

daß selbst bei einer Million und mehr Belastungswiederholungen die Bruchlast sich nicht gegenüber jenen Balken änderte, die durch eine einmalige, langsam anwachsende Belastung zerstört wurden. Zum gleichen Ergebnis führten auch die Versuche von Homann¹⁾ und Amos²⁾ an Plattenbalken. Dabei wurden bei letzteren Versuchen innerhalb von drei Jahren 7,4 Millionen Wiederholungen der Belastung vorgenommen.

Die zulässigen Querschnittsbeanspruchungen schwankten bei den angeführten Versuchen zwischen $\sigma = 40/760$ und $\sigma = 47/1900$ kg/cm².

Es sei noch angeführt, daß sich nach Versuchen von Probst (3), S. 492, die Dauerfestigkeit des auf Zug beanspruchten Betons nur mit der etwa 0,4fachen Biegezugfestigkeit ergab. Allerdings ist dieses Ergebnis unter außerordentlich ungünstigen Verhältnissen erzielt worden, nachdem in der Minute 20 bis 180 Be- und Entlastungen vorgenommen wurden. Trotzdem atmeten die Risse, selbst nach einer Million Belastungswiederholungen und bei Beanspruchungen bis zu $\sigma = 100/2000$ kg/cm² noch, d. h. sie schlossen sich nach der Entlastung fast vollständig.

Im übrigen werden Bauwerke, z. B. Brücken unter Eisenbahngleisen, vor einer nachteiligen Wirkung häufig wiederholter Belastungen gewöhnlich durch besondere Maßnahmen geschützt. Derartige Bauwerke werden sich deshalb günstiger verhalten, als den angeführten Versuchen zu entnehmen ist.

III. Die Untersuchung an den einzelnen Konstruktionsteilen.

A. Der durch eine Druckkraft mittig belastete Eisenbetonquerschnitt.

a) Säulen mit einfacher Bügelbewehrung.

1. Säulen ohne Knickgefahr.

α) Allgemeines.

Nach Versuchen setzt sich die Tragfähigkeit der durch eine Druckkraft mittig belasteten Säulen mit einfacher Bügelbewehrung unter gewissen noch näher anzuführenden Bedingungen aus der Prismenfestigkeit des Betons und dem Lastanteil der bis zur Quetschgrenze beanspruchten Längseisen zusammen.

Bezeichnet F_b den gesamten Querschnitt einer Säule, F_e den Querschnitt der Längseisen, σ_p die Prismenfestigkeit des Betons und σ_q die Quetschgrenze der Längseisen, so beträgt die zu erwartende Bruchlast der Säule

$$(3a) \quad P_{r_{\max}} = \sigma_p \cdot F_b + \sigma_q \cdot F_e.$$

Gewöhnlich wird $\frac{\sigma_q}{\sigma_p} = n$ und $(F_b + n \cdot F_e) = F_i$ gesetzt. Es ergibt sich dann

$$(3b) \quad P_{r_{\max}} = \sigma_p \cdot F_i.$$

Da es üblich ist, mit dem Querschnitt F_b ohne Abzug des Querschnitts der Längseisen zu rechnen, ist zu beachten, daß diese Berechnungsweise eine Erhöhung der Verhältniszahl n um eins bewirkt. Die dadurch bedingte Ungenauigkeit der Berechnung ist jedoch ohne praktische Bedeutung.

Die Anwendbarkeit der Gl. 3 ist zunächst an die Bedingung geknüpft, daß die Stauchungen des Betons unter der Bruchlast ebenso groß sind wie die Stauchungen

¹⁾ Arm. Beton 1909, S. 153. — ²⁾ D. A. f. E., Heft 53 u. 54.

der Längseisen bei Erreichung der Quetschgrenze. Nach den bis jetzt vorliegenden Versuchen ist diese Bedingung bei Verwendung von Beton mit einer Würfel Festigkeit bis zu etwa 500 kg/cm^2 und von Längseisen mit einer Quetschgrenze bis zu etwa 4000 kg/cm^2 erfüllt. Die Zerstörung des Verbundes geht dabei gewöhnlich derart vor sich, daß wegen der größeren Verformbarkeit des Betons zunächst die Quetschgrenze der Längseisen erreicht wird. Dieselben bleiben dann auf dieser Spannungsstufe so lange stehen, bis mit weiter zunehmender Belastung jene Stauchung eintritt, die den Bruch des Betons herbeiführt.

