerdem die unter verschiedenen Belastungsstufen als tatsächlich vorhanden anzusprechenden Eisenzugspannungen σ_{e_t} angeführt, sowie die sowohl mit $n = 10$ wie mit $n = 15$ aus der Beziehung

$$\sigma_{e_r} = \frac{n \cdot \sigma_{b_r}}{x} \cdot (h - x) \tag{31d}$$

rechnungsmäßig ermittelten Eisenzugspannungen.

Wie aus Tafel 12 hervorgeht, sind die rechnungsmäßigen Eisendruckspannungen durchweg beträchtlich größer als die tatsächlichen Eisendruckspannungen. So ergeben sich zwischen σ_{e_t}' und $\sigma_{e_{d_r}}'$ mit zunehmender Belastung Abweichungen, die von rd. 120 bis 75 % abnehmen. Diese Abweichungen sind jedoch geringer als die S. 29 für die gleichen Säulen bei mittiger Druckkraft angeführten Abweichungen.

Wie weiter aus Tafel 13 hervorgeht, besteht zwischen den aus Gl. 31c mit $n = 10$ ermittelten Eisendruckspannungen σ_{e_r}' und den tatsächlichen Eisendruckspannungen σ_{e_t}' eine vorzügliche Übereinstimmung. Dagegen überschreiten die aus derselben Gleichung mit $n = 15$ ermittelten Eisendruckspannungen die tatsächlichen Eisendruckspannungen mit zunehmender Belastung um rd. 45 bis 25 %.

Auch besteht, wie ebenfalls aus Tafel 13 hervorgeht, zwischen den aus Gl. 31d mit $n = 10$ ermittelten Eisenzugspannungen σ_{e_r} und den tatsächlichen Eisenzugspannungen σ_{e_t} im Durchschnitt eine bessere Übereinstimmung als zwischen den aus dieser Gleichung mit $n = 15$ ermittelten Eisenzugspannungen.

Es sei noch darauf verwiesen, daß es für die Anwendung von hochbeanspruchten Säulen mit größerer Außermittigkeit der Druckkraft notwendig ist, die Rissesicherheit des Betons nachzuweisen. Versuchsmäßig ermittelte sich z. B. die Rißlast bei den in Tafel 12 angeführten und mit 8 Rundeisen von 16 mm Durchm. bewehrten Säulen zu etwa $^1/_3$, bei den übrigen mit 8 Rundeisen von 22 mm Durchm. bewehrten Balken zu etwa $^1/_4$ der Bruchlast. Damit ergibt sich, wenn für diese Säulen die Gebrauchslast $^1/_3$ der Bruchlast beträgt, daß nur noch eine etwa 1,0- bzw. 0,75fache Rissesicherheit gegenüber dieser Gebrauchslast vorhanden ist. Allerdings wies der zur Herstellung dieser Säulen verwendete Beton eine Biegezugfestigkeit von nur 30 kg/cm² auf.

Im übrigen wird bei Behandlung der auf Biegung beanspruchten Eisenbetonkonstruktionen auf die Rissesicherheit des Betons und auf die möglichen Wege zu einer Erhöhung derselben näher eingegangen.

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 $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 60\ \mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_{w_{20}} = \backsim 200\ \mathrm{kg/cm^2}$, für $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 80\ \mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_{w_{20}} = \backsim 265\ \mathrm{kg/cm^2}$ und für $\sigma_{b_{d_{zul}}} = 100\ \mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_{w_{20}} = \backsim 330\ \mathrm{kg/cm^2}$ 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 $\sigma_{w_{20}} = \backsim 250\ \mathrm{kg/cm^2}$ 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/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[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.