

So können bei nicht genügendem Stampfen oder Stochern des Betons die auf einen verhältnismäßig kleinen Querschnitt verteilten zahlreichen Bewehrungsseisen der setzenden Bewegung des Betons derart hinderlich sein, daß eine Lockerung des Gefüges und damit eine Minderung der Festigkeit herbeigeführt wird. Auch kann durch unsachgemäßes Stampfen oder Stochern des Betons der Abstand der Ringbügel oder die Ganghöhe der Spiraleisen ungleich werden.

Die mittels Gl. 17a abgeleiteten Betondruckspannungen ergaben sich für Beton mit $\sigma_p = 185$ und 243 kg/cm^2 erheblich geringer als die tatsächlichen Betondruckspannungen. Wird der Spannungsnachweis jedoch mittels der Fläche der Gl. 19 vorgenommen, so errechnen sich Betondruckspannungen, die mit den tatsächlichen Betondruckspannungen recht gut übereinstimmen.

Von besonderer Bedeutung für die Tragfähigkeit der Säulen ist die Umschnürungswirkung der Querbewehrung. Diese ergab sich als veränderlich, und zwar wird sie mit zunehmender Prismenfähigkeit des Betons rasch geringer. Mit zunehmender Streckgrenze wird sie jedoch größer. Für Säulen aus hoch- oder höchstwertigem Beton kommt deshalb zur Erzielung einer besseren Umschnürungswirkung der Querbewehrung in erster Linie die Verwendung von hochwertigem Baustahl in Betracht. Dabei ist jedoch kein zu dünner Stahldraht zu verwenden, da wegen der geringen Scherfestigkeit des Betons bei einer zu starken Anspannung der Umschnürung sich der Stahldraht im Beton einschneiden kann, womit die Umschnürungswirkung der Querbewehrung natürlich verloren geht.

Da für hochbeanspruchte umschnürte Säulen die Sicherheit gegenüber dem Auftreten der ersten Risse in der Betonumhüllung außerhalb der Querbewehrung recht gering ausfallen kann, ergibt sich die Notwendigkeit, diese Sicherheit nach unten zu begrenzen. Eine mindestens 1,5fache Sicherheit läßt sich erzielen, wenn die Bedingung der Gl. 20 eingehalten wird.

2. Säulen mit Knickgefahr.

Der Hauptvorteil der umschnürten Säulen besteht bekanntlich in der außerordentlich großen Tragfähigkeit bei geringen Querschnittsabmessungen. Deshalb erscheint bei gleichbleibender Gebrauchslast und gleichbleibenden zulässigen Beanspruchungen die Knicksicherheit derartiger Säulen gegenüber jenen mit einfacher Bügelbewehrung erheblich vermindert. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie nachstehende Ermittlungen zeigen.

Wird das Schlankheitsverhältnis λ in Beziehung gebracht zur Säulenhöhe l und zum Krümmungsdurchmesser D der Querbewehrungsseisen, so ermittelt sich mit

$$J_k = \frac{\pi \cdot D^4}{64}, \quad F_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad i = \frac{D}{4}$$

der Beiwert α_2 der Gleichung

$$(21) \quad \lambda = \alpha_2 \cdot \frac{l}{D}$$

zu $\alpha_2 = 4,0$, und als untere Schlankheitsgrenze ergibt sich aus Abb. 4

$$\text{für } \sigma_{b_{zul}} = 35 \text{ kg/cm}^2 \quad \frac{l}{D} = 24,0, \quad \text{für } \sigma_{b_{zul}} = 45 \text{ kg/cm}^2 \quad \frac{l}{D} = 21,8,$$

$$\text{für } \sigma_{b_{zul}} = 60 \text{ kg/cm}^2 \quad \frac{l}{D} = 19,1, \quad \text{für } \sigma_{b_{zul}} = 80 \text{ kg/cm}^2 \quad \frac{l}{D} = 18,1 \quad \text{und}$$

$$\text{für } \sigma_{b_{zul}} = 100 \text{ kg/cm}^2 \quad \frac{l}{D} = 17,7.$$

Diese Verhältniszahlen unterschreiten demnach die für quadratische und rechteckige Säulen mit einfacher Bügelbewehrung ermittelten Verhältniszahlen (vgl. S. 38) nur wenig. Sie sind durchweg erheblich größer wie die in den D.B. (§ 27, Tafel II) mit $\frac{l}{D} = 13$ als untere Schlankheitsgrenze vorgeschriebene Verhältniszahl.