Die Anwendbarkeit der Gl. 3 ist weiter an die Bedingung geknüpft, daß der Abstand der Bügel nicht zu groß ist. Gerade im Hinblick auf die Verwendung von hochwertigem Baustahl gewinnt die Frage des zulässigen Abstandes der Bügel besondere Bedeutung, wenn einem vorzeitigen Ausknicken der Längseisen vorgebeugt werden soll.

Dies geht aus einer Berechnung des Bügelabstandes s als Knicklänge der Längseisen mittels der Knickgleichung von Tetmajer hervor, wenn in derselben der Trägheitshalbmesser der Längseisen vom Durchmesser δ mit $i = \frac{\delta}{4}$ eingesetzt wird.

Wird z. B. für St 52 eine Quetschgrenze von 3600 kg/cm^2 berücksichtigt, so gilt für ein Verhältnis $s : i < 83$ die Beziehung

$$s = \frac{4300 - \sigma_k}{15,8} \cdot i.$$

Wird die Knickspannung σ_k gleich der Quetschgrenze der Längseisen, also $\sigma_k = 3600 \text{ kg/cm}^2$ gesetzt, so wird eine einfache Sicherheit gegen Ausknicken noch erzielt, wenn $s = 11 \delta$ beträgt. Für $\sigma_k = 4000 \text{ kg/cm}^2$ ergibt sich $s = 10 \delta$. Diese Bügelabstände unterschreiten damit etwas den in den D. B. zugelassenen größten Bügelabstand von $s = 12 \delta$. Zu diesem rein rechnungsmäßigen Ergebnis muß allerdings bemerkt werden, daß Versuche, welche die obere Begrenzung des zulässigen Bügelabstandes von stahlbewehrten Säulen einwandfrei klarstellen, noch nicht vorliegen. Solange solche Versuche fehlen, sollte deshalb beim Entwurf derart bewehrter Säulen kein größerer Bügelabstand als etwa $s = 8 \delta$ bis höchstens $s = 10 \delta$ gewählt werden. Es ist nämlich zu berücksichtigen, daß das Festhalten der Längseisen in den einzelnen Bügellagen kein so sicheres ist, wie dies die Rechnung voraussetzt. Auch können örtliche Krümmungen der Längseisen, die entweder schon vorhanden sind oder z. B. durch Stampfstöße entstehen, deren Knicksicherheit verringern.

Bemerkenswert ist, daß bei den in Stuttgart durchgeführten und in Heft 166 bis 169 der Forschungsarbeiten (23) beschriebenen Säulenversuchen, bei denen die Längseisen eine Quetschgrenze von rd. 3700 kg/cm^2 aufwiesen, der Bügelabstand sogar nur mit $s = 3$ bis 4δ gewählt wurde. Überdies wurden schraubenförmige Wicklungen aus Rundeisen von 5 mm Durchm. bei 4,5 bzw. 7 cm Steigung verwendet.

Im Hinblick auf die vorliegenden Versuchsergebnisse ist die Anwendbarkeit der Gl. 3 noch an die Bedingung geknüpft, daß die Längsbewehrung etwa 0,8 bis 3 % des Betonquerschnitts beträgt. Die untere Begrenzung der Längsbewehrung ist deshalb nötig, um eine etwaige auftretende außermittige Druckkraft berücksichtigen zu können, während die obere Begrenzung derselben lediglich auf den Mangel an ausreichenden Versuchen mit Säulen von größerer Bewehrungsstärke zurückzuführen ist.

Die angeführte und den nachstehenden Ermittlungen zugrunde gelegte Begrenzung der Längsbewehrung reicht für die meisten praktischen Fälle vollkommen aus, nach-

dem für die Tragfähigkeit der Säulen mit einfacher Bügelbewehrung in erster Linie die Druckfestigkeit des verwendeten Betons maßgebend ist¹⁾).

Wird Gl. 3a in Abhängigkeit von der Würfel Festigkeit des Betons gebracht, so geht dieselbe unter Berücksichtigung der Ausführungen auf S. 12 bei Verwendung von Würfeln mit 30 cm Kantenlänge über in

$$(4a) \quad P_{r_{\max}} = \frac{3}{4} \cdot \sigma_{w_{30}} \cdot \left(F_b + \frac{4}{3} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_{w_{30}}} \cdot F_e \right) = \frac{3}{4} \cdot \sigma_{w_{30}} \cdot F_i.$$

Bei Verwendung von Würfeln mit 20 cm Kantenlänge lautet sie dagegen

$$(4b) \quad P_{r_{\max}} = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{w_{20}} \cdot \left(F_b + \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_{w_{20}}} \cdot F_e \right) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{w_{20}} \cdot F_i.$$

Da nach den Ausführungen auf S. 5 der frühest mögliche Zeitpunkt für die Belastung von Säulen bereits nach einer etwa 28 tägigen Erhärtungszeit des Betons stattfinden kann, genügt es im allgemeinen, in obige Gleichungen die Würfel Festigkeit des Betons nach dieser Erhärtungszeit einzusetzen. Dies um so mehr, als, wie auf S. 5 ebenfalls ausgeführt wurde, die Würfel Festigkeit des Betons, selbst nach einer Erhärtungszeit von 6 Monaten, u. U. nicht wesentlich größer sein kann wie jene nach 28 Tagen.

Zwischen der meistens gegebenen Gebrauchslast P und der unter dieser Last vorhandenen Querschnittsbeanspruchung $\sigma_{b_{\text{zul}}}$ besteht die Beziehung

$$(5) \quad P = \sigma_{b_{\text{zul}}} \cdot F_i.$$

Die Querschnittsbeanspruchung der Eiseneinlagen unter dieser Last ermittelt sich zu

$$(6) \quad \sigma_e' = n \cdot \sigma_{b_{\text{zul}}}.$$

β) Der rechnungsmäßige Sicherheitsgrad.

Wird der Sicherheitsgrad aus dem Verhältnis der Bruch- zur Gebrauchslast abgeleitet, so vereinfacht sich dieses Verhältnis infolge der Annahme einer gleichbleibenden Kräfteverteilung zwischen Beton und Eisen nach den Gl. 4 u. 5 auf das Verhältnis der unter diesen Lasten rechnungsmäßig vorhandenen Betondruckspannungen. Es ergibt sich dann

$$(7a) \quad \nu_r = \frac{3}{4} \cdot \frac{\sigma_{w_{30}}}{\sigma_{b_{\text{zul}}}}$$

oder

$$(7b) \quad \nu_r = \frac{2}{3} \cdot \frac{\sigma_{w_{20}}}{\sigma_{b_{\text{zul}}}}.$$

γ) Der tatsächliche Sicherheitsgrad.

Vorbedingung für eine möglichst genaue Ermittlung des bei Eisenbetonsäulen mit einfacher Bügelbewehrung jeweils tatsächlich vorhandenen Sicherheitsgrades ist die möglichst zutreffende Ableitung der Prismenfestigkeit des Betons aus seiner jeweiligen Würfel Festigkeit sowie des jeweiligen Verhältnisses n . Inwieweit mit der in Gl. 4 festgelegten Prismenfestigkeit des Betons und dem in den Gl. 3 u. 4 festgelegten Verhältnis n die tatsächliche Prismenfestigkeit des Betons und der tatsächliche Wert n

¹⁾ Die in den D.B. (§ 27, 1) vorgesehene Längsbewehrung bis zu 6 % des Betonquerschnitts kommt in der Hauptsache wohl nur für die Verwendung von Formeisen in Betracht, von dem bekannt ist, daß es statisch nicht so günstig wirkt wie Rundeisen.