Da nach den D.B. die obere Schlankheitsgrenze mit $\frac{l}{D} = 25$ vorgeschrieben ist, so verringern sich damit nach Abb. 4 für $\lambda = 100$ die vorstehend angeführten Beanspruchungen $\sigma_{b_{zul}}$ auf $\sigma_{k_{zul}} = 34,6, 40,0, 48,8, 61,3$ und $75,0 \text{ kg/cm}^2$.

Die durch die vorgeschriebene obere Schlankheitsgrenze bewirkte Abnahme der zulässigen Betondruckspannung schwankt demnach für $\sigma_{b_{zul}} = 35$ bis 100 kg/cm^2 zwischen 1 und 25 %.

Wird dagegen wie bei den Säulen mit einfacher Bügelbewehrung die obere Schlankheitsgrenze auf $\lambda = 140$ bzw. $\frac{l}{D} = 35$ erhöht, so verringern sich die vorgenannten Knickspannungen auf die S. 39 angeführten Werte für $\sigma_{k_{zul}}$.

Damit schwankt die durch die Erhöhung der oberen Schlankheitsgrenze bewirkte Abnahme der zulässigen Betondruckspannung für $\sigma_{b_{zul}} = 35$ bis 100 kg/cm^2 zwischen 30 und 50 %.

Werden bei der Umrechnung von λ auf $\frac{l}{D}$ die nahe am Umfang auf einer Kreislinie verteilten Eiseneinlagen berücksichtigt, so errechnet sich der Beiwert α_2 der Gl. 21 bei einer

Gesamtbewehrung $\mu = 0,8 \%$	3 %
mit $n = 15$ zu $\alpha_2 = 3,90$	3,76
mit $n = 10$ zu $\alpha_2 = 3,97$	3,80.

Bei Berücksichtigung der Eiseneinlagen ändert sich der für unbewehrte Querschnitte abgeleitete Beiwert $\alpha_2 = 4,0$ demnach so geringfügig, daß bei den weiteren Ermittlungen die Eiseneinlagen vernachlässigt werden können.

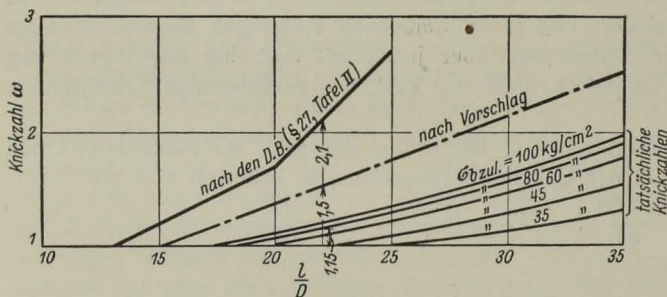


Abb. 8. Vergleich zwischen vorgeschriebenen und tatsächlichen Knickzahlen ω in Abhängigkeit von $\frac{l}{D}$ und $\sigma_{b_{zul}}$ bei umschnürten Säulen.

außerdem noch in Form einer besonders gekennzeichneten Schaulinie die in den D.B. (§ 27, Tafel II) vorgeschriebenen Knickzahlen.

Wie aus Abb. 8 ersichtlich ist, weichen die tatsächlichen Knickzahlen von den vorgeschriebenen Knickzahlen, selbst wenn $\sigma_{b_{zul}} = 100 \text{ kg/cm}^2$ in Betracht gezogen

In Abb. 8 sind in Form von Schaulinien die beim Überschreiten der unteren Schlankheitsgrenze sich aus Abb. 4 ergebenden tatsächlichen Knickzahlen ω in Abhängigkeit vom Schlankheitsverhältnis $\frac{l}{D}$ und den aus dieser Abbildung ersichtlichen zulässigen Betondruckspannungen dargestellt. Zu Vergleichszwecken enthält die Abb. 8

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 Sicherheitsgrad¹⁾.

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